

численных методов. При этом наиболее подходящим является метод прямого численного моделирования, позволяющий детально отслеживать процессы, происходящие в слое материала.

#### Перечь ссылок

1. Автоматизация процесса обогащения углей на вибрационно–пневматическом сепараторе / Логинов В.А., Гавриленко Б.В / Автоматизация технологичних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць. ІХ науково–технічної конференції аспірантів та студентів в м. Донецьку 20–22 травня 2009 р.– Донецьк, ДонНТУ, 2009. – 207 с. (с. 126–128)
2. M.A. van der Hoef, M. van Sint Annaland, N.G. Deen, J.A.M. Kuipers. 2008. Numerical Simulation of Dense Gas-Solid Fluidized Beds: A Multiscale Modeling Strategy

УДК 62-932.2

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАГРЕВА СЛЯБОВ В ПЕЧИ

**Скоробогатова И.В., ассистент; Гавриленко Б.В., доцент, PhD**

*(Донецкий национальный технический университет, г. Донецьк, Украина)*

Процесс нагрева слябов в методической нагревательной печи (МНП) проходит в многомерной инерционной системе, для которой характерна нестационарность параметров математической модели нагрева металла, вызванная наличием ряда марок сталей с соответствующими теплофизическими свойствами. Изменение температуры в рабочем пространстве МНП, и соответственно температуры, усваиваемой материалом сляба, связано с изменением расхода теплоносителя.

Процесс тепловой обработки слябов в МНП представляет собой стохастическую систему с распределенными параметрами. Задача идентификации системы с распределенными параметрами относится к классу обратных задач теплопроводности. Для решения задач, возникающих при разработке системы управления нагревом заготовки металла, используют имитационные математические модели процесса нагрева слябов в реальном времени. При построении модели процесса тепловой обработки материала в задачах стохастического управления используют локальную идентификацию [3].

Процесс нагрева заготовки металла можно представить в виде многомерного многосвязного процесса (рис. 1).

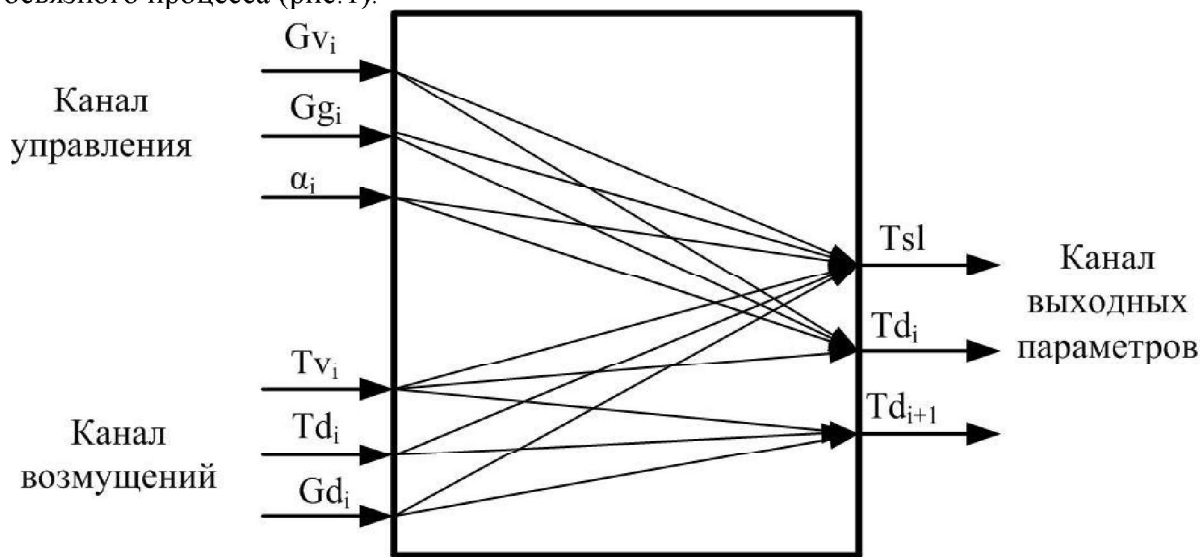


Рисунок 1 – Структурная схема МНП как объекта управления

Канал управления наблюдаемый и состоит из  $n$ -входов:  $U^T(n) = (Gv_i, Gg_i, \alpha_i), U \in R_1^n$ , где  $R_1^n$  – множество допустимых управлений.

