

А.И. Михалёв, А.И. Гуда

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ КРИТЕРИЕВ АДАПТИВНО-ПОИСКОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВАН-ДЕР-ПОЛЯ

*Аннотация.* В статье проведено сравнение двух систем адаптивно-поисковой идентификации системы Ван-Дер-Поля, основанных на двух критериях. Исследованы вопросы скорости и точности поиска в различных режимах.

*Ключевые слова:* Идентификация, хаотическая динамика, критерий идентификации, нелинейная колебательная система Ван-Дер-Поля

### Введение

Современные технологические объекты и системы управления характеризуются высокой сложностью и существенной нелинейностью. При этом динамика системы зачастую не отличается (с точки зрения идентификации) от динамики хаотических систем [3]. Как было показано в [1,4], для идентификации систем подобного класса необходимо применение специальных критериев идентификации, основанных на интегральных свойствах идентифицируемой системы. Однако, для одной и той же динамической системы возможно существование нескольких критериев, отличающихся как свойствами, так и сложностью реализации. При синтезе системы идентификации возникает задача выбора лучшего критерия.

### Постановка задачи

Рассмотрим нелинейную динамическую систему Ван-Дер-Поля [7]:

$$\ddot{x} + \varepsilon(1 - x^2)\dot{x} + \Omega_0^2 x = u(t), \quad (1)$$

где  $x(t)$  – координата колебаний,  $\varepsilon$  – параметр, определяющий получение энергии системой,  $\Omega$  – собственная частота при  $\varepsilon = 0$ ,  $u(t)$  – внешнее возмущающее воздействие. Данная система проявляет, в за-

висимости от значений её параметров, как регулярное, так и хаотическое поведение, что не даёт возможности применить критерий идентификации, основанный на мере близости мгновенных значений выходных сигналов модели и объекта. Характерный фазовый портрет динамики системы в хаотическом режиме представлен на рис. 1.

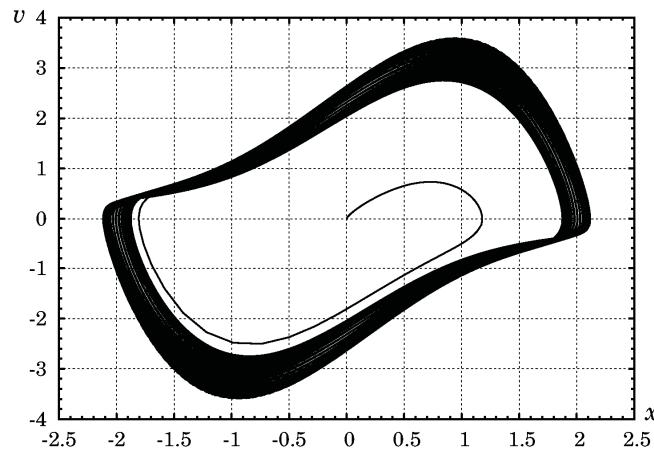


Рисунок 1 – Фазовый портрет системы (1) в хаотическом режиме

В работе [1] был предложен критерий, основанный на оценивании среднего значения “квазипериода”  $\bar{T}$  выходного сигнала. Значение критерия идентификации предлагалось определить следующим образом:

$$F_T = \exp\left(-\gamma(\bar{T}_0 - \bar{T}_m)^2\right). \quad (2)$$

На основе данного критерия была построена система идентификации, и результаты моделирования показали её работоспособность. При этом была отмечена малая скорость идентификации.

В работе [2] для той же динамической системы был предложен другой критерий, основанный на том факте, что при росте величины  $\varepsilon$  система приобретает все более нелинейный “переключающий” характер. Следовательно, можно применить более простой квадратичный критерий со сглаживанием:

$$F_s = \exp\left(-\gamma(a_m - a_o)_2\right), \quad (3)$$

где

$$\frac{da(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_f} (x^2(t) - a(t)). \quad (4)$$

Для системы идентификации, основанной на данном критерии, были проведены процессы моделирования, в условиях, аналогичных предыдущим. В результате было высказано предположение, что данный критерий лучше как в смысле быстродействия, так и в смысле

простоты реализации. Целью данной работы является сравнительный анализ систем идентификации, построенных на предложенных критериях, в различных режимах работы.

