

О МОДЕЛИРОВАНИИ РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ПОЗИЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Введение

Рудовосстановительная печь представляет собой сложный по устройству технологический объект прямого нагрева. Тепловая энергия выделяется непосредственно в ванне в результате активного сопротивления расплава электрическому току. Энергия к объекту подводится посредством графитированных электродов. Область применения рудовосстановительных печей довольно широка, они используются при производстве ферросплавов, а так же электрокорунда нормального.

В качестве основных показателей эффективности работы электропечной установки используются её производительность и удельный расход электроэнергии на тонну получаемой продукции. Разрабатываемая математическая модель должна адекватно отражать основные особенности и свойства реального объекта, которые проявляются в процессе его функционирования.

Постановка задачи

Целью разработки является получение математической модели, пригодной для проведения на ней вычислительных экспериментов, а также синтеза алгоритма управления процессом производства электрокорунда нормального.

Изложение материалов и результатов

Математическая модель разрабатывалась применительно к печи РКО-10,5, которая используется на ОАО «Запорожский абразивный комбинат». С позиции управления модель рассматриваемой печи может быть представлена зависимостью вида

$$Y_i = f(X_i, X_{i-1}, \dots, X_0; F_i, F_{i-1}, \dots, F_0, K), \quad (1)$$

где f – нелинейный векторный оператор, структура которого определяется в процессе моделирования; $i = \overline{1; N}$ – дискретные моменты времени на интервале плавки; X – изменяемые (управляющие) переменные; F – возмущающие переменные; K – конструктивные параметры; Y – выходные переменные.

К конструктивным параметрам рудовосстановительной печи можно отнести следующие: $D_{эл}, H_{эл}$ – диаметр и высота электрода; D_B, H_B – диаметр и глубина ванны печи.

Основными возмущениями, действующими на печь, являются: $R_{ш}$ – изменение шихтовки агломерата, вследствие некачественной работы аглофабрики, а так же изменение источника сырья (месторождения Гвинеи, Греции, Югославии); скачкообразное изменение сопротивления ванны R_B в результате обва-

лов шихты либо шуровки расплава; $P_{огр}$ – ограничение мощности печи в часы пиковых нагрузок.

В качестве выходной переменной процесса производства электрокорунда нормального используется такой параметр как Got – готовность расплава к сливу [1]:

$$Got_0 = \frac{W - Q_{tek}}{W - Q_T} \cdot 100\%, \quad \text{при } Got_0 \in (0;70); \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} Got_1 &= b_1 + \left(\frac{W - Q_{tek} \cdot 100}{W - Q_T} - b_1 \right) \cdot \frac{K_{Ti}(T)}{K_{Ti}tek}; \\ Got_2 &= b_2 + \left(\frac{W - Q_{tek} \cdot 100}{W - Q_T} - b_2 \right) \cdot \frac{K_{Ti}(T)}{K_{Ti}tek}; \\ &\dots\dots\dots \\ Got_N &= b_N + \left(\frac{W - Q_{tek} \cdot 100}{W - Q_T} - b_N \right) \cdot \frac{K_{Ti}(T)}{K_{Ti}tek} \end{aligned} \right\} \text{при } Got_N \in (70;100), \quad (3)$$

где $b_N \in (70;100)$ – значения диапазонов контроля Got_N ; N – количество диапазонов.

Здесь $W - Q_T, K_{Ti}(T)$ – константы, характеризующие удельный расход электроэнергии и концентрацию титана в момент готовности расплава; $K_{Ti}tek$ – текущая концентрация титана в расплаве; $W - Q_{tek}$ – удельный расход электроэнергии на тонну загруженной шихты.

Рассмотренный удельный расход электроэнергии определяется как

$$W - Q = \frac{W_a}{G}, \quad (4)$$

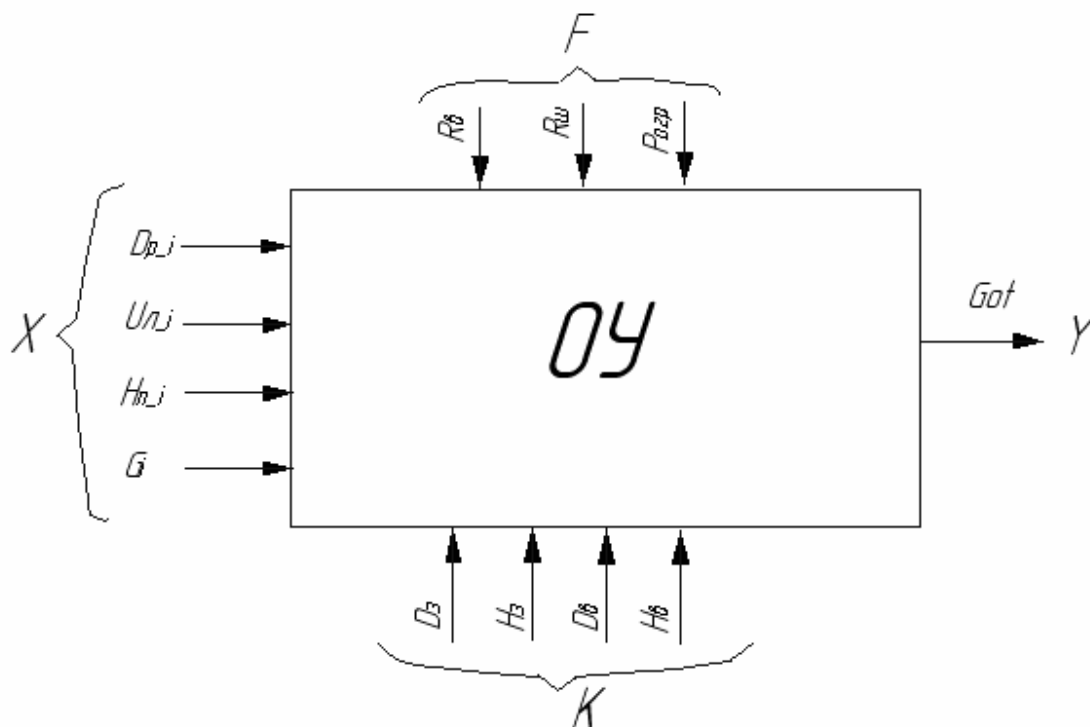
где G – вес шихты на плавку (1-й тип плавки – 36т, 2-й и 3-й тип плавки – 26т.)
Здесь W_a – вводимая в печь активная энергия, которая определяется из выражения:

$$W_a = P_a \Delta t = I^2 z \Delta t = I^2 \sqrt{r_g^2 + x_g^2} \Delta t, \quad (5)$$

где r_g, x_g – активное и реактивное сопротивление ванны печи.

Очевидно, что r_g, x_g – параметры, зависящие от объемного распределения удельных электропроводностей расплава, изменяющихся в процессе плавки.

Согласно выражению (1) с позиции управления математическая модель рудовосстановительной печи примет вид представленный на рис. 1.



Математическая модель рудовосстановительной печи с позиции управления

На рисунке изменяемые (управляющие) переменные: D_p – диаметр распада электродов; H_{II} – глубина погружения электрода в расплав; U_{II} – линейное питающее напряжение трехфазной сети, изменяемое за счет переключения ступени трансформатора.

Очевидно, что представленная динамическая модель рудовосстановительной печи может быть синтезирована только на основе теории поля. В настоящее время известны такие математические модели, разработанные с использованием метода вторичных источников [2, 3]. Решающее преимущество указанного метода состоит в возможности построения универсальных и эффективных численных алгоритмов расчета полей, ориентированных на применение ЭВМ и пригодных для неоднородных сред и сложных форм границ их раздела.

На основании данного метода, а также на предварительных наработках в других областях с использованием метода вторичных источников [4] авторами статьи разработана трехмерная модель печи, позволяющая рассчитывать мгновенную активную мощность, температуру в каждой отдельной ячейке объема ванны, S_j – поверхностную плотность заряда в j -й ячейке; E_j – напряженность поля в j -й ячейке.

Учитывая особенности метода вторичных источников, осуществлено количественное разбиение ванны печи по радиусу $r_{jв}$, углу $\beta_{jв}$, высоте $z_{jв}$ и электрода $r_{jэ}$, $\beta_{jэ}$, $z_{jэ}$.

Зная распределение активной мощности и температуры по объему ванны, можно скорректировать указанные выше управляющие воздействия с целью дополнительного прогрева нужной зоны печи. Полученная математическая мо-

дель включает в себя все основные технологические и конструктивные параметры, а так же управляющие и возмущающие воздействия, и может быть использована в задачах вычислительных исследований.

Выводы

Разработанная математическая модель рудовосстановительной печи пригодна для использования при проведении вычислительных исследований по определению оптимального электрического режима печи, оптимального распада электродов, определению наиболее эффективного алгоритма управления печью с целью минимизации затрат электроэнергии на плавку.

Список литературы

1. Терновой Ю.Ф., Попов В.В., Мных А.С. Оперативный расчет готовности расплава в задаче терминального управления производством электрокорунда нормального // Сб. науч. тр. Кировоград. нац. техн. ун-та. – 2007. – 19. – с. 176-180.
2. Ольдзиевский С.А., и др. Математическое моделирование электрических полей печей рудной электротермии. – М.: Metallurgia, 1990. – 113с.
3. Тозони О.В. Метод вторичных источников в электротехнике. – М.: Энергия, 1975. – 295с.
4. Качан Ю.Г., Левченко С.А. К расчету объемного распределения мощности в электрическом теплоаккумулирующем преобразователе // Интегрированные технологии и энергосбережение. Харьков. 2005. №2. с. 150-153