664.1.033.001.573

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ САХАРА ИЗ СВЕКЛЫ

Ф. В. НЕГОДА, А. П. ЛАДАНЮК

Киевский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт пищевой промышленности

Для управления процессом экстракции сахара из свеклы на основе априорных сведений и экспериментальных данных произведена с точностью до вектора параметров структурная идентификация исследуемого объекта [1]. Полученная структура модели является оптимальной относительно выбранного критерия селекции. Главное требование при функционировании модели в составе АСУТП — соответствовать объекту в каждый зафиксированный момент времени. Как показал анализ экспериментальных данных, исследуемый процесс можно отнести к квазистационарным, т. е. на определенном временном интервале его характеристики остаются постоянными. Проверка в производственных условиях модели [1], полученной на интервале квазистационарности, показала, что относительная среднеквадратичная ошибка прогноза качественных показателей исследуемого процесса возрастает до 30%. Такая ошибка возникает за счет действия неконтролируемых возмущений: изменение качества сырья, тепломассообменных характеристик, состояния оборудования и др. Перечисленные факторы приводят к дрейфу коэффициентов модели исследуемого процесса. Таким образом, возникает задача параметрической идентификации, т. е. расчета оценок коэффициентов модели на основании текущей информации о функционировании исследуемого объекта. Полученную модель статики [1] процесса можно записать в общем виде:

$$Y = F(X, \mathrm{A}), \tag{1}$$

где Y — вектор выходных параметров;

X — матрица входных параметров;

А — матрица коэффициентов модели.

Модель [1] является нелинейной. После разложения (1) по заданной системе функций

$$F(X, \mathrm{A}) = \sum_{i=1}^{k} \alpha_i f_i(x), \tag{2}$$

где α_i — искомые коэффициенты;

$f_i(x)$ — заданная система функций;

k — число заданных функций,

получаем модель, линейную относительно идентифицируемых параметров. Задачу параметрической идентификации представляем в следующем виде:

$$\Phi(\mathrm{A}) = \sum_{i=1}^{N} |y_i^{э} - y_i^{м}|^2 \to \min, \qquad \mathrm{A} \in E^m, \tag{3}$$

где N — число локальных невязок;

$y_i^{э}, y_i^{м}$ — параметры, полученные с объекта и рассчитанные по модели.

Величина $\Phi(\mathrm{A})$ характеризует степень адекватности модели объекту и зависит от параметров модели. В условиях оптимальной структуры объекта $\Phi(A)=0$. Анализ чувствительности целевой функции управления и технологического регламента позволил с учетом ограничений на время реализации алгоритма параметрической идентификации количественно оценить выражение (3).

В нашем случае:

$$\Phi(A)=\sum_{i=1}^{8}|y_i^э - y_i^м|^2 \leqslant 0{,}292, \tag{4}$$

т. е. получим задачу минимизации суммарной невязки (4).

Для решения задачи (4) применяем итерационную формулу [2], записанную в векторной форме:

$$\begin{vmatrix} \alpha_0(n) \\ \alpha_1(n) \\ \alpha_2(n) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \alpha_k(n) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \alpha_0(n-1) \\ \alpha_1(n-1) \\ \alpha_2(n-1) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \alpha_k(n-1) \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 1 \\ f(x_1) \\ f(x_2) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f(x_k) \end{vmatrix} \cdot \frac{\Phi(A)_i}{Z}, \tag{5}$$

где $\Phi(A)_i$ — соответствующая локальная невязка;

Z — постоянная для всех итераций величина,

n — номер такта,

$$Z=\gamma+\sum_{i=1}^{k}[f(x_i)]^2. \tag{6}$$

Сходимость итерационной формулы (5) определяется значением $\Phi(A)_i$ на каждой итерации. При выполнении условия (4) расчет оценок коэффициентов прекращается. На сходимость итерационного алгоритма (5) существенно влияет выбор параметра релаксации γ. Для стационарных процессов рекомендуют [2] параметр γ выбирать постоянным. Для исследуемого объекта γ должен быть его статистической характеристикой. В качестве таковой используем оценку дисперсий выбранной системы функций:

$$\gamma=\sum_{i=1}^{k}S^2[f(x_i)]^2, \tag{7}$$

где $S^2[f(x_i)]$ — оценка дисперсии выбранной системы функций.