### Моделирование процесса идентификации и анализ результатов

Рассмотрим графики зависимостей  $\bar{T}(\varepsilon)$  и  $\bar{x}^2 = a(\varepsilon)$ , лежащих в основе исследуемых критериев (рис. 2) при различных значениях частоты входного сигнала  $\omega_{in}$ .

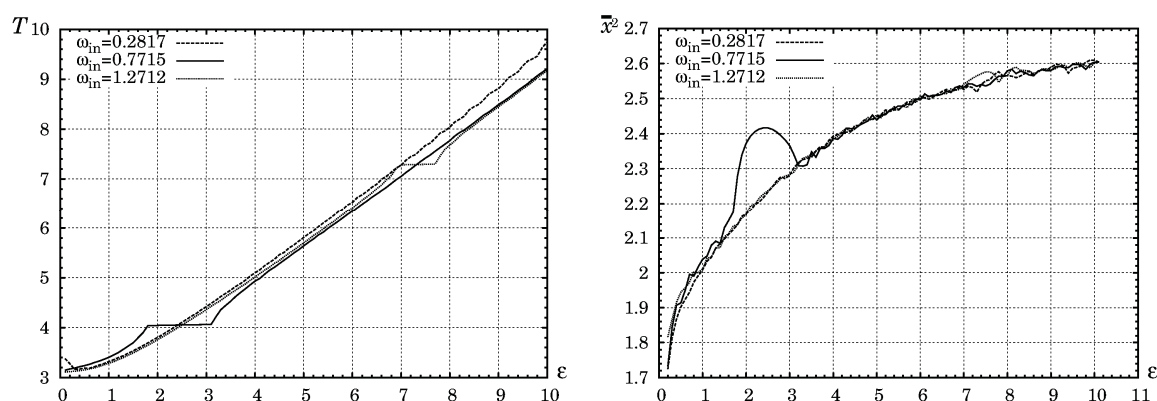


Рисунок 2 – Зависимости  $\bar{T}(\varepsilon)$  и  $a(\varepsilon)$  для системы (1)

Прежде всего, можно сделать вывод, что в большей части рабочего диапазона наблюдается монотонная зависимость исследуемой величины (следовательно, и критерия) от величины параметра. При этом эта монотонность нарушается для обоих критериев в одних и тех же диапазонах, когда наблюдается явление “захвата частоты”. При этом частота и фаза выходного сигнала определяется частотой и фазой входного. Проявляется это явление на графиках по-разному. Зависимость  $\bar{T}(\varepsilon)$  образует горизонтальный участок, на котором следует ожидать или полное нарушение процесса идентификации, или, в лучшем случае, значительное снижение скорости поиска. На зависимости  $a(\varepsilon)$  при этих же условиях наблюдается всплеск, что вызывает опасения в работоспособности поиска при недостаточно разнесенных пробных значениях параметра.

Следующий факт, который следует отметить, заключается в том, что для получения данных для графиков, представленных на рис. 2, потребовались существенно различающиеся времена усреднений. Для получения зависимости  $\bar{T}(\varepsilon)$  понадобилось усреднение на модельном времени порядка 1024 с. При прочих равных, для получе-

ния зависимости  $a(\epsilon)$  оказалось достаточным усреднение за 128 с. Из этого можно сделать предварительный вывод, что второй критерий потенциально позволяет построить систему идентификации с большим быстродействием, или при том же быстродействии – с меньшей ошибкой идентификации.

Рассмотрим результаты моделирования процессов адаптивно-поисковой идентификации системы (1) при использовании критериев (3) и (4) и при одинаковых начальных данных. Параметры самой системы идентификации выбивались в каждом случае таким образом, что бы получить максимальную скорость идентификации при условии сохранения устойчивости поиска. В первую очередь рассмотрим процесс идентификации вдали от области захвата частоты. Искомое значение параметра выбрано  $\epsilon_0 = 1.5$ , а точки начала поиска  $\epsilon_0$  – соответственно 1.2 и 1.9 (рис. 3 и 4). Графики, помеченные буквой “а”, соответствуют критерию (2), а буквой “б” – критерию (3).

