

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКОЙ В СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В. С. Богушевский, В. Ю. Сухенко, Е. А. Сергеева, С. В. Жук
 Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"
 03056, Киев, проспект Победы, 37, e-mail: bogush@voliacable.com

Введение. Для управления конвертерной плавкой в ОАО «Металлургический комбинат «Азовсталь»» испытана модель, в основу которой положено управление по образцовой плавке [1]. Плавки разбиты на классы в зависимости от начальных и конечных параметров. Если начальные и заданные конечные параметры текущей плавки совпадали с одной из ранее проведенных плавков, хранящихся в базе (образцовой для данной плавки), то значения управляющих воздействий \bar{U}_i принимались такими же, как в найденной плавке \bar{U}_i^0 . Методика разбиения образцовых плавков на классы приведена в [2], а классификация плавков в модели статического управления для 350-тонного конвертера в [3]. Диапазон изменения основных параметров при классификации выбран достаточно большим: чугуна – по содержанию кремния и марганца – 0,3 %, фосфора и серы соответственно 0,05 и 0,005 %, температуре – 25 °С, массе – 5 т; сталь – по содержанию углерода – 0,01 %, фосфора и серы – 0,005 %, температуре металла 10 °С, основности шлака – 0,2, расходу дутья – 50 м³/мин, положению фурмы – 1 калибр. Такие большие диапазоны выбраны для уменьшения количества классов – число диапазонов не превышает для каждого параметра 5 значений. В процессе эксплуатации модели определено, что погрешность управления существенно зависит от того, насколько ранее по времени проведена образцовая плавка [4]. Последнее влияло на два фактора: отличие параметров образцовой плавки в данном классе от текущей и дрейф объекта, связанный с изменением неучитываемых параметров, таких как насыпная масса лома, качество извести, износ футеровки конвертера, фурмы и др.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является улучшение модели управления конвертерной плавкой, обобщающей опыт проведения плавки лучших операторов с проверкой ее на действующем конвертере.

Решение задачи. Исследования показывают, что влияние каждого входного параметра в диапазоне его изменения в одном классе на выходные параметры может быть без значительной погрешности описано линейной зависимостью. Это позволяет дополнить модель корректирующими факторами вида

$$\Delta \bar{U}_i = \alpha_j (x_j^0 - x_j) \quad (1)$$

где $\Delta \bar{U}_i$ – корректирующий фактор по i -му управляющему воздействию, α_j – статистический коэффициент связи для j -го параметра, x_j^0 и x_j соответственно значение j -го параметра на образцовой и текущей плавке.

Скорректированная таким образом статическая модель управления конвертерной плавкой приобретает вид

$$\left\{ \begin{array}{l} V = V^0 + \alpha_1(m_{\text{л}} - m_{\text{л}}^0) + \alpha_2 |m_{\text{ч}} - m_{\text{ч}}^0| (m_{\text{ч}} - m_{\text{ч}}^0) + \alpha_3 (m_{\text{и}} - m_{\text{и}}^0) + \\ + \alpha_4 (\text{Si}_{\text{ч}} - \text{Si}_{\text{ч}}^0) - K_1 [f_1(C_{\text{и,с}}) - f_1(C_{\text{и}}^0)] - [f(m_{\text{е,с}}) - f(m_{\text{е,с}}^0)] + \\ + \alpha_5 (m_{\text{е}} - m_{\text{е}}^0) + \alpha_6 (m_{\text{ф}} - m_{\text{ф}}^0) + \alpha_7 (H_{\text{с}} - H^0) + \Delta V; \\ m_{\text{е,с}} = m_{\text{е,с}}^0 - \alpha_8 (m_{\text{е}} - m_{\text{е}}^0) - K_2 (m_{\text{ч}} + m_{\text{л}})(t_{\text{и,с}} - t_{\text{и}}^0) + \\ + \alpha_9 (m_{\text{ч}} - m_{\text{ч}}^0) + \alpha_{10} (t_{\text{ч}} - t_{\text{ч}}^0) + \alpha_{11} (\text{Si}_{\text{ч}} - \text{Si}_{\text{ч}}^0) + \alpha_{12} (\text{Mn}_{\text{ч}} - \text{Mn}_{\text{ч}}^0) - \\ - \alpha_{13} [f_2(C_{\text{и,с}}) - f_2(C_{\text{и}}^0)] + \alpha_{14} (m_{\text{е}} - m_{\text{е}}^0) + \alpha_{15} (m_{\text{ф}} - m_{\text{ф}}^0) - \\ - [f(\tau_{\text{ч}}) - f(\tau_{\text{ч}}^0)] - [f(N) - f(N^0)] + \alpha_{16} (H_{\text{с}} - H^0) + \Delta m_{\text{е,с}}; \\ m_{\text{е}} = m_{\text{е}}^0 - \alpha_{17} (m_{\text{е}} - m_{\text{е}}^0) + \alpha_{18} (m_{\text{ч}} \text{Si}_{\text{ч}} - m_{\text{ч}}^0 \text{Si}_{\text{ч}}^0) + \Delta m_{\text{е}}; \\ m_{\text{ф}} = m_{\text{ф}}^0 - \alpha_{19} (\text{Mn}_{\text{ч}} / \text{Si}_{\text{ч}} - \text{Mn}_{\text{ч}}^0 / \text{Si}_{\text{ч}}^0) + \alpha_{20} (1 / \tilde{N}_{\text{и,с}} - 1 / \tilde{N}_{\text{и}}^0) + \Delta m_{\text{ф}}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где V – расход дутья на плавку, нм³; $\alpha_1 - \alpha_{20}$ – коэффициенты; $m_{\text{л}}$, $m_{\text{ч}}$, $m_{\text{е,с}}$, $m_{\text{е}}$ – соответственно масса металлического лома, чугуна, известняка и извести на плавку, т; $\text{Si}_{\text{ч}}$, $\text{Mn}_{\text{ч}}$, $C_{\text{и}}$ – содержание кремния, марганца в чугуне и углерода в выплавленном металле; %; H – среднеинтегральное за продувку расстояние наконечника фурмы до уровня спокойного металла, калибр; ΔV , $\Delta m_{\text{е,с}}$, $\Delta m_{\text{е}}$, $\Delta m_{\text{ф}}$ – поправочные коэффициенты по расходу дутья, массе известняка, извести и плавикового шпата; K_1 , K_2 – коэффициенты

