Изв. вузов «ПНД», т. 20, № 3, 2012 УДК 537.86/.87:530.182

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕИЗВЕСТНОГО ПАРАМЕТРА НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ В ПРИСУТСТВИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА

В.С. Маляев, В.В. Семенов, Т.Е. Вадивасова

В работе предлагается метод оценки управляющего параметра зашумленной хаотической системы по измеряемым данным с точки зрения возможности применения данной схемы для скрытой передачи информации. Рассматриваются задачи по созданию экспериментальной установки (генератор Ресслера), сравнению динамики математической модели и генератора Ресслера. Проводится анализ влияния шумов на динамику осциллятора и ошибку оценки параметра. Исследуется возможность оценки постоянного и изменяющегося во времени параметра системы, модулируемого сигналами различной формы. Дополнительно вводится окно усреднения и рассматривается выбор его оптимальной ширины для оценки параметра с минимальной ошибкой. Устанавливаются границы применимости используемых методов для натурной системы.

Ключевые слова: Скрытая передача информации, оценка параметра, модуляция, зашумленная система, анализ шумов.

Введение

Оценка неизвестных параметров динамической системы (ДС) по измеряемым данным является важным элементом математического моделирования и представляет собой самостоятельную и не всегда простую задачу, даже если уравнения системы известны [1–3]. Сложность возникает в связи с присутствием шума, как измерительного, связанного с погрешностями измерительных приборов, так и динамического, присутствующего в самой системе. Кроме того, нередко присутствие шума, связанного с различного рода помехами и наводками в системе питания радиоэлектронного устройства. Задача определения параметров с достаточной точностью связана с одним из предлагаемых методов скрытой передачи информации, основанным на модуляции некоторого параметра известной (как правило, хаотической) системы [4]. В этом случае шум, имеющийся в любой реальной системе, может оказаться существенным препятствием в работе предлагаемой схемы.

Рассмотрим общую постановку задачи. Пусть известна математическая модель системы

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = F(\mathbf{X}, \alpha) + \xi(\mathbf{X}, \mathbf{t}), \tag{1}$$

где $\mathbf{X}(t)$ – вектор динамических переменных, α – вектор параметров, $\xi(\mathbf{X}, \mathbf{t})$ – случайный вектор, характеризующий динамический шум. В результате измерений в некоторые моменты времени определяется величина

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{X}(t) + \chi(t), \tag{2}$$

где $\chi(t)$ – измерительный шум. На основании измеряемых значений $\mathbf{Y}(t)$ требуется определить вектор α или некоторые компоненты этого вектора. В литературе имеется достаточно много работ, посвященных решению данной задачи. Большинство предлагаемых алгоритмов имеют в основе метод максимального правдоподобия и сводятся к отысканию условного экстремума некоторой оценочной функции [5–13]. К сожалению, несмотря на высокую точность, такие методы слишком сложны и применительно к задаче передачи информации могут оказаться неэффективными. Кроме того, точность подобных алгоритмов может сильно ухудшиться в режиме хаотической динамики системы [12]. Методы оценки параметров, использующие полную или обобщенную синхронизацию [14–15], также представляются слишком сложными. Кроме того, они не особенно надежны в присутствии сильного шума и требуют создания второй ДС – полного аналога исследуемой системы (те параметры двух систем, которые полагаются известными, должны строго совпадать). В связи с задачей передачи информации имеет смысл рассмотреть возможности применения самого простого алгоритма оценки параметров, который состоит в следующем: по измеряемым данным определяются значения динамических переменных и их производных, и решается система алгебраических уравнений относительно неизвестных параметров. Решение имеет вид

$$a_i = f_i(\mathbf{X}, \dot{\mathbf{X}}, a_{m+1}, ..., a_M), \qquad i = 1, 2, ...m, \tag{3}$$

где m – число неизвестных параметров. Параметры $\alpha_j, j = m+1, ..., M$ полагаются заданными, функции f_i определяются на основании уравнений (1). Если число неизвестных параметров превышает число установленных переменных и производных, то можно определить и использовать производные высших порядков.

