УДК 621.311

АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КИСЛОРОДА ПРИ СЖИГАНИИ НИЗКО-РЕАКЦИОННЫХ УГЛЕЙ В КОТЛАХ С ЖИДКИМ ШЛАКОУДАЛЕНИЕМ

Штегман А.В.

ОАО Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт (ОАО ВТИ), Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты расчетного исследования процесса сжигания твердого топлива в котле ТП-100 Молдавской ГРЭС в среде обогащенной кислородом. Приведены характеристики топочного процесса в новых условиях горения. Раскрыты причины улучшения топочного процесса. Приведены зависимости температуры факела от концентрации кислорода в окислительной смеси, схемы подвода кислорода в горелочное устройство. Показаны влияние кислорода на выход оксидов азота и способы снижения их эмиссии. Показана экономическая выгода от внедрения технологии.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в качестве подсветочного топлива используется газообразное или жидкое топливо. Подсветка необходима в случаях, когда нужно поднять температуру в зоне активного горения и таким образом обеспечить эффективное выгорание основного топлива - угля. Особенно это актуально для котлов с жидким шлакоудалением, где, при работе на антрацитах или тощих углях, приходится сжигать природный газ в количестве 20% по теплу, чтобы обеспечить нормальный выход жидкого шлака. Также природный газ необходим на пусковых режимах, когда прежде чем подавать уголь котельный агрегат должен выйти на температурный режим, соответствующий 50% нагрузке при твердом шлакоудалении и 70% при жидком. В современных рыночных условиях электростанции ищут пути снижения расхода дорогостоящего природного газа. В 2010 в ОАО «ВТИ» для котла ТП-100 Молдавской ГРЭС было проведено исследование, направленное на решение проблем с выходом жидкого шлака при переходе с проектного угля марки Т на уголь с ЦОФ «Гуковская» с температурой плавления 1550ºС. Результаты показали, что одним из способов является подача в горелку кислорода в смеси с газами рециркуляции.

ТЕПЛООБМЕН В ТОПКЕ КОТЛА ТП-100

Технология использования искусственного кислорода – это такая организация процесса горения, при которой часть воздуха, подаваемого в горелки, заменяется кислородом в количестве, необходимом для стабильного воспламенения. При этом, на начальном участке факела возникает зона с избытками воздуха меньше стехиометрических, что способствует подавлению топливных оксидов азота. В результате добавления кислорода в зону горения температура факела повышается и это дает возможность для сжигания топлив с малым выходом летучих без подсветки газом или мазутом. Как говорилось выше уголь с ЦОФ «Гуковская» обладал существенно более тугоплавкой золой чем проектный и поэтому для стабильного выхода жидкого шлака необходимая температура на выходе из зоны активного горения должна составить 1650ºС. Расчетная температура в зоне активного горения при условии уплотнения топки (снижение присосов), ремонта ТВП и доведения температуры горячего воздуха до 400ºС, восстановления ошиповки и подсветки мазутом в соотношении 20% по теплу составила 1648ºС. Таким образом, получается, что даже при использовании всех известных мер сжигание этого угля на котлах ТП 100 не целесообразно по условиям надежности выхода жидкого шлака. Однако, при замещении 10% кислорода, подаваемого в топку с воздухом, на кислород от внешней установки в смеси с газами рециркуляции, температура вырастает до 1665ºС без добавки мазута/природного газа и без какой либо дополнительной реконструкции, за исключением восстановления ошиповки и замены горелочных устройств (рис.1).

© Штегман А.В.

Аналогичная ситуация наблюдается при растопочных условиях котла. В традиционном случае растопка осуществляется за счет подачи в топку газа либо мазута и набора нагрузки на этом топливе до 50% при твердом шлакоудалении и 75% при жидком шлакоудалении. В реальности, из-за износа основного и вспомогательного станционного оборудования, приходится набирать нагрузку до несколько больших значений. При подаче искусственного кислорода эффект повышения температуры гораздо выше чем при сжигании природного газа или мазута, а значит переход на твердое топливо можно осуществлять раньше (30% ТШУ и 50% ЖШУ).

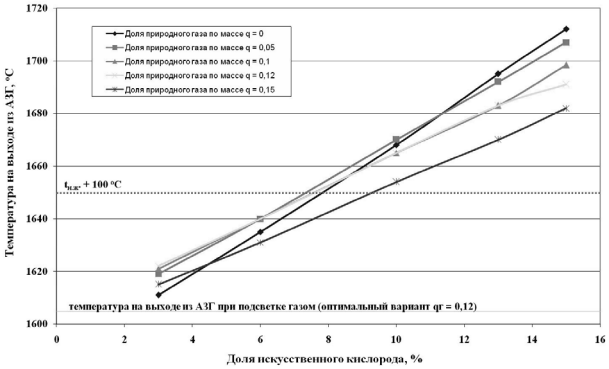

Рис.1 Зависимость температуры на выходе из АЗГ при разном количестве искусственного кислорода.

