УДК 622.7

А.А. Василенко, ассистент

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ

This article is describe the management system which one for control the extreme associations of indexes of a flotation process utilised. The system allows effectively to control the process at the expense of dynamic correction of parameters of model and application of a method of a regularization at identification of plant. The stability of a system by a method Lyapunov is researched.

При создании эффективной системы управления необходимо определить основные входные, выходные и возмущающие показатели процесса, а также их взаимосвязь и влияние на ход технологического процесса. При изучении процесса флотации было выявлено, что большинство машин и аппаратов имеет экстремальные статические характеристики. Поэтому применение принципов экстремального управления к объектам горно-обогатительной промышленности весьма перспективно. Естественно желание работать в районе экстремумов, так как это прежде всего повышает выход нужных продуктов и улучшает их качество. Причем благодаря большой производительности машин экономический эффект от применения экстремального управления может быть очень значительным, а затраты, связанные с введением экстремальных регуляторов, быстро окупаются. Но на сегодняшний день принципы экстремального управления не находят должного распространения в горно-обогатительной промышленности.

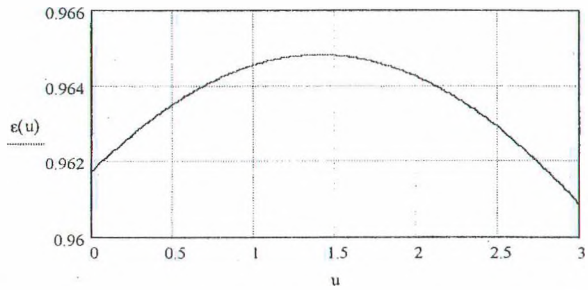


Рис. 1. Зависимость между извлечением и расходом амина

Экстремальный характер имеет зависимость содержания KCl в хвостах и концентрате от весового соотношения ж/т питания флотации (т. е. от плотности).

Поэтому целесообразно строить систему управления с использованием экстремального регулятора. Структурная схема экстремальной системы управления процессом флотации приведена на рис. 2.

С помощью блока идентификации последовательно во времени определяют неизвестные параметры модели объекта и затем отыскивают оптимальное управление исходя из предположения, что найденные оценки параметров совпадают с их истинными значениями. Алгоритм управления состоит из следующих этапов: сбор и обработка информации об объекте; корректировка параметров модели с учетом вновь поступивших данных о процессе; определение оптимальных значений координат по скорректированной модели; реализация управляющих воздействий на объекте.

