

УДК 62-503.57

ГАВРИЛЕНКО Б.В., к.т.н., доцент (ДонНТУ);
СКОРОБОГАТОВА И.В., ассистент, (ДонНТУ).

Реструктуризация системы управления процессом тепловой обработки слябов в методической печи

Общая постановка проблемы

Качество продукции и производительность прокатных станов определяются работой методических нагревательных печей (МНП).

Система управления процессом нагрева слябов в методической печи предназначена для обеспечения своевременного качественного и экономичного нагрева металла, сохранности кладки печи и оборудования, безопасности работы на печи и предотвращения аварий.

Качественный нагрев заготовки определяется минимально заданным перепадом температур по сечению заготовки при выбранной технологии прокатки. Равномерность нагрева сляба зависит от режима нагрева. Следовательно, для каждой марки стали устанавливают минимально допустимое время нагрева [4].

При одинаковых условиях нагрева и прокатки (при постоянных марках стали, геометрических размерах, скорости перемещения заготовок и производительности) задача управления температурным режимом методической печи сводится к автоматической стабилизации температур в отапливаемых зонах в зависимости от расхода топлива с помощью локальных систем автоматического регулирования, которыми оснащаются практически все печи данного типа.

На практике указанные параметры изменяются с течением времени. Изменение параметров требует своевременного изменения температурного режима. Таким образом, при перерывах в работе стана, слябы, перемещаясь по длине печи, нагре-

ваются неравномерно. Ошибки, возникающие при нагреве металла, приводят к снижению выхода качественной продукции и к перерасходу теплоносителя [6].

Таким образом, система управления тепловой обработки слябов в методической печи должна подстраивать температурный режим в зависимости от степени прогрева заготовки в каждой из зон МНП в реальном масштабе времени.

Постановка задачи исследования

Процесс нагрева слябов в методической нагревательной печи (МНП) проходит в многомерной инерционной системе, которая характеризуется не стационарностью параметров математической модели нагрева металла, вызванной наличием ряда марок сталей с соответствующими теплофизическими параметрами.

МНП характеризуется следующими свойствами: разбиением на три зоны (методическую, сварочную и томильную), распределением температуры по длине рабочего пространства, непрерывностью технологического процесса нагрева слябов [5].

Изменение температуры в рабочем пространстве МНП, и соответственно температуры, усваиваемой материалом сляба, связано с изменением расхода теплоносителя. Таким образом, МНП является объектом с распределенными параметрами.

Следовательно, возникает сложная задача поддержания заданной температуры каждой отдельной сляба, выходящего из печи независимо от изменения темпа стана, теплофизических параметров заготовок при изменении марок стали.

Процесс тепловой обработки слябов в МНП представляет собой стохастическую систему. Для решения задач, возникающих при разработке системы управления температурным режимом в нагревательной печи, используют имитационные математические модели процесса нагрева слябов в реальном времени. При построении модели процесса тепловой обработки материала в задачах стохастического управления используют локальную идентификацию.

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

Управляющими переменными являются расход природного газа Gg , расход

воздуха Gv , коэффициент избытка воздуха α , соотношение газ-воздух Gg / Gv .

На процесс нагрева заготовки оказывают влияние такие возмущающие параметры, как температура нагрева воздуха Tv , температура охлаждающей воды Tv^{oxl} , давление газа Pg и воздуха Pv соответственно [7].

Режим работы печи характеризуется следующими выходными параметрами: температурой нагрева сляба Tsl , температурой дымовых газов Td и давлением в зонах МНП Pz .