Рассмотрим причины улучшения технико-экономических показателей факельного процесса при добавлении окислительной смеси. Повышение температуры связано с тем, что подача кислородной смеси меняет состав дымовых газов в сторону увеличения содержания CO_2 и уменьшения N_2. Таким образом, при сохранении тепловыделения в топке Q_t, которое, как известно, в основном зависит от низшей теплоты сгорания [1], изменяется таблица энтальпий продуктов сгорания. При одной и той же температуре энтальпия продуктов сгорания в традиционном случае имеет большее значение, чем при использовании окислительной смеси. Таким образом, тому же значению Q_t будет соответствовать более высокая адиабатная температура и, как следствие, более высокая температура факела, если применяется окислительная смесь. Улучшение выгорания связано, также с изменением состава продуктов сгорания. Как известно процесс факельного сжигания твердого топлива относится к смешанному процессу, т.е. процесс диффузии кислорода к поверхности кокса и процесс кинетического реагирования одинаково влияют на эффективность выгорания [2]. Процесс диффузии характеризуется составом продуктов сгорания, который определяет диффузионное сопротивление, и концентрацией кислорода. Как показывают расчеты, при использовании окислительной смеси коэффициент диффузии увеличивается в 2 раза по сравнению с традиционным сжиганием. Что касается кинетического реагирования, то повышенная температура и концентрация окислителя, в соответствии с законом Аррениуса, однозначно ускоряет химическую реакцию. Для котла ТП-100 величина механического недожога, по расчетам, составила 1,2% при использовании окислительной смеси, против 5% при использовании воздуха. Методика нахождения q_4 – потерь с механическим недожогом - изложена в [2,3]. В расчете были учтены и сегодняшнее состояние оборудования, и реальные технико-экономические показатели. Наиболее оптимальным количеством искусственного кислорода является 10-15% от всего кислорода поданного в топку. Количество газов рециркуляции в окислительной смеси - 71%. Для получения кислорода можно использовать относительно дешевые мембранные установки. Газы рециркуляции отбираются после котла и при помощи ДРГ подаются в пылесистему и оттуда в горелку, где формируется окислительная смесь (рис.2).

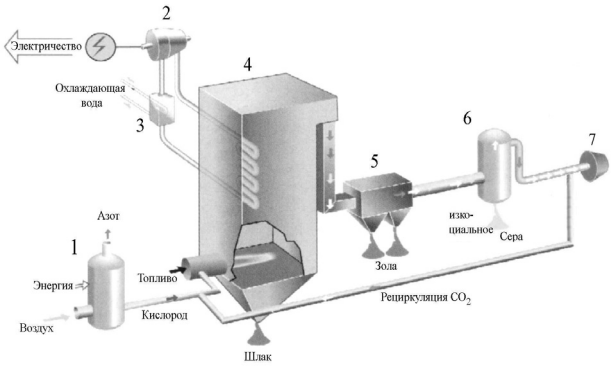

Рис.2 Принципиальная схема организации подвода окислительной смеси.
1 – кислородная установка; 2- турбина/генератор; 3-конденсатор; 4-котел; 5-золоулавитель; 6-сероулавливающая установка; 7-дымосос.

Одной из проблем, связанных с горением являются оксиды азота. Рассмотрим влияние окислительной смеси на механизм их формирования. На угольных электростанциях присутствуют два типа оксидов азота, отличающихся природой происхождения: топливные, образованные при реакции азотсодержащих элементов летучих (HCN и CN) с кислородом воздуха и термические, образованные за счет реакции азота воздуха с кислородом воздуха.

Термические оксиды азота, образующиеся при температурах выше 1500ºС, при переходе с традиционного сжигания на окислительную смесь останутся примерно на том же уровне. Это связано с тем, что часть кислорода воздуха (10%) заменяется на смесь искусственного кислорода и продуктов

сгорания, а значит - происходит снижение количества азота подаваемого в зону активного горения.

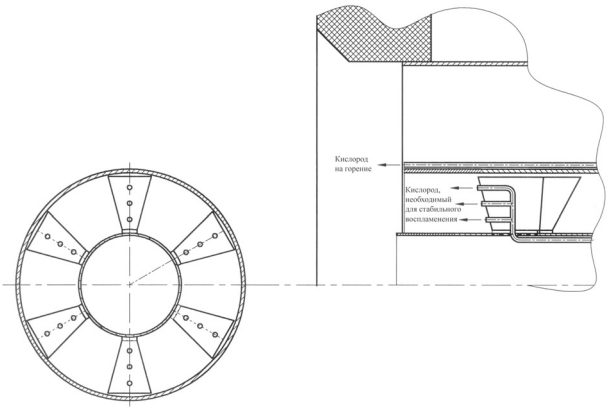

Рис.3 Схема ввода кислорода через горелку ВТИ-ЦНИИТМАШ.