Соотношения (3) выводятся без учета источников шума. Если шум отсутствует, то значения параметров восстанавливаются с точностью ошибки определения производных по конечным разностям. При малом шаге по времени можно получить очень высокую точность, при этом достаточно знать значения переменных и производных в один-единственный момент времени. Однако в результате присутствия шума равенства (3) оказываются неточными, и параметры определяются с ошибкой, меняющейся во времени случайным образом. Распределение этой ошибки зависит от распределения источников шума, от нелинейности уравнений системы (1) и заранее не известно. Проведенные в [16] численные эксперименты на различных моделях ДС с динамическим аддитивным гауссовым шумом показывают, что ансамбль значений для одного неизвестного параметра, вычисленных по формуле типа (3) в разные моменты времени, позволяет оценить истинное значение с достаточно высокой точностью. В качестве оценки используется либо среднее значение, либо максимум плотности распределения по полученному статистическому ансамблю. Было также показано, что такой простой метод оценки дает хорошие результаты как в регулярных, так и в хаотических режимах ДС, не чувствителен к бифуркациям и может использоваться при динамическом шуме большой интенсивности. Поскольку данный способ оценки не требует сложных схем обработки измеряемых данных, он может быть использован в целях скрытой передачи информации.

В настоящей работе исследуется возможность оценки одного из параметров осциллятора Ресслера при численном моделировании и в натурном эксперименте с точки зрения возможности применения такой оценки в схеме скрытой передачи информации. Следует учесть, что в реальном устройстве присутствуют источники динамического шума, характеристики которых нам не известны. Это могут быть не только слабые естественные источники шума с малым временем корреляции (как, например, тепловой шум), но и паразитные наводки, и помехи в сети питания, и т.д. Все это осложняет задачу и ограничивает применение уже имеющихся методов. В работе рассматриваются задачи по созданию экспериментальной установки (генератор Ресслера), производится сравнение динамики математической модели и генератора Ресслера, устанавливаются границы применимости используемых методов для натурной системы.

1. Оценка управляющего параметра осциллятора Ресслера с аддитивным гауссовым шумом при численном моделировании. Настройка параметров алгоритма оценки

Рассмотрим классическую модель генератора Ресслера, добавив в нее источник шума

$$\begin{aligned} \dot{x} &= -y - z + \sqrt{2\mathrm{D}}n(t), \\ \dot{y} &= x + ay, \\ \dot{z} &= b + z(x - m), \end{aligned} \tag{4}$$

где a, b, m – управляющие параметры. Источник шума $\xi(t) = \sqrt{2\mathrm{D}}n(t)$ в первом уравнении представляет собой аддитивный гауссов белый шум, $n(t)$ – нормированный источник шума, спектральная плотность которого $W_n(\omega) \equiv 1$. Константу D, которая определяет спектральную плотность процесса $\xi(t)$ ($W_\xi(\omega) \equiv 2D$), мы называем интенсивностью белого гауссова шума $\xi(t)$.

Установим параметры $a = b = 0.2$ и оценим управляющий параметр m. Пренебрегая шумом, для значения m в момент времени t_i легко получить

$$m_i = x_i - \frac{\dot{z}_i - b}{z_i}, \tag{5}$$

где $x_i = x(t_i)$ и $z_i = z(t_i)$. При численном моделировании ограничимся рассмотрением только динамического шума, считая, что значения переменных $x_i = x(t_i)$ и $z_i = z(t_i)$ нам известны совершенно точно.

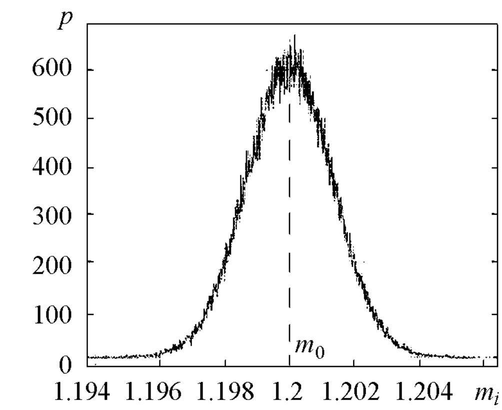

Рис. 1. Распределение значений m_i для системы (4) при $D = 5 \cdot 10$ и истинном значении параметра $m = 1.19$ в режиме зашумленных периодических колебаний (численное моделирование). Пунктирная линия соответствует наивероятнейшему значению, которое принимается за оценку m_0

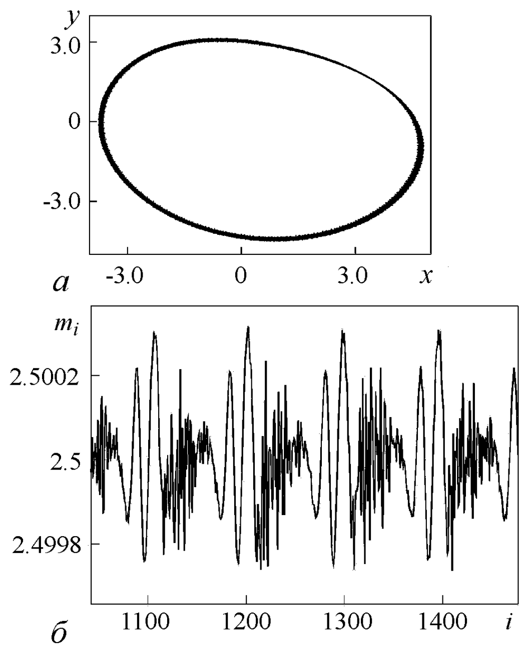

Рис. 2. Результаты численного моделирования системы (4) при $D = 2 \cdot 10^{-4}$, $m = 2.5$ в режиме зашумленных периодических колебаний: *а* – фазовый портрет; *б* – последовательность значений m_i

