

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

С.М. Андреев, А.М. Сайров

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»
Sairov85@mail.ru*

В технологических агрегатах и печах металлургического производства одновременно происходят несколько различных, но часто тесно взаимосвязанных высокотемпературных процессов. Поэтому при оптимизации управления такими отдельными процессами необходимо учитывать их взаимовлияние друг на друга, которое в реальных производственных условиях обычно проявляется в виде дрейфа (смещения) статической характеристики отдельного оптимизируемого процесса под действием технологических возмущений и случайных помех [1].

Актуальность оптимизации управления процессом сжигания топлива в рабочем пространстве нагревательной печи является минимизация удельного расхода топлива при безусловном выполнении всех принятых технологических требований и производственных показателей. Экспериментальная статическая характеристика процесса сжигания топлива в координатах «расход воздуха - температура» в рабочем пространстве методической печи представлена на рис. 1.

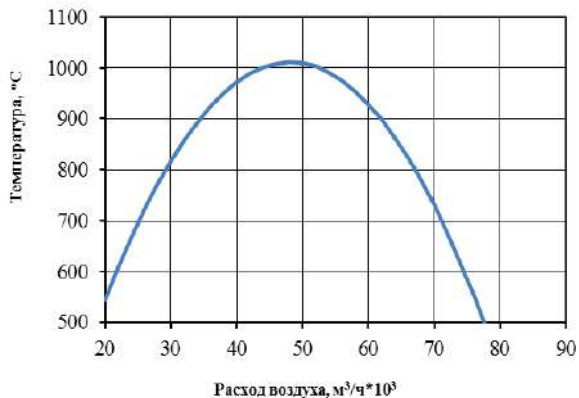


Рис. 1. Экспериментальная статическая характеристика процесса сжигания топлива

Процесс оптимизации управления заключается в том [3], что необходимо определить и поддерживать такую экстремальную стати-

ческую характеристику оптимизируемого процесса, которая соответствует минимально возможному текущему расходу топлива, и у которой экстремум будет практически равен заданному значению контролируемого параметра.

Для достижения этой цели в САО используется поисковый режим работы. Он заключается в следующем: для начала выбирается управляющее воздействие в случайном направлении, затем анализируется влияние этого воздействия на величину оптимизируемого параметра (в нашем случае это расход газа).

Если полученные изменения оптимизируемого параметра осуществлены в направлении приближения к цели (увеличивается при поиске максимума), то выбранное направление принимается верным. В случае если выбранное направление управляющего воздействия приводит к отдалению выходного параметра от цели, то изменение следует считать ошибочным и направление управляющего воздействия необходимо изменить на противоположное (произвести реверс ИМ).

Целью данной работы является программная реализация САО с запоминанием максимума скорости изменения выходного параметра и исследование ее работы в численном эксперименте. Структурная схема предлагаемой САО представлена на рис. 2.

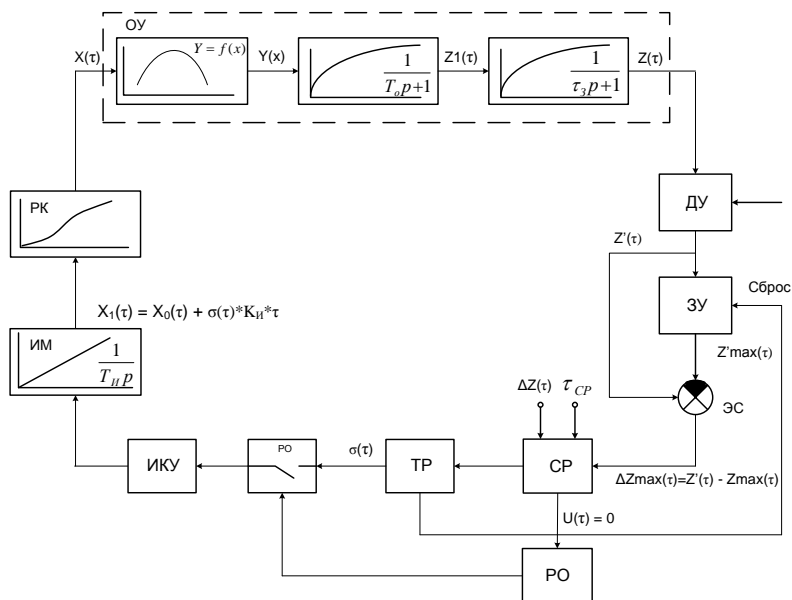


Рис. 2. Структурная схема системы экстремального регулирования

Объект управления представлен статическим звеном с экстремальной статической характеристикой $Y = f(x)$ и двумя инерционными звеньями с постоянными времени T_0 и T_3 .

