

Л.П. Грес, С.А. Карпенко, А.О. Еремин, Т.В. Самойленко,

Е.А. Каракаш, А.Е. Быстров, Ю.М. Флейшман, М.М. Волкова

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР) ТЕПЛОЙ  
РАБОТЫ ДОМЕННЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ**

*Аннотация. В статье рассмотрено современное состояние автоматизации тепловой работы воздухонагревателей доменных печей. Показаны недостатки уровня автоматизации и приводятся пути их преодоления путем использования матмоделей и микропроцессорной техники.*

Еще в 50-х годах XX в. доменные воздухонагреватели (ВН) были оснащены системами:

1. Стабилизации влажности дутья, температур: под куполом и горячего дутья.

2. Давления доменного газа перед блоком ВН.

По истечении 60 лет ВН Украины по-прежнему нуждаются в оснащении их дополнительными САР:

1. Общей тепловой мощности блока ВН и каждого ВН в отдельности.

2. Горения (соотношения газ-воздух).

3. Длительностей периодов работы ВН.

4. Теплоты сгорания топливной смеси (или температур подогрева компонентов горения (газа и воздуха)).

В 90-х гг. XX в. в Украине стали использовать микропроцессорную технику для стабилизации температуры горячего дутья, давления доменного газа, а также для замены самопишущих приборов. Однако в Украине математические модели тепловых процессов в ВН не используются и ныне. Поэтому в САР ВН необходимо использовать матмодели и микропроцессорную технику.

1. Управление тепловой мощностью отопления ВН

Управление тепловой мощностью отопления воздухонагревателя  $M_{\text{общ}}$ :

$$M_{обш_i} = B_i \cdot Q_H^p, \quad (1)$$

где  $B_i, Q_H^p$  – расход и теплота сгорания топлива соответственно.

Тепловая мощность ВН связана с заданными технологией доменной плавки температурами горячего и холодного дутья, его расходом:

$$B \cdot v_{дым} \cdot (i_{дым_n} - i_{дым_k}) \cdot \tau_1 = V_{дуть_ВН} \cdot (i_{дуть_k} - i_{дуть_n}) \cdot \tau_2, \quad (2)$$

где  $v_{дым}$  – удельный выход дыма (с 1 м<sup>3</sup> газа), определяемый в расчете горения топлива;  $i_{дуть}$ ,  $i_{дым}$  – энтальпии дутья и дыма соответственно (н – начальная, к – конечная);  $V_{дуть_ВН}$  – расход дутья через ВН;  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  – продолжительности периодов нагрева (1) и дутья (2).

Для блока ВН, состоящего из N аппаратов, причем m – количество ВН на дутье:

$$B_{бл} \cdot Q_H^p \cdot \eta_{нд_{бл}} = V_{дуть_ДП} \cdot (i_{дуть_ДП} - i_{дуть_n}), \quad (3)$$

где  $i_{дуть_ДП}$ ,  $V_{дуть_ДП}$  – энтальпия и расход дутья перед доменной печью соответственно.

Коэффициент полезного действия  $\eta_{нд_{бл}}$  блока ВН связан  $\eta_{нд_n}$  (ВН на нагреве) и  $\eta_{нд_{дуть}}$  (ВН на дутье):

$$\eta_{нд_n} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; \quad (4)$$

$$\eta_{нд_{дуть}} = \frac{Q_{дуть} \cdot \tau_2}{Q_1 \cdot \tau_1}; \quad (5)$$

$$\eta_{нд_{бл}} = \frac{N-m}{N} \cdot \eta_{нд_n} + \frac{m}{N} \cdot \eta_{нд_{дуть}} - \frac{Q_{пот} \cdot (\tau_1 + \tau_2) - Q_{рев}}{Q_1 \cdot \tau_1}, \quad (6)$$

где  $Q_1, Q_2, Q_{дуть}$  – соответственно теплоты продуктов горения, входящих в ВН и выходящих из него, а также теплота дутья на выходе из ВН, МВт;  $Q_{рев}$  – потери теплоты, сопровождающие реверсирование ВН и пересчитанные на тепловые потери (потери топлива, физической теплоты воздуха и газа, от снижения теплоусвоения насадками и др.), МДж/реверсирование (перекидка);  $Q_{пот}$  – постоянные тепловые потери ВН, МВт.

Общее количество топлива  $B_{бл}$  в выражении (3), необходимого для нагрева блока ВН, определяется из суммы:

$$B_{бл} = \sum_{i=1}^{N-m} B_i, \quad (7)$$

где  $V_i$  удовлетворяют выражению (2).

Распределение расходов топлива через  $i$ -тый ВН должно удовлетворять условию:

$$\frac{V_i}{V_{\text{ол}}} = \frac{\alpha_i \cdot \sqrt{\Delta p_i}}{\sum_{i=1}^{N-m} \frac{\alpha_i \cdot \sqrt{\Delta p_i}}{V_{\text{дым}}}}, \quad (8)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент расхода  $i$ -го ВН;  $\Delta p_i$  – перепад давления дымовых газов на  $i$ -ом ВН.

