

УДК 621.3.078

С.Ф. ЖУКОВ (д-р техн. наук, проф.), А.И. ВАЖИНСКИЙ  
Государственное высшее учебное заведение  
«Донецкий национальный технический университет»  
[center@quantum.com.ua](mailto:center@quantum.com.ua)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСА ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассматривается процесс автоматизации подготовки шихтовых материалов агломерационного процесса с заданной производительностью и качеством. В работе приведены результаты исследования электротехнического комплекса весового дозирования на металлургическом комбинате с применением метода площадей для определения параметров объекта управления.

**Ключевые слова:** весовое дозирование, метод площадей, система визуализации, электротехнический комплекс.

**Введение.** Одним из факторов, затрудняющих качественную настройку регуляторов в замкнутых системах, является транспортное запаздывание управляющего воздействия. Для процесса агломерации важно соблюдать весовое соотношение всех компонентов шихты с целью обеспечения стабильного химического состава. Руда в данном процессе является основным компонентом, поэтому ставится задача качественного управления и регулирования процессом дозирования этого компонента. При решении задач оптимизации процесса дозирования необходимо с достаточной точностью определять соотношение шихтовых материалов с учетом их химического состава, влажности, фракции, включенных примесей [1].

**Цель работы.** Основной задачей при достижении повышения качества подготовки шихтовых материалов является устранение того негативного влияния на качество управления, которое оказывает запаздывание в технологических объектах. Типовые решения не позволяют достичь этого и, следовательно, необходимо применение адаптивного регулятора, основанного на автоматической идентификации параметров объекта.

**Материалы исследования.** В системе будем использовать схему управления с реакцией на время запаздывания. Если модель правильно идентифицирована, то с ее помощью можно предсказать поведение выходной переменной, решая уравнение модели, т.е. не дожидаясь реакции объекта на управляющее воздействие. Представим реальный объект как последовательное соединение запаздывающего и инерционного звена 2-го порядка (рис.1). Так как передаточная функция инерционного звена 2-го порядка имеет вид:

$$w_a(p) = \frac{k}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} \quad (1)$$

а запаздывающего:

$$W_z(p) = e^{-\tau_3 p}, \quad (2)$$

то передаточная функция объекта управления может быть описана при помощи выражения:

$$W(p) = \frac{ke^{-\tau_3 p}}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} = \frac{m(p)}{f(p)}. \quad (3)$$

Структура объекта представлена на рис.1. Здесь  $m$  – погонная нагрузка (кг/м),  $f$  – задание на частотный преобразователь исполнительного органа комплекса – тарельчатого питателя (Гц).

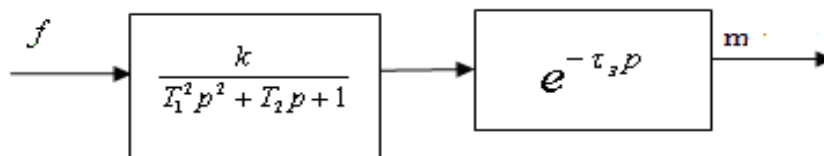


Рисунок 1 – Структура объекта управления

Кривая переходного процесса объекта получена при подаче на вход ступенчатого воздействия  $f_{\text{вх}}=30$  Гц (рис.2). Метод Симоу, базирующийся на вычислении площадей, наиболее эффективен и удобен при использовании микропроцессорной техники для идентификации параметров комплекса весового дозирования в условиях проведения активного эксперимента [2, 3]. Для определения математического описания объекта используем аналитически разработанную структуру объекта (рис.1), а её параметры определим в ходе экспериментов непосредственно на объекте (тарельчатом питателе, осуществляющем выдачу материала).

