

полосы в протяжной печи башенного типа // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й научно-технической конференции 23-27 апреля 2012 г. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2012. – Т.2. – С. 63 – 66.

УДК 662.869:65.011.056

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Б.Н. Парсункин, Т.У. Ахметов, А.Р. Бондарева

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
asm@magtu.ru, albina_bondareva_2012@mail.ru*

Аннотация

Рассмотрено взаимовлияние трех контуров оптимизации управления температурным режимом в рабочем пространстве нагревательных печей. Изложены математические модели формирования оптимальных режимов управления процессом сжигания топлива и газодинамическим режимом рабочего пространства с целью уменьшения удельного расхода условного топлива.

Ключевые слова: контур оптимизации управления, процесс сжигания топлива, коэффициент расхода воздуха, переключающие функции.

HEATING FURNACES THERMAL REGIME MANAGEMENT OPTIMIZATION

B.N. Parsunkin, T.U. Akhmetov, A.R. Bondareva

*Nosov Magnitogorsk State Technical University,
Russia, Magnitogorsk
asm@magtu.ru, albina_bondareva_2012@mail.ru*

Abstract

Three loops interference of thermal management optimization in the working space of the heating furnace is considered. The mathematical models of forming optimal management regimes of combustion process and gas dynamic mode in the working space in order to reduce the specific consumption of fuel are given.

Key words: management optimization loop, fuel burning process, the air

flow consumption coefficient, the switching function.

Целью оптимизации управления тепловым режимом нагрева металла является реализация энергосберегающего теплового режима нагрева при безусловном выполнении всех технологических ограничений и показателей работы нагревательных печей.

Нижний (локальный) или полевой уровень системы автоматизированного управления промышленными нагревательными печами составляют три взаимно технологически связанных контура управления:

- контур стабилизации заданного значения и оптимизации управления контролируемым температурным параметром в отапливаемой зоне рабочего пространства печи;

- контур оптимизации управления процессом сжигания топлива в пределах зоны рабочего пространства с целью обеспечения условий сжигания топлива с максимальным тепловым эффектом;

- контур оптимизации управления газодинамическим режимом рабочего пространства с целью минимизации потерь тепла с подсосами холодного атмосферного воздуха и выбиваниями горячих продуктов сгорания.

Все три контура оказывают заметные взаимные технологические возмущающие воздействия друг на друга.

Необходимыми и обязательными условиями эффективного использования систем автоматической оптимизации управления (САОУ) процессами сжигания топлива и газодинамическим режимом является наличие унимодального типа и экстремального вида статических характеристик оптимизируемых процессов, которые подвержены дрейфу (случайному смещению) под действием реальных технологических воздействий.

Структурная схема системы автоматизированного оптимального энергосберегающего управления тепловым режимом нагревательной печи представлена на рис. 1.

Заданное текущее значение температурного параметра процесса $t_3(\tau)$ рассчитывается ЭВМ в соответствии с оптимальной энергосберегающей траекторией или устанавливается технологом. Выбор режима управления осуществляется переключением ключа – К.

Температурный режим отапливаемой зоны рабочего пространства печи ОУ1 аппроксимирован последовательным соединением статического звена с экстремальной характеристикой $Y=f(V_T(\tau), V_B(\tau))$ и инерционным звеном с постоянной времени T_0 . Здесь $V_T(\tau), V_B(\tau)$ – соответственно текущие расходы топлива и воздуха в отапливаемую зону; T_0 – постоянная времени информационного канала (датчика температуры) в зоне печи.

