

А.И. ВАЖИНСКИЙ, аспирант кафедры ЭАПУ ДонНТУ, Донецк

**УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ
ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ
СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ**

Приведены результаты разработки программного обеспечения комплекса весового дозирования. Основой разработки стала предложенная методика идентификации объекта управления. Дано описание измерительного устройства наличия материала с адаптивной настройкой.

Ключевые слова: датчик, весовое дозирование, система управления, идентификация.

Наведено результати розробки програмного забезпечення комплексу вагового дозування. Основною розробки стала запропонована методика ідентифікації об'єкта управління. Дано опис вимірювального пристрою наявності матеріалу з адаптивною настройкою.

Ключові слова: датчик, вагове дозування, система керування, ідентифікація

The results of the weight dosing complex software development are described. Proposed identification method has become a basis for complex software. Also there is description of an adaptive setting measuring device in the paper.

Keywords: sensor, weight dosing, control system, identification.

Введение. Работа подавляющего большинства систем управления на предприятиях может быть существенно улучшена за счет оптимизации настройки регуляторов. С этой целью разрабатываются функции автоматической настройки САУ. Для определения параметров модели необходимо задаваться структурой модели. Для объекта без самовыравнивания производятся дополнительные расчеты [1].

Для процесса агломерации важно соблюдение весового соотношения всех компонентов шихты для обеспечения стабильного химического состава. Руда в данном процессе является основным компонентом, поэтому ставится задача качественного управления и регулирования процессом дозирования этого компонента.

Метод площадей (метод Симою М.П.) [2, 3] позволяет определить передаточную функцию модели объекта по кривой разгона.

Динамические свойства объекта аппроксимируются моделью следующего вида:

$$\overline{W}_M^{-1}(s) = \frac{1}{\overline{W}_M(s)} = \frac{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}{1 + b_1s + b_2s^2 + b_3s^3}, \quad (1)$$

где K – коэффициент усиления; τ – время запаздывания (запаздывание); a_i, b_i – коэффициенты передаточной функции

$$\overline{W}_M^{-1}(s) = \frac{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}{1 + b_1s + b_2s^2 + b_3s^3} = 1 + S_1s + S_2s^2 + S_3s^3, \quad (2)$$

нормированная передаточная функция с коэффициентом усиления равным единице

$$K = \overline{W}_M(0) = 1. \quad (3)$$

Основной задачей является определение коэффициентов a_i, b_i передаточной функции методом, предложенным М.П. Симою.

Для определения параметров модели (1) кривая разгона преобразуется к расчетной. Процедура приведения кривой разгона к расчетной зависит от динамических свойств объекта. Для нас представляет интерес случай объекта регулирования с самовыравниванием (пропорциональный).

На рис. 1 приведена кривая разгона тарельчатого питателя комплекса весового дозирования, полученная экспериментально.

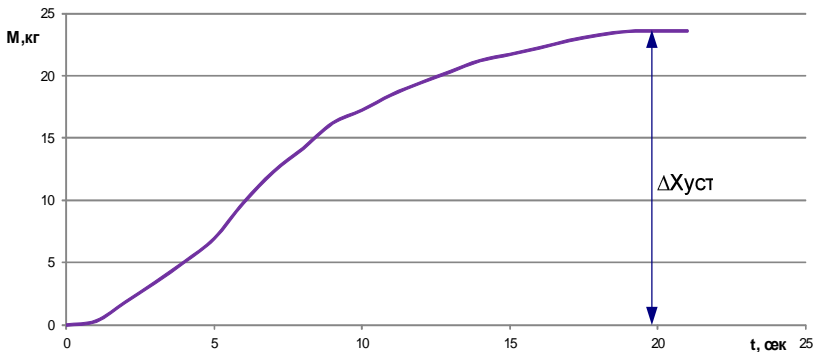


Рис. 1 – Результаты экспериментального снятия кривой разгона объекта.