## 2. Управление горением в ВН (соотношением топливо-воздух)

Управление качеством горения актуально в связи с дороговизной топлива, особенно природного газа, используемого для обогащения доменного. В настоящее время, когда появились ВН с купольным отоплением, оборудованные струйно-вихревыми горелками, обеспечивающими на выходе дыма из ВН содержание  $\text{CO}$  10ч20 мг/м<sup>3</sup> (нормы ТА Lыft ФРГ допускают до 100 мг/м<sup>3</sup>  $\text{CO}$ ), что на 3 порядка меньше, чем при существующих металлических горелках типа «труба в трубе», ясно, что ВН должны быть оборудованы САР горения с коррекцией по  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$  в отходящем дыме, а старые ВН, которых на Украине более 100, должны быть оснащены струйно-вихревыми горелками с САР регулирования горения. При подаче природного газа на обогащение доменного выгодно иметь отдельную подачу природного газа на каждый ВН с регулированием горения изменением его расхода. При централизованном обогащении природным газом регулятор горения должен воздействовать на расход природно-доменной смеси. При работе блока ВН с подогревом компонентов горения упомянутый регулятор должен воздействовать на подачу воздуха горения.

## 3. САР теплоты сгорания топливной смеси (температур подогрева компонентов горения)

Назначение данной САР – в стабилизации температуры под куполом ВН в период нагрева с целью уменьшения колебаний температуры кладки купола, вызывающих малоцикловую усталость кладки и ее скалывание. Кроме того, эта САР обеспечивает уровень подогрева насадки, необходимый для получения требуемой температуры горячего дутья для доменной печи.

Температура под куполом ВН:

$$t_{\text{куп}} = \eta_{\text{пир}} \cdot t_{\text{кал}}, \quad (9)$$

где  $\eta_{\text{пир}}$  – пирометрический коэффициент горения.

$$t_{\text{кал}} = \frac{Q_{\text{нсм}}^p + Q_{\text{физ}}}{V_{\text{дым}} \cdot C_o^{t_{\text{кал}}}}; \quad (10)$$

$$i_{\text{кал}} = \frac{Q_{\text{нсм}}^p + Q_{\text{физ}}}{U_{\text{дым}}}, \quad (11)$$

где  $t_{\text{кал}}$ ,  $i_{\text{кал}}$  – калориметрические температуры горения и энтальпия соответственно;  $Q_{\text{физ}}$  – физическая теплота воздуха горения и топлива.

Теплота сгорания топливной смеси:

$$Q_{\text{нсм}}^p = \frac{Q_{\text{ндог}}^p \cdot V_{\text{дог}} + Q_{\text{нпг}}^p \cdot V_{\text{пг}}}{V_{\text{дог}} + V_{\text{пг}}}, \quad (12)$$

где  $Q_{\text{ндог}}^p$ ,  $Q_{\text{нпг}}^p$ ,  $V_{\text{дог}}$ ,  $V_{\text{пг}}$  – теплоты сгорания и расходы соответственно доменного и природного газов.

При колебаниях теплоты сгорания доменного газа, связанной с технологией ведения доменной плавки, теплоту сгорания топливной смеси необходимо регулировать изменением добавки природного газа или изменением уровня подогрева компонентов горения путем воздействия на дроссель на байпасе системы утилизации теплоты отходящего дыма блока ВН.

#### 4. САР длительностей периодов работы ВН

Оптимизация длительностей периодов работы ВН может быть реализована по таким критериям, которые приводят к максимальному нагреву дутья:

- максимуму теплоусвоения насадками ВН;
- максимальному КПД ВН и блока ВН;
- максимуму температуры горячего дутья, для чего используется матмодель тепловой работы ВН [1];
- максимуму теплопоглощения продуктов горения;
- максимум экономической эффективности тепловой работы блока ВН и другие.

В любом случае отделенный ВН по достижении ограничения по температуре отходящего из ВН дыма должен быть поставлен на дутье и не находиться в отделенном состоянии. Кроме того, ВН, находившийся на дутье, после закрытия смесителя должен быть переключен на нагрев. Т.к. в блоке ВН отдельные ВН имеют различные теплотехнические характеристики, то для облегчения их получения на тракте

горячего дутья после каждого ВН следует установить по термопаре, с помощью которой эти характеристики можно получить без трудоемкого их снятия посредством штатной термопары, установленной перед печью после смесителя (который при этом закрыт) с подачей в дутье водяного пара-компенсатора.

Выводы. САР тепловой работы доменных воздухонагревателей необходимо дополнить САР:

- общей тепловой мощности блока ВН и каждого ВН в отдельности;
- горения (соотношения газ-воздух), например, с коррекцией по содержанию СО и О<sub>2</sub> в отходящем дыме ВН;
- длительностей периодов работы ВН;
- теплоты сгорания топливной смеси (или температур подогрева компонентов горения).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грес Л.П. Высокоэффективный нагрев доменного дутья. Монография. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 492 с.
2. Л.П. Грес, Т.В. Самойленко, Ю.М. Флейшман. Исследование влияния длительности периодов работы доменных воздухонагревателей на эффективность нагрева дутья. Сб. трудов НМетАУ, Metallургическая теплотехника, том 4. – Днепропетровск, 2008. – С. 118-128.

Получено 18.01.2011г.