

# СТАБИЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ЧАСТИЧНОЙ ИЛИ ПОЛНОЙ ЗАМЕНЕ ОСНОВНОГО ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

Бойко И.И.

Государственная металлургическая академия Украины

В процессе текущей эксплуатации различных нагревательных устройств, в том числе печей предприятий черной металлургии, иногда возникает необходимость в частичной или полной замене первичного газообразного топлива на резервное в связи с недостатком первичного топлива или по каким-либо техническим причинам.

Основные условия, которые должны быть выполнены при указанной замене топлива и одновременном обеспечении постоянства производительности печи, определяются уравнением теплового баланса работы печи, которое удобно записать в данной задаче относительно производительности:

$$G_{\text{печ}} = \frac{M_o \cdot \eta - \Sigma Q_{\text{пот}}}{\Delta i}, \quad (1)$$

где:  $G_{\text{печ}}$  [кг/с] - производительность печи;

$M_o$  [кВт] - общая тепловая мощность печи, которая через расход топлива на печь  $V$  [м<sup>3</sup>/с] может быть определена

$$M_o = Q_n^p \cdot V, \quad (2)$$

$Q_n^p$  [кДж/м<sup>3</sup>] - теплота сгорания используемого на печи топлива;

$\eta$  - коэффициент использования тепла (топлива);

$\Sigma Q_{\text{пот}}$  [кВт] - тепловые потери печи за единицу времени;

$\Delta i$  [кДж/кг] - тепловой дефицит нагреваемых изделий.

Анализ выражения (1) показывает, что если величины  $\eta$ ,  $\Sigma Q_{\text{пот}}$  и  $\Delta i$  в процессе работы печи считать неизменными, а они в действительности изменяются незначительно, то для обеспечения постоянства производительности печи  $G_{\text{печ}} = \text{const}$  при различных изменениях топлива достаточно выполнить условие

$$M_o = \text{const}, \text{ т. е.} \quad (3)$$

$$M_{o1} = M_{o\text{см.}}$$

Индексом "1" обозначены параметры первичного, основного топлива (например - коксового газа); индексами "2" и "3" - параметры газов, составляющих резервное топливо (например, "2" - природный, "3" - доменный газы); индексом "см" - параметры образующейся тройной газовой смеси (например, коксо- природно-доменной смеси).

Основное условие задачи (3) запишем в расширенном виде

$$Q_{n1}^p \cdot V_1 = Q_{n\text{см.}}^p \cdot V_{\text{см}} \quad (3')$$

Следует заметить, что для обеспечения постоянства аэродинамических характеристик подводящих газопроводов и горелочных устройств при замене топлива необходимо обеспечить постоянство перепада давления  $\Delta P_{\text{диаф.}}$  на измерительной диафрагме газопровода печи, т.е. необходимо выполнить еще одно условие

$$\Delta P_{\text{диаф.}} = \text{const} \quad (4)$$

Для принятых условий задачи составлена система исходных уравнений:

$$\begin{cases} a_i \cdot x_1^2 + [2a_i \cdot (1 - a_j \cdot y) + b_i] \cdot x_1 + [(1 - a_i \cdot y)^2 - 1 - b_i \cdot y] = 0; \\ y = 1 - (1 - y_1) \cdot \sqrt{\rho_{\text{см.}} / \rho_1}; \end{cases} \quad (5)$$

$y_1$  - объемная доля заменяемого первичного газа от общего (начального) объема (расхода) первичного газа;

$y$  - объемная доля добавляемой (двойной) смеси в объеме получаемой общей (тройной) смеси;

$x_1$  - объемная доля первого добавляемого газа (в данном случае - природного) в общей (тройной) смеси;

$Q_{H_1}^P; Q_{H_2}^P; Q_{H_3}^P; \rho_1; \rho_2; \rho_3$  - теплоты сгорания и плотности соответствующих газов, т.е. известные исходные данные;

$a_i; a_j; b_i; b_j$  - некоторые комплексы, составленные из постоянных исходных величин  $Q_{H_i}^P$  и  $\rho_i$ .

Получено общее решение исходной системы уравнений в виде аналитических функций, имеющих громоздкий вид, в связи с чем приводим их только в общем, а не в конкретном виде:

$$x_1 = f \cdot (y_1; y; \text{исх. величины}), \quad (6)$$

$$y = f \cdot (y_1; \text{исх. величины}). \quad (7)$$

Используя полученные решения, выполним пример расчета замены топлива для конкретной (методической) печи завода им.Петровского.

Исходные данные:

первичный газ - коксовый;

добавляемая смесь - природнодоменная;

$\rho_1 = 0,46 \text{ кг/м}^3; \rho_2 = 0,79 \text{ кг/м}^3; \rho_3 = 1,25 \text{ кг/м}^3;$

$Q_{H_1}^P = 16000 \text{ КДж/м}^3; Q_{H_2}^P = 37528; Q_{H_3}^P = 3750.$

Основное условие задачи:

$$M_0 = (Q_H^P / \sqrt{\rho}) \cdot A = \text{const} \quad (8)$$

где

$$A = f_{\text{диаф.}} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P_{\text{диаф.}}} = \text{const}, \quad (9)$$

$f_{\text{диаф.}}$  - проходное сечение измерительной диафрагмы на общем газопроводе.

Задачу решим для некоторых характерных случаев недостачи исходного первичного газа.

1.  $y_1 = 0$  - работа печи только на первичном, т.е. коксовом газе.