Следует упомянуть, что в осцилляторе Ресслера переменная z, на которую производится деление в (5), всегда положительна и вероятность очень малых значений z_i пренебрежимо мала. Данное свойство сохраняется при включении шума в первое уравнение системы. Таким образом, можно обойтись без фильтра малых значений, который применялся в [16]. Распределение значений m_i, полученное в режиме периодических (квазигармонических) колебаний, оказывается близким к гауссову (рис. 1).

Исходя из выражения (5) для оценки управляющего параметра m необходимо получить временные ряды для двух динамических переменных $x(t)$ и $z(t)$. Система (4) интегрировалась методом Гюна с учетом случайного возмущения с шагом $h = 10^{-6}$. Для оценки значения параметра m проводилась выборка полученных в результате интегрирования значений x_i и z_i. Шаг выборки $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ был задан в соответствии с наилучшей получаемой оценкой параметра. Он составил $\Delta t = 10^{-3}$ (то есть 1000 шагов интегрирования). Производная $\dot{z}_i$ аппроксимировалась выражением

$$\dot{z}_i = \frac{1}{12h}(z_{i-2} - 8z_{i-1} + 8z_{i+1} - z_{i+2}). \tag{6}$$

На рис. 2, *а* показан численно полученный фазовый портрет колебаний модели (4) в присутствии шума интенсивности $D = 2 \cdot 10^{-4}$ в периодическом режиме при $m = 2.5$. Так как в системе присутствует динамический шум, не учитываемый в формуле (5), на графике зависимости m_i от номера шага выборки i получаем не прямую линию, которая соответствовала бы константе m, а сложную по форме кривую, осциллирующую вблизи истинного значения m (рис. 2, *б*).

Фрагмент графика плотности распределения вероятности значений m_i приведен на рис. 3. Полученное при $m = 2.5$ распределение не является гауссовым и имеет несколько максимумов, однако это не препятствует получению достаточно точной оценки параметра. В качестве оценки m_0 значения параметра m может быть принято наивероятнейшее значение, соответствующее главному максимуму распределения m_i, или среднее значение $\langle m_i \rangle$, которые практически совпадают и находятся очень близко к истинному значению m. Относительная ошибка $\Delta = (m_0 - m)/m$ составляет примерно 0.001%.

Рассмотрим более сложный случай, когда расчет оценок проводится с использованием лишь одной измеряемой переменной. Пусть нам известны значения только динамической переменной $y(t)$. Тогда выражение (5) примет вид

$$m_i = \dot{y}_i - \alpha y_i - \frac{\alpha \ddot{y}_i - \dot{y}_i - \dddot{y}_i - b}{\alpha \dot{y}_i - \ddot{y}_i - y_i}. \quad (7)$$

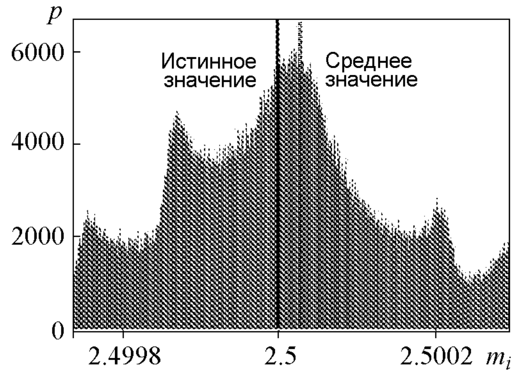

Рис. 3. Распределение значений m_i в режиме зашумленных периодических колебаний при $D = 2 \cdot 10^{-4}$, полученное по значениям одной наблюдаемой переменной y_i (численное моделирование). Среднее значение $\langle m_i \rangle \approx 2.50003$ и истинное значение $m = 2.5$ отмечены вертикальными линиями

