

УДК 681.876.2

А.И. Михалев, А.И. Гуда, И.С. Дмитриева

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ХАОТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕССЛЕРА С ВОЗМУЩЕНИЯМИ

Исследованы явления, происходящие при неконтролируемом возмущении динамической системы Ресслера. Показана возможность идентификации такой системы адаптивно-поисковыми методами.

Ключевые слова: идентификация, нелинейная динамическая система, хаотическая динамика.

Введение

Идентификация параметров динамических систем, проявляющих хаотическую динамику [1,2], требует определения подходящего критерия идентификации [3–5]. Построенная с использованием такого критерия адаптивно-поисковая система идентификации справляется с поставленной задачей. Однако, в рассмотренных системах предполагалось, что единственный неконтролируемый источник помех – шумы измерения. Для большинства регулярных динамических систем такое ограничение не является существенным, так как неучтенные внутренние возмущения не изменяют характер поведения системы, и могут быть имитированы увеличением шума измерения. Для систем хаотической динамики, а также для систем, находящихся в состоянии, близком к переходу в хаотический режим, малые изменения не только параметров, а и внутренних сигналов системы могут привести к качественным изменениям в динамике. Поэтому при разработке систем идентификации следует принимать во внимание вопросы, связанные с наличием в системе внутренних неконтролируемых возмущений.

В данной работе поставлена задача исследовать явления, возникающие в динамической системе Ресслера при наличии внутренних возмущений, а также оценить, как изменения характера динамики системы влияет на процесс идентификации.

Постановка задачи

Динамическая система Ресслера в исходной постановке определяется таким образом:

$$\begin{cases} \dot{x} = -y - z, \\ \dot{y} = x + ay, \\ \dot{z} = b + z(x - c). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь x , y , z – переменные состояния системы, которые соответствуют концентрациям основных реагентов в моделируемой химической системе. Соответственно a , b , c – параметры, определяющие динамику системы (в моделируемой системе определяются константами химического равновесия и концентрациями вспомогательных реагентов).

При моделировании данной системы, как и в работе [5] положим $a=0.25$, $b=1$. Определение величины параметра c является целью идентификации. При значении $c=5.60$ система (1) проявляет сложно-периодическое движение, а небольшое (менее процента) уменьшение значения данного параметра приводят к переходу в хаотический режим. Поэтому именно это значение и было выбрано для моделирования в данной работе.

Предположим, что в системе (1) на величину \dot{z} действует неконтролируемое возмущение $w_z(t)$ – случайный сигнал с нормальным распределением с параметрами $w_{az} = \sigma(w_z(t))$, τ_z :

$$\begin{cases} \dot{x} = -y - z, \\ \dot{y} = x + ay, \\ \dot{z} = b + z(x - c) + w_z(t). \end{cases} \quad (2)$$

Как и в исходной задаче, будем считать, что при идентификации выходы моделей $x_{mi}(t)$ и $x_{mb}(t)$, а выход объекта $x_o(t)$ наблюдается с погрешностью $w(t)$ – случайным сигналом с равномерным распределением, амплитудой $w_a = 0.05$ и характерным временем автокорреляции $\tau_w = 0.1$.

Исследование свойств системы

Было проведено моделирование динамики системы (2) при разных значениях величины w_{az} . На рис. 1 приведены фазовые портреты системы при $w_{az} = 0$ и $w_{az} = 0.1$. В первом случае наблюдается достаточно простая форма аттрактора, соответствующая исходному сложно-периодическому движению. При увеличении амплитуды неконтролируемых возмущений фазовый портрет системы начинает приобретать черты, характерные для хаотического движения.

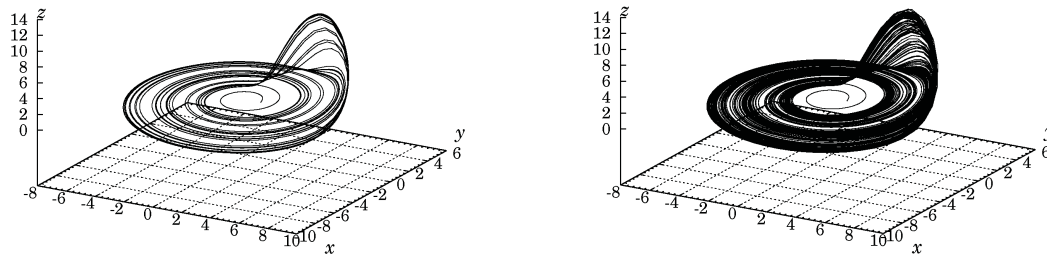


Рис. 1 – Фазовые портреты системы (2) при $w_{az} = 0$ и $w_{az} = 0.1$.

