

**Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, А.В. Николенко, канд. техн. наук,  
В.В. Степкин**

(Украина, Днепропетровск, Национальная металлургическая академия)

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ПОЗИЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Как известно основой моделирования любых технологических объектов является их обобщенное представление. Сущность моделирования заключается в замене реальной системы и ее элементов моделью, которая находится с ними в некотором соответствии, и способна воспроизводить свойства и характеристики реальной системы, т.е. эффективно решать все основные задачи экспериментального исследования.

В работе [1] математическая модель печи разделена на расчетные модели: модель радиационного теплообмена в рабочем пространстве печи и модель нагрева металла. Также в модель включены выражения для расчета процесса горения, определения расхода топлива и т.д. Работы [2, 3, 4, 5] являются отдельными частями математической модели методической печи и полностью описывают процессы, происходящие в методической печи. Особенностью данной модели есть то, что она предусматривает перевод печи из одного типа топлива на другой (природный газ на обогащенный доменный и наоборот).

**Цель работы:** Основной задачей созданной классической модели методической печи является проведение на ней экспериментов, которые сложно реализовать на реальном объекте.

### **Изложение материалов и результатов работы.**

На основании такой модели можно составить имитационную структуру (алгоритм) представляющий собой преобразование входных переменных  $\bar{X}$  и  $\bar{Z}$  в выходные  $\bar{Y}$ , вида:

$$\bar{Y} = A(\bar{X}, \bar{Z}, \bar{B}) \quad (1)$$

где  $A$  – нелинейный векторный оператор, структура которого определяется в процессе моделирования;

Здесь в качестве выходной переменной  $\bar{Y}$  выбран такой важный технико-экономический показатель, характеризующий работу методической печи, как расход топлива [5].

Конструктивными параметрами методической печи являются: размеры длин зон печи  $m_L [i]$ ; геометрические размеры по сечению печи (ширина  $B_i$  и высота  $H_i$  рабочего пространства зон печи) [3]; геометрические размеры нагреваемых слябов  $S_r, M_r$  [4]; размеры загрузочного и разгрузочного окон печи  $L_{загр}, H_{загр}, L_{разг}, H_{разг}$ ; размеры люков для удаления окалины  $L_{люк}, H_{люк}$ ; размеры инспекционных люков  $L_{инсп}, H_{инсп}$ ; толщина кладки стен печи  $S_{ст}$ ; толщина

кладки свода и пода печи  $S_{св}, S_{п}$ ; толщина кладки инспекционных люков и люков для удаления окалины  $S_{инсп}, S_{люк}$  [5].

Выходная переменная  $\bar{Y}$  формируется на базе таких параметров как: температура от датчиков боковых стен печи (WEST и EAST)  $m_{t_E} [1], m_{t_W} [1]$  [2]; температура от датчиков свода печи  $m_{t_b} [i]$  [3]; температура поверхности металла со стороны загрузки и разгрузки  $m_{t_m} [j] = [m_{t_m} [1]; m_{t_m} [2]]$  [3]; температура окружающей среды  $t_b$  [5]; время, в течение которого открыты загрузочное или разгрузочное окна  $\psi_{загр}, \psi_{разгр}$  [5]; время нагрева металла по зонам печи и общее время  $\tau$  [4]; производительность печи  $G$  [5]; массивы химического состава энергоносителей:  $m_{п} [i]$  - природного газа,  $m_{д} [i]$  - доменного и  $m_{од} [i]$  - обогащенного доменного [2]; эмпирические коэффициенты (коэффициент расхода воздуха  $n$ , пирометрический коэффициент горения  $\eta_{пир}$ , коэффициент объемного содержания  $N_2$  и  $O_2$  в дутье  $k$ ) [2]; минимальная теплота сгорания обогащенного доменного газа  $Q_{нмод}^p$  [2]; массив плотностей компонентов энергоносителей  $m_p [i]$  [2]; массив зависимостей энтальпий продуктов сгорания  $m_{iCO_2} [j], m_{iN_2} [j], m_{iO_2} [j], m_{iH_2O} [j], m_{iB} [j]$  и воздуха от температуры  $m_{t_{пс}} [j]$  [2]; численные значения парциального давления  $CO_2$  и  $H_2O$  [3]; эмпирические коэффициенты (коэффициент несимметричности двухстороннего нагрева  $\mu$ ; теплоемкость окалины  $C_{ок}$ ; количество окалины  $Fe_3O_4$ , образующейся при окислении 1 кг железа  $Fe$   $m$ ; угар металла  $\delta$ ) [4]; массив табличных коэффициентов для расчета нагрева металла  $m_{B_i} [k], m_{\delta^2} [k], m_p [k], m_M [k], m_N [k]$  [4]; массив зависимости тепловых потерь с охлаждающей водой (для зон подогрева, нагрева 1, нагрева 2 и томильной  $m_{q_1} [j]$ , для рекуперативной зоны  $m_{q_2} [j]$ ) от температуры  $m_{t_q} [j]$  по зонам печи [5].