На элементе сравнения ЭС1 формируется сигнал рассогласования

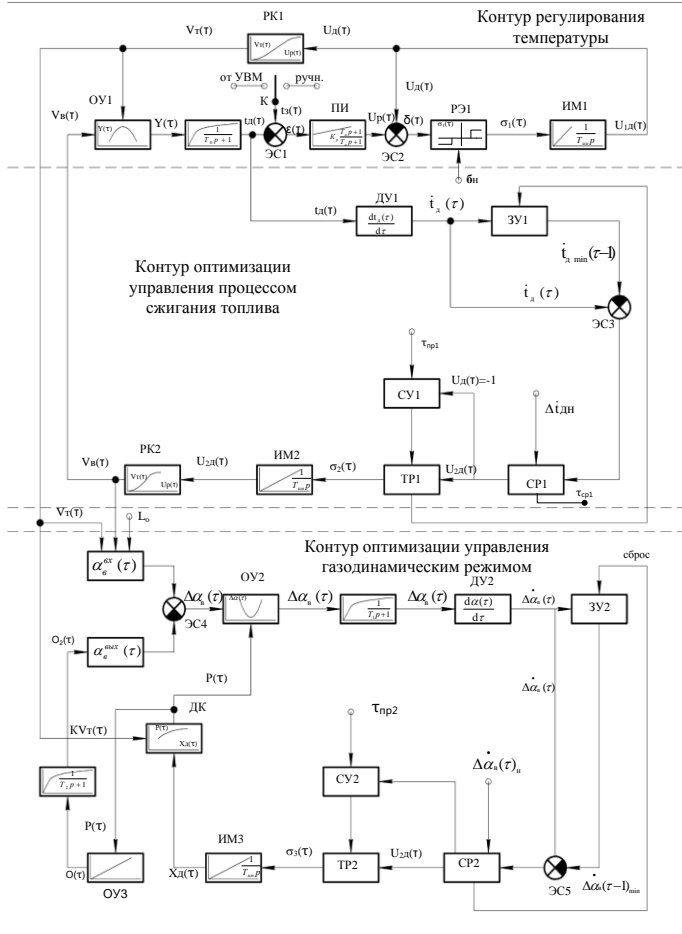


Рис.1. Структурная схема системы автоматизированного оптимального энергосберегающего управления тепловым режимом нагревательной печи. $\varepsilon(\tau) = t_{\delta}(\tau) - t_3(\tau)$,

где $t_{\delta}(\tau)$, $t_3(\tau)$ – соответственно действительное и заданное текущие значения температур в управляемой зоне печи.

Сигнал рассогласования поступает на вход регулятора, реализующего типовой ПИ или ПИД законы управления и формирующего на выходе сигнал $U_p(\tau)$, определяющий необходимый угол поворота

выходного вала исполнительного механизма расхода топлива ИМ1 для компенсации сигнала рассогласования $\varepsilon(\tau)$.

Исполнительный механизм ИМ перемещает выходной вал и регулирующий клапан с нелинейной расходной характеристикой РО1 на угол $U_d(\tau)$.

На элементе сравнения ЭС2 формируется сигнал ошибки $\delta(\tau) = U_p(\tau) - U_d(\tau)$, поступающий на вход релейного элемента РЭ1 с зоной нечувствительности \mathbf{b}_n , который формирует функцию $\sigma(\tau) \in (+1, 0, -1)$ управления движением исполнительного механизма ИМ1 расхода топлива $V_\tau(\tau)$.

Сигнал, пропорциональный действительному значению температуры $t_d(\tau)$, подается на вход дифференцирующего устройства ДУ1. На выходе ДУ1 формируется сигнал $\dot{t}_d(\tau) = dt_d(\tau)/dt$, пропорциональный скорости изменения температуры в зоне печи контура оптимизации управления процессом сжигания топлива.

Сигнал $\dot{t}_d(\tau)$ подается на вход запоминающего устройства ЗУ1, способного запоминать только максимальное значение сигнала $\dot{t}_{\max}(\tau-1)$, достигнутое за прошедший период времени $(\tau-1)$.

На вход элемента сравнения ЭС3 подаются одновременно два сигнала $\dot{t}_d(\tau)$ и $\dot{t}_{d\max}(\tau-1)$, а на выходе формируется сигнал

$$\Delta \dot{t}_d(\tau) = \dot{t}_d(\tau) - \dot{t}_{d\max}(\tau-1).$$

Сигнал $\Delta \dot{t}_d(\tau)$ подается на вход логического устройства сигнум-реле СР1, реализующего оптимизирующий алгоритм управления (ОАУ) расходом воздуха $V_b(\tau)$ в зону по методу запоминания максимума скорости изменения оптимизируемого температурного параметра [1]. На выходе СР1 формируется управляющая функция $U_{1d}(\tau)$ в соответствии с условием

$$U_{2d}(\tau) = \begin{cases} +1 & \text{если } \dot{t}_d(\tau) - \dot{t}_{d\max}(\tau-1) + \dot{t}_{дн} \geq 0 \\ -1 & \text{если } \dot{t}_d(\tau) - \dot{t}_{d\max}(\tau-1) + \dot{t}_{дн} < 0 \end{cases}$$

где $\dot{t}_{дн}$ - заданная зона нечувствительности оптимизирующего контура управления процессом сжигания топлива.

