

УДК 621.311

Ю. А. ЩУР, канд. техн. наук

С. В. ПЕРЕГУДОВ, инженер

В. Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, инженер

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

В статье предложен способ обеспечения эффективной и маневренной работы каждого элемента технологической схемы ТЭС в условиях использования топлив ухудшенного качества.

У статті запропонований спосіб забезпечення ефективної і маневреної роботи кожного елементу технологічної схеми ТЕС в умовах використання палив погіршеної якості.

Введение

Горение натурального органического топлива в топочных устройствах котлоагрегатов представляет сложный физико-химический процесс, подверженный влиянию различных закономерных и случайных, трудно учитываемых факторов [1, 2].

Оптимизация процесса горения органического топлива предполагает ведение его с максимальным коэффициентом полезного действия котлоагрегата. Для организации такого процесса необходимы выбор и обоснование критерия его качества. При этом качество оптимизации будет зависеть как от корректности обоснования этого критерия, так и характеристик технических средств, с помощью которых он определяется.

В настоящее время возникла необходимость обеспечить эффективную и маневренную работу каждого элемента технологической схемы ТЭС в условиях использования топлив ухудшенного качества. Успешное решение этой задачи требует наличия представительной оперативной информации, объективно отражающей эффективность технологического процесса в целом и отдельных его элементов. Ею может служить критерий оптимальной работы котла и всего процесса.

Основная часть

Наиболее полным критерием эффективности использования топлива в котлоагрегате является его коэффициент полезного действия. Однако, его оперативный контроль в эксплуатационных условиях весьма затруднителен. Поэтому понятно стремление найти такой критерий оптимизации, который можно измерить средствами оперативного контроля качества процесса горения органического топлива.

Известно, что зависимость коэффициента полезного действия котлоагрегата от коэффициента избытка воздуха в топке (α) носит экстремальный характер, причем максимальное значение КПД котла, работающего на твердом топливе, достигается при α , при котором сумма потерь тепла с уходящими газами и химическим недожогом минимальна. Поэтому минимум суммы этих потерь может служить критерием оптимизации процесса горения топлива. Вместе с тем, общепринятые методики их определения используются лишь при режимно-наладочных испытаниях процесса горения топлива. Для целей оптимизации топочного процесса в оперативном порядке этот критерий качества процесса горения непригоден из-за громоздкости методики его определения и отсутствия соответствующих измерительных средств.

В настоящей работе предпринята попытка разработки такого критерия качества процесса горения твердого топлива, который можно было бы представить в качестве оперативной информации.

Наиболее полным критерием качества процесса горения является коэффициент полезного действия котлоагрегата. Однако определение его во время эксплуатации котла затруднительно, из-за отсутствия соответствующей измерительной техники непрерывного

действия. Поэтому естественны поиски таких показателей качества процесса горения, которые можно реализовать с помощью существующих средств измерений.

В настоящее время на энергетических установках широко применяется метод контроля качества процесса горения органического топлива по содержанию в продуктах их сгорания избыточного кислорода.

Этот показатель при определенных условиях непосредственно характеризует топочный процесс и, в частности, дает возможность контролировать один из основных режимных параметров – коэффициент избытка воздуха в топке.

В условиях переменных режимов работы котлоагрегата оперативный контроль найденного критерия может быть осуществлен лишь с помощью безинерционных газоаналитических средств измерения с высокими метрологическими характеристиками. Установлено, что этим требованиям с наибольшей полнотой удовлетворяют электрохимические преобразователи парциального давления кислорода и преобразователи, полученные на их основе.

В качестве критерия качества процесса горения твердого топлива целесообразно выбрать сумму потерь тепла с уходящими газами и химическим недожогом топлива. Минимум данного критерия, а следовательно и максимум коэффициента полезного действия котлоагрегата достигается при такой организации топочного процесса, который характеризуется наличием в продуктах сгорания определенной концентрации кислорода и «следовой» концентрации окиси углерода.