Тогда математическую модель САУ можно представить в следующем виде. Выходная величина $Z(\tau)$ с ОУ подается на дифференцирующее устройство ДУ, которое на выходе формирует сигнал, пропорциональный первой производной от входного сигнала технологического параметра оптимизируемого процесса [3, 4]:

$$Z'(\tau) = \frac{T_D}{\Delta\tau} \cdot (Z_2(\tau) - Z_2(\tau)^{k-1})$$

где $Z_2(\tau)^{k-1}$ – сигнал на выходе инерционного звена в предыдущий момент времени.

Одновременно с выхода ДУ сигнал подается на запоминающее устройство ЗУ и на элемент сравнения ЭС. Запоминающее устройство СЭР данного вида запоминает только максимальное значение сигнала. На элементе сравнения ЭС формируется сигнал, пропорциональный разнице между текущим значением скорости изменения выходного сигнала $Z(\tau)$ и максимальным значением скорости выходного сигнала Z_{\max} , запомненным в прошедший момент времени, т.е. $\Delta Z(\tau) = Z(\tau) - Z_{\max}$. Сигнал разности $\Delta Z'(\tau)$ подается на вход сигнум-реле СР и сравнивается с величиной зоны нечувствительности ΔZ_H . На выходе СР формируется управляющий импульс $U(\tau)$, определяющий закономерность формирования текущего значения переключающей функции в соответствии с условием [4]:

$$\text{При } \frac{dZ}{d\tau} \geq 0 \quad U(\tau) = \begin{cases} +1, & \text{если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{II} - \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{MAX} + \Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_H > 0 \\ 0, & \text{если } \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{II} - \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{MAX} + \Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_H \leq 0 \end{cases}$$

$$\text{При } \frac{dZ}{d\tau} < 0 \quad U(\tau) = \left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_{II} + \Delta\left(\frac{dZ}{d\tau}\right)_H < 0$$

Импульс $U(\tau) = -1$ перебрасывает триггер реверса ТР и одновременно сбрасывает запомненное максимальное значение в ЗУ. В результате на выходе ЗУ устанавливается текущее значение скорости изменения выходного параметра ОУ.

ТР формирует сигнал $\sigma(\tau)$ переключающей функции, определяющей текущее направление изменения входного $X(\tau)$ в соответствии с условием:

При $U(\tau) = +1$ $\sigma_{\tau_i+1} = \sigma_{\tau_i}$ – выбранное направление изменения $X(\tau)$ сохранить;

При $U(\tau) = 0$ $\sigma_{\tau_i+1} = 0$ – выполнить остановку ИМ;

При $U(\tau) = -1$ $\sigma_{\tau_i+1} = -\sigma_{\tau_i}$ – выбранное направление изменения $X(\tau)$ изменить на противоположное (произвести реверс ИМ).

Поскольку в системах автоматического управления технологическими процессами используются ИМ постоянной скорости, то его перемещение можно выразить в виде:

$$X(\tau) = X_0 + \sigma(\tau) \cdot K_{ИМ} \cdot \Delta\tau.$$

После срабатывания СР при $U(\tau) = -1$, сбрасывания ЗУ, запоминание $Z(\tau)$ начинается снова.

Реверс в САО выполняется всегда, когда выполняется условие $U(\tau) = -1$ независимо от состояния системы. После реверса в течение заданного интервала времени (времени выдержки) $\Delta\tau_B = 0.1 - 0.3T_1$ запрещается повторный реверс (на время выдержки сигнум-реле). В период времени выдержки ЗУ заблокировано и $Z_{\max} = Z(\tau)$.

По мере приближения к экстремуму в системе возникают колебания относительно определенного оптимального значения расхода воздуха. Это объясняется тем, что приближаясь к экстремуму максимальная запомненная скорость изменения выходного параметра становится все меньше и меньше. При уменьшении текущего значения скорости по сравнению с максимально запомненным на зону нечувствительности текущая скорость изменения выходного параметра имеет отрицательный знак ($Z(\tau) < 0$), поэтому может срабатывать лишь условие реверса ИМ.

Для устранения колебательного режима предусмотрено дополнительное условие остановки ИМ. Для предотвращения этого нежелательного явления необходимо на время $\Delta\tau_B = 0.1 - 0.3T_1$ запретить СР повторный реверс.