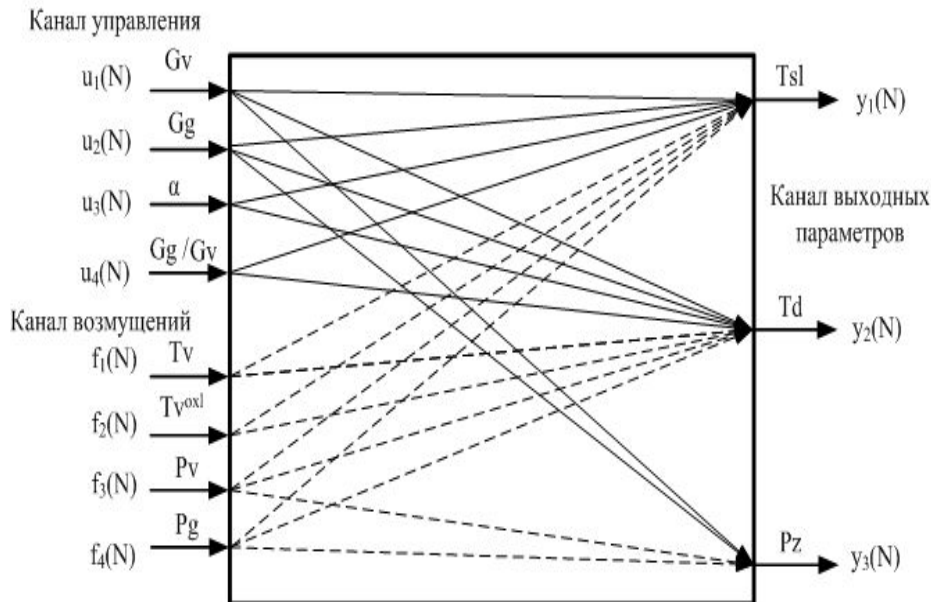


Рисунок 1. – Структурная схема МНП как объекта управления

Решение задачи и результаты исследования

Канал управления наблюдаемый и состоит из l - входов: $U^T(N) = (u_1(N), u_2(N), \dots, u_l(N))$, $U \in R_1^l$, где R_1^l – множество допустимых

управлений с неизвестными параметрами $a_i(N)$, $i = \overline{1, l}$, $l = 4$;

N – дискретное время, $N = \tau_{sl} / t$; τ_{sl} – реальное время нагрева заготовки металла; t – интервал дискретизации. Управ-

ляющие переменные процесса нагрева слябов в МНП:

$u_1(N)$ – расход природного газа Gg ;

$u_2(N)$ – расход воздуха Gv ;

$u_3(N)$ – коэффициент избытка воздуха α ;

$u_4(N)$ – соотношение газ - воздух Gg / Gv .

Канал возмущения является наблюдаемым и состоит из m -входов:

$$F^T(N) = (f_1(N), f_2(N), \dots, f_m(N)),$$

$$F \in R_2^m, \quad \text{где } R_2^m -$$

множество допустимых возмущений, которые оказывают возмущающие воздействия при переходе слябов из томильной зоны в сварочную зону МНП. Все параметры канала возмущения $b_j(N)$, $j = \overline{1, m}$, $m = 4$ считаются известными [6].

В общем виде выход объекта управления является вектором наблюдения

$$Y^T(N) = (y_1(N), y_2(N), \dots, y_k(N)),$$

$Y \in R_3^n$, где R_3^n – множество допустимых выходов с неизвестными параметрами $c_k(N)$, $k = \overline{1, n}$, $n = 3$. Управляемые переменные процесса нагрева слябов в методической печи:

$y_1(N)$ – температурой нагрева сляба Tsl ,

$y_2(N)$ – температурой дымовых газов Td ;

$y_3(N)$ – давлением в зонах МНП Pz .

Процесс нагрева заготовок металла в МНП можно свести к виду разностного стохастического уравнения относительно коэффициентов

$$b_j(N), \quad c_k(N), \quad j = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, n} :$$

$$y(N) = \sum_{j=1}^m b_j(N) f_j(N) + \sum_{i=1}^l a_i(N) u_i(N-i) + \sum_{k=1}^n c_k(N) y(N-k) + z(N), \quad (1)$$

где $z(N)$ – взаимонезависимые шумы, которые действуют на протекание технологического процесса в методической печи.

После построения модели процесса нагрева заготовок в методической печи, управление производится на основе полученной информации в период обучения и текущей информации, которая была получена при наблюдении входов и выходов многомерного объекта [2].

Разница между временем обучения и временем управления используется для оптимизации процесса тепловой обработки материала в реальном времени [1].

