

оптимизации состава и распределения ресурсов в доменном цехе, что также ведет к повышению энерго - и ресурсоэффективности производства.

Ожидаемые результаты внедрения программного обеспечения по оптимизации распределения топливно-энергетических ресурсов:

- повышение экономичности выплавки чугуна;
- планирование работы отдельных печей и цеха в целом;
- высокий уровень интеграции системы с существующими производственными и корпоративными системами;
- предоставление инженерно-технологическому персоналу детализированной информации для оценки показателей работы, экономической эффективности работы, технического состояния оборудования отдельных печей и цеха в целом;
- сокращение времени поиска необходимой информации;
- формирование необходимой по запросу пользователя отчетной документации;
- создание условий для последующего совершенствования и развития системы.

Список использованных источников

1. Повышение эффективности работы доменного цеха путем оптимального использования топливно-энергетических ресурсов / Лавров В.В., Спирин Н.А., Бабин И.А., Перминов А.И., Бурыкин А.А. // Сталь. 2008. № 4. С. 10–13.
2. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975. 534 с.
3. Математические модели оптимального использования ресурсов в доменном производстве / А.В. Бородулин, Х.Н. Гизатуллин, А.Д. Обухов [и др.]. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. 148 с.
4. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев, Л.Ю. Гилева, В.Ю. Рыболовлев, И.Е. Косаченко, В.В. Лавров, А.В. Терентьев ; под ред. Н.А. Спирина. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. 301 с.
5. User's Manual for CPLEX/ IBM ILOG CPLEX V12.1. 146 с.

РАЗРАБОТКА SIMULINK-МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА

© И.С. Яковенко, Д.Н. Дюнова

*ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(Государственный технологический университет)», г. Владикавказ*

Возросшие технические возможности обусловили развитие новых идей, принципов и методов управления технологическими процессами. Наличие широкой номенклатуры средств автоматизации, вычислительной техники, методов обработки информации обусловило совершенствование систем управления производственно-технологическими объектами. На сегодняшний день применение в системах управления микропроцессорной и цифровой вычислительной техники представляет основу рациональной организации современного промышленного производства, обеспечивающего достижение наилучших технико-экономических показателей.

Значительное распространение получили цифровые системы управления. Основные преимущества их использования связаны с отсутствием характерного для аналоговых элементов дрейфа параметров, возможностью реализации сложных законов управления, простотой перенастройки и программной реализации алгоритмов управления.

Применяемые в цифровых системах регуляторы обеспечивают более высокое качество регулирования и обладают большей гибкостью по сравнению с аналоговыми, так как их

алгоритмы могут быть изменены в соответствии с различными требованиями или адаптированы к характеристикам объекта без изменений в аппаратном оформлении.

Структуру цифрового регулятора можно представить в виде схемы:

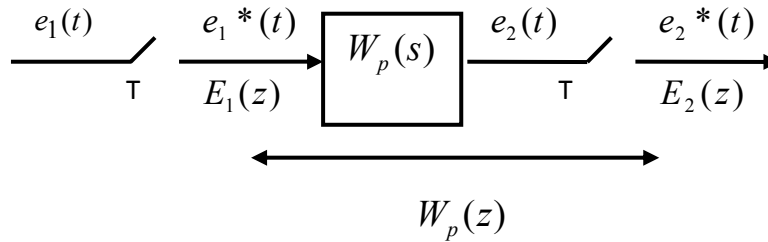


Рис. 1. Структурная схема цифрового регулятора

Согласно рисунку входной сигнал регулятора $e_1^*(t)$ представляет собой последовательность $e_1(kT)$, аналитически являющуюся выборкой сигнала $e_1(t)$. Цифровой регулятор реализует определенные преобразования последовательности $e_1(kT)$ и формирует выходную последовательность $e_2(kT)$ в виде квантованного сигнала $e_2^*(t)$.

Передаточная функция цифрового регулятора определяется в виде:

$$W_p(z) = \frac{E_2(z)}{E_1(z)}, \quad (1)$$

где $E_1(z)$, $E_2(z)$ – z -преобразования входного и выходного сигналов регулятора соответственно.

При создании модели цифрового регулятора необходимо, чтобы его передаточная функция была физически реализуемой [1]. Представление передаточной функции в виде отношения рядов по степеням z^{-1} :

$$W_p(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{a_0 + a_1 z^{-1} + \dots + a_n z^{-n}}, \quad (2)$$

где n, m – целые числа.

Для того чтобы цифровой регулятор был физически реализуем, разложение его передаточной функции не должно содержать положительных степеней при z во избежание «упреждения». Таким образом, чтобы передаточная функция цифрового регулятора была физически реализуемой, порядок ее знаменателя должен быть либо больше порядка числителя, либо равен ему ($n \geq m$). Кроме того, знаменатель передаточной функции не должен содержать множитель z^{-1} при $b_0 \neq 0$, а также при $b_0 \neq 0$ условием физической реализуемости является $a_0 \neq 0$.

Алгоритм цифрового регулятора можно получить из соответствующего непрерывного ПИД-закона, имеющего вид:

$$u(t) = K_p \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right], \quad (3)$$

где $\varepsilon(t)$ – ошибка регулирования, K_p – коэффициент передачи, T_u – постоянная интегрирования, T_d – постоянная дифференцирования.

Универсальным способом построения цифровых регуляторов является алгоритмизация и последующая программная реализация их передаточных функций. Для малых тактов

квантования T_k уравнение (3) может быть преобразовано в разностное уравнение без потери в точности. Применяя метод прямоугольников, непрерывное интегрирование можно заменить суммой, а производную первого порядка – разностью [1]. Проведем дискретизацию уравнения (3). Определим входной сигнал $\varepsilon(t)$ и выходной сигнал $u(t)$ в дискретные моменты времени $t = kT_k$. В результате получаем разностное уравнение:

$$u(k) = K_p \left[\varepsilon(k) + \frac{T_k}{T_u} \sum_{i=0}^{k-1} \varepsilon(i) + \frac{T_d}{T_u} (\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)) \right], \quad (4)$$

представляющее собой нерекуррентный алгоритм управления, называемый в литературе позиционным [1]. Для определения суммы в полученном соотношении требуется сохранение всех предыдущих значений сигнала ошибки $\varepsilon(i)$, а значение управляющего сигнала $u(k)$ должно вычисляться каждый раз заново.

Для программной реализации полученного алгоритма целесообразно представить его в рекуррентной форме. В этом случае вычисление текущего значения управляющего сигнала $u(k)$ основано на использовании его значений в предыдущий момент времени $u(k-1)$ и поправочного коэффициента. Для того чтобы сформировать рекуррентный алгоритм, определим выражение для управляющего сигнала $u(k)$ в предыдущий момент времени, т. е. $u(k-1)$:

$$u(k-1) = K_p \left[\varepsilon(k-1) + \frac{T_k}{T_u} \sum_{i=0}^{k-2} \varepsilon(i) + \frac{T_d}{T_u} (\varepsilon(k-1) - \varepsilon(k-2)) \right]. \quad (5)$$

Если вычислить приращение управляющего сигнала $\Delta u(k)$ в виде разности $u(k) - u(k-1)$, получим алгоритм управления, эквивалентный исходному:

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= u(k) - u(k-1) = K_p \left[\varepsilon(k) + \frac{T_k}{T_u} \sum_{i=0}^{k-1} \varepsilon(i) + \frac{T_d}{T_u} (\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)) \right] - \\ &\quad - K_p \left[\varepsilon(k-1) + \frac{T_k}{T_u} \sum_{i=0}^{k-2} \varepsilon(i) + \frac{T_d}{T_u} (\varepsilon(k-1) - \varepsilon(k-2)) \right] = \\ &= K_p \left[\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1) + \frac{T_k}{T_u} \varepsilon(k-1) + \frac{T_d}{T_u} (\varepsilon(k) - 2\varepsilon(k-1) + \varepsilon(k-2)) \right] = \\ &= K_p \left[\varepsilon(k) \left(1 + \frac{T_d}{T_u} \right) + \varepsilon(k-1) \left(\frac{T_k}{T_u} - 1 - 2\frac{T_d}{T_u} \right) + \frac{T_d}{T_u} \varepsilon(k-2) \right] \end{aligned} \quad (6)$$

или

$$u(k) - u(k-1) = d_0 \varepsilon(k) + d_1 \varepsilon(k-1) + d_3 \varepsilon(k-2), \quad (7)$$

где $d_0 = K_p \left(1 + \frac{T_d}{T_u} \right)$, $d_1 = \left(\frac{T_k}{T_u} - 1 - 2\frac{T_d}{T_u} \right)$, $d_3 = \frac{T_d}{T_u} \varepsilon(k-2)$ – параметры регулятора, которые оказывают влияние на качество процессов регулирования.

Перенесем $u(k-1)$ в правую часть (7):

$$u(k) = u(k-1) + d_0 \varepsilon(k) + d_1 \varepsilon(k-1) + d_3 \varepsilon(k-2). \quad (8)$$

Применение прямого z-преобразования к соотношению (7), позволяет получить следующую зависимость

$$(1 - z^{-1})u(z) = (d_0 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2})\varepsilon(z). \quad (9)$$

С учетом соотношения (9) передаточная функция цифрового ПИД-регулятора имеет вид:

$$W_p(z) = \frac{d_0 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}}. \quad (10)$$

Модель цифрового ПИД-регулятора, построенная на основе разностного уравнения средствами пакета Simulink системы Matlab, показана на рис. 2:

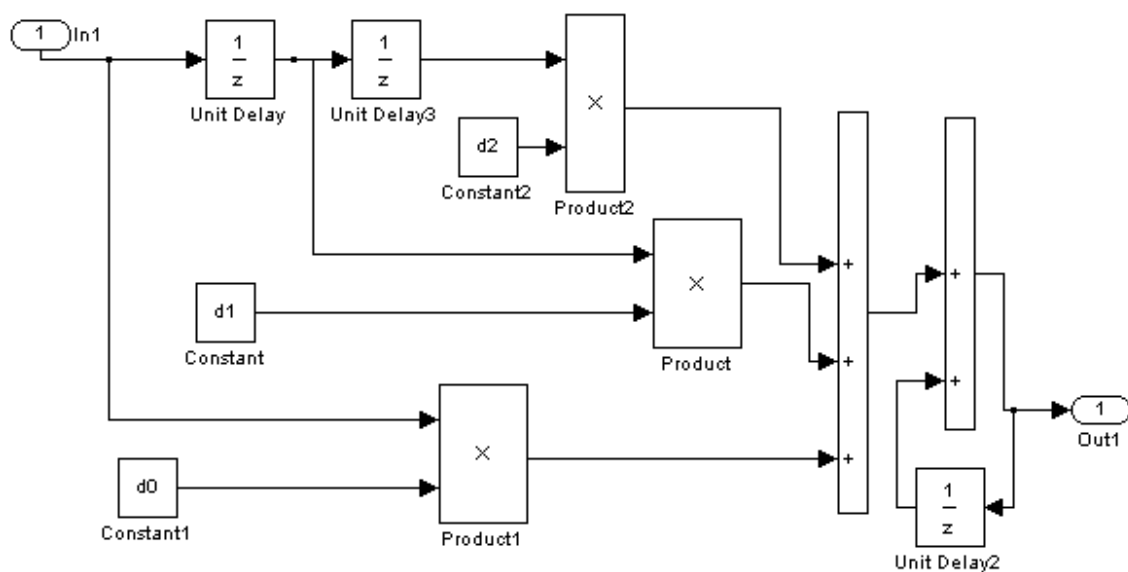


Рис. 2. Simulink-модель цифрового ПИД-регулятора

Основными элементами Simulink-модели являются блоки Constant1, Constant2, Constant, с помощью которых задаются коэффициенты регулятора, блоки Unit Delay, Unit Delay1, Unit Delay2, формирующие временную задержку, блоки-умножители Product, Product1, Product2, блоки входа и выхода подсистемы In1 и Out1.

Полученная модель цифрового регулятора может быть использована для анализа систем автоматического управления и решения задач идентификации объектов управления.