

И.В. Новицкий, д-р техн. наук; О.А Омелянченко
(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ МЕЛЬНИЦ САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Актуальность задачи. Эффективность работы мельницы самоизмельчения руд во многом определяется степенью заполнения барабана измельчаемым материалом φ . В качестве регулирующего воздействия при этом выступает поток исходного материала в мельнику Q . Оптимальная степень заполнения φ_{opt} не является постоянной величиной; она зависит от ряда внешних факторов (в частности, от свойств измельчаемой руды и износа оборудования) и определяется системой верхнего уровня иерархии. Таким образом, на нижнем уровне управления актуальной является задача стабилизации степени заполнения барабана рудой на заданном оптимальном уровне.

Постановка задачи. Основной контур локальной системы стабилизации степени заполнения на уровне задания $\varphi_{зад} = \varphi_{opt}$ можно представить схемой как на рис.1.

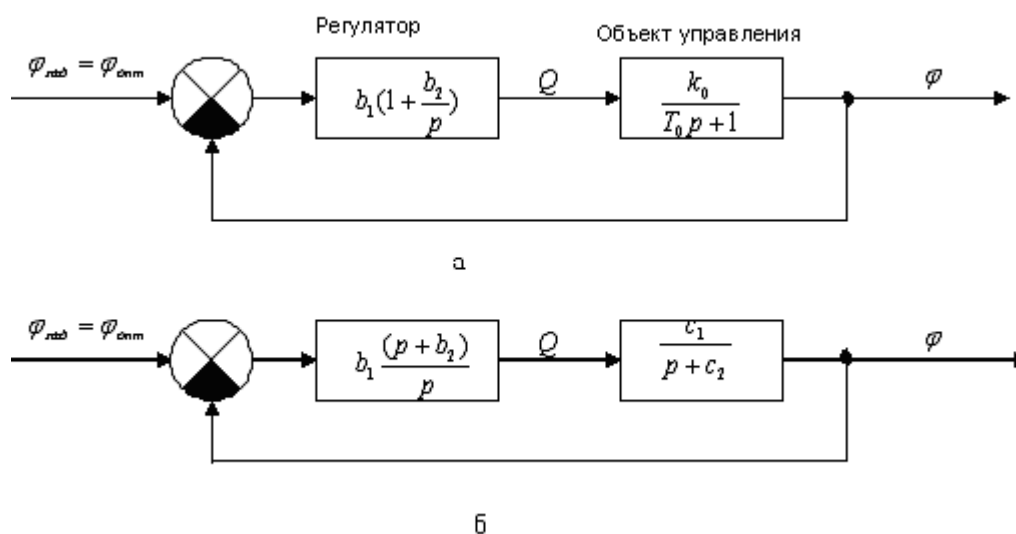


Рис. 1. Структурная схема основного контура системы управления

Известно [1], что барабанная мельница самоизмельчения по каналу «поток материала Q – степень заполнения φ » в первом приближении имеет свойства апериодического звена:

$$W_{oy}(p) = \frac{k_0}{T_0 p + 1}.$$

Цель управления объектом основного контура состоит в получении переходного процесса $\varphi(t)$ с желаемыми свойствами – это апериодический процесс

с заданной постоянной времени. Задача управления усложняется тем фактором, что параметры объекта управления (коэффициент передачи k_0 и постоянная времени T_0) изменяются непредвиденным образом в зависимости от изменения свойств измельчаемого материала и степени износа деталей мельницы (футеровки, решетки). Скорость изменения указанных возмущений (a , значит, и параметров k_0 , T_0 объекта) значительно меньше, скорости протекания процессов в управляемом основном контуре. Это значит, что в данном случае можно принять гипотезу квазистационарности параметров k_0 , T_0 , а для достижения цели управления целесообразно применить адаптивную самонастраивающуюся систему (СНС).