Систему управления нагревом слябов в методической печи можно представить в аналитической форме:

$$\begin{aligned} U(N) &= V(F(N), y(N)); \\ y(N) &= W_1(c_1(N), c_2(N), \dots, c_n(N), \\ &b_1(N), b_2(N), \dots, b_m(N), \\ &y(N-1), y(N-2), \dots, y(N-k), F(N)); \\ \hat{Y}(N) &= W_1(\hat{c}_1(N), \hat{c}_2(N), \dots, \hat{c}_n(N), \\ &\hat{b}_1(N), \hat{b}_2(N), \dots, \hat{b}_m(N), \\ &\hat{Y}(N-1), \hat{Y}(N-2), \dots, \hat{Y}(N-k), F(N)) \end{aligned} \quad (2)$$

где V – закон управления нагревом заготовок металла в МНП;

$Y(N)$ – выход модели нагрева слябов;

$\hat{Y}(N)$ – оценка выхода модели нагрева слябов.

Структурная схема системы управления процессом нагрева слябов в МНП приведена на рисунке 2 [3]. На рисунке 2 приняты следующие обозначения: ИР – идентификатор; УВ – управляющее воздействие.

Начало этапа обучения определяется началом загрузки слитков в печь, а управле-

ние системой происходит в процессе тепловой обработки материала заготовок. Для каждой марки стали коэффициенты $b_j(N)$, $c_k(N)$ имеют стохастический характер.

Амплитуда изменения коэффициентов в зависимости от изменения партии слябов имеет вид:

$$\begin{cases} c_k(N+1) - c_k(N) = \beta_k(N); \\ b_m(N+1) - b_m(N) = \delta_m(N); \\ N \in (0,1) \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, амплитуда ненаблюдаемых коэффициентов является случайной величиной и устанавливается на протяжении времени нагрева τ_{sl} для каждой партии слябов. При контроле качества заготовки металла допускается стационарность разброса коэффициентов. Следовательно, необходимо подстраивать коэффициенты модели нагрева заготовки $b_j(N)$, $c_k(N)$ при помощи внутреннего контура управления (рисунок 2).

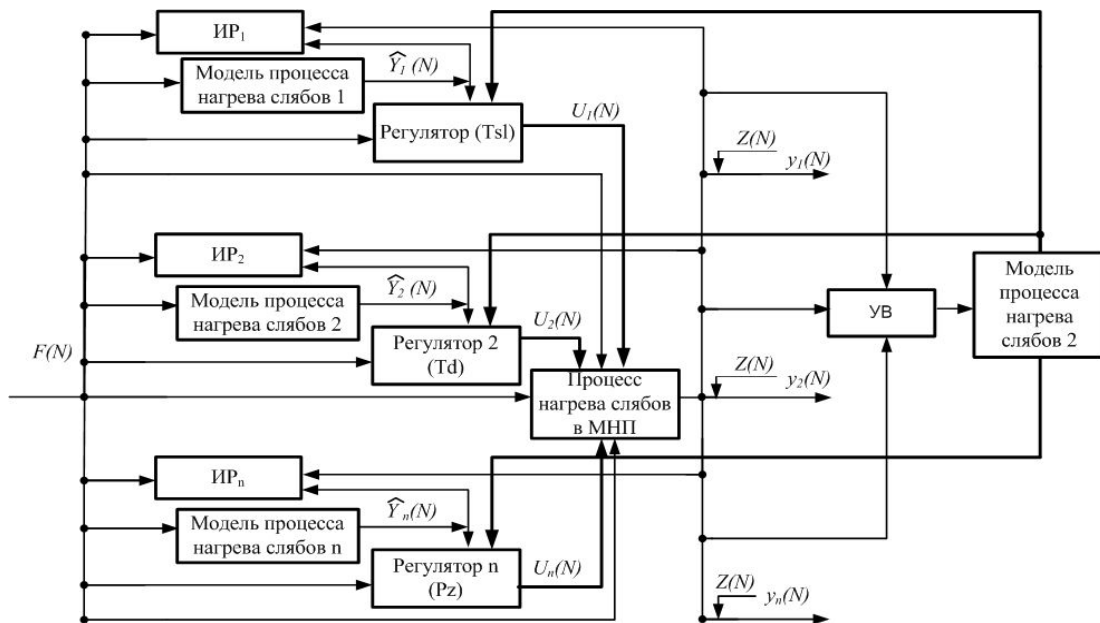


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления процессом нагрева слябов в МНП

