ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Ордынцев. Математическое описание объектов автоматизации. Изд-во «Машиностроение», 1965.
2. Я. А. Гельфандбейн. Методы кибернетической диагностики динамических систем. Изд-во «Зинатне», Рига, 1967.
3. Н. А. Лившиц, В. Н. Пугачев. Вероятностный анализ систем автоматического управления. Изд-во «Советское радио», 1963.
4. А. Н. Скляревич. Операторные методы в статистической динамике автоматических систем. Изд-во «Наука», 1965.
5. В. В. Солодовников. Статистическая динамика линейных систем автоматического управления. Физматгиз, 1960.

# ПРИМЕНЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*В. И. Салыга, А. Т. Акулов, Н. Р. Хаджиков*

Харьков

В последнее время значительно увеличивается число задач, для решения которых необходимо применение адаптивных принципов управления. Это обусловлено сложностью новых объектов автоматизации и изменчивостью их характеристик, а также повышением требований к эффективности систем автоматического управления. В частности, к сложным стохастическим объектам относятся и обогатительные процессы, которые характеризуются многофакторностью, наличием на входе и выходе неконтролируемых параметров, изменением характеристик основных воздействий в широких пределах, значительными запаздываниями по основным каналам управления, распределенностью параметров и т. д. [1]. Практическое применение методов адаптации неизбежно связано с исследованием целого комплекса проблем. Одной из основных проблем является получение информации об управляемом объекте, оценка параметров, т. е. его идентификация. Эта задача представляет собой самостоятельную сложную проблему теории автоматического управления. Однако ее решение во многом определяет структуру и качество работы автоматической системы управления.

В данной работе рассматривается применение вероятностных итеративных методов, в частности метода стохастической аппроксимации, при построении статистической модели флотопроцесса. Статическая модель процесса представлялась в виде [5]

$$y = \sum_{i=1}^{n} a_i x_i, \qquad (1)$$

где $x_i$ — входные параметры объекта;

$a_i$ — неизвестные коэффициенты, описывающие объект.

Для учета динамики объекта входные параметры в разные моменты времени принимались за самостоятельные входные переменные.

Так как на объекты обогатительной технологии действуют неконтролируемые случайные возмущения, вектор коэффициентов $A = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$ с течением времени изменяется.

Задача сводится к непрерывному определению оценок коэффициентов множественной регрессии в процессе нормального функционирования объекта. Решение поставленной задачи методом регрессионного и текущего корреляционного анализа связано с громоздкими вычислениями. Поэтому в последнее время широкое распространение получили способы определения текущих оценок коэффициентов модели, основанные на методе стохастической аппроксимации [2].

Последний позволяет упростить алгоритмы, уменьшить загрузку оперативной памяти ЦВМ по сравнению с корреляционными методами идентификации. При этом оценки параметров объекта берутся вначале произвольно, затем уточняются по мере поступления информации о входных и выходных воздействиях объекта.

При неполной информации, т. е. при неточных измерениях входных и выходных параметров и при неконтролируемых возмущениях, приближенные оценки $a'_{i,\,N}$ искомых коэффициентов $a_i$ после $N$ опытов уточняются по следующему итерационному алгоритму [3]:

$$a'_{i,\;N+1} = a'_{i,N} + \gamma \frac{\hat{y}_{N+1} - \sum_{i=1}^{n} a'_{i,\,N} x_{i,\;N+1}}{\sum_{i=1}^{n} \hat{x}^2_{i,\;N+1}} \hat{x}_{i,\;N+1}, \qquad (2)$$

где $\hat{x}_i = x_i + \delta_{x_i}$ — измеряемые значения входных параметров объекта;

$\delta_{x_i}$ — погрешность измерения входных параметров;

$\hat{y} = y + \delta_y$ — измеряемое значение выходного параметра;

$\delta_y$ — погрешность, обусловленная неточным измерением и наличием неконтролируемых параметров объекта;

$\gamma$ — положительный параметр.

Алгоритм (2) есть разновидность метода стохастической аппроксимации, если за критерий оптимальности выбрано среднеквадратичное отклонение

$$\overline{\varepsilon^2} = M\left[\hat{y}_{N+1} - \sum_{i=1}^{n} a_{i,\,N} \hat{x}_{i,\;N+1}\right]^2. \qquad (3)$$

Коэффициент сглаживания определяется формулой

$$a_{N+1} = \frac{\gamma}{\sum\limits_{i=1}^{n} \hat{x}^2_{i,\,N+1}}. \qquad (4)$$

В работе [3] доказывается, что оценки коэффициентов $a'_i$, уточняемые по алгоритму (2), сходятся к истинным коэффициентам $a_i$. При этом сумма ошибок всех коэффициентов $\left[\sum\limits_{i=1}^{n} (a_i - a'_{i,N})^2\right]$ уменьшается в результате проведения дополнительных опытов.