Для расчета параметров модели методом площадей целесообразно ввести нормированную кривую разгона (переходную характеристику), определяемую формулой

$$\bar{h}(t) = \frac{\Delta y(t)}{\Delta y_{ycm}}. \quad (4)$$

Переходную кривую $\bar{h}(t)$ можно рассматривать как реакцию динамического звена с нормированной передаточной функцией вида (5)

$$\bar{W}_M(s) = \frac{1 + b_1s + b_2s^2 + b_3s^3}{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3} \quad (5)$$

Тогда изображение по Лапласу $\bar{h}(t)$ можно записать как (6)

$$\bar{H}(s) = L\{\bar{h}(t)\} = \bar{W}_M(s) \frac{1}{s}. \quad (6)$$

Параметры a_i, b_i модели (5) могут быть определены по нормированной кривой разгона. Рассмотрим инверсную передаточную функцию модели

$$\bar{W}_M^{-1}(s) = \frac{1}{\bar{W}_M(s)} = \frac{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}{1 + b_1s + b_2s^2 + b_3s^3}. \quad (7)$$

Разложим $\bar{W}_M^{-1}(s)$ в ряд Тейлора в точке $s=0$:

$$\bar{W}_M^{-1}(s) = \frac{1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}{1 + b_1s + b_2s^2 + b_3s^3} = 1 + S_1s + S_2s^2 + S_3s^3, \quad (8)$$

где $\bar{W}_M^{-1}(0) = S_0 = 1$.

Коэффициенты разложения S_k названы М.П. Симою площадями. При известных площадях S_k легко определяются коэффициенты передаточной функции a_i, b_i .

Для этого умножим обе части равенства (8) на знаменатель $\bar{W}_M^{-1}(s)$. В результате получим

$$(1 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3) = (1 + b_1s + b_2s^2 + b_3s^3)(1 + S_1s + S_2s^2 + S_3s^3). \quad (9)$$

Для определения коэффициентов a_i, b_i необходимо $N = m + n$ уравнений и такое же количество площадей. В рассматриваемом случае:

$$\bar{W}_M(s) = \frac{1}{1 + a_1s + a_2s^2 + a^n}, \quad m = 0. \quad (10)$$

Необходимо иметь в виду, что все используемые площади должны быть положительными. В противном случае модель не устойчива (критерий Стодолы).

$$\bar{W}_M(s) = \frac{b_1 s + 1}{1 + a_1 s + a_2 s^2}, \quad n=2, m=1. \quad (11)$$

Для определения 3-х коэффициентов необходимо 3 уравнения. Система (9) принимает вид:

$$\begin{aligned} a_1 &= S_1 + b_1; \\ a_2 &= S_2 + b_1 S_1; \\ 0 &= S_3 + b_1 S_2. \end{aligned} \quad (12)$$

Из последнего уравнения системы (12) находим $b_1 = -S_1/S_2$, подставляя в первые два находим a_1 и a_2 .

$$\bar{W}_M(s) = \frac{b_1 s + 1}{1 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3}, \quad n=3, m=1; \quad (13)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= S_1 + b_1; \\ a_3 &= S_3 + S_2 b_1; \\ a_2 &= S_2 + S_1 b_1; \\ 0 &= S_4 + S_3 b_1. \end{aligned} \quad (14)$$

Введем в рассмотрение вспомогательную функцию $\varphi(t)$, определяемую формулой:

$$\varphi(t) = 1 - \bar{h}(t). \quad (15)$$

Определим изображение по Лапласу $\varphi(t)$.

$$\Phi(s) = L\{\varphi(t)\} = L\{1 - \bar{h}(t)\} = L\{1\} - L\{\bar{h}(t)\} = \frac{1}{s} - \bar{W}_M(s) \frac{1}{s} = \frac{1 - \bar{W}_M(s)}{s} \quad (16)$$

Разложим $\Phi(s)$ в ряд по степеням s в точке $s=0$:

$$\Phi(s) = \mu_0 + \mu_1 s + \mu_2 s^2 + \dots + \mu_k s^k = \sum_{k=0}^{\infty} \mu_k s^k, \quad (17)$$

где $\mu_k = \frac{1}{k!} \Phi^{(k)}(0)$.