Канал возмущения наблюдаемый  $F^T(n) = (Tv_i, Gd_i, Td_i), F \in R_2^n$ , где  $R_2^n$  – множество допустимых возмущений, в ряд факторов которого входят переменные: расход и температура дымовых газов, которые непосредственно оказывают возмущающие воздействия при переходе слябов из томильной зоны в сварочную зону МНП.

В общем виде выход объекта управления является вектором наблюдения  $Y^T(n) = (Tsl_i, Td_i), Y \in R_3^n$ , где  $R_3^n$  – множество допустимых выходов. Управляющими переменными являются расход природного газа  $Gg_i$ , расход воздуха  $Gv_i$ , коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ .

Режим работы МНП характеризуется выходными параметрами: температура, усвоенная материалом сляба  $Tsl$ , температура дымовых газов  $Td_i$  и температура в зоне МНП.

Структурная схема системы управления процессом нагрева слябов в МНП приведена на рисунке 2 [1].

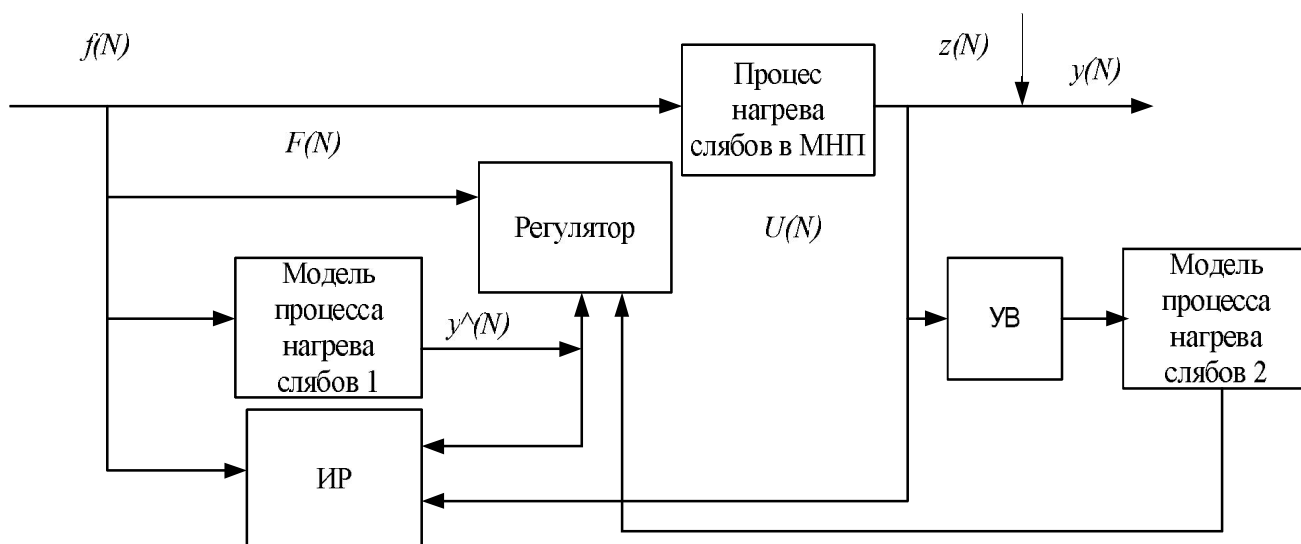


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления процессом нагрева слябов в МНП

На рисунке 2 приведены следующие обозначения: ИР – идентификатор; УВ – управляющее воздействие.