Основными параметрами, которые характеризуют качество топочного процесса и определяют величины потерь тепла с уходящими газами и химическим недожогом твердого топлива, являются объемные концентрации кислорода и окиси углерода в продуктах сгорания топлива. Эти концентрации могут быть измерены средствами оперативного контроля качества процесса горения.

Выбор структуры критерия качества процесса горения твердого топлива

Потеря тепла с уходящими газами определяется, в основном, двумя параметрами – коэффициентом избытка воздуха и температурой уходящих газов. Из них температура уходящих газов мало зависит от экономичности процесса горения. Поэтому при изучении вопросов качества процесса горения топлива можно с достаточной точностью принять, что потеря тепла с уходящими газами определяется, в основном, коэффициентом избытка воздуха в топочной камере, который может быть выражен через содержание свободного кислорода в продуктах сгорания в конце зоны горения.

Величина потери тепла с химическим недожогом топлива зависит прежде всего, от содержания горючих компонентов в продуктах сгорания топлива. Основным горючим компонентом при сжигании твердого топлива является окись углерода. Таким образом, можно принять, что потеря тепла с химическим недожогом топлива при прочих равных условиях определяется содержанием окиси углерода в продуктах сгорания топлива.

Исходя из этого содержание свободного кислорода и окиси углерода в продуктах сгорания могут служить основой соответствующего критерия качества процесса горения твердого топлива.

Главным преимуществом этого критерия должна являться возможность его оперативного определения при безусловной представительности.

Существующими газоаналитическими средствами измерений возможно обеспечение оперативного контроля относительных парциальных давлений кислорода и окиси углерода в продуктах сгорания.

Критерий качества процесса горения будем искать как функцию следующего вида:

$$f = \alpha_1 P_{1A} + \alpha_2 P_{3A} ,$$

где P_{1A} , P_{3A} – относительные парциальные давления соответственно кислорода и окиси углерода;

α_1, α_2 – коэффициенты, учитывающие «вес» относительных парциальных давлений кислорода и окиси углерода в определении потерь тепла соответственно с уходящими газами и химическим недожогом топлива.

Относительные парциальные давления кислорода и окиси углерода в продуктах сгорания топлива имеют различный «вес» в определении величин потерь тепла с уходящими газами и химическим недожогом. Учитывая этот факт, следует в качестве коэффициентов α_1 и α_2 в уравнении подставить частные производные потерь тепла с уходящими газами и химическим недожогом топлива соответственно по относительным парциальным давлениям кислорода и окиси углерода. Тогда

$$f = \frac{\delta q_2}{\delta P_{1\Delta}} \cdot \overline{P_{1\Delta}} + \frac{\delta q_3}{\delta P_{3\Delta}} \cdot \overline{P_{3\Delta}},$$

где q_2, q_3 – потери тепла соответственно с уходящими газами и химическим недожогом топлива.

После определенных преобразований получаем

$$q_2 = \frac{\alpha \Gamma^P + 3^P}{Q_H^P} \cdot Z \cdot 100.$$

Величины Γ_p и 3_p практически постоянны для конкретного котлоагрегата, работающего на определенном топливе и не зависят от содержания кислорода в продуктах сгорания.

Из последнего уравнения найдем частную производную потерь тепла с уходящими газами по относительному парциальному давлению кислорода в продуктах сгорания

$$\frac{\delta q_2}{\delta P_{1\Delta}} = \frac{Z \cdot 100}{Q_H^P} \cdot \Gamma^P \cdot \frac{\delta \alpha}{\delta P_{1\Delta}}.$$

Коэффициент избытка воздуха в топке может быть определен из известного выражения, если пренебречь концентрацией водорода в продуктах сгорания топлива

$$\alpha = \frac{21}{21 - (O_2 - 0,5 CO)},$$

где O_2, CO – объемные концентрации кислорода и окиси углерода в сухих продуктах сгорания.

Коэффициент разбавления сухих продуктов сгорания h связан с коэффициентом избытка воздуха α следующим соотношением:

$$\alpha = 1 + (h - 1)y,$$

где $y = \frac{V_{CF}^0}{V_B}$.