Коэффициенты разложения μ_k носят название моментов вспомогательной функции $\varphi(t)$ и могут быть вычислены непосредственно по графику $\varphi(t)$.

Установим связь моментов μ_k с функцией $\varphi(t)$. Запишем формулу прямого преобразования Лапласа для $\varphi(t)$:

$$\Phi(s) = \int_0^{\infty} \varphi(t) e^{-st} dt \quad (18)$$

Подставив значение $s=0$ и сравнивая полученные выражения с формулами для моментов, получим:

$$\begin{aligned}\mu_0 &= \int_0^{\infty} \varphi(t) dt; \\ \mu_1 &= \int_0^{\infty} (-t) \varphi(t) dt; \\ \mu_2 &= \frac{1}{2!} \int_0^{\infty} (-t)^2 \varphi(t) dt; \\ \mu_k &= \frac{1}{k!} \int_0^{\infty} (-t)^k \varphi(t) dt.\end{aligned}\tag{19}$$

Как видно из формул (19) моменты μ_k могут быть вычислены по известной функции $\varphi(t)$. Установим связь между моментами μ_k и площадями S_k .

Преобразуем формулу (19) в $s\Phi(s) = 1 - \overline{W}_M(s)$ или $\overline{W}_M(s) = 1 - s\Phi(s)$.

Отсюда следует, что

$$\left[1 - s\Phi(s)\right] \frac{1}{\overline{W}_M(s)} = 1.\tag{20}$$

Далее

$$\left[1 - s(\mu_0 + \mu_1 s + \mu_2 s^2 + \mu_3 s^3)\right] \left[1 + S_1 s + S_2 s^2 + S_3 s^3\right] = 1,$$

или

$$\left[1 - \mu_0 s - \mu_1 s^2 + \mu_2 s^3\right] \left[1 + S_1 s + S_2 s^2 + S_3 s^3\right] = 1.\tag{21}$$

Умножая и приводя подобные члены, получим

$$1 + (S_1 - \mu_0)s + (S_2 - \mu_0 S_1 - \mu_1)s^2 = 1.\tag{22}$$

Из выражения (22) следует:

$$\begin{aligned}S_1 - \mu_0 &= 0; \\ S_2 - \mu_0 S_1 - \mu_1 &= 0.\end{aligned}\tag{23}$$

Из последних уравнений получаем рекуррентные формулы для вычисления площадей:

$$\begin{aligned}S_1 &= \mu_0; \\ S_2 &= \mu_0 S_1 + \mu_1.\end{aligned}\tag{24}$$

Таким образом, алгоритм оценки параметров модели может быть записан следующим образом,

$$\begin{aligned}\mu_0 &= \int_0^{\infty} \varphi(t) dt; \\ \mu_1 &= \int_0^{\infty} (-t) \varphi(t) dt; \\ \mu_2 &= \frac{1}{2!} \int_0^{\infty} (-t)^2 \varphi(t) dt; \\ \mu_k &= \frac{1}{k!} \int_0^{\infty} (-t)^k \varphi(t) dt.\end{aligned}\tag{25}$$

где $\varphi(t) = 1 - \frac{\Delta y(t)}{\Delta y_{уст}}$;

$$\begin{aligned}S_1 &= \mu_0; \\ S_2 &= \mu_0 S_1 + \mu_1.\end{aligned}\tag{26}$$

и

$$\begin{aligned}a_1 &= b_1 + S_1; \\ a_2 &= b_2 + b_1 S_1 + S_2; \\ a_3 &= b_3 + b_2 S_1 + b_1 S_2 + S_3.\end{aligned}\tag{27}$$

Используя метод трапеций, проводится замена бесконечного предела интегрирования конечным:

$$\mu_k = \frac{1}{k!} \int_0^{T_n} (-t)^k \varphi(t) dt.\tag{28}$$

По найденным параметрам модели строится расчетная переходная функция и сравнивается с реальной функцией. Рис. 2 дает представление об улучшении качества управления объектом в результате применения программного комплекса.

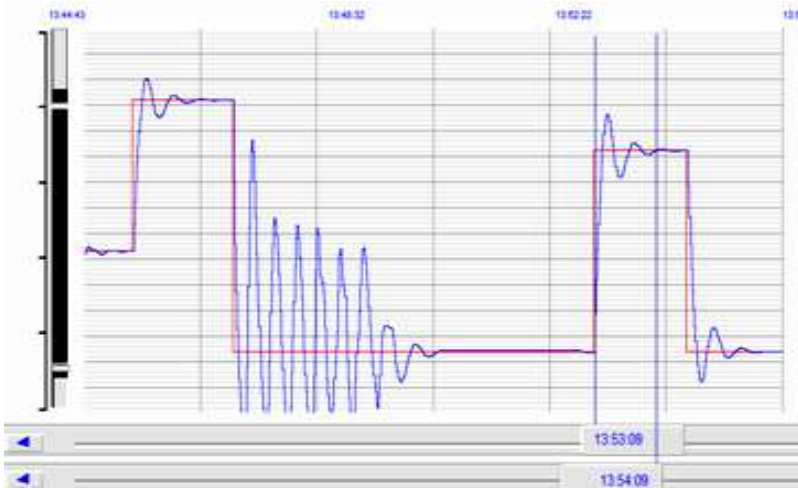


Рис. 2 – Графики переходных процессов в системе управления.

Сложные производственные процессы характеризуются случайным характером возмущений. Не исключением является и операции подготовки шихты. Вопросы применения автоматических систем для сложного объекта, которым является системы весодозирования, характеризуются необходимостью наличия современного программного и аппаратного обеспечения [4]. Одним из важнейших этапов подготовки шихтовых материалов является перемешивание и транспортировка. Задачи бесперебойного снабжения, качественного смешивания и дозирования могут иметь решение только в случае применения современных измерительных устройств наличия материала. В настоящее время для контроля уровня и наличия материалов в системах весового дозирования используются датчики СУ-2, БКС.

Электронный блок сигнализатора уровня материала собран на аналоговой электронной базе (операционные усилители, транзисторы, стабилитроны), которая управляет электромагнитным реле.

Эксплуатация датчиков наличия материалов вышеизложенной элементной базы выявила следующие недостатки:

- необходимость в частой подстройке порога срабатывания;
- частые ложные срабатывания;
- аналоговая электроника выходит из строя, вследствие подгорания контактов электромагнитного реле.

Все вышеизложенное обусловило необходимость разработки измерительного устройства контроля наличия материалов на новой технологической и элементной базе [5].

В новом сигнализаторе датчик наличия материала (электрод) остается прежним, а изменениям подвергается электронный блок. Блок собирается на современной элементной базе, основой является 8 битный микроконтроллер фирмы ATMEL серии ATTINY 2313. Вместо электромагнитного реле используется оптопара серии АОТ, которая способна коммутировать напряжение до 200 вольт и ток до 2 А.

Датчик наличия сыпучих материалов используется в системе автоматической загрузки бункеров. В схеме применяемых сигнализаторов уровня материала на входе применялся операционный усилитель с достаточно высоким коэффициентом усиления, что приводило к частым ложным срабатываниям и остановке технологического процесса. Поэтому на входе сигнализатора уровня материала вместо операционного усилителя предлагается использовать оптопару серии EL 817, с меньшим коэффициентом усиления. На рис. 3 представлена структурная схема предлагаемого электронного блока датчика контроля сыпучих материалов.