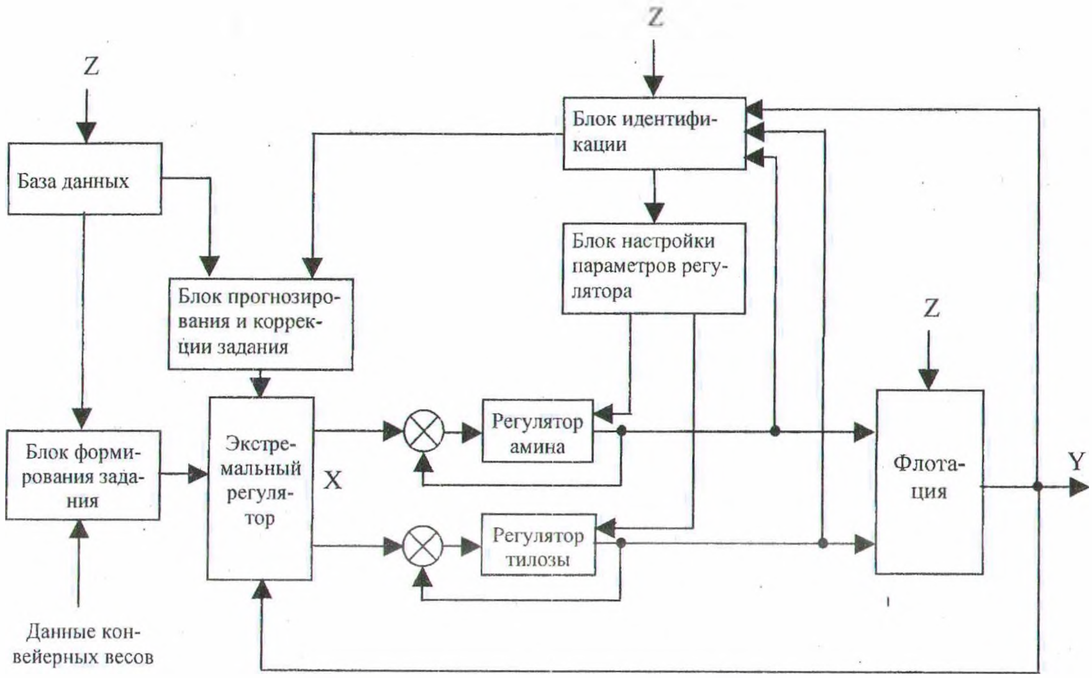


Рис. 2. Экстремальная система управления процессом флотации

Так как процесс флотации является нестационарным и нелинейным, то в производственных условиях коэффициенты уравнений изменяются во времени вследствие наличия низкочастотных неконтролируемых возмущений (износ оборудования, выкристаллизация солевых частиц из раствора и т. д.), и необходима периодическая корректировка коэффициентов модели с целью достижения их соответствия в каждый момент времени реальным значениям.

Коррекция математической модели процесса флотации основана на построении приспосабливающихся к изменению режимов адаптивных моделей, направленных на поиск уравнений вида (функциональный ряд Вольтерра):

$$y_0(t) = \sum_{i=0}^{N} \int_0^{T_{\omega_i}} \dots \int_0^{T_{\omega_i}} \omega_i(\tau_1, \dots, \tau_i) \prod_{l=1}^{i} x_l(l - \tau_l) d\tau_l \,. \qquad (1)$$

Данный способ позволяет применить метод регуляризации для более корректного решения задачи идентификации. Для поиска коэффициента регуляризации применяется метод, описанный в [3].

В процессе работы происходит идентификация объекта управления с учетом возмущающих воздействий. В базе данных собраны данные об оптимальных режимах работы объекта с учетом управляющих воздействий (в частности, расходов амина и тилозы). В зависимости от рассогласования между желаемым состоянием объекта, получаемым от модели-эталона, и действительным состоянием объекта происходит подстройка управляющего воздействия.

Для работы в производственных условиях алгоритм коррекции математической модели предусматривает следующие функции:

1) так как характеристики объекта изменяются во времени, измерения проводятся при значительном уровне шумов и запаздывает информация о выходных показателях объекта, то итеративный процесс уточнения модели необходимо вести с постоянным шагом;

2) коррекцию модели целесообразно вести по усредненным за несколько шагов данным, так как поправка коэффициентов в этом случае идет с меньшей колебательностью, а число необходимых коррекций сокращается без уменьшения скорости коррекции.

Блок настройки параметров регулятора (БНПР) содержит алгоритмы для динамической подстройки регулятора по оценкам характеристик объекта управления, получаемым в режиме нормального функционирования.

В блоке экстремального регулятора на основе управляющих и поисковых алгоритмов производится расчет коэффициентов контура управления «расход амина – концентрация KCl в хвостах», «расход тилозы – концентрация KCl в хвостах» и синтез параметров регулятора.

Для регуляторов расхода амина и тилозы используется ПИД-закон. Для сохранения универсальности и гибкости ПИД-закона в нестационарных технологических процессах необходимо сделать ПИД-регулятор адаптивным. В этом случае он обеспечит близость динамических характеристик автоматической системы к некоторому эталону, реализующему желаемые или даже оптимальные характеристики системы.

