

Control of the process of autogenous smelting of copper concentrates in the ISASMELT furnace

Zhalel B.¹, Bayanbay N.², Orazkanov B.³ (Russian Federation, Republic of Kazakhstan)

Управление процессом автогенной плавки медных концентратов в печи ISASMELT

Жалел Б.¹, Баянбай Н.А.², Оразканов Б.Б.³ (Российская Федерация, Республика Казахстан)

¹Жалел Бауыржан / Zhalel Bauyrzhan – магистрант,
кафедра систем управления и информатики,

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

²Баянбай Нурлан Амангельдыулы / Bayanbay Nurlan – магистрант,
кафедра систем управления и информатики,

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

³Оразканов Бакытжан Багдатович / Orazkanov Bakytzhan – студент,
кафедра автоматизации и управления,

Семипалатинский государственный университет им. Шакарима, г. Семипалатинск, Республика Казахстан

Аннотация: в статье рассматривается эффективное управление процессом плавки сульфидного медного концентрата в печи ISASMELT. Описана структура печи и законы управления автогенных процессов.

Abstract: in this article is considered efficient control of process fuses copper sulfide concentrators in furnace ISASMELT. Also, the article describes the structure of the furnace and principles of control of autogenous processes.

Ключевые слова: медеплавильная печь, печь ISASMELT.

Keywords: the copper smelter, ISASMELT furnace.

Металлургия – отрасль промышленности, охватывающие процессы получения металлов из руд, а также процессы, связанные с изменением химического состава, структуры и свойств металлических сплавов [1].

Автогенные процессы для плавки сырья получили широкое распространение в металлургии меди и свинца [2, с. 113]. Печь ISASMELT характеризуется ограниченной доступностью контроля переменных процесса, недостаточной изученностью и потенциальной опасностью. Как объект управления печь представляет собой сложный многомерный динамический производственный комплекс, имеющий значительную инерционность, тесную взаимосвязь входных и выходных переменных, значительный уровень возмущений.

Большинству промышленных объектов свойственны значительные запаздывания и большая постоянная времени объекта [3, с. 15]. Экспериментальные кривые разгона, снятые на объекте дают возможность представить объект управления в виде аperiодического звена с запаздыванием, линеаризованного первым порядком:

$$W_{об}(p) = \frac{K_{об}e^{-\tau p}}{(T_{об}p + 1)} \quad (1)$$

где $T_{об}$ -постоянная времени; τ -запаздывания; k -передаточный коэффициент.

Объект управления, в общем виде описывается уравнением:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k(x(t)). \quad (2)$$

Проекция касательной приведенной в точке перегиба кривой разгона на ось абсцисс представляет собой постоянную времени объекта $T_{об}=78$ с. Запаздывания составляет $\tau=22$ с и складывается из запаздываний объекта, так называемого транспортного запаздывания, которое составляет 6 с. Рассмотрим динамику изменения температуры от расхода подачи кислорода. Расход составляет 7800 м³/час или 2,16 м³/сек. Воспользуемся линеаризацией по методу касательной.

$$k = (5/1) \cdot tg12^0 = 1.1 \quad (3)$$

Передаточная функция по основному каналу запишется в виде:

$$W_0(S) = \frac{1,1e^{-22S}}{78S + 1}, \quad (4)$$

где $k=1,1$, $\tau=22$ сек, $T=78$ сек.

Расчет оптимальных настроечных параметров регулятора

Передаточной функцией объекта является аperiодическое звено первого порядка со звеном запаздывания и имеет вид:

$$W_{o\delta}(p) = \frac{K_{o\delta}e^{-\tau p}}{(T_{o\delta}p + 1)}, \quad (5)$$

Выбор закона регулирования, в соответствии с которыми функционирует регулятор, продиктован качеством переходного процесса.

$$W_p(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_u p}\right), \quad (6)$$

где K_p – коэффициент передачи регулятора, T_u – время изодрома.

Расчет АФХ с применением ЭВМ выполняем следующим образом.

$$W(j\omega) = \frac{B_R(\omega) + jB_Q(\omega)}{A_R(\omega) + jA_Q(\omega)}. \quad (7)$$

Для объекта регулирования с передаточной функцией (5) вещественная и мнимая составляющие числителя и знаменателя (7) равны

$$W_{o\delta}(j\omega) = \frac{K_{o\delta}e^{-j\omega\tau}}{T_{o\delta}j\omega + 1} = \frac{K_{o\delta}(\cos(\omega\tau) - j\sin(\omega\tau))}{1 + jT_{o\delta}\omega}, \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} B_R &= K \cos(\omega\tau) \\ B_Q &= -K \sin(\omega\tau) \\ A_R &= 1 \\ A_Q &= T_{o\delta}\omega \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Вещественная и мнимая части АФХ объекта

$$\left. \begin{aligned} R_{o\delta}(\omega) &= \frac{B_R(\omega)A_R(\omega) + B_Q(\omega)A_Q(\omega)}{A_R^2(\omega) + A_Q^2(\omega)} \\ Q_{o\delta}(\omega) &= \frac{B_Q(\omega)A_R(\omega) - B_R(\omega)A_Q(\omega)}{A_R^2(\omega) + A_Q^2(\omega)} \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$W_{zc}(p) = \frac{W_{o\delta}(p)}{1 + W_{o\delta}(p)W_p(p)}. \quad (11)$$

Отсюда характеристическое уравнение замкнутой системы

$$1 + W_{o\delta}(p)W_p(p) = 0. \quad (12)$$

Подставляя сюда значение $p = j\omega$, получим уравнение границы устойчивости автоматической системы в общем виде

$$1 + [R_{o\delta}(\omega) + jQ_{o\delta}(\omega)] \cdot [R_p(\omega) + jQ_p(\omega)] = 0. \quad (13)$$

Здесь $R_p(\omega)$, $Q_p(\omega)$ - вещественная и мнимая ЧХР.

$$\left. \begin{aligned} R_p &= K_p \\ Q_p &= -\frac{K_p}{T_u \omega} \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Подставив эти значения и выполнив необходимые преобразования, получаем формулы для определения границ устойчивости K_p и S

$$\left. \begin{aligned} K_p &= -\frac{R_{o\sigma}(w)}{A_{o\sigma}^2(w)} \\ S &= \frac{K_p}{T_u} = -\frac{wQ_{o\sigma}(w)}{A_{o\sigma}^2(w)} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Для определения пар настроек регулятора K_p и S , обеспечивающих $m=\text{const}$, подставляя значение $p = -mw + jw$ в передаточные функции и находим расширенные АФХ объекта в виде составляющих

$$\left. \begin{aligned} K_p &= -\frac{[mQ_{o\sigma}(m, w) + R_{o\sigma}(m, w)]}{A_{o\sigma}^2(m, w)} \\ S &= \frac{K_p}{T_u} = -\frac{w(m^2 + 1)Q_{o\sigma}(m, w)}{A_{o\sigma}^2(m, w)} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

В частном случае $m=0$ формулы (16) совпадают с формулами (15).

Из практики расчетов известно, что точка, соответствующая оптимальным значениям K_p^* и S^* .

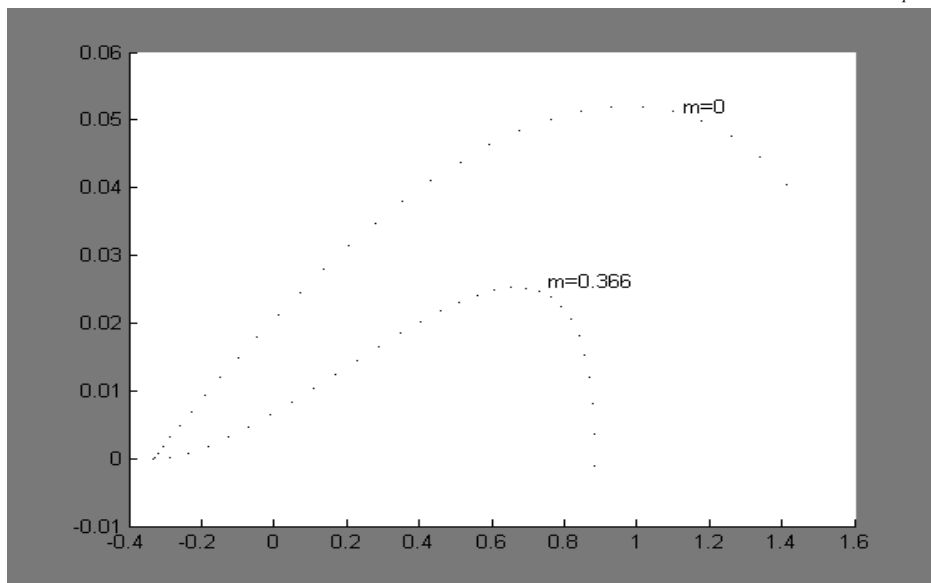


Рис. 1. Линии равной степени затухания для $m=0$, $m=0,366$

Построение переходного процесса

Система стабилизации температуры, состоит из объекта с передаточной функцией и регулятора, уравнение которого в дифференциальной форме имеет вид:

$$\mu(t) = -\left[S \int_0^t \Delta x_{\text{вых}}(t) dt + K_p \Delta x_{\text{вых}}(t) \right] \quad (17)$$

где $\Delta x_{\text{вых}}(t)$ – отклонение; $\mu(t)$ – величина управляющего воздействия.

Расчеты показали, что оптимальными являются настройки регулятора $K_p^* = 0.69$ и $S^* = 0,0239$.

Уравнение апериодического звена первого порядка с запаздыванием в дифференциальной форме имеет вид:

$$T_{o\sigma} x_{\text{вых}}^{\prime o\sigma}(t) + x_{\text{вых}}^{\prime o\sigma}(t) = K_{o\sigma} x_{\text{ex}}^{\prime o\sigma}(t - \tau) \quad (18)$$

где $x_{\text{ex}}^{\prime o\sigma}(t - \tau)$ – входная величина объекта с учетом времени запаздывания – τ ; $x_{\text{вых}}^{\prime o\sigma}(t)$ – выходная величина объекта.

Так как в замкнутой системе выходная величина регулятора является входной величиной объекта, т.е.

$$\mu(t) = x_{\text{ex}}^{\prime o\sigma}(t) \quad (19)$$

$$\frac{dx_{\text{вых}}^{\text{об}}(t)}{dt} = \frac{1}{T_{\text{об}}} [K_{\text{об}} \mu(t - \tau) - x_{\text{вых}}^{\text{об}}(t)] \quad (20)$$

Для определения $\mu(t)$ приведем уравнение расчета управляющего воздействия для ПИ закона регулирования к виду, удобному для численного интегрирования на ЭВМ:

$$\mu(t) = - \left[\sum_{i=1}^n S \Delta x_{\text{вых}}(t) \cdot \Delta t + K_p \Delta x_{\text{вых}}(t) \right] \quad (21)$$

$$\Delta x_{\text{вых}}(t) = x_{\text{вых}}^{\text{об}}(t) - x_{\text{зад}} \quad (22)$$

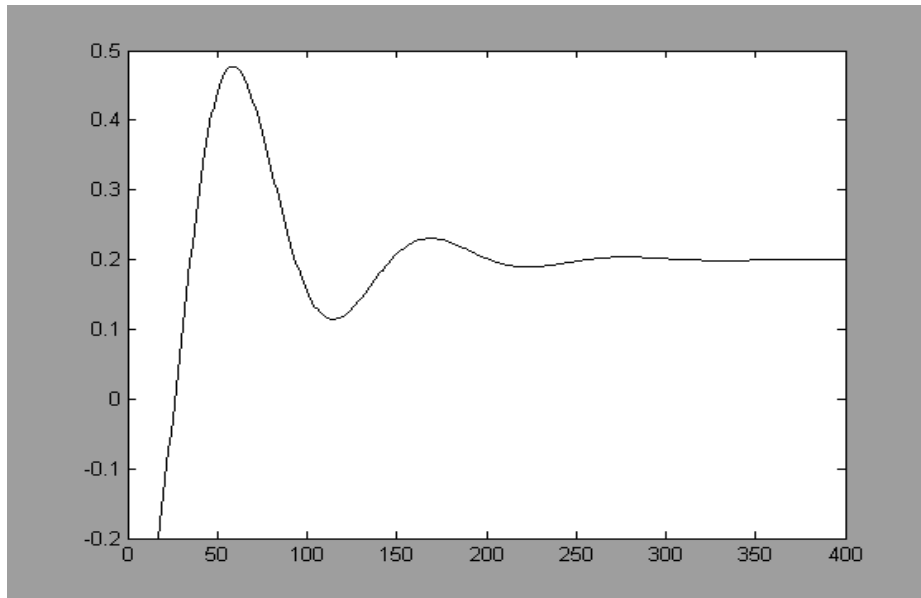


Рис. 2. Кривая переходного процесса по каналу «разряжение в печи – число оборотов дымососа»

Как видно из рисунка показатели качества переходного процесса $K_p^* = 0.69$ и $S^* = 0,0239$ вполне удовлетворяют потребностям производства.

Оптимизация процесса плавки печью ISASMELT позволит увеличить эффективность и качество управления, что в свою очередь обеспечит ведение процесса с наилучшими экономическими, энергетическими и качественными показателями в соответствии с целями, которые будут стоять перед предприятием в зависимости от его экономического состояния и складывающегося рынка и продукции.

Литература

1. Толковый словарь Академик. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/108584/Металлургия>
2. Иванов В.А., Николаева Н.И., Ибраев А.Х., Шапировский М.Р. Математическая модель надфурменной зоны печи Ванюкова. // Цветная металлургия. 1990, №8, с. 113-115.
3. Васкевич А.Д., Манцевич Н.Н., Ванюков А.В. // Цветные металлы. 1986. №1. С. 15-17.