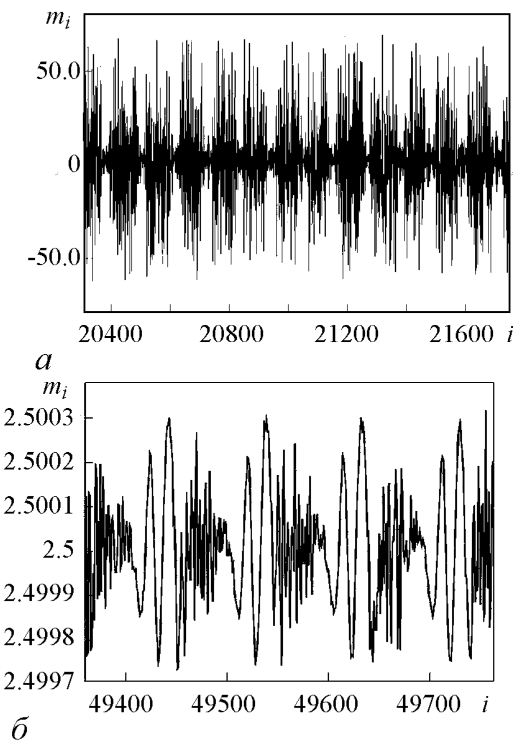

Рис. 4. Оценка параметра по одной динамической переменной $y(t)$ при $m = 2.50$: *а* – последовательность значений m_i при отсутствии шума; *б* – последовательность значений m_i в присутствии динамического шума интенсивностью $D = 0.0001$

Таким образом, для оценки m необходимо знать производные с первого по третий порядок, которые последовательно рассчитываются по формулам, аналогичным (6). На рис. 4 представлены зависимости m от i для случая без шума (рис. 4, *а*) и в присутствии шума (рис. 4, *б*). Можно видеть, что разброс оценок m_i в присутствии шума на два порядка больше, чем в отсутствие. Соответствующие графики плотности вероятности значений m_i приведены на рис. 5. Они являются более изрезанными, чем график на рис. 3, поэтому о наличие нескольких экстремумов по ним трудно судить. Если на систему не действует шум (детерминированный случай), то оценка параметра m_0, как по наивероятнейшему значению, так и по среднему значению, получается приемлемой. Относительная ошибка не превышает 1%. Ситуация меняется коренным образом, если подать шум даже небольшой интенсивности. Так как производные рассчитываются последовательно: для последующей производной используются результаты предыдущей, то и возникающая при подсчетах ошибка многократно возрастает из-за влияющего на систему шума. Относительная ошибка становится более 30% и перестает быть приемлемой. Таким образом, можно сделать предварительный

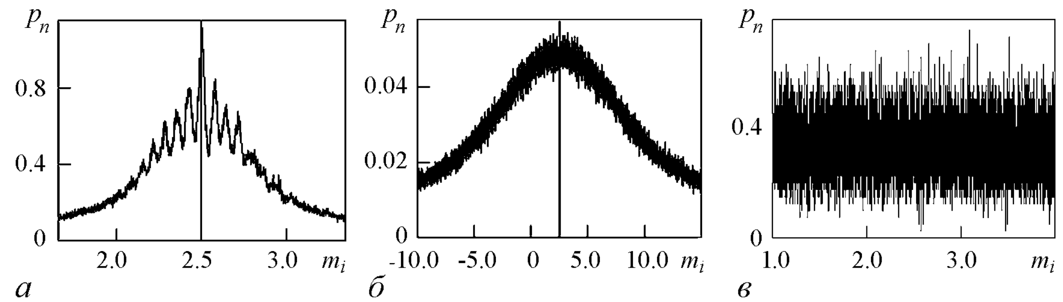

Рис. 5. Оценка параметра по одной динамической переменной $y(t)$ при $m = 2.50$: распределение значений m_i без шума (*а*); распределение значений m_i в присутствии шума интенсивностью $D = 0.0001$ (*б*) и 0.01 (*в*)

вывод о том, что во многих случаях (это зависит от вида уравнений) наличие в системе динамического шума делает невозможной оценку параметров рассматриваемым методом по реализации только одной динамической переменной.

2. Оценка управляющего параметра осциллятора Ресслера в натурном эксперименте

Для выяснения возможности практической реализации скрытой передачи информации с помощью модуляции параметров системы были проведены эксперименты по оценке одного неизвестного параметра в присутствии шума. В этих целях создана экспериментальная установка, представляющая собой аналоговую модель осциллятора Ресслера. Экспериментальная установка, как любая физическая система, подвержена действию внутренних и внешних шумов, характеристики которых заранее не известны. Кроме того, была предусмотрена возможность подключения специального генератора шума в любой из каналов, а также подключение одновременно нескольких генераторов шума на разные каналы. В эксперименте присутствовал также измерительный шум, однако в соответствии с характеристиками АЦП он был незначителен. Принципиