

ЛИТЕРАТУРА

1. Б у т к о в с к и й, А. Г. Управление нагревом металла / А. Г. Бутковский, С. А. Малый, Ю. Н. Андреев. – М.: Металлургия, 1981.
2. Б у т к о в с к и й, А. Г. Применение принципа максимума для оптимизации температурного режима печей / А. Г. Бутковский, Э. М. Гольдфарб, Э. С. Гескин // Черная металлургия. Изв. вузов. – 1967. – № 3.
3. Т е п л о б е н и тепловые режимы в промышленных печах / Ю. И. Розенгарт [и др.]. – Киев: Вища шк., 1986.
4. М а л ы й, С. А. Экономичный нагрев металла / С. А. Малый. – М.: Металлургия, 1967.
5. Г у с е в, Д. Е. Теорема о магистрали в задаче непрерывной оптимизации / Д. Е. Гусев, В. А. Якубович // Вестник ЛГУ. – 1983. – № 1.
6. П а н а с ю к, В. И. Оптимальное управление в технических системах / В. И. Панасюк, В. Б. Ковалевский, Э. Д. Политыко. – Минск: Наука и техника, 1990.
7. Я к у б о в и ч, В. А. К абстрактной теории оптимального управления / В. А. Якубович // Сибирский матем. журн. – 1979. – Т. 20, № 4.
8. Г у с е в, Д. Е. Магистральные свойства оптимальных траекторий в задаче непрерывной оптимизации / Д. Е. Гусев // Сибирский матем. журн. – 1985. – Т. 26, № 4.

Представлена кафедрой ПОВТ и АС

Поступила 09.09.2009

УДК 614.715.621.311.22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЗОНЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ХИМНЕДОЖОГА

Канд. техн. наук, доц. НАЗАРОВ В. И., асп. МАЛАФЕЙ В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Постоянный рост цен на энергоносители ставит перед учеными Республики Беларусь задачи по повышению эффективности сжигания топлива в ТЭС. Так, около 90 % закупаемого газа в России идет на выработку тепловой и электрической энергии. Не менее важна задача улучшения экологической обстановки на территории республики за счет снижения вредных выбросов от промышленных предприятий. Среди вредных выбросов тепловых электростанций в окружающую среду одними из наиболее опасных веществ являются оксиды азота [1]. Поэтому для увеличения экологической чистоты сжигания природного газа в первую очередь необходимо снижать эмиссию NO_x . Решить поставленные задачи возможно при широком внедрении энергосберегающих и экологически чистых технологий, причем в первую очередь таких, которые при минимальных капитальных вложениях имеют относительно высокую эффективность. К ним относится технология сжигания топлива в котельных агрегатах при малых избытках воздуха, при которой одновременно с экологическим эффектом (снижение выбросов оксидов азота на 25–30 %) удастся повысить КПД котла [1–3].

Заданный избыток воздуха, в том числе и минимальный, как правило, поддерживается изменением расхода воздуха. Ввиду этого на газовых и мазутных котлах широкое распространение получила схема подачи общего воздуха по принципу «топливо – воздух».

Недостаток данной схемы – необходимость ручной корректировки процесса подачи общего воздуха при резких изменениях нагрузок и нестабильности теплоты сгорания топлива, а также неизбежных в процессе эксплуатации изменениях состояния котла, вызывающих смещение оптимального коэффициента избытка воздуха. Поэтому для повышения эффективности процесса сжигания топлива применяется коррекция в режимном сечении котла: по концентрации либо O_2 , либо CO_2 , либо CO в уходящих газах; либо O_2 совместно с CO .

Широкое распространение получила коррекция схемы «топливо – воздух» по содержанию кислорода, которая однозначно определяет избыток воздуха независимо от характеристик топлива [1, 2]. Однако эта схема имеет ряд недостатков. При появлении присосов, а также при нарушениях равномерной подачи воздуха и топлива критическое значение избытка воздуха повышается, в связи с этим изменяется оптимальное значение его избытка, что может привести к снижению КПД котла. Повышение избытка воздуха на 10 % приводит к увеличению расхода топлива на 1 %, а также к значительному росту выбросов оксида азота [4]. По указанным выше причинам применимость оценки качества процесса горения по кислороду ограничена.

В свою очередь из физической химии известно, и это фундаментальная закономерность, что с ростом избытка воздуха содержание в продуктах сгорания («водяном газе») CO и H_2 уменьшается, но не исчезает полностью [1].

На всех газомазутных котлах химический недожог появляется только при избытке воздуха, ниже некоторого свойственного данному котлу $\alpha_{кр}$. Кроме того, координаты максимума КПД α_{opt} практически совпадают с $\alpha_{кр}$ [1, 5]. Поэтому процесс регулирования подачи воздуха нужно вести с максимально возможным приближением к $\alpha_{кр}$ справа, т. е. на грани появления химнедожога. Корректировка по химнедожогу имеет важное преимущество и заключается в том, что присосы воздуха по конвективному газоходу приводят лишь к незначительному снижению концентраций CO и H_2 .

Режим горения газомазутного топлива с регулируемым остаточным химнедожогом необходимо рассматривать комплексно с учетом экономических и экологических факторов. Оптимального КПД котла можно достигнуть в том случае, когда потери, обусловленные неполным сгоранием, по своему действию равны потерям теплоты с уходящими газами. Необходимо также отметить различную степень токсичности выбросов оксидов углерода и окислов азота. Наиболее токсичными являются окислы азота. Если проводить экологическую оптимизацию токсичности уходящих дымовых газов, то можно записать суммарную токсичность в виде суммы

$$Y_{\Sigma} = Y_{NOx} + Y_{CO}, \quad (1)$$

где Y_{NOx} – степень токсичности окислов азота; Y_{CO} – то же оксидов углерода.

Поддержание оптимального соотношения «топливо – воздух» с коррекцией по химнедожогу возможно лишь при наличии непрерывного контроля химнедожога в технологических газах. В последние годы создан ряд перспективных электрохимических анализаторов, позволяющих осуществлять

непрерывный анализ уходящих газов с высокой точностью и быстродействием. Анализаторы имеют погружные датчики, которые находятся непосредственно в потоке анализируемого газа, что исключает необходимость в системах отбора и подготовки газа для анализа.

Для определения оптимального режима работы котла в условиях применения коррекции по химнедожогу были проведены эксперименты на двух котлоагрегатах: БКЗ-75-39 Барановичской ТЭЦ и ГМ-50-14 Жодинской ТЭЦ. Эксперимент проводился при трех нагрузках для котла БКЗ-75-39 и двух нагрузках для котла ГМ-50-14.

Возмущающие воздействия наносились топливом и воздухом $\pm 10\%$ от предусмотренных базовым режимом котла. Испытания проводились после достижения установившегося режима. Завершение переходного процесса в установившийся режим контролировалось по соответствующим контрольным параметрам. Расход топлива, паропроизводительность котла, давление и температура пара определялись по щитовым приборам, расход воздуха – по давлению перед горелками. Концентрация химнедожога и NO_x измерялись синхронно в режимном сечении перед пароперегревателем. Газовый анализ на химнедожог и NO_x осуществлялся с помощью газоанализатора Testo.

Результаты эксперимента подтверждают возможность сокращения выбросов оксида азота за счет организации режима горения с умеренным остаточным химнедожогом (рис. 1, 2). Эффективное снижение концентрации окислов азота на 25–30 % достигается при содержании СО в дымовых газах режимного сечения на уровне 150–200 млн^{-1} для котла БКЗ-75-39 и 30–45 млн^{-1} – для котла ГМ-50-14. Что же касается потерь с химической неполнотой сгорания q_3 , то они совпадают со значением q_3 , соответствующим оптимальной величине КПД котлоагрегата. Режим работы с содержанием СО в дымовых газах на уровне менее 150 и 30 млн^{-1} для этих котлов характеризуется более высоким выходом NO_x и является менее экологически чистым. Режимы работы с большим недожогом (более 200 и 45 млн^{-1}) соответственно характеризуется большим выходом оксидов углерода и большим расходом топлива, что экономически невыгодно.