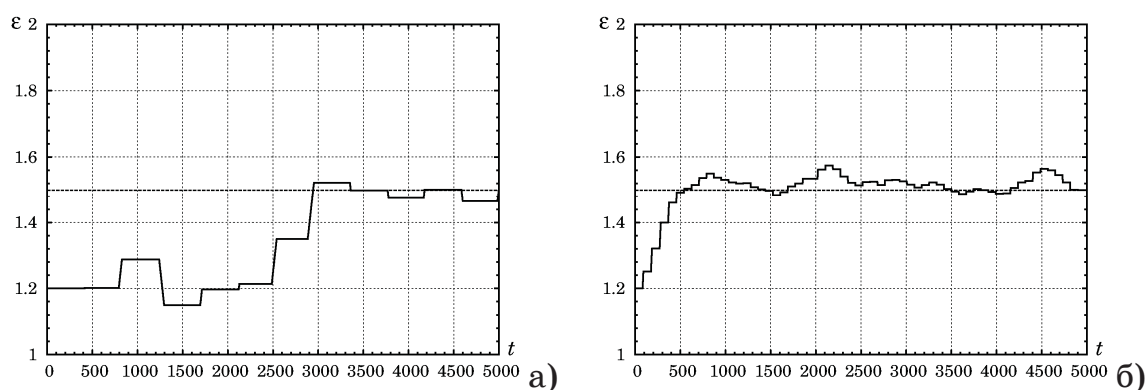


Рисунок 3 – Моделирование процесса идентификации при  $\epsilon_0 = 1.5$  и  $\epsilon_0 = 1.2$

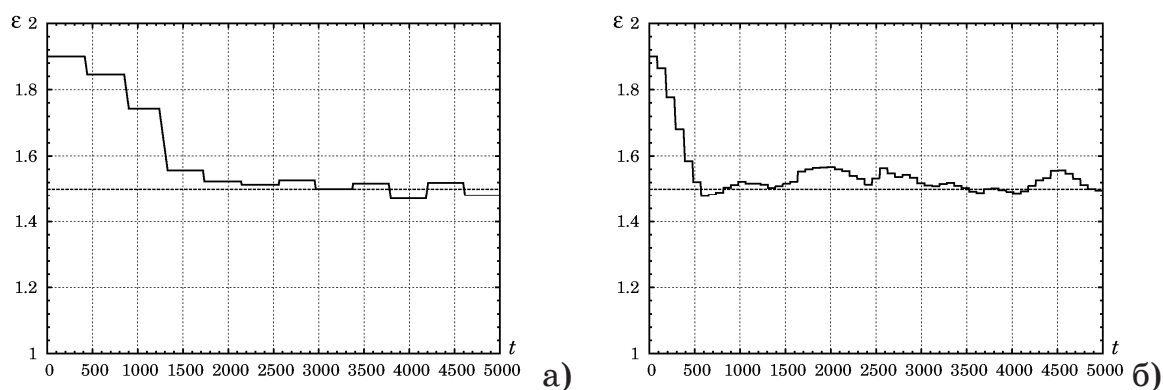


Рисунок 4 – Моделирование процесса идентификации при  $\epsilon_0 = 1.5$  и  $\epsilon_0 = 1.9$

Как и следовало ожидать, при использовании обеих критериев системы адаптивно-поисковой идентификации проявляют работоспособность. При этом, как и предполагалось в предварительном анализе, использование критерия (3) приводит к существенно большей скорости процесса идентификации в равных условиях.

Рассмотрим поведение системы идентификации в условиях “захвата частоты”. Пусть  $\varepsilon_0 = 2.5$  (приблизительно центр “плато”), а стартовые значения  $\varepsilon_0$  – соответственно 2.0 и 2.9 (рис. 5 и 6).

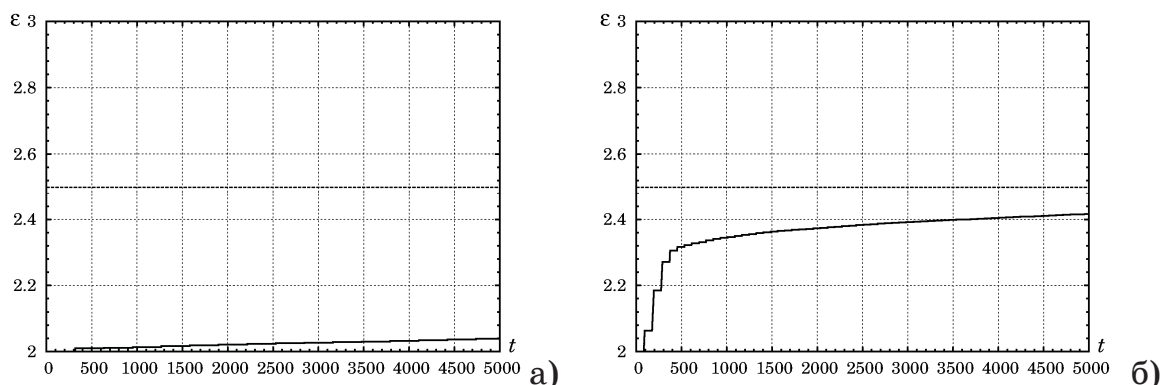


Рисунок 5 – Моделирование процесса идентификации при  $\varepsilon_0 = 2.5$  и  $\varepsilon_0 = 2.0$