Для увеличения скорости сходимости алгоритма (5) на величину идентифицируемых параметров необходимо нанести ограничение

$$\alpha_{i\,min}\leqslant\alpha_i\leqslant\alpha_{i\,max}. \tag{8}$$

Исходя из метода «замороженных коэффициентов» считаем, что существует интервал наблюдения L, где оценки коэффициентов модели постоянны. Тогда, пользуясь информацией, полученной в интервале наблюдения L, можно найти лучшие в смысле критерия (4) оценки коэффициентов. Для определения истинных оценок коэффициентов модели важным параметром является выбор интервала времени, в течение которого процесс можно условно считать стационарным (квазистационарным).

Для выбора интервала квазистационарности применяем подход, используемый в теории информации [3, 4]. Здесь поставленную задачу рассматривают как задачу определения оптимальной длины выборки. Под оптимальной длиной выборки понимаем такую, которая несет сигнал достаточной информативности, обеспечивает минимум смещения оценок коэффициентов модели от истинного значения и сохраняет сглаживающее свойство алгоритма. Для оценки сглаживающих свойств алгоритма применяем меру определенности, как количественную оценку степени адекватности модели объекту [2]

$$Q^2 = \frac{S_y{}^2 - S^2_{ост}}{S_y{}^2}, \qquad (9)$$

где $S_y{}^2$ — дисперсия наблюдаемых значений выходных переменных относительно их математических ожиданий;

$S^2{}_{ост}$ — дисперсия прогноза выходных переменных, рассчитанных по модели.

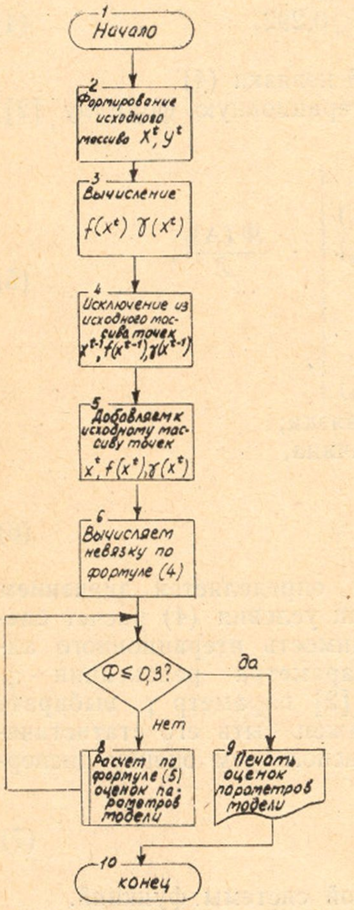

Рис. 1

Величину Q^2 рассчитываем на фиксированном интервале времени, т. е. Q является случайной величиной, зависящей от L. При малых L полезный сигнал отсутствует в выборке, при L чрезмерно большой полезный сигнал фильтруется. Для определения значимости меры определенности применяем критерий Фишера. Мера определенности значима, если

$$F_p \geqslant F_{табл}. \qquad (10)$$

Из всех значений L, удовлетворяющих выражению (10), выбираем те, которые отвечают требованию минимума относительной среднеквадратичной ошибки, рассчитанной по модели выходной переменной относительно измеренной, при соблюдении ограничений, обеспечивающих инвариантность до некоторой малой величины оценок коэффициентов модели к помехе в измерительном канале, т. е.

$$\sigma^2(L) = \frac{\sum\limits_{i-L}^{i} (y_i{}^{э} - y_i{}^{м})^2}{\sum\limits_{i-L}^{i} (y_i{}^{э})^2} \to \min_{L}, \ L \in E^p, \quad (11)$$