В данном случае на фоне увеличения температуры происходит снижение концентрации азота в зоне активного горения, что обеспечивает сохранение уровня интенсивности образования термических NO_X.

Образование топливных оксидов азота зависит от концентрации кислорода на участке горения летучих. Подачу кислорода в топку целесообразно осуществить через установку двух кислородных коллекторов (Рис.3).

В качестве иллюстрации взят эскиз выходной части малотоксичной горелки конструкции ВТИ-ЦНИИТМАШ. Таким образом, организуется стадийный подвод кислорода по длине факела. Первая часть предназначена для эффективного воспламенения и подается в канал аэросмеси через специальные устройства. Вторая часть предназначена для эффективного горения коксового остатка.

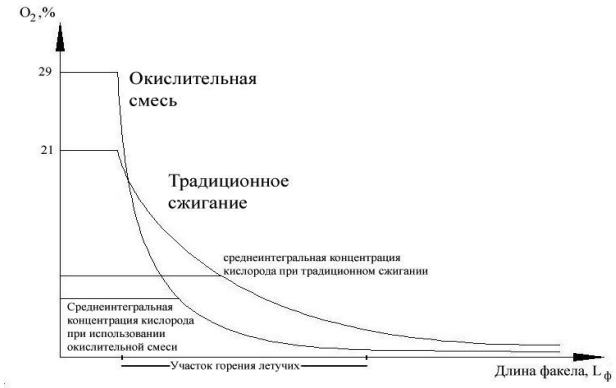

Рис.4 Принципиальные зависимости изменения концентрации кислорода по длине факела.

Известно, что воспламенение любого топлива зависит от начальной концентрации реагирующих веществ и температуры, а эмиссия оксидов азота - от среднеинтегральной концентрации кислорода на участке выхода и горения летучих. Вышесказанное можно описать одним предложением: применение окислительной смеси позволяет при более высокой, чем в традиционном сжигании, начальной концентрации кислорода обеспечить его более низкую среднеинтегральную концентрацию на участке образования NO_X (рис.4).

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ

Как и любая реконструкция, применение окислительной смеси требует определенных капиталовложений. В данном случае необходимо закупить кислородную установку достаточной производительности, установить горелочное устройство, подвести, при помощи коробов, газы рециркуляции и установить дымосос газов рециркуляции. Стоимость реализации такого проекта под ключ для котла ТП-100 составляет 150 млн. руб.

Окупаемость проекта происходит за счет экономии финансовых средств от снижения расхода природного газа на подсветку. Принцип расчета заключался в приведении капитальных затрат и эксплуатационных к 1 м^3/час произведенного кислорода и сравнение этой суммы со стоимостью замещенного природного газа. Капитальные затраты приводились по формуле 1.

$$CapCosts_{hour} := \frac{CapCosts_0}{365 \cdot \tau_{инв} \cdot 24 \cdot K_{ИУМ}},$$

где $CapCosts_0$ – первоначальные капитальные затраты, руб;

$\tau_{инв}$ – предварительно принимаемый срок окупаемости, годы;

$K_{ИУМ}$ – коэффициент использования установленной мощности.

Эксплуатационные затраты рассчитывались как затраты энергии на производство необходимого расхода кислорода умноженные на себестоимость электроэнергии. Далее бралась разница между затратами на кислород и затратами на природный газ, если разница отрицательна, значит принятый срок окупаемости необходимо увеличить. Расчет считался законченным если разница равна нулю либо положительна.

Для котла ТП-100 необходимый расход кислорода составил G_{O2} = 0,694 нм^3/сек, а себестоимость электроэнергии 20 коп/кВт. По результатам обследования на сегодняшний момент станция вынуждена сжигать 10 120 м^3/час природного газа при цене 3 руб/м^3. Расчеты показали, что окупаемость наступает через 1 год и 2 месяца после внедрения технологии сжигания с окислительной смесью. В расчете не учитывался эффект от экономии природного газа при растопках и от снижении потерь с механическим недожогом.

ВЫВОДЫ

- Применение кислорода в смеси с газами рециркуляции позволяет полностью исключить природный газ или мазут как подсветочное топливо и обеспечить стабильный выход жидкого шлака на нагрузках от 100 до 70%, а при более низких нагрузках существенно снизить расход дополнительного топлива.
- Показано, что применение окислительной смеси улучшает выгорание топлива и снижает потери с механическим недожогом
- Проведенный экономический расчет показывает, окупаемость проекта реконструкции котла ТП-100 наступает через 1 год и 2 месяца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Москва. «Энергия», под редакцией Н.В. Кузнецова, 1973г.
2. Основы практической теории горения. Под редакцией В.В. Померанцева. «Энергия», 1973г.
3. Ю.Л Маршак, Э.Х. Вербовецкий, Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов. Санкт-Петербург, 1996 г.