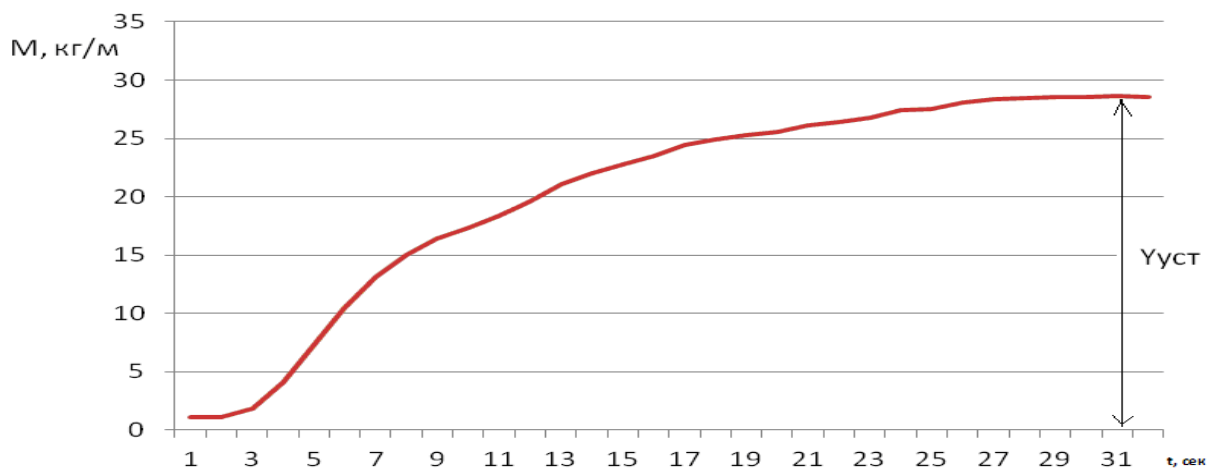


Рисунок 2 – Кривая переходного процесса комплекса весового дозирования.

Часть динамических характеристик объекта ( $T_{об}$ ,  $k$ ,  $\rho$ ,  $\varepsilon$ ,  $\tau$ ,  $\tau_T$ ) можно получить путем анализа переходной функции  $h(t)$ :

$T_{об}=7,49$  с – постоянная времени объекта;

$$k = \frac{y_{уст}}{x_{вх}} = \frac{28,6}{30} = 0,95 \frac{кг/м}{Гц} \text{ – коэффициент усиления объекта;}$$

$$\rho = \frac{1}{k} = \frac{1}{0,95} \approx 1,05 \frac{Гц}{кг/м} \text{ – степень самовыравнивания;}$$

$$\varepsilon = \frac{k}{T} = \frac{0,95}{7,49} \approx 0,13 \frac{кг/м}{Гц \cdot с} \text{ – скорость разгона;}$$

$\tau=8,83$  с – полное запаздывание объекта;

$\tau_T=8$  с – чистое (транспортное) запаздывание объекта.

Передаточную функцию объекта можно представить в виде:

$$W_o(p) = \frac{k \cdot e^{-p\tau}}{T_2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}, \quad (4)$$

где  $\tau$  – транспортное запаздывание;  $k$  – коэффициент усиления;  $T_2$ ,  $T_1$  – постоянные времени.

Постоянные времени  $T_2$ ,  $T_1$  определим, применив метод площадей Симоу:

$$T_1 = \Delta t \cdot \left[ \sum \left(1 - \frac{h_i}{h_{уст}}\right) - 0,5 \cdot \left(1 - \frac{h(0)}{h_{уст}}\right) \right], \quad (5)$$

где  $\Delta t = 1с$  – шаг дискретизации;

$$T_2 = T_1^2 \cdot \alpha \cdot \left[ \sum \left(1 - \frac{h_i}{h_{уст}}\right) \cdot (1 - i \cdot \alpha) - 0,5 \cdot \left(1 - \frac{h(0)}{h_{уст}}\right) \right], \quad (6)$$

где  $\alpha = \Delta t/T_1$ ;  $h_i$  – значение переходной характеристики в  $i$ -й момент времени.

Значения постоянных времени:  $T_1 = 8,84$  с;  $T_2 = 18,19$  с.