$$|S_y{}^2(L) - S^2{}_{ост}(L)| \leqslant \varepsilon. \qquad (12)$$

Расчет интервала квазистационарности проводился по выборке длиной 240 *ч*. Неравенство (10) выполняется на интервале 46—95 *ч*. С учетом требований (11), (12) интервал квазистационарности определяется на интервале 54—82 *ч*. Дополнительные исследования влияния L на качество оценки коэффициентов позволили выбрать интервал квазистационарности 72 *ч*. Суть этих исследований в следующем: на интервале в 240 *ч* при значениях L (12÷160) с шагом 4 *ч* исследовали динамику дрейфа коэффициентов. При значениях (12÷38) оценки коэффициентов существенно зависят от помех, т. е. статистически ненадежны. При значениях L (90÷160) уменьшается чувствительность алгоритма к истинному изменению коэффициентов. Анализ семейства кривых, характеризующих динамику дрейфа коэффициентов в зависимости от L показал, что при $L = 72$ *ч* можно выявить характер плавного нелинейного дрейфа коэффициентов. При этом истинные оценки коэффициентов инвариантны к случайным помехам и сохраняется сглаживающее свойство алгоритма.

На рис. 1 приведена блок-схема алгоритма оперативной оценки параметров модели процесса экстракции сахара из свеклы. Результат производственных испытаний предлагаемого алгоритма представлен на рис. 2. Практически за 3—5 итераций расчетные значения Z_4 (кри-

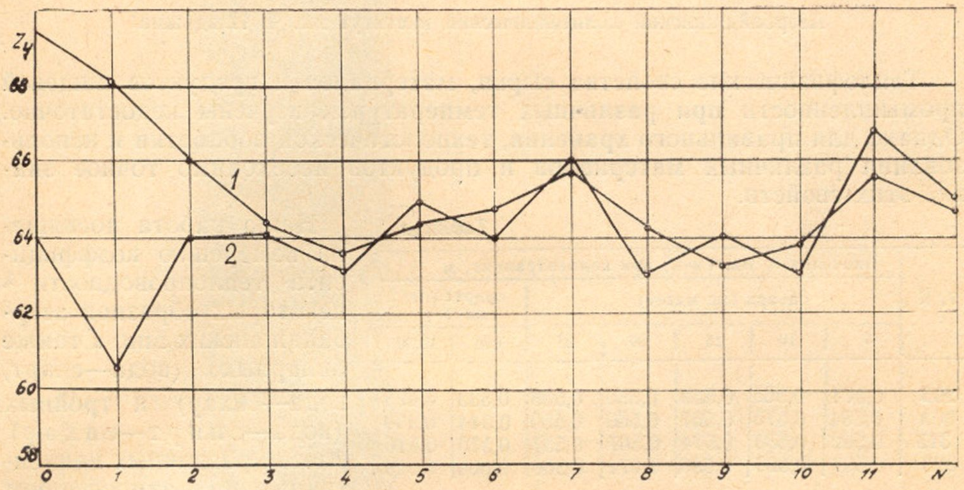

Рис. 2. Эффективность алгоритма оперативной оценки параметров модели на примере изменения (Z_4) — температуры в 4 зоне диффузионного аппарата

вая *2*) совпадают с фактическими (кривая *1*). Это наглядно иллюстрирует скорость сходимости алгоритма (5). Время расчета минимально и составляет 3 *мин* для ЭВМ ЕС 1022. Относительная среднеквадратичная ошибка прогноза не превышает 5%.

ВЫВОДЫ

1. Применение предлагаемого алгоритма текущей оценки коэффициентов модели процесса экстракции сахара из свеклы позволяет уменьшить среднеквадратичную ошибку прогноза основных показателей до 5÷10%.

2. Полученные на интервале квазистационарности оценки коэффициентов модели являются статистически надежными и обеспечивают высокую чувствительность алгоритма к их истинным изменениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Негода Ф. В., Ладанюк А. П. Математическое моделирование процесса экстракции сахара из свеклы. — Изв. вузов СССР, Пищевая технология, 1985, № 4, с. 64.
2. Райбман Н. С., Чадеев В. М. Адаптивные модели в системах управления. — М.: Сов. радио, 1966. — 159 с.
3. Левин Б. Р. Статистическая радиотехника. — М.: Сов. радио, 1976. — 285 с.
4. Каминскас В., Немура А. Статистические методы в идентификации динамических систем. — Вильнюс: «Минтис», 1975. — 197 с.

Кафедра автоматизации
производственных процессов

Поступила 10 IX 1984