При $U_{2d}(\tau) = -1$ срабатывает триггер-реверса ТР1, который формирует управляющую функцию $\sigma_2(\tau) \in (+1, -1)$ определяющую текущее направление движения исполнительного механизма ИМ2, перемещающего регулирующий клапан РК2 расхода воздуха в зону $V_b(\tau)$ с нелинейной расходной характеристикой

$$V_b(\tau) = Y[U_{2d}(\tau)],$$

где $U_{2d}(\tau)$ - угол поворота вала ИМ2.

При срабатывании ТР1 запомненное в ЗУ1 значение $t_{д\max}(\tau-1)$ сбрасывается и запоминается значение $t_{д}(\tau)$ при противоположном направлении движения ИМ2 в соответствии с условием

$$U_{2д}(\tau) = U_{2д}(0) + \sigma_2(\tau)K_{им}\delta,$$

где $U_{2д}(0)$ – начальное положение выходного вала ИМ2, %хода; $K_{им}$ – скорость движения ИМ2, %хода/с; τ – текущее время, с.

Для предотвращения возможности повторного реверса в результате влияния инерционности $t_{д}(\tau)$ в схеме предусмотрен запрет на время выдержки $\tau_{ср1}$, после реверса ИМ2, задаваемого в СР1.

Стабилизирующее устройство СУ1 обеспечивает принудительный реверс ИМ2 по истечении заданного интервала времени $\tau_{ср1}$ после очередного реверса ИМ2, для предотвращения монотонного движения ИМ2 при вертикальном смещении (увеличении температуры) статической характеристики оптимизируемого процесса.

Газодинамический режим рабочего пространства (давление в рабочем пространстве печи) оказывает определенное влияние на величину удельного расхода топлива, на скорость нагрева рабочего пространства печи и на сохранность огнеупорной кладки.

Наиболее благоприятным с точки зрения энергосбережения является такой газодинамический режим, при котором неконтролируемые подсосы холодного атмосферного воздуха и выбивания горячего воздуха и продуктов сгорания были бы минимальными или практически нулевыми.

Объективную информацию о газодинамическом режиме рабочего пространства печи может дать величина разности текущих значений коэффициентов расхода воздуха на входе и выходе рабочего пространства нагревательной печи.

$$\Delta\alpha_{в}(\tau) = |\alpha_{в}^{в\text{ых}}(\tau) - \alpha_{в}^{вх}(\tau)|$$

Установлено, что на величину $\Delta\alpha_{в}(\tau)$ оказывает влияние разрежение в дымовом тракте печи. Поэтому, если поддерживать минимально возможное значение $\Delta\alpha_{в}(\tau)$ за счет изменения величин разрежения в дымовом борове, то это будет соответствовать оптимальному управлению газодинамическим режимом печи, обеспечивающему минимальные тепловые потери.

В реальных производственных условиях для определения текущего значения $\alpha_{в}^{в\text{ых}}(\tau)$ целесообразно использовать выражение

$$\alpha_{в}^{в\text{ых}}(\tau) = \frac{21}{21 - [O_2(\tau)]}$$

где $[O_2(\tau)]$ – текущее содержание кислорода в продуктах сгорания на

выходе из рабочего пространства печи, %.

Текущее значение $\alpha_B^{BX}(\tau)$ на входе печи рассчитывается в соответствии с выражением

$$\alpha_B^{BX} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ei}(\tau)}{\sum_{i=1}^n V_{mi}(\tau) \cdot L_o}$$

где $\sum_{i=1}^n V_{ei}(\tau)$ – текущий общий по всем отапливаемым зонам расход воздуха, подаваемый в рабочее пространство печи, м³/ч; $\sum_{i=1}^n V_{mi}(\tau)$ – текущий общий по всем отапливаемым зонам расход топлива, подаваемый в рабочее пространство печи, м³/ч; L_o – коэффициент, определяющий теоретическое количество воздуха, необходимого для полного сжигания единицы измерения расхода топлива.