На рис. 3, 4 представлены расчетные траектории поискового режима расхода воздуха для получения максимального теплового эффекта при сжигании топлива при дрейфе статической характеристики, который происходит из-за изменения расхода топлива.

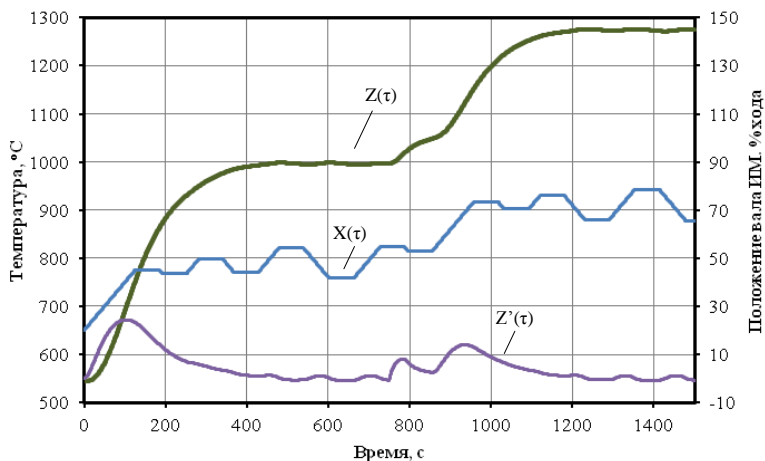


Рис. 3. Траектория поискового режима работы СЭР во времени при $V_m = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta Z_n = 1,2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{ч}$, $K_{им} = 0,3 \text{ \%хода}/\text{с}$

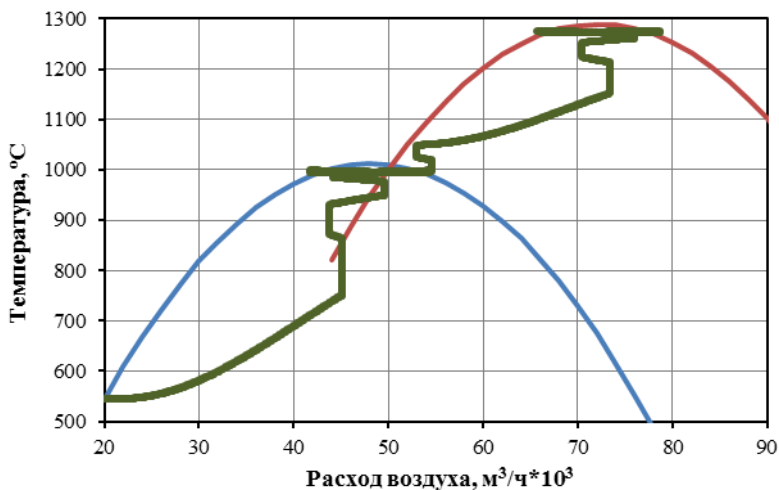


Рис. 4. Траектория поискового режима работы СЭР при $V_m = 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta Z_n = 1,2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{ч}$, $K_{им} = 0,3 \text{ \%хода}/\text{с}$

При наличии дрейфа статической характеристики оптимизируемого процесса САО обеспечивает поиск и поддержание максимальной температуры нагревательной печи. Показатели качества поискового режима следующие: потери на поиск – $\Delta Z_{п} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, размах колебаний – $A_x = 12000 \text{ м}^3/\text{ч}$, размах колебаний – $A_z = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Стоит отметить, что в реальных производственных условиях положение и вид статической характеристики оптимизируемого процесса, как правило, не определен. Из графиков можно сделать вывод, что адаптивность рассматриваемой САО выражается в эффективном поисковом режиме работы.

Список литературы

1. Гусовский В.Л. Перспективы совершенствования работы нагревательных печей прокатного производства на отечественных металлургических заводах // Известия вузов. Черная металлургия. - 2010. - N 11. - С. 27.

2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Прозоров В.Л. Оптимизация управления процессом сжигания топлива в рабочем пространстве нагревательных печей // Сталь. 2000. N5, с.48-52.

3. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов У.Б. // Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии: Монография – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И.Носова», 2006 – с. 156, 157, 41-45.

4. Ишметьев Е.Н., Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Салихов З.Г., Ахметов У.Б. // Автоматизация и оптимизация управления технологическими процессами внепечной доводки стали: Монография – Магнитогорск, ГОУ ВПО «МГТУ», 2008 – с. 252-255.