регрессии, уточняемые периодической коррекцией; t_1, t_2 – температура выплавленного металла и чугуна, $^{\circ}\text{C}$; τ_i – продолжительность простоя конвертера между плавками, мин; N – номер плавки по футеровке; f – функциональные зависимости, значения которых приведены в [5]; индексы „0”, „3” – значения параметра соответственно в образцовой плавке и заданные значения выходного параметра.

Поправочные коэффициенты связаны с дрейфом объекта и определяются в зависимости от погрешностей управления на предыдущих плавках не зависимо от класса, к которому принадлежала образцовая плавка. Эти погрешности суммируются с выбранной программой, производя адаптивную коррекцию управляющих величин.

$$\varepsilon_i(n) = x_i(n) - x_{ic}(n), \quad (3)$$

где n – номер плавки, $x_i \in V, m_e, m_{eC}, m_{\phi}$.

На основании погрешности формируется поправка $\Delta x_i(n)$. Коррекция программы производится по формуле

$$\Delta x_i(n) = x_i(n-1) + \Delta x_i(n) = x_i(n-1) + \gamma_i f[\varepsilon_i(n-1)], \quad (4)$$

где γ_i – коэффициент усиления в контуре адаптивной коррекции; $\varepsilon_i(n-1)$ – погрешность на предыдущей плавке; f – функциональная зависимость, которая определяется величиной погрешности и обеспечивает сходимость процесса к ее минимизации.

Задача нахождения функции f затрудняется тем, что она включает две составляющие – регулярную, связанную с постепенным изменением технологического процесса (износ футеровки и фурмы, изменение химического состава извести и чугуна в миксере и др.), и случайную, связанную с резкими изменениями технологического процесса (замена фурмы, подача охлаждающих материалов разного вида, слив чугуна из разных миксеров, выплавка стали разных марок и др.).

Исследования процесса показали, что регулярная составляющая полностью определяется предыдущей плавкой, а для уменьшения отрицательного влияния случайной составляющей адаптации по предыдущей плавке недостаточно. В общем случае поправки определяются по формуле

$$\Delta x_i(n) = \beta_1 \Delta x_i(n-1) + \beta_2 \Delta x_{i0}(n-1), \quad (5)$$

где β_1, β_2 – весовые коэффициенты, определяемые статистически; $\Delta x_i(n-1)$ – поправка к i -му управляющему воздействию $(n-1)$ -й плавки, определяемая как среднеарифметическое значение из поправок на предыдущих плавках; $\Delta x_{i0}(n-1)$ – фактическое значение поправки из условий получения на предыдущей плавке нулевой ошибки управляющего воздействия.

Модель прошла промышленные испытания на конвертерах 350-тонн ОАО «Металлургический комбинат «Азовсталь»» [6]. Система, реализующая модель, обеспечивает качественное управление на 90 % проведенных плавков.

Выводы. На основании комплексного подхода, включающего детерминированные, статистические, а также методы управления по образцовой плавке улучшена модель управления конвертерной плавкой в статическом и динамическом режиме. Промышленные испытания модели показали, что ее использование существенно улучшает показатели готового металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богушевский В.С., Сухенко В.Ю. Модель управления конвертерной плавкой в системе принятия решений // Матеріали міжнародної наукової конференції „Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту”. – Євпаторія, 2008. – С. 21 – 24.
2. Богушевский В.С., Сухенко В.Ю., Сергеева К.О. Система прийняття рішень при керуванні киснево-конвертерною плавкою // Нові технології. – 2009. – № 1. – С. 98 – 101.
3. АСУТП конвертерной плавки на большегрузных конвертерах / В.С.Богушевский, Г.Г.Грабовский, Н.С.Церковницкий, В.А.Ушаков // Автоматизація виробничих процесів. – 2006. – № 2. – С. 168 – 172.
4. Богушевский В.С., Сухенко В.Ю. Про використання детермінованого підходу при побудові математичної моделі конвертерного процесу // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра. К.: «Політехніка», 2009. – С. 228 – 233.
5. Математические модели и системы управления конвертерной плавкой / В.С.Богушевский, Л.Ф.Литвинов, Н.А.Рюмшин, В.В.Сорокин. – К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1998. – 304 с.
6. Богушевский В.С. Техническое обеспечение АСУТП конвертерной плавки // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра. К.: «Політехніка», 2008. – С. 78 – 83.