В общем случае алгоритмы адаптации могут быть представлены следующей системой уравнений [1]:

$$\dot{w} = -\Gamma\psi(x)A(x,w), \tag{2}$$

где w – вектор настраиваемых параметров; x – вектор состояния объекта; Γ – положительно определенная матрица; $\psi(x)$ – обобщенная ошибка; $A(x, w)$ – оператор, конкретные свойства которого определяются в зависимости от рассматриваемой задачи.

Для нахождения экстремума используем метод поиска по чувствительности функции и метод с запоминанием экстремума. На рис. 3 и 4 приведены фрагменты изменения извлечения и расхода амина для вышеназванных методов. Время нахождения экстремального значения составляет 60 мин.

При сравнении вышеописанных методов было выявлено, что они дают одинаковые результаты в плане времени выхода на экстремальный участок значения извлечения. Поэтому выбор метода поиска экстремума в основном зависит от технической реализуемости каждого из методов. Наиболее простым с точки зрения реализуемости является метод поиска экстремума по чувствительности функции.

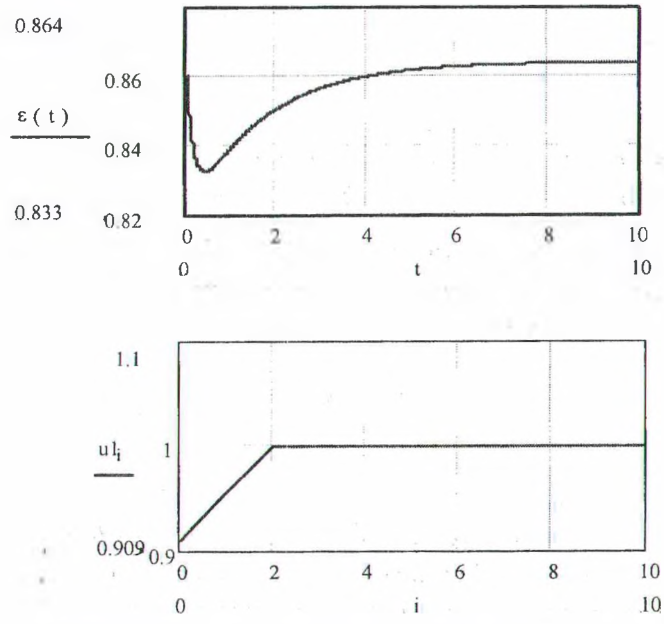
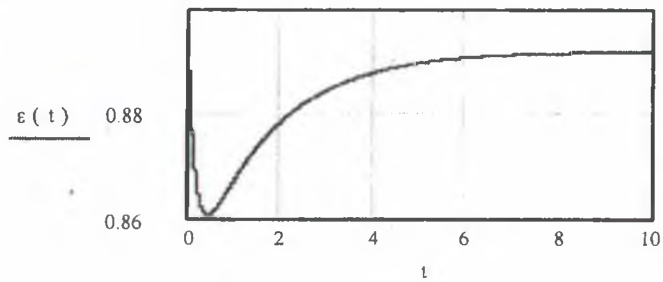


Рис. 3. Алгоритм нахождения экстремума по чувствительности функции



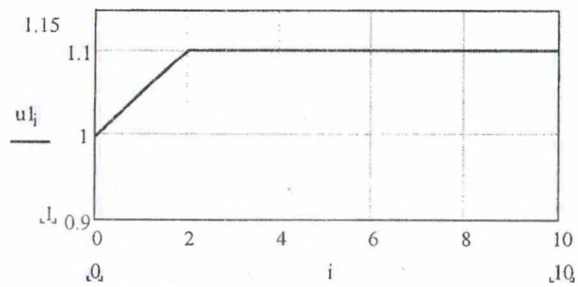


Рис. 4. Метод поиска с запоминанием экстремума

Для изучения устойчивости нелинейных интегро-дифференциальных уравнений Вольтерра воспользуемся методом Ляпунова. Рассмотрим уравнение