Описание МНП можно свести к виду разностного стохастического уравнения относительно коэффициентов уравнения  $b_i(N), c_j(N), i=1,m, j=1,n$ :

$$y(N) = \sum_{i=1}^m b_i(N) f_i(N) + \sum_{j=1}^n c_j(N) y_j(N-j) + \sum_{k=1}^p a_k(N) u(N-k) + z(N), \quad (1)$$

где  $N$  – дискретное время,  $N = \tau_{sl} / t$ ;  $\tau_{sl}$  – реальное время нагрева заготовки металла;  $t$  – интервал дискретизации;  $z(N)$  – шумы, которые действуют на МНП. Шумы, действующие на работу МНП являются взаимонезависимыми.

После построения модели МНП, управление производится на основе полученной информации в период обучения и текущей информации, которая была получена при наблюдении входов и выходов многомерного объекта:

$$U(N) = Q(F(N), y(N)), \quad (2)$$

где  $Q$  – закон управления нагревом заготовок металла в МНП.

Начало этапа обучения определяется началом загрузки слитков в МНП, а управление адаптивной системы происходит в процессе тепловой обработки материала. Для каждой марки стали коэффициенты  $b_i(N)$ ,  $c_j(N)$  имеют стохастический характер. То есть амплитуда ненаблюдаемых коэффициентов также случайна и устанавливается на протяжении времени нагрева  $T_{sl}$  для каждой партии заготовок. Следовательно, имеется возможность подстраивать коэффициенты модели нагрева заготовки при помощи внутреннего контура управления (рис.2).

Амплитуда изменения коэффициентов имеет вид:

$$\begin{cases} c_j(N+1) - c_j(N) = \beta_j(N); \\ b_i(N+1) - b_i(N) = \delta_i(N); \\ \beta_j(N), \delta_i(N), N \in (0,1) \end{cases} \quad (3)$$

Отметим, что разброс коэффициентов изменяется в зависимости от марки стали. При контроле качества заготовки металла допускается стационарность дисперсии коэффициентов.

Тогда уравнение работы МНП в соответствии с (1) примет вид:

$$y(N) = \sum_{i=1}^m b_i(N) f_i(N) + \sum_{j=1}^n c_j(N) y_j(N-j) + z(N) \quad (4)$$

Уравнение (4) можно записать в векторной форме:

$$y(N) = X^T(N)Q(N), \quad (5)$$

где  $X^T(N) = (b_1(N) \dots b_i(N), c_1(N) \dots c_j(N))$  – оцениваемый вектор коэффициентов МНП.

При изменении сортамента стали используют прогнозные модели [2]:

$$y^{\wedge}(N) = M^T(N-1)Q^{\wedge}(N), \quad (6)$$

где  $M^T(N-1) = (b_1(N-1) \dots b_i(N-1), c_1(N-1) \dots c_j(N-1))$  – вектор коэффициентов модели нагрева слябов в МНП;

$Q^{\wedge}(N)$  – вход модели МНП;

$y^{\wedge}(N)$  – оценка выхода МНП.

Критерий качества нагрева слябов на выходе МНП, используемый в системе управления (рис. 2), не учитывает всех составляющих заготовки на выходе из томильной зоны МНП и должен учитываться на ранних этапах технологическим. Таким образом, в адаптивной системе управления этот недостаток должен учитываться внешним контуром.

#### Перечень ссылок

1. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер с англ. И. М. Макарова – М.: Мир, 1984. – 541с., ил.
2. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построение моделей производства. – М.: Энергия, 1975. – 172 с.
3. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления: Питер, 2004. – 256с.:ил.

## ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

**Петрова Е.Э., магистр; Приходченко Б.В., аспирант; Тарасюк В.П., доц., к.т.н.**  
(Донецкий национальный технический университет, г.Донецк, Украина)

*В статье рассмотрены особенности протекания биологического этапа технологического процесса очистки сточных вод в аэротенках. Предложено использовать нейронную сеть с*