Решение задачи. На периоде квазистационарности получение аperiodического переходного процесса в основном контуре с заданной постоянной времени обеспечивается путем использования ПИ-регулятора (рис.1,а). Введя обозначения $c_1 = \frac{k_0}{T_0}$, $c_2 = \frac{1}{T_0}$, преобразуем схему основного контура (рис.1,б). Желаемая передаточная функция модели, обеспечивающая аperiodический переходной процесс с заданной инерционностью, следующая:

$$W_{\text{мод}}(p) = \frac{a}{p + a}.$$

Передаточная функция замкнутого основного контура управления при условии $b_2 = c_2$ (рис.1,б) имеет вид:

$$W_3(p) = \frac{\frac{b_1 c_1}{p}}{1 + \frac{b_1 c_1}{p}} = \frac{b_1 c_1}{p + b_1 c_1}.$$

Таким образом, при выполнении условия $W_3(p) = W_{\text{мод}}(p)$ получим следующие условия самонастройки параметров регулятора:

$$\begin{cases} b_2 = c_2; \\ b_1 c_1 = a. \end{cases} \quad (1)$$

Структурная схема всей адаптивной СНС представлена на рис.2.

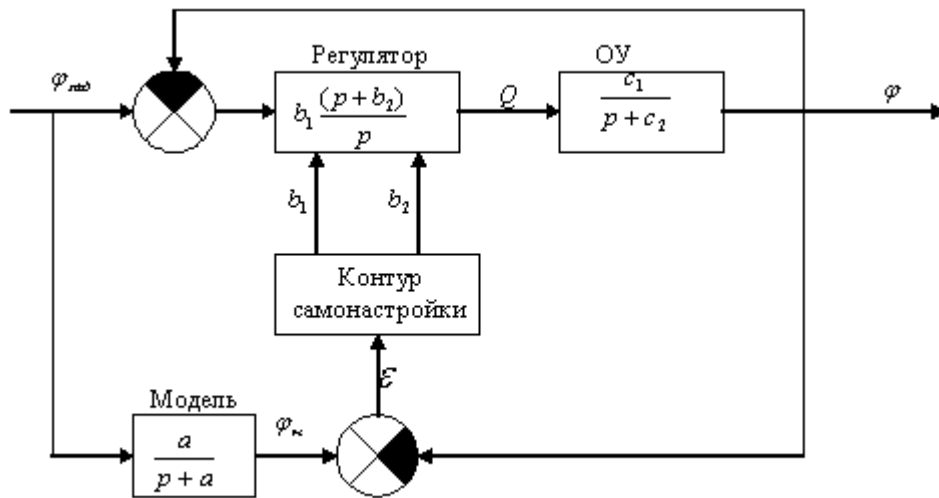


Рис.2. Структурная схема адаптивной системы

Структура контура самонастройки определяется законом формирования (настройки) параметров b_1 и b_2 , т.е. законом градиентов:

$$\frac{db_i}{dt} = -\gamma \frac{\partial Q}{\partial b_i}, \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

где γ – коэффициент пропорциональности; Q – критерий самонастройки:

$$Q = 0,5\varepsilon^2; \quad (3)$$

$\varepsilon = \varphi_m - \varphi$; φ_m – выход модели (желаемый переходной процесс).

С учетом условия (3) выражение (2) запишется как:

$$\frac{db_i}{dt} = -\gamma \frac{dQ}{d\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial b_i} = -\gamma \varepsilon \frac{\partial (\varphi_m - \varphi)}{\partial b_i}, \quad i = 1, 2.$$

Выход модели φ_m не зависит от параметров регулятора b_i . Выход объекта $\varphi = W_3 \varphi_{зад}$. Здесь от параметров b_i зависит оператор (передаточная функция) замкнутого основного контура W_3 . Поэтому

$$\frac{db_i}{dt} = \gamma \varepsilon \frac{\partial W_3}{\partial b_i} \varphi_{зад}, \quad i = 1, 2. \quad (4)$$

В общем случае при $b_2 \neq c_2$ производные (функции чувствительности) следующие:

$$\frac{\partial W_3}{\partial b_1} = \frac{c_1 p (p^2 + p(c_2 + b_2) + c_2 b_2)}{(p^2 + p(c_2 + c_1 b_1) + c_1 b_1 b_2)^2}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial W_3}{\partial b_2} = \frac{c_1 b_1 p (p + c_2)}{(p^2 + p(c_2 + c_1 b_1) + c_1 b_1 b_2)^2}.$$

В соответствии с методом вспомогательных операторов [2] будем полагать, что условия самонастройки (1) выполняются. Тогда с учетом этого, выражения (5) существенно упрощаются:

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_3}{\partial b_1} &= \frac{1}{b_1} \frac{a}{(p+a)} \frac{p}{(p+a)}; \\ \frac{\partial W_3}{\partial b_2} &= \frac{1}{(p+b_2)} \frac{a}{(p+a)} \frac{p}{(p+a)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Окончательно закон настройки параметров регулятора b_1, b_2 (4) с учетом функций чувствительности (6) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} p b_1 &= \gamma \epsilon \frac{1}{b_1} \frac{a}{(p+a)} \frac{p}{(p+a)} \Phi_{зад}; \\ p b_2 &= \gamma \epsilon \frac{1}{(p+b_2)} \frac{a}{(p+a)} \frac{p}{(p+a)} \Phi_{зад}. \end{aligned} \quad (7)$$

Уравнения (7), разрешенные относительно b_1 и b_2 , по сути, определяют структуру контура самонастройки адаптивной СНС. В соответствии со структурной схемой адаптивной системы (рис.2) был составлен алгоритм, реализующий принцип моделирования Δt [3]. Расчет переходных процессов в СНС был выполнен на ЭВМ. На рис.3,а приведены процессы изменения выходов модели $\varphi_{мод}(t)$ и объекта $\varphi(t)$ (величины $\varphi_{мод}$ и φ – нормированы), на рис.3,б – процессы настройки параметров регулятора основного контура (установившиеся значения для $b_{1уст} = 1,33$, $b_{2уст} = 0,2$).

Как следует из рис.3, система сохраняет свою работоспособность даже при мгновенных изменениях параметров объекта управления более чем на 30% от номинальных значений. При этом время настройки равняется примерно 30 минутам. С учетом того, что постоянная времени объекта составляет 5-7 минут, этот результат является удовлетворительным.