Для объектов обогатительной технологии, которые характеризуются наличием неконтролируемых возмущений, параметр $\gamma$ не равен единице и выбор его влияет на скорость сходимости и на точность оценки искомых коэффициентов [3]. Его оптимальные значения в смысле максимального уменьшения ошибки за один итерационный шаг определялись следующим выражением [4]:

$$\gamma_{опт} = \frac{\left(\hat{y}_{N+1} - \sum\limits_{i=1}^{n} a'_{i,\,N}\hat{x}_{i,\,N+1}\right)^2 - \sigma^2_{\delta_y} - \sum\limits_{i=1}^{n} a'_{i,\,N}\sigma^2_{\delta_{x_i}}}{\left(y_{N+1} - \sum\limits_{i=1}^{n} a_{i,\,N}x_i\right)^2}, \qquad (5)$$

где $\sigma_{\delta_y}$ и $\sigma_{\delta_x}$ — среднеквадратичные погрешности выходных и входных параметров.

На Ново-Ирминской ЦОФ были сняты экспериментальные данные процесса флотации при нормальном функционировании объекта. В качестве основных входных параметров, влияющих на флотопроцесс, были приняты [5]: плотность пульпы $\delta$, *г/л*; расход пульпы $Q_п$, *м³/ч*; расход реагента-вспенивателя $Q_{рв}$, *г/мин*; расход реагента-собирателя $Q_{рс}$, *г/мин*; зольность исходного шлама $A^c_и$ %; ситовый состав $C_1$ (кл. 0—0,1 *мм*) % и $C_2$ (кл. 0,5 *мм*) %; фракционный состав Ф (фр. 1,5 — 1,8 *г/см³*) %. В качестве выходных параметров были приняты зольность концентрата $A^c_к$ % и зольность хвостов $A^c_{хв}$ %.

Как показано в работе [5], время запаздывания между входными и выходными параметрами объекта по каналу зольности концентрата $(A^c_к)$ составляет 10 *мин*, а по каналу зольности хвостов $(A^c_{хв})$ — 15 *мин*. В связи с этим для учета динамики объекта во внимание были приняты следующие временные координаты: для зольности концентрата $(t-5)$, $(t-10)$, $(t-15)$ *мин*, а для зольности хвостов $(t-10)$, $(t-15)$, $(t-20)$ *мин*.

Модель объекта с учетом динамики представлялась в виде

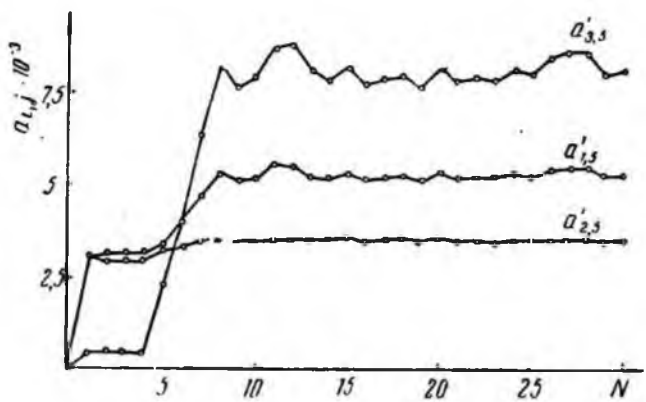
$$A^c_к(t) = \sum_{i=1}^{7}\sum_{j}^{3} a_{ij}x_i(t-j), \qquad (6)$$

где $t$ — номер входа;

$j$ — сдвиг временной координаты, *мин*.