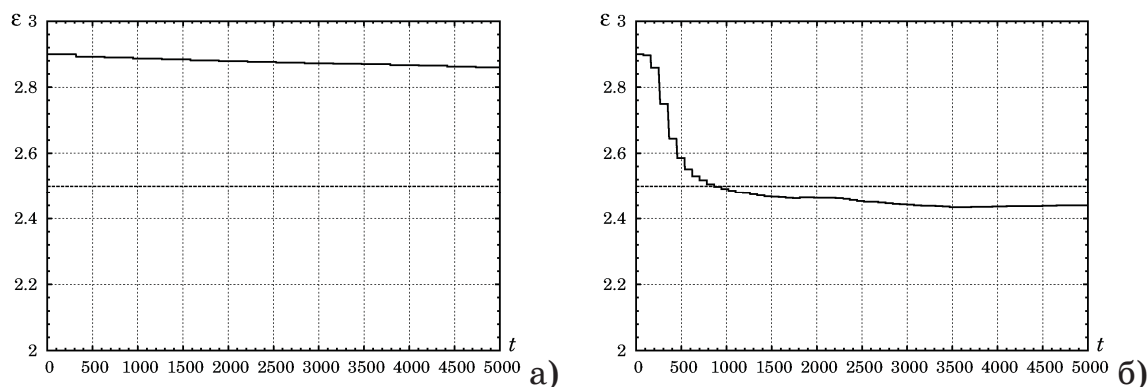


Рисунок 6 – Моделирование процесса идентификации при  $\varepsilon_0 = 2.5$  и  $\varepsilon_0 = 2.9$

Из результатов моделирования видно, что в режиме “захвата частоты” использование критерия вида (2) приводит к пусть и не нулевой (как предполагалось), но все же пренебрежимо малой скорости поиска. Использование же критерия вида (3) позволяет сохранить работоспособность системы идентификации, правда ценой увеличения систематической ошибки идентификации.

### Выводы

Результаты моделирования показали, что в исследованных диапазонах использование критерия вида (3) предпочтительно. Система адаптивно-поисковой идентификации при использовании данного критерия обеспечивает большую скорость и/или скорость идентификации, и при этом имеет более простую схемную реализацию. Более того, в отличие от критерия вида (2), сохраняется работоспособность системы и при смене режима системы (1), а именно – при реализации явления “захвата частоты”. Вышеперечисленные свойства критерия вида (3) позволяют сделать однозначный выбор. Тем не менее, нет достаточных оснований утверждать, что не существует таких условий, при которых использование критерия (2) было бы оправданным.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Михалёв А.И., Гуда А.И. Выбор критерия при адаптивно-поисковой идентификации динамической системы Ван-Дер-Поля // Адаптивные системы автоматического управления. – 2010. – № 16(36). – С. 154–160.
2. Михалёв А.И., Гуда А.И. Исследование альтернативного критерия при адаптивно-поисковой идентификации динамической системы Ван-Дер-Поля // Адаптивные системы автоматического управления. – 2010. – № 17(37). – С. 149–154.
3. Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б., Стрелкова Г.И. Шиманский-Гайер Л. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 544 стр.
4. Михалёв А.И., Гуда А.И., Новикова Е.Ю. Синтез критерия идентификации нелинейных динамических систем на физических принципах // Адаптивные системы автоматического управления. – 2007. – № 11(31). – С. 136–142.
5. Михалёв А.И., Гуда А.И. Адаптивно-поисковая идентификация хаотической динамической системы Дуффинга // Адаптивные системы автоматического управления. – 2008. – № 12(32). – С. 166–171.
6. Магницкий Н.А., Сидоров С.В. Новые методы хаотической динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2004 – 320 с.
7. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров. – М.: Мир, 1990. – 312 с.