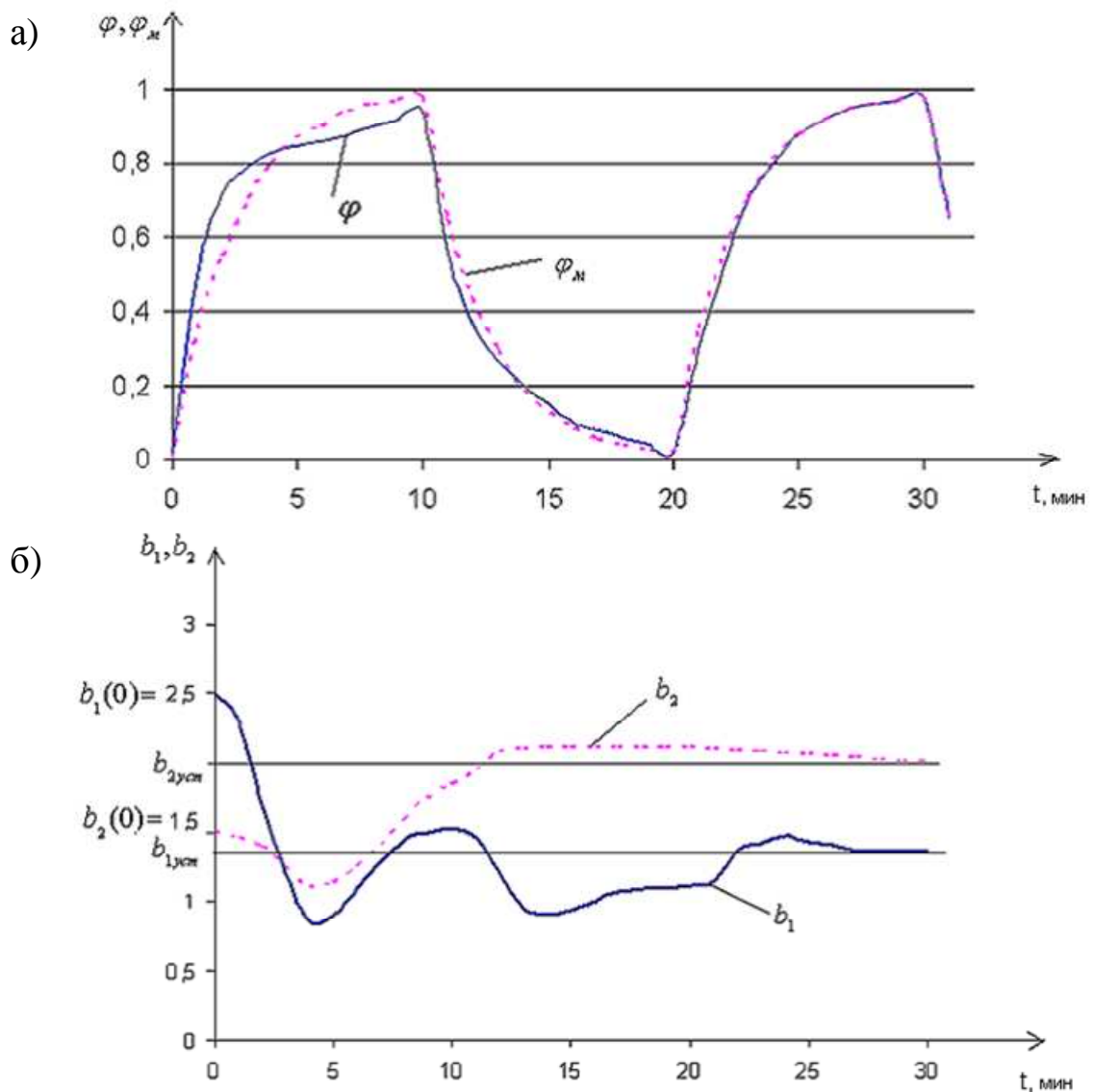


Рис.3. Переходные процессы в адаптивной системе при значениях параметров:
 $a = 0,4$; $\gamma = 189$; $c_1 = 3$; $c_2 = 0,2$; $b_1(0) = 2,5$; $b_2(0) = 1,5$

Эффективность работы адаптивной системы во многом определяется параметром γ – коэффициентом пропорциональности в законе настройки (2). На рис.4 представлена зависимость времени настройки системы t_n от значений параметра γ , из которой видно присутствие оптимального значения коэффициента пропорциональности γ_{opt} .

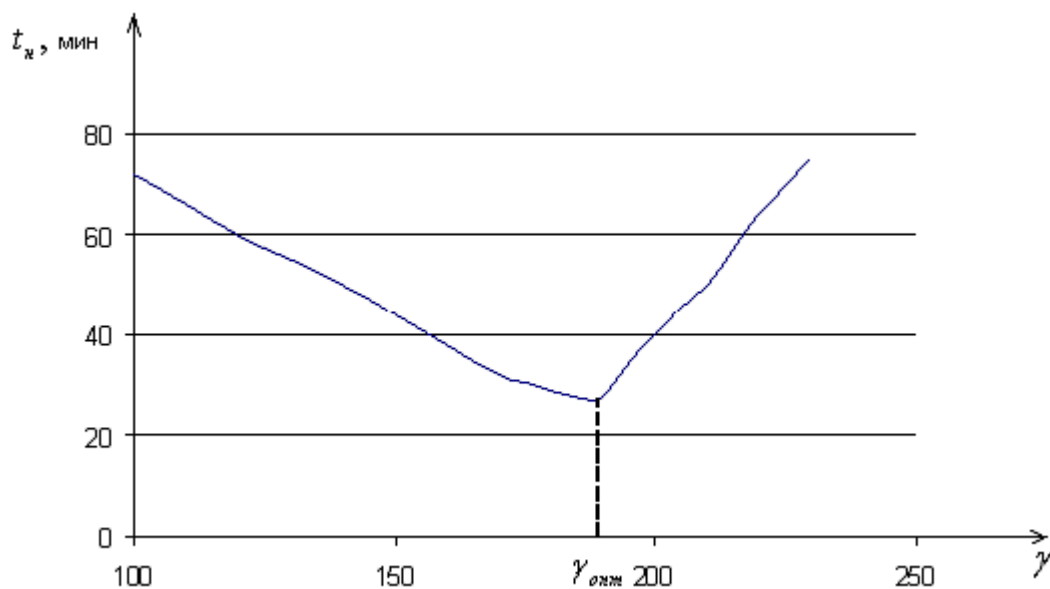


Рис.4. Зависимость времени настройки t_n СНС от значения параметра γ

Выводы.

1. Для управления степенью заполнения барабанной мельницы самоизмельчения целесообразно применение адаптивной системы, что обусловлено нестационарностью объекта.

2. Работоспособность и эффективность адаптивной СНС для управления барабанной мельницей подтверждается результатами имитационного моделирования.

3. Имитационное моделирование процессов в адаптивной системе позволяет не только оценить работоспособность системы, но и определить оптимальные параметры ее настройки.

Список литературы

1. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях: Справ. пособие / Под ред. В.С.Виноградова. – М.: Недра, 1984. – 167с.
2. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А.Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712с.
3. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 353с.