Кроме того, модель позволяет рассчитывать такие важные параметры как: расход кислорода на горение  $V_{O_2}$  [2]; расход воздуха  $V_b$  [2]; объемы компонентов продуктов сгорания  $V_{CO_2}, V_{H_2O}, V_{N_2}, V_{O_2}$  [2]; действительную температуры продуктов сгорания  $t_{дi}$ , где  $i$  – номер зоны печи [2]; приведенный коэффициент излучения от газа и кладки на металл  $\sigma_i$ , где  $i$  – номер зоны печи [3]; температура металла в конце томильной зоны  $t_{ср.т}$  [4]; продолжительность нагрева в томильной  $\tau_t$  [4] и остальных зонах печи; температура внутренней поверхности кладки печи  $T_{кл.i}$ , где  $i$  – номер зоны печи (формула 3 [5]); потери тепла теплопроводностью через кладку печи  $Q_{5кл.i}$  [5], потери тепла излучением через загрузочное и разгрузочное окна печи  $Q_{5изл.загр}, Q_{5изл.разгр}$  [5]; потери тепла с охлаждающей водой  $Q_{5охл.i}$  [5]; тепло затраченное на нагрев металла  $Q_{ji}$  [5] и т.д.; полезная тепловая мощность  $M_{пол.i}$  [5]; мощность холостого хода печи  $M_{ххи}$

[5]; часовой расход топлива по зонам печи  $B_i$  [5]; общий коэффициент полезного действия печи  $\eta_{п}$  [5].

С позиции управления и согласно выражению (1) модель методической печи примет вид, представленный на рис.1

Основными ограничениями на данную модель есть:

- 1) перепад температуры по сечению сляба в конце зоны нагрева  $\Delta t \leq 50^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) температура металла в конце нагрева  $m_t \leq 1250^{\circ}\text{C}$ .

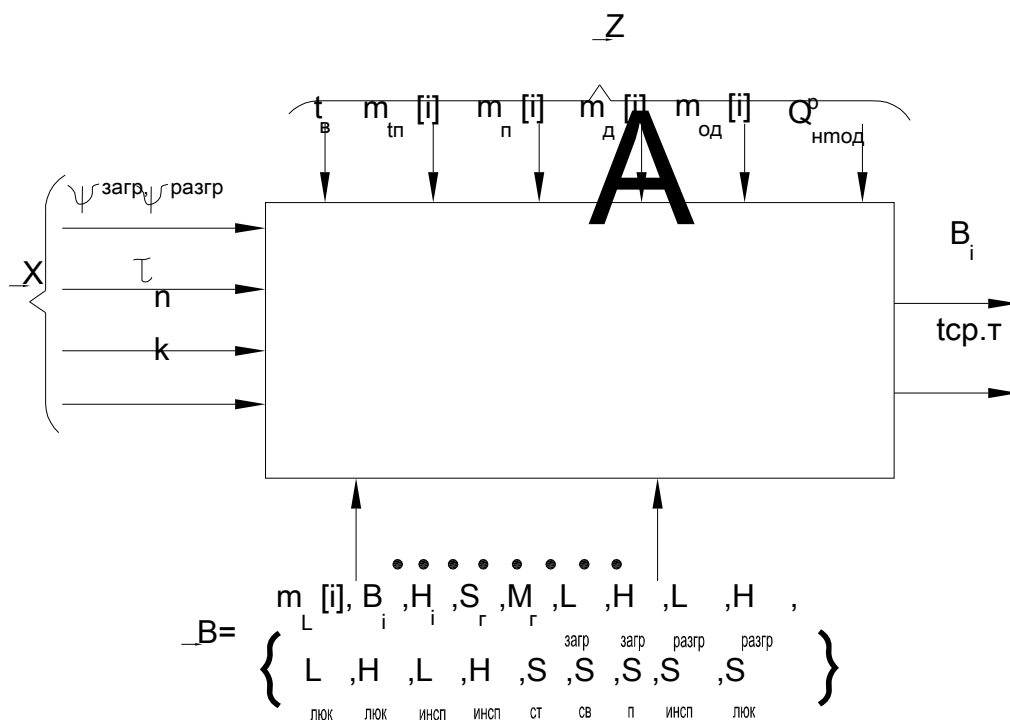


Рис. 1 – Математическая модель методической печи для задач управления

### Выводы:

В результате проделанной работы была получена математическая модель методической печи, основным назначением которой есть проведение на ней экспериментов.

### Список литературы

1. Бровкин В.Л., Вехник В.А. Математическая модель тепловой работы проходных печей // Gospodarka cieplna i eksploatacja pieców przemysłowych: VI Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna. – Poraj k. Częstochowy, Polska, 7-10.X.1998. –S.47-54.
2. Алгоритм расчета процесса горения топлива методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // НМетАУ, Теория и практика металлургии. – 2007. - №2 62-65с.
3. Расчет внешнего теплообмена в рабочем пространстве методической печи. / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // НМетАУ Теория и практика металлургии. – 2007. - №3 – 65-68 с.
4. Моделирование процесса нагрева металла в методической печи./ Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин //ХПИ, Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2007. - №2 – с.74-76.

5. Алгоритм расчета теплового баланса методической печи. / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин //ЗГИА, Metallургия. Сборник научных трудов – 2007. - №2 21-23 с.