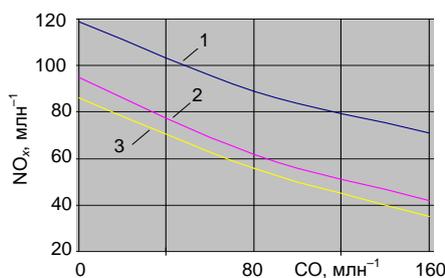


Рис. 1. Зависимость концентрации NO_x от концентрации СО в котле БКЗ-75-39: 1 – $D_{шт} = 67$ т/ч; 2 – 61 т/ч; 3 – 56 т/ч

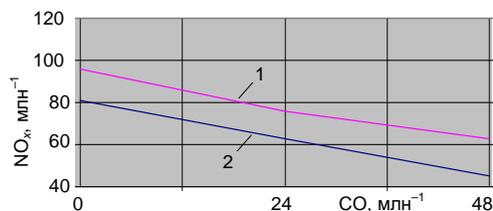


Рис. 2. Зависимость концентрации NO_x от концентрации СО в котле ГМ-50-14: 1 – $D_{шт} = 43$ т/ч; 2 – 35 т/ч

Также в результате проведения эксперимента отмечено увеличение паропроизводительности обоих котлов при уменьшении коэффициента избытка воздуха топки α_T без увеличения расхода топлива (рис. 3, 4).

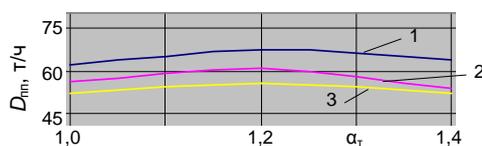


Рис. 3. Зависимость паропроизводительности котла БКЗ-75-39 от коэффициента избытка воздуха: 1 – $D_{пн} = 67$ т/ч; 2 – 61; 3 – 56 т/ч

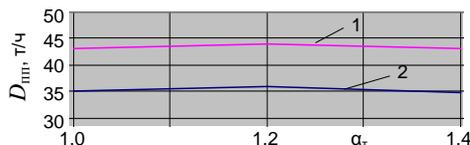


Рис. 4. Зависимость паропроизводительности котла ГМ-50-14 от коэффициента избытка воздуха: 1 – $D_{пн} = 43$ т/ч; 2 – 35 т/ч

ВЫВОДЫ

1. Сжигание топлива в котельных агрегатах с умеренным остаточным химнедожогом является малозатратной энерго- и экологосберегающей технологией.

2. Для внедрения режима сжигания топлива с умеренным остаточным химнедожогом необходимо иметь приборы непрерывного контроля NO_x и CO .

3. При сжигании природного газа наиболее экологически чистыми являются режимы с умеренным контролируемым недожогом. Суммарный показатель вредности таких режимов в 1,5–2,0 раза ниже, чем при обычном сжигании природного газа в соответствии с режимной картой.

4. При концентрации оксида углерода на уровне $150\text{--}200$ млн⁻¹ в режимном сечении для котла БКЗ-75-39 и $35\text{--}40$ млн⁻¹ для котла ГМ-50-14 возможно снижение выбросов оксида азота на 25–30 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. В н у к о в, А. К. Теплохимические процессы в газовом тракте паровых котлов / А. К. Внуков. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.
2. С п е й ш е р, В. А. Повышение эффективности использования газа и мазута в энергоустановках. – 3-е изд., перераб. и доп. / В. А. Спейшер, А. Д. Горбатенко. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 184 с.
3. А х м е д о в, Р. Б. Технология сжигания горючих газов и жидких топлив. – 2-е изд. перераб. и доп. / Р. Б. Ахмедов, Л. М. Цирюльников. – Л.: Недра, 1984. – 238 с.
4. К о т л е р, В. Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов / В. Р. Котлер. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
5. Ц и р ю л ь н и к о в, Л. М. О возможности оптимизации топочного процесса в газомазутных котлах / Л. М. Цирюльников // Теплоэнергетика. – 1979. – № 6.
6. Р о с л я к о в, П. В. Реализация нестехиометрического сжигания мазута с целью снижения выбросов оксидов азота / П. В. Росляков, А. В. Вершинин, А. Э. Зелинский // Электрические станции. – 1991. – № 3.
7. Р а з р а б о т к а рекомендаций по снижению выбросов оксидов азота для газомазутных котлов ТЭС / П. В. Росляков [и др.] // Электрические станции. – 1991. – № 9.
8. Р а з р а б о т к а и внедрение нестехиометрического сжигания топлива на газомазутных котлах / П. В. Росляков [и др.] // Электрические станции. – 1999. – № 8.

Представлена
кафедрой ТЭС

Поступила 20.02.2009