Для подтверждения предположения о переходе системы в хаотический режим было проведено исследование спектра системы. Ввиду связанности всех координат достаточно построить спектральные характеристики только для одной из них, например z .

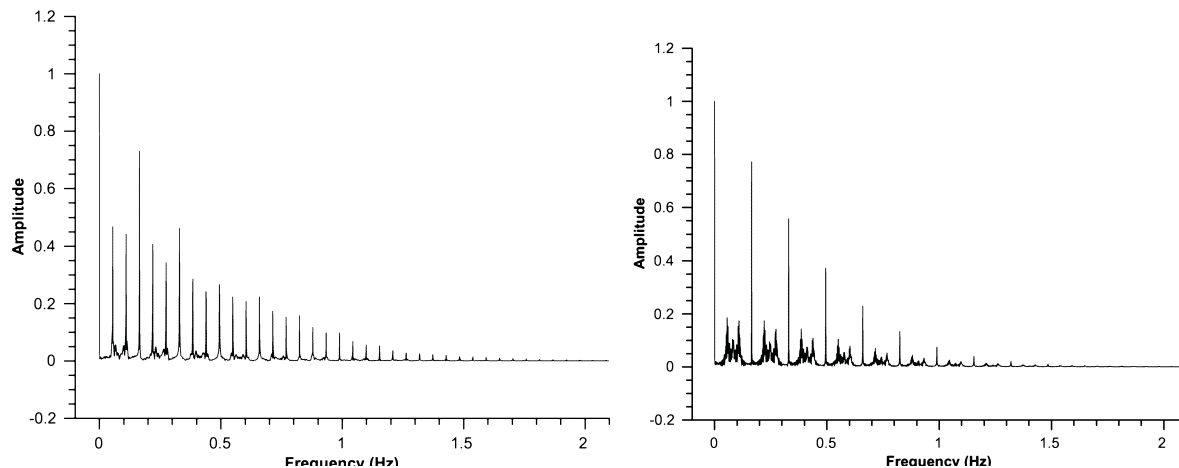


Рис. 2 – Спектр системы при $w_{az} = 0$ и $w_{az} = 0.1$.

Данные, представленные на рис. 2, свидетельствуют, что при наличии внутренних возмущений в спектре системы появляются участки, характеризующиеся сплошным спектром, что характерно для хаотической динамики. При этом значение параметра s оставалось неизменным. Для регулярных динамических системы такое поведение не характерно, малые возмущения параметров для них не приводят к существенным изменениям спектра системы.

Еще одно существенное изменение поведения системы связано с зависимостью $z(t)$. В работе [5] для построения критерия идентификации использовалась величина $\max(z)$, измеренная на достаточно большом интервале времени. При наличии возмущений процесс идентификации затрудняется из-за менее регулярного характера графика $z(t)$ (см. рис. 3).

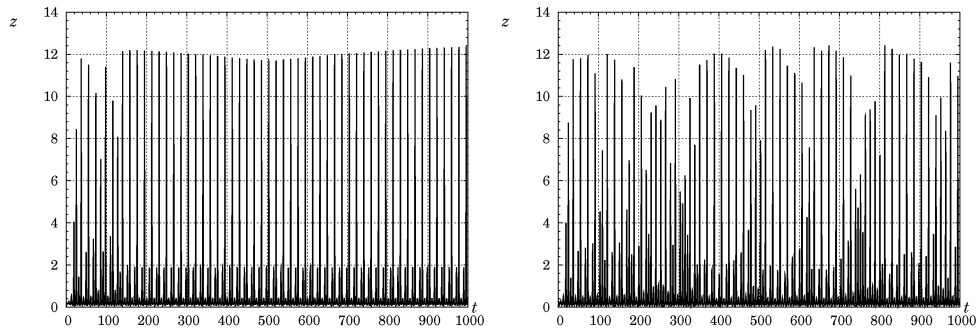


Рис. 3 – Графики $z(t)$ системы (2) при $w_{az} = 0$ и $w_{az} = 0.1$.