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + \int_{t_0}^{t} F(t,\tau)x(\tau)d\tau + f(x, y_1,..., y_k, t) + \mu\varphi(\mu, x, y_1,..., y_k, t), \qquad (3)$$

в котором $x \in R^n$, A(t) – n×n – матрица с непрерывными ограниченными при $t \geq t_0$ элементами, $F(t,\tau) - n \times n$ – непрерывная ограниченная матрица, заданная на множестве $J = \{(t,\tau) \in R^2 : t_0 \leq \tau \langle +\infty\}$, $y_j = \int_{t_0}^{t} F_j(t,\tau)x(\tau)d\tau$ $(j=1, ..., k)$, $F_j(t,\tau)$ того же типа, что и $F(t,\tau)$. Функция $f(x, y_1,..., y_k, t)$ предполагается голоморфной по x, y_1, …, y_k и непрерывной ограниченной по t в области $D = \{(x, y_1,..., y_k, t) \in R^{n(k+1)+1} : \|x\| \langle H, \|y_j\| \langle H, t \geq t_0, j = 1,...,k\}, H \rangle 0$. Ее разложение в ряд в нуле начинается с членов не ниже второго порядка. Будем рассматривать задачу Коши с начальным значением $x(t_0)=x_0$. Ее решение существует и единственно, по крайней мере, для $t_0 \leq t \leq T$ при некотором $T<+\infty$, при условии, что $\varphi(\mu, x, y_1,..., y_k, t)$ – непрерывная ограниченная по t голоморфная по $\mu, x, y_1, ..., y_k$ в области D вектор-функция такая, что коэффициенты разложения $\varphi^l(t)$ (l – произвольный набор индексов) для $\varphi(\mu, 0,..., 0, t)$ удовлетворяют неравенству

$$\left\|\varphi^l(t)\right\| \leq Ce^{-\beta(t-t_0)} \qquad (4)$$

при $t \geq t_0$, где $C>0$, $\beta>0$ – $const$, $\mu \geq 0$ – малый параметр, $\mu<h$ для некоторого h.

Уравнение (3) при $\mu=0$ будем называть невозмущенным, а вектор-функцию $\mu\varphi(\mu, x, y_1, ..., y_k, t)$ считать постоянно действующим возмущением.

Пусть $X(t,t_0)$ – матрица фундаментальной системы решений линейного уравнения, отвечающего невозмущенному уравнению, такая, что $X(t,t_0)=E$, и пусть $X(t,t_0)$ определена для всех $t \geq t_0$.

Общее решение уравнения (3) в окрестности точки $x=0$ запишется рядом

$$x(t)=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{l_1+\ldots+l_n+s=m} S_m^{l_1,\ldots,l_n,s}(t)e^{-(\gamma-\varepsilon)(t-t_0)}x_{01}^{l_1}\ldots x_{0n}^{l_n}\mu^s \tag{5}$$

с непрерывными ограниченными коэффициентами $S_m^{l_1,\ldots,l_n,s}(t)$, который сходится абсолютно и равномерно при $x_0 \in G = \{x_0 \in R_n : \|x_0\| < \delta\}, \mu < \eta$. Всякое решение с $x_0 \in G, \mu < \eta$ стремится к 0 при $t \to +\infty$.

В [2] доказано, что нулевое решение невозмущенного уравнения (3) является устойчивым при постоянно действующих возмущениях, удовлетворяющих условию (4). Следовательно, система устойчива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюкин Е.Ю. Алгоритмы адаптации в конечной форме для класса нелинейных динамических объектов // АиТ. 2003. № 6. – С. 115–139.
2. Метод функций Ляпунова в анализе динамики систем / Под ред. В.М. Матросова. – Новосибирск.: Наука, 1987. – С. 102–104.
3. Бессонов А.А. Методы и средства идентификации динамических объектов. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.