

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СТОХАСТИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Рассматривается метод стохастической аппроксимации для адаптации математической модели на примере технологического процесса производства сернистого ангидрида.

Введение. Важным преимуществом метода параметрической идентификации является возможность использования рекуррентных алгоритмов, позволяющих проводить текущую идентификацию модели в реальном времени при номинальных режимах работы объекта. После начальной настройки необходимо обеспечить адаптацию идентифицируемых параметров модели в реальном масштабе времени для повышения адекватности модели физическому процессу. В свою очередь работа в реальном времени накладывает серьезные ограничения на алгоритмы настройки. Алгоритм настройки параметров должен обладать малой вычислительной сложностью и достаточной скоростью сходимости к истинному значению. Необходимо также учитывать действие шумов измерений, которые могут привести к смещению оценок параметров и увеличению дисперсии этих оценок.

Постановка задачи. Рассмотреть применение метода стохастической аппроксимации для решения задачи параметрической идентификации.

Метод стохастической аппроксимации. Несмотря на медленную сходимость оценок, алгоритмы метода стохастической аппроксимации (МСА) из-за своей простоты находят применение в практических задачах идентификации линейных и нелинейных моделей объектов с независимым аддитивным шумом [1,2]. Целью адаптации с помощью МСА является корректировка параметров модели для лучшего описания с её помощью исследуемого процесса.

Рассмотрим применение МСА на примере технологического процесса получения сернистого ангидрида при производстве серной кислоты методом мокрого катализа [3]. Предположим, что через некоторые промежутки времени Δt измеряется температура отходящих газов из печи, камеры дожигания и смешения. На ЭВМ параллельно процессу управления тепловыми режимами моделируется процесс с помощью математической модели, на входы которой подаются входы реального процесса. Необходимо, по отклонениям измеряемых температур газа от рассчитываемых на ЭВМ корректировать параметры модели, сводящие это отклонение к нулю.

Оперативная подстройка параметров заключается в уточнении коэффициентов теплопередачи k_i полученных в результате решения задачи начальной настройки параметров. В соответствии с МСА алгоритм настройки имеет вид:

$$k_i^*(k) = k_i^*(k-1) + \gamma(k)[T_i^{изм}(k) - T_i^{расч}(k)] = k_i^*(k-1) - \gamma(k)e_i(k) = k_i^*(k-1) + \Delta k_i^*(k), \quad (1)$$

где $k_i^*(k)$ – оценка идентифицируемого коэффициента теплопередачи модели; $\gamma(k)$ – коэффициент коррекции; $e_i(k)$ – невязка, соответствующая оцениваемому коэффициенту теплопередачи модели; $T_i^{изм}(k)$ – измеренная температура газов на выходе соответствующего технологического участка; $T_i^{расч}(k)$ – рассчитанная температура газов на выходе соответствующего технологического участка; k – номер такта измерения.

Сходимость алгоритма зависит от выбора последовательности $\gamma(k)$ и в рамках теории стохастической аппроксимации нет однозначных рекомендаций по выбору скорости сходимости последовательности $\gamma(k)$, однако она должна удовлетворять условиям [3]:

$$\sum_{k=1}^{\infty} \gamma(k) = \infty \text{ и } \sum_{k=1}^N \gamma^2(k) < \infty,$$

если дисперсия помех ограничена и модель объекта устойчива, то выполняется условие

$$\lim_{k \rightarrow \infty} k_i^*(k) = k_i.$$

С целью сокращения количества итераций необходимо, чтобы в процессе подстройки элементы последовательности медленно изменялись вдали от истинного значения и быстро уменьшались, когда получена оценка близкая к значению параметра. Достичь такой сходимости можно, если формировать последовательность $\gamma(k)$ по правилу

$$\gamma(k) = \begin{cases} c/(k-1), & \text{если } \text{sign}(e(k-1)) = \text{sign}(e(k)) \\ c/k, & \text{если } \text{sign}(e(k-1)) \neq \text{sign}(e(k)) \end{cases}, \quad (2)$$

где c – параметр определяющий скорость сходимости, $c > 0$ [2].

Принятый закон изменения обеспечивает постоянство элементов последовательности (2), если сохраняется знак невязки и быстрое изменение $\gamma(k)$ в случае частых перемен знака невязки, свидетельствующих о близости подстраиваемого параметра к истинному значению.

При наличии шумов в цепи измерения улучшить сходимость (1) можно приняв упрощенный вариант расчета $\Delta k_i^*(k)$ равным

$$\Delta k_i^*(i) = -\gamma(k) \text{sign}(e_i(k)). \quad (3)$$

Рассмотрим процесс подстройки на примере коэффициента теплопередачи кладки в камере смешения. В качестве измеренных температур принимались рассчитанные на модели с аддитивным дискретным белым шумом и дисперсией, отражающей погрешность измерения температуры газов. Критерием точности подстройки параметров и окончания процесса адаптации служит фильтр скользящего среднего.

На рис. 1 представлены графики относительного отклонения подстраиваемого коэффициента теплопередачи от истинного значения при СКО помехи 5°C .

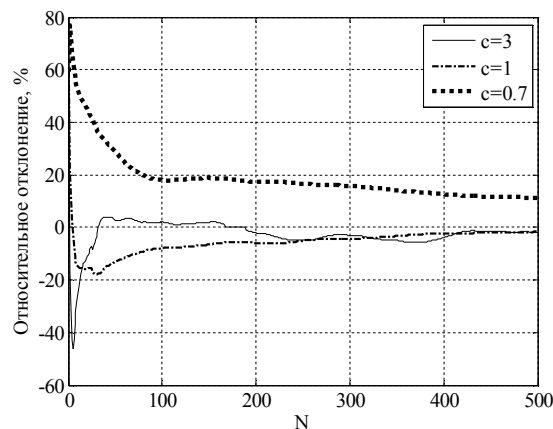


Рис. 1. Траектории подстройки параметра при различных значениях c

Для $c < 1$ значения последовательности быстро уменьшаются, поэтому подстраиваемый параметр не успевает войти в окрестность истинного значения и для получения требуемой точности (5 %) необходимо не менее 500 итераций. Для $c \geq 1$ в начале процесса значение подстраиваемого параметра быстро приближается к истинному значению и после 150 итераций совершает колебания с малой амплитудой постепенно входя в окрестность решения.

Выводы.

1. Метод стохастической аппроксимации позволяет проводить адаптацию идентифицируемых параметров в процессе работы системы управления с поступлением каждого нового значения измерений и не требует сложных вычислений.
2. При наличии шумов в цепи измерений выявлено, что необходимое число итераций для получения оценки параметра близкой к истинной увеличивается с ростом дисперсии помехи измерения и зависит от выбора последовательности коррекции и начального значения коэффициента веса c .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Граничин О.Н. Введение в методы стохастической оптимизации и оценивания: [учебное пособие] / О.Н. Граничин. – СПб: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2003. – 131 с.
2. Гроп Д. Методы идентификации систем / Д. Гроп; пер. с англ. В.А. Васильева, В.И. Лопатина; под ред. Е.И. Кринецкого. – М.: Мир, 1979. – 302 с.
3. Ткаченко В.Н. Разработка и исследование математической модели технологического процесса производства серной кислоты / В.Н. Ткаченко, Н.Н. Чернышев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк: ДонНТУ. – 2009. – Вип. 16 (148). – С. 22-29.