Оценки неизвестных коэффициентов определялись по алгоритму (4) на ЭВМ «Урал-2». Была получена следующая модель объекта по каналу зольности концентрата:

$$A_к^c(t) = 0{,}00519Q_п\,(t-5) + 0{,}00531Q_п(t-10) + 0{,}00511Q_п(t-15) +$$
$$+ 0{,}00349A_и^c\,(t-5) + 0{,}00339A_и^c\,(t-10) + 0{,}076A_и^c\,(t-15) +$$
$$+ 0{,}00772\delta\,(t-5) + 0{,}00681\delta\,(t-10) + 0{,}00585\delta\,(t-15) +$$
$$+ 0{,}0132C_1\,(t-5) + 0{,}00899C_1\,(t-10) + 0{,}00904C_1\,(t-15) +$$
$$+ 0{,}00197Ф\,(t-5) + 0{,}00193Ф\,(t-10) + 0{,}00178Ф\,(t-15) +$$
$$+ 0{,}00057Q_{рв}\,(t-5) + 0{,}00051Q_{рв}\,(t-10) + 0{,}00048Q_{рв}\,(t-15) +$$
$$+ 0{,}00083Q_{рс}\,(t-5) + 0{,}00059Q_{рс}\,(t-10) + 0{,}00138Q_{рс}\,(t-15);$$




по каналу зольности хвостов

$$A_{хв}^c\,(t) = 0{,}426Q_п\,(t-10) + 0{,}0429Q_п\,(t-15) + 0{,}0418Q_п\,(t-20) +$$
$$+ 0{,}0279A_и^c\,(t-10) + 0{,}0267A_и^c\,(t-15) + 0{,}0065A_и^c\,(t-20) +$$
$$+ 0{,}0609\delta\,(t-10) + 0{,}0558\delta\,(t-15) + 0{,}0519\delta\,(t-20) +$$
$$+ 0{,}00103C_2\,(t-10) + 0{,}0703C_2\,(t-15) + 0{,}0702C_2\,(t-20) +$$
$$+ 0{,}00564Ф\,(t-10) + 0{,}00475Ф\,(t-15) + 0{,}00404Ф\,(t-20) +$$
$$+ 0{,}00436Q_{рв}\,(t-10) + 0{,}00393Q_{рв}\,(t-15) + 0{,}00417Q_{рв}\,(t-20) +$$
$$+ 0{,}00048Q_{рс}\,(t-10) + 0{,}00046Q_{рс}\,(t-15) + 0{,}000098Q_{рс}\,(t-20).$$

На рисунке показано изменение оценок коэффициентов $d'_{1,5}$, $d_{2,5}$, $d'_{3,5}$ в зависимости от количества итераций. Аналогичным образом меняются и остальные коэффициенты. Как видно из

графика, оценки коэффициентов сходятся к истинным через 11—12 шагов и за время идентификации практически остаются постоянными.

### ЛИТЕРАТУРА


1. V. I. Saliga, N. R. Hadzikov. Rjesavanje zadataka identifikacije stacionarnih upravljivih objekata tehnologije obogacivanja. Zbornik Radova Jurema, Svezak 1, Zagreb, 1970.

2. Я. З. Цыпкин. Адаптация, обучение и самообучение в автоматических системах. «Автоматика и телемеханика», 1966, № 1.

3. Н. С. Райбман, В. М. Чадеев. Адаптивные модели в системах управления. Изд-во «Советское радио», 1966.

4. Ш. Г. Лелашвили. Статистическое моделирование процесса идентификации адаптивных моделей. Сб. «Автоматическое управление». Изд-во «Мецниереба», Тбилиси, 1967.

5. В. И. Салыга. «Исследование с применением ЭВМ процесса флотации угля как объекта автоматического управления». Автореф. канд. дисс., Харьков, 1967.


## ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА МЕМБРАННЫХ ПРИБОРОВ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ИХ ГАБАРИТОВ


***В. Ф. Прошкин***

**Харьков**


При уменьшении габаритов исходного прибора-оригинала путем изменения размеров каждой из составляющих его деталей может быть получен прибор-модель, отличающийся от оригинала размерами и весом при сохранении той же структурной, кинематической и электрической схем.

Ниже рассматривается изменение характеристик переходного процесса мембранного прибора при уменьшении его габаритов. Уравнение сил, действующих в приборах, обладающих одной степенью свободы, в общем случае выражается зависимостью вида [2], [3]

$$M\ddot{X} + B\dot{X} + SX = f(t), \qquad (1)$$

где $M$ — приведенное значение массы подвижной системы прибора;
$B$ — коэффициент демпфирования подвижной системы прибора;
$S$ — упругая жесткость подвижной системы прибора;
$X$ — отклонение в одну и другую сторону от некоторого среднего положения;
$f(t)$ — внешняя сила.

В уравнении (1) опущена сила кулоновского трения, которую обычно считают постоянной по абсолютной величине. Учет силы трения усложняет исследование собственных движений подвиж-