В результате решения выражений (6) и (7) получаем:

$$y = 0; x_1 = 0; \rho_{\text{см}} = \rho_1; Q_{H_{\text{см}}}^P = Q_{H_1}^P; Q_{H_{\text{см}2}}^P = 0;$$

$$M_{01} = (Q_{H1}^p / \sqrt{\rho_1}) \cdot A = 23094 \cdot A.$$

Параметры, обозначаемые индексом "см<sub>2</sub>" относятся к добавляемой (двойной) смеси газов.

2. Задаемся  $y_1 = 0,1$ .

В результате решения получаем:

$$y = 0,06875; x_1 = 0,041379; \rho_{см} = 0,5139;$$

$$Q_{см} = 16555,5; Q_{см2} = 24079;$$

$$M_{осм} = 23094 \cdot A.$$

3. Задаемся  $y_1 = 0,5$ .

В результате решения получаем:

$$y = 0,40405; x_1 = 0,2374; \rho_{см} = 0,681899;$$

$$Q_{см} = 19070,4; Q_{см2} = 23599;$$

$$M_{осм} = 23094 \cdot A.$$

4. Задаемся  $y_1 = 1$ ;

- работа печи только на резервной природнодоменной смеси, т.е. при полной замене исходного кокосового газа.

В результате решения получаем:

$$y = 1; x_1 = 0,5687; \rho_{см} = 0,9884; Q_{см2} = 22960;$$

$$M_{осм} = 23094 \cdot A.$$

Наиболее важные результаты расчета представим на графике (рис. 1).

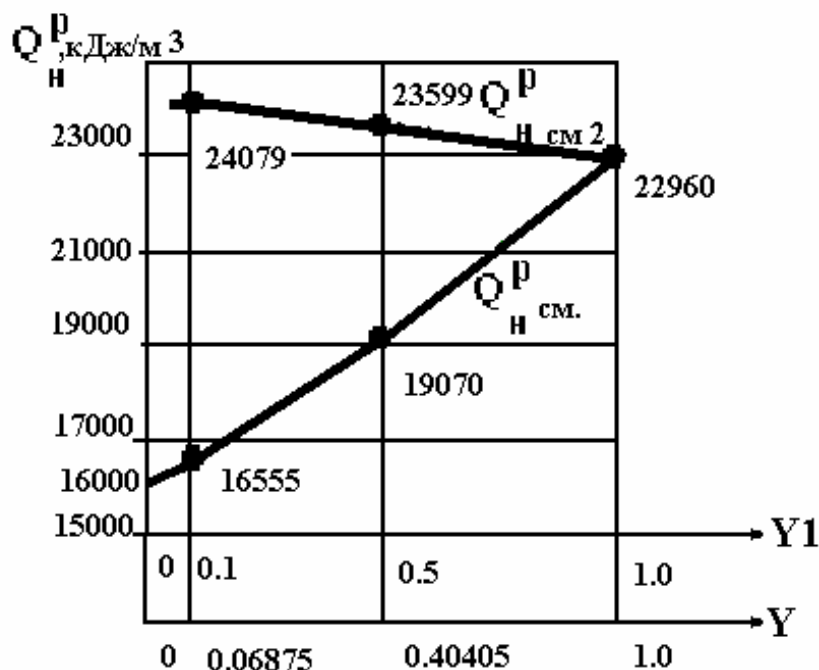


Рис.1.  $Q_{H см.}^p$  - теплота сгорания общей (тройной) смеси;

$Q_{H см.2}^p$  - теплота сгорания добавляемой (двойной) смеси;

$Y_1$  - доля заменяемого первичного газа от начального объема первичного газа;

$Y$  - доля добавляемой, двойной смеси в объеме получаемой тройной смеси;

При полной замене топлива ( $y_1 = 1$ ;  $y = 1$ ) для решения задачи используется только первое уравнение исходной системы (5), т.к. второе уравнение в этом случае тождественно превращается в ноль.

При реальной работе печей и переходе их частично или полностью с одного топлива на другое некоторому изменению подвергаются такие параметры, как коэффициент рекуперации тепла  $\eta_f$  и коэффициент использования тепла топлива  $\eta$ .

Для этого случая была поставлена и решена аналогичная задача, основным условием в которой, вытекающим из уравнения теплового баланса печи, является равенство комплексов

$$M_{01} \cdot \eta_1 = M_{0\text{см}} \cdot \eta_{\text{см}} \quad (10)$$

При определении по полученным решениям величин  $x_1$  и  $y$  кроме ранее указанных факторов учитывается еще изменение при замене топлива величины  $\eta$ , которая, в свою очередь, зависит от изменения величины  $\eta_f$  и  $t_{\text{д.ух.}}$ , т.е. температуры уходящего дыма из рабочего пространства печи.

Конкретные расчеты показывают, что результаты первой и второй задач мало отличаются друг от друга.

Основной вывод: при частичной замене первичного топлива теплоты сгорания как добавляемой двойной смеси, так и образующейся тройной смеси не являются постоянными, а зависят от доли заменяемого первичного топлива и легко могут быть определены по полученным решениям, представляющим собой конкретные аналитические функции.

#### Литература

1. Тайц Н.Ю., Розенгарт Ю.И. Методические нагревательные печи. М., Metallurgizdat, 1964.
2. Григорьев В.Н. Повышение эффективности использования топлива в промышленных печах. М., Metallurgiya, 1987.
3. Возможности замещения различных видов топлива в металлургии. Michalowski V., - "Wifd. Hutu", 1980, 36, № 5, 140-142.
4. Бойко И.И. и др. Анализ особенностей тепловой работы нагревательных печей при замене газового топлива. Промышленная теплотехника, № 8, М., Энергоатомиздат, 1988.