Перепишем передаточную функцию объекта, подставляя найденные коэффициенты:

$$W_o(p) = \frac{0,95 \cdot e^{-8p}}{18,19 \cdot p^2 + 8,84 \cdot p + 1}. \quad (7)$$

Из передаточной функции объекта (7) получаем дифференциальное уравнение:

$$T_2 \frac{d^2(m(t))}{dt^2} + T_1 \frac{d(m(t))}{dt} + m(t) = k \cdot f(t - \tau), \quad (8)$$

где  $\tau$  – запаздывание;  $f$  – задание на частотный преобразователь тарельчатого питателя;  $m$  – погонная нагрузка.

Решим это дифференциальное уравнение без учета запаздывания. Подставим в это уравнение известные значения:

$$18,19 \cdot \frac{d^2}{dt^2} m + 8,84 \cdot \frac{d}{dt} m + m = 0,95 \cdot 30$$

Начальные условия:

$$m(0) = m'(0) = 0. \quad (9)$$

Характеристическое уравнение примет вид:

$$18,19 \cdot p^2 + 8,84 \cdot p + 1 = 0. \quad (10)$$

Корни характеристического уравнения:  $p_1 = -0,1792$  и  $p_2 = -0,3068$ . Тогда общее решение примет вид:

$$m_0 = C_1 \cdot e^{p_1 t} + C_2 \cdot e^{p_2 t} = C_1 \cdot e^{-0,1792 t} + C_2 \cdot e^{-0,3068 t} \quad (11)$$

Частное решение примет вид:

$$m^* = 28,5;$$

$$m = m^* + m_0 = 28,5 + C_1 \cdot e^{p_1 t} + C_2 \cdot e^{p_2 t} = 31 + C_1 \cdot e^{-0,1792 t} + C_2 \cdot e^{-0,3068 t};$$

$$m' = -0,1792 \cdot C_1 \cdot e^{-0,1792 t} - 0,3068 \cdot C_2 \cdot e^{-0,3068 t} \quad (12)$$

Для нахождения коэффициентов  $C_1$ ,  $C_2$  воспользуемся начальными условиями (9):

$$\begin{cases} C_1 + C_2 + 28,5 = 0 \\ -0,1792 \cdot C_1 - 0,3068 \cdot C_2 = 0 \end{cases} \quad (13)$$

Решим эту систему уравнений:  $C_1 = -68,53$ ,  $C_2 = 40,03$ .

Таким образом, уравнение переходной характеристики тарельчатого питателя, учитывая запаздывание, имеет вид:

$$h(t) = 28,5 - 68,53 \cdot e^{-0,1794 t} + 40,03 \cdot e^{-0,3066 t}. \quad (14)$$

Сравнение экспериментальной и расчетной кривых представлено на рис.3.

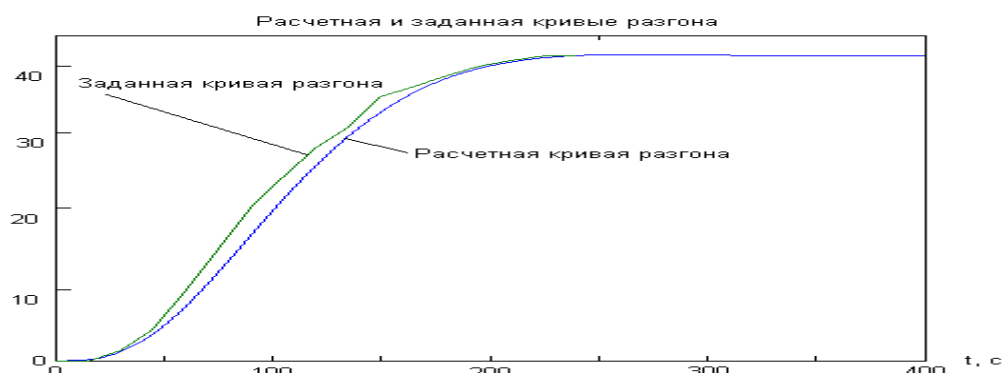


Рисунок 3 – Расчетная и экспериментальная кривая переходного процесса.

Реализация представленного математического обеспечения была проведена средствами языка программирования высокого уровня SCL, входящего в состав программного обеспечения STEP7. Аппаратная реализация полученных алгоритмов осуществляется на базе программируемого логического контроллера SIMATIC S7-300 (ф. Siemens).

**Выводы.** В результате проведенных исследований:

- получена математическая модель комплекса дозирования сыпучих материалов, учитывающая влияние транспортного запаздывания управляющих воздействий;
- определен массив данных, характеризующих параметры объекта управления;
- создано программное обеспечение на основе полученной математической модели объекта управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков С.Ф., Важинский А.И. Автоматизация процессов управления и диагностирования электротехнических комплексов металлургического производства / С.Ф. Жуков, А.И. Важинский // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – 2010. – Ч.1. – С. 181-184.
2. Теория автоматического управления. Линейные системы / И.В. Мирошник. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с.
3. Симановский А.Ю. Типы регуляторов. Методика настройки регуляторов / А.Ю. Симановский. – Ивано-Франковск: Изд-во «МИКРОЛ», 2004. – 63 с.

## REFERENCES

1. Zhukov S, Vazhynskyy A Automation processes management and metallurgical diagnostic complexes of electrical production // Technical electro-dynamics: Special Issue "Problems suchasnoi electrical engineering" – 2010. – Vol.1. – Pp. 181-184.
2. Myroshnyk I.V. *Teoriya Avtomaticheskogo Upravleniya* [Theory of Automatic Control. Linear systems] – St. Petersburg: Peter, 2005. – 336 p.
3. Simanovsky A. *Typy regulatorov. Metodyka nastroyki regulatotov* [Types of regulators. Methods of setting regulators]. – Ivano-Frankivsk: MYKROL, 2004. – 63 p.

Надійшла до редакції 15.03.2013

Рецензент: О.І. Толочко

С.Ф. ЖУКОВ, А.І. ВАЖИНСЬКИЙ

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»

**Застосування методу площ для ідентифікації параметрів комплексу вагового дозування шихтових матеріалів.** Розглядається процес автоматизації підготовки шихтових матеріалів агломераційного процесу із заданою продуктивністю і якістю. У роботі наведено результати дослідження електротехнічного комплексу вагового дозування на металургійному комбінаті із застосуванням методу площ для визначення параметрів об'єкта керування.

**Ключові слова:** вагове дозування, метод площ, система візуалізації, електротехнічний комплекс

S. ZHUKOV, A. VAZHINSKY

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

**Use the area-based method for parameters identification of the weight dosing complex.** For the sintering process is important to follow the weight ratio of the charge components in order to ensure a stable chemical composition. In solving problems of optimization of dosing with sufficient accuracy to determine the ratio of the charge materials with regard to their chemical composition, moisture fraction included impurities. In this regard, the development of methods and means of controlling electrical equipment dispensing systems is relevant. The presence of delay in processing facilities worsens the dynamics of a closed system. Usually at a ratio  $\tau_{del} / T_{obj} > 0.5$  standard control laws can not provide high accuracy and speed of the regulatory process. The main reason here is the sharp decline of the critical gain of the system with increasing delay in the facility management. Therefore, to improve the quality control can be either by reducing the delay in the object, or by using a more complex control structures. Identification - the first stage of an effective system of control plant with delay. The object in the control - static with automatic compensation (variable process with a sudden change of the input coordinates seeks a new steady-state value). Identification of the object is twofold: defining the structure  $W_o(p)$  (structural identification) and the determination of the parameters  $W_o(p)$  (parameter identification). The methods are based on the accurate identification of integral estimates  $h(t)$  by the successive integration of  $h(t)$  [ $x_{vh}(p) = 1/p$ ]. Simoyu method based on the calculation of areas, the most effective and convenient when using a computer to identify the plant in the active conduct of the experiment. To determine the mathematical description of an object using analytically developed structure of the object, and its parameters are determined in the course of experiments on site. To assess the quality of identification model the object using Matlab Simulink software product and visually estimate accuracy. The criterion for identifying or adequacy of the model and the Shelter is cross-correlation coefficient and the minimum cumulative score. The value of this coefficient always lies between 1 and -1, and the "1" means 100% correlation in the literal sense. The resulting correlation coefficient (0.96) represents a high closeness of relationship models and conditions.

**Key words:** weight dosage, area-based identification, imaging systems, electrical complex.