Аналогично можно рассчитать значение $\alpha_B^{BX}(\tau)$ при использовании альтернативных окислителей (кислорода или сжатого воздуха) и различных видов топлива.

При оптимизации управления газодинамическим режимом рабочего пространства с целью минимизации тепловых потерь с подсосами и выбиваниями управляющим воздействием является текущее значение разрежения в дымовом борове $P(\tau)$ или % хода дымового клапана (ДК) с нелинейной статической характеристикой.

Контролируемым или оптимизируемым выходным параметром контура является величина разности текущих значений коэффициентов расходов воздуха $\Delta\alpha_B(\tau)$.

Информационные сигналы о текущих расходах воздуха $V_{Bi}(\tau)$ и топлива $V_{Ti}(\tau)$ поступают в блок расчета $\alpha_B^{BX}(\tau)$.

С учетом текущего содержания кислорода с учетом инерционности газоанализатора в другом блоке рассчитывается величина $\alpha_B^{BYX}(\tau)$.

На выходе элемента сравнения ЭС4 формируется сигнал $\Delta\alpha_B(\tau)$, который подается на вход ОАУ контура оптимизации, функционирующего с использованием поискового метода по запоминанию минимума скорости изменения оптимизируемого параметра [2].

Сигнал $\Delta\alpha_B(\tau)$ дифференцируется ДУ2.

На выходе элемента сравнения ЭС5 формируется сигнал

$$\Delta\dot{\alpha}_B(\tau) = \Delta\alpha_B(\tau) - \Delta\alpha_B(\tau - 1)_{\min},$$

который подается на вход логического устройства CP2, формирующего сигнал $U_{2д}(\tau) \in (+1, -1)$ в соответствии с условием

$$U_{2д}(\tau) = \begin{cases} +1 & \text{если } \Delta\dot{\alpha}_B(\tau) - \Delta\dot{\alpha}_B(\tau-1)_{\min} + \Delta\dot{\alpha}_{ВН} \leq 0 \\ -1 & \text{если } \Delta\dot{\alpha}_B(\tau) - \Delta\dot{\alpha}_B(\tau-1)_{\min} + \Delta\dot{\alpha}_{ВН} > 0 \end{cases}$$

При $U_{2д}(\tau) = -1$ срабатывает триггер реверса TP2, который изменяет текущее направление перемещения дымового клапана на противоположное в соответствии с условием:

при $U_{2д}(\tau) = 1$ $\sigma(\tau + 1) = \sigma(\tau)$ – сохранение направления;

при $U_{2д}(\tau) = -1$ $\sigma(\tau + 1) = -\sigma(\tau)$ – реверс ИМЗ.

Достоинством рассматриваемой САОУ тепловым режимом нагревательной печи является ее уникальная способность и интеллектуальная возможность эффективно функционировать в условиях неопределенности, когда текущие положение и вид статических характеристик процессов сжигания топлива и газодинамического режима в координатах «управляющее воздействие – оптимизируемый параметр» остаются неизвестными и неопределенными. Реализация поискового процесса по принятому ОАУ осуществляется системой только по анализу информации о текущих значениях входного и выходного оптимизируемого параметров. Рассматриваемая система автоматической оптимизации управления ориентирована на программную реализацию и может быть использована как структурная составляющая в АСУ ТП процессом нагрева.

Список литературы

1. Парсункин Б.Н., Бушманова М.В. Расчеты переходных процессов в системах экстремального регулирования с запоминанием экстремума: учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. университета им. Г.И. Носова, 2001. – 164 с.

2. Парсункин Б.Н., Бушманова М.В., Андреев С.М. Расчеты систем автоматической оптимизации управления технологическими процессами в металлургии: учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. университета им. Г.И. Носова, 2003. – 267 с.

3. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов У.Б. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии: монография. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. университета им. Г.И. Носова, 2006. – 198 с.