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

$$y(N) = \sum_{j=1}^m b_j(N) f_j(N) + \sum_{k=1}^n c_k(N) y_k(N-k) + z(N) \quad (4)$$

Уравнение (4) в векторной форме примет следующий вид:

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

где $X^T(N) = (b_1(N) \dots b_m(N), c_1(N) \dots c_n(N))$ – оцениваемый вектор коэффициентов процесса нагрева металла.

Так как сортамент стали является переменной величиной, то допускается использование прогнозной модели вида:

$$\hat{Y}(N) = M^T(N-1) \hat{V}(N), \quad (6)$$

Список литературы

где $M^T(N-1) = (b_1(N-1)...b_m(N-1),$
 $c_1(N-1)...c_n(N-1)) -$

вектор коэффициентов модели нагрева
 слябов в МНП;

$\hat{V}(N)$ – оценка входа модели про-
 цесса нагрева заготовок.

При изменении теплофизических
 свойств заготовок выход модели процес-
 са управления нагревом слябов $y(N)$ и

прогнозируемой модели $\hat{Y}(N)$ оценива-
 ют при помощи уравнений (4) и (6) соот-
 ветственно при помощи имитационного
 моделирования, а неизвестные коэффи-
 циенты – при помощи алгоритма иденти-
 фикации.

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 учиты-
 ваться на ранних этапах технологом [2].
 Таким образом, в адаптивной системе
 управления этот недостаток должен учи-
 тываться внешним контуром.

Выводы

1. Рассмотрены основные факто-
 ры и параметры, влияющие на темпера-
 турный режим в методической нагрева-
 тельной печи.

2. Разработана структура систе-
 мы управления процессом нагрева слябов
 в каждой из зон печи

3. Двухконтурная система адап-
 тивного управления с управляющим воз-
 действием во внешнем контуре управле-
 ния соответствует требованиям процесс
 тепловой обработки слябов как много-
 мерного многосвязного объекта управле-
 ния.

1. Изерман Р. Цифровые системы управ-
 ления: Пер с англ. И. М. Макарова – М.: Мир,
 1984. – 541с., ил.

2. Райбман Н.С., Чадеев В.М. Построе-
 ние моделей производства. – М.: Энергия,
 1975. – 172 с.

3. Черноруцкий И.Г. Методы оптимиза-
 ции в теории управления: Питер, 2004. –
 256с.:ил.

4. Кривандин В. А. Теплотехника метал-
 лургического производства – М.: МИСИС,
 2002. – 736 с.

5. Липухин Ю. В, Булатов Ю. И. Авто-
 матизация основных металлургических про-
 цессов– М.: Металлургия, 1990. – 280 с.

6. Равич М.Б. Топливо и эффективность
 его использования. – М.: Наука, 1971. -358 с.

7. Розенгарт Ю. И., Потапов Б. Б. Тепло-
 обмен и тепловые режимы в промышленных
 печах– Киев, Донецк: Высшая школа, 1986. –
 296с.

Аннотации:

Keywords: continuous reheating furnace, parame-
 ters, control, system, quality.

The influence of basic factors and parameters dur-
 ing heating control of continuous reheating furnace (CRF)
 has been analyzed. The indispensability of re-structuring
 operating system for automatic control temperature modes
 of CRF has been shown.

Проанализировано влияние факторов и пара-
 метры при управлении процессом нагрева заготовок
 металла в методической нагревательной печи (МНП).
 Обоснована необходимость реструктуризации дейст-
 вующей системы автоматического управления tempera-
 турным режимом в МНП

Проаналізовано вплив основних чинників і па-
 раметри при управлінні процесом нагріву заготовок
 металу в методичній нагрівальній печі (МНП). Обгрун-
 товано необхідність реструктуризації діючої системи
 автоматичного керування температурним режимом в
 МНП.