Как показывают практические расчеты для твердого топлива $y = 0,95 + 0,97$. В этом случае можно с достаточной точностью принять $\alpha = h$. Относительная погрешность такого допущения $-\left(\frac{\alpha - h}{\alpha} \cdot 100\right)$.

При изменении $\alpha = 1,0 + 1,25$ составляет менее 1%.

После ряда преобразований будем иметь

$$\alpha = \frac{21 + (\overline{P_{1\Delta}} - 0,5 \overline{P_{3\Delta}}) D^P}{21 - (\overline{P_{1\Delta}} - 0,5 \overline{P_{3\Delta}}) B^P}.$$

После ряда преобразований получим выражение для определения критерия качества процесса горения твердого топлива.

$$f = \frac{\Gamma^P}{Q_H^P} \cdot 100 \cdot Z \cdot \frac{21(D^P + B^P) \cdot \overline{P_{1\Delta}}}{[21 - (\overline{P_{1\Delta}} - 0,5 \overline{P_{3\Delta}}) \cdot B^P]^2} + \frac{126,5 \cdot 10^3}{Q_H^P} \cdot Z^2 \cdot 100 \cdot \overline{P_{3\Delta}} \cdot \frac{1,87 \cdot K^P}{R O_{2max}} \cdot (B_\alpha^P + D^P)$$

Как видно данный критерий качества процесса горения зависит от состава топлива и двух переменных параметров – относительных парциальных давлений окиси углерода и кислорода в продуктах сгорания топлива.

Для его оценки необходимо располагать результатами газового анализа продуктов сгорания топлива, состав которых зависит от многих, в первую очередь, режимных факторов. Исследование влияния этих факторов на процесс газообразования в пылеугольном факеле можно провести на основе комплексного анализа процессов, протекающих в топочном устройстве.

Выводы

Анализ процессов горения натурального твердого топлива позволил установить:

- зависимость разработанного критерия качества процесса горения твердого топлива f от коэффициента избытка воздуха в топке имеет экстремальный характер с явно выраженным минимумом, который достигается при оптимальном значении α и характеризуется наличием в продуктах сгорания топлива минимальных, «следовых» концентраций окиси углерода. Однозначность связи между минимумом этого критерия и оптимальным значением коэффициента избытка воздуха в топке имеет место при всех изменениях основных характеристик топлива и процесса горения (степень рециркуляции топочных газов к устью горелки, тонина помола топлива и т. д.). Это дает основание использовать этот критерий качества процесса горения твердого топлива для его оптимизации;

- отличительной особенностью разработанного критерия является то, что он может быть определен по результатам анализа продуктов сгорания на кислород и окись углерода. Необходимая для технических измерений точность его определения обеспечивается при прочих равных условиях прямыми измерениями объемных концентраций кислорода и окиси углерода газоанализаторами, характеризующимися пределами основных и дополнительных погрешностей не более 0,1 и 0,007 % абсолютных соответственно;

- разработанный критерий качества процесса горения твердого топлива отражает основные закономерности топочного процесса и весьма просто измеряется во время эксплуатации котлоагрегата. Поэтому он может быть использован для оперативного управления качеством процесса горения и снижения выбросов в атмосферу образующихся вредных ингредиентов.

Список литературы

1. Соколов Б. Л. Котельные установки и их эксплуатация. Учебник (3-е издание). Академия. – 2008. – 432 с.
2. Конторович В. Б. Основы горения и газификация твердого топлива. Учебник. – 1958. – 600 с.

OPTIMIZATION OF PROCESS OF BURNING OF HARD FUEL

Ju. A. SCHUR, Cand. Tech. Scie.

S. V. PEREGUDOV, engineer, V. F. Bez'yazychnyy, engineer

In the article the method of providing of effective and manoeuvre work of every element of flowsheet of TES is offered in the conditions of the use of fuels of the worsened quality.

Поступила в редакцию 11.06 2012 г.