Существенное различие в поведении исходной и возмущенной системы требует исследования вопроса о применимости критериев и работоспособности систем идентификации, разработанных для системы Ресслера.

Моделирование процесса идентификации

Для проведения идентификации системы (2) был использован тот же метод адаптивно-поисковой идентификации с двумя моделями и двумя УГПК, что и в работе [5], и с теми же параметрами ($\gamma = 0.02$, $\omega_0 = 0.01$, $k_\omega = 1$, $A = 0.2$, $k_i = 0.02$). При моделировании исследовалась работоспособность методов, а также время сходимости и установившаяся ошибка идентификации.

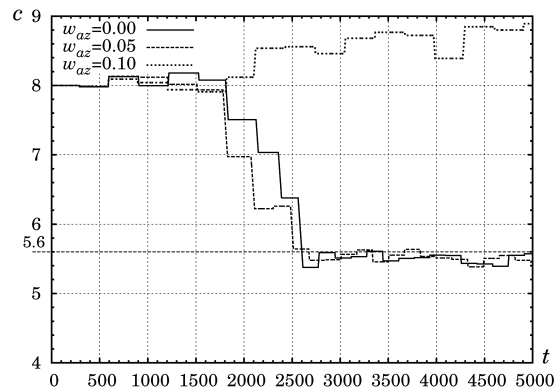


Рис.4 –Процесс идентификации системы (2) при $\omega_0 = 0.01$ и различных w_{az}

На рис. 4 представлены результаты моделирования процессов идентификации для различных величин w_{az} . При малых значениях данной величины процесс идентификации не нарушается. Однако при $w_{az} = 0.1$ метод становится неработоспособным. Анализируя информацию, представленную на рис. 3, можно сделать предположение, что увеличение времени оценивания τ (и соответственно, уменьшение поисковой частоты ω), может восстановить работоспособность метода, скомпенсировав нерегулярность пиков $z(t)$.

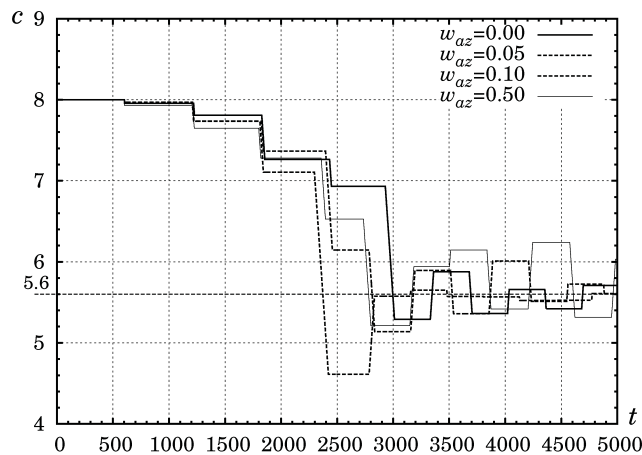


Рис. 5 – Процесс идентификации системы (2)
при $\omega_0 = 0.005$ и различных w_{az}

На рис. 5 представлены результаты моделирования процессов идентификации при увеличенном вдвое времени оценивания τ . Графики свидетельствуют о работоспособности метода в этих условиях, однако при заметном увеличении установившейся ошибки идентификации.

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что в случае наличия неконтролируемых внутренних возмущений динамические системы со сложно-периодическим характером могут проявлять свойства, характерные для систем хаотической динамики. В свою очередь, подходы, используемые при синтезе систем идентификации хаотических систем, при определенной настройке, позволяют создавать работоспособные системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магницкий Н.А., Сидоров С.В. Новые методы хаотической динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2004 – 320 с.
2. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров. – М.: Мир, 1990. – 312 с.
3. 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.
4. Михалёв А.И., Гуда А.И. Адаптивно-поисковая идентификация хаотической динамической системы Дуффинга // Адаптивные системы автоматического управления. – 2008. – № 12(32). – С. 166–171.
5. Михалёв А.И., Гуда А.И. Адаптивно-поисковая идентификация хаотической динамической системы Ресслера // Адаптивные системы автоматического управления. – 2009. – № 14(34). – С. 124–129.