Рис. 3 – Схема контроля наличия материала на транспортной ленте.

На входе прибора был установлен оптрон (EL817) с низким коэффициентом усиления сигнала по напряжению. Входная цепь заменена двумя биполярными транзисторами (КТ361), соединёнными по схеме эмиттерного повторителя, что обеспечивает большее усиление по напряжению и увеличивает диапазон срабатывания прибора в зависимости от электрического сопротивления контролируемого материала. Принципиальная схема прибора приведена на рис. 4. В таблице приведены конкурентные преимущества разработанного сигнализатора.

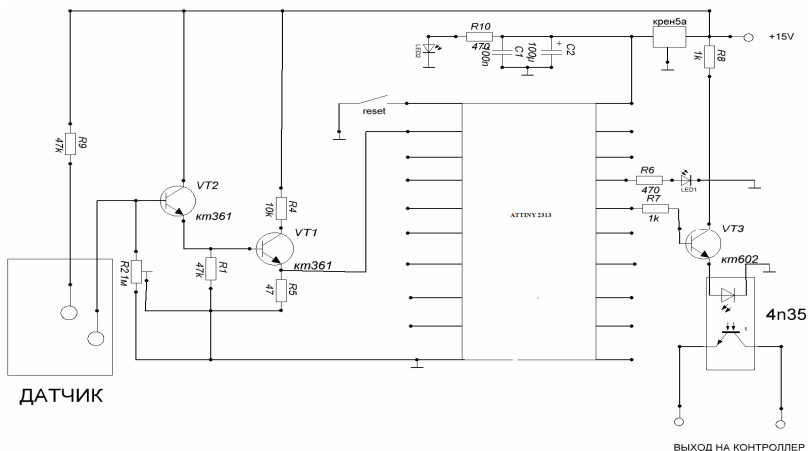


Рис. 4 – Принципиальная схема датчика контроля наличия материала.

Таблица – Конкурентные преимущества разработанного сигнализатора

СУ2	СУ3
Высокая цена	Низкая цена
Электромагнитное реле	Коммутация происходит без искры, контакты не подгорают
Сложная схема	Относительно простая схема
Нет информации для ремонта прибора	Документация по ремонту прибора предоставляется.

Выводы. В результате проведенных исследований:

1. Разработана математическая модель объекта управления – системы дозирования сыпучих материалов, учитывающая влияние транспортного запаздывания управляющих воздействий.
2. Предложена система управления процессом дозирования, алгоритм которой позволяет выполнять управление, основываясь на прогнозировании будущего состояния объекта в течение времени запаздывания.
3. Создано измерительное устройство – датчик наличия сыпучих материалов, позволяющий проводить адаптивную настройку определения различных материалов.

Список литературы: 1. Астахов А.Г. Автоматизация процессов окускования железных руд и концентратов / А.Г. Астахов, Н.В. Федоровский. – К.: Техника, 1965. – 230 с. 2. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. – М.:

Мир, 1984. – 541 с. **3.** *Симою М.П.* Определение коэффициентов передаточных функций линеаризованных звеньев систем регулирования / *М.П. Симою* // Автоматика и телемеханика. – 1957. – № 6. – С. 514-527. **4.** *Жуков С.Ф.* Разработка комплекса аппаратных и программных средств автоматического управления агломерационным производством / *Жуков С.Ф., Важинский А.И.* // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2009. – № 9. – С. 9-10. **5.** Пат. на корисну модель № 71202 Україна, МПК(2012) G01F23/00. Сигналізатор наявності сипких матеріалів / *А.И. Важинский, С.Ф. Жуков, Р.М. Кожанов* // Заявлено 02.12.2011; Опубл. 10.07.12, Бюл. №13.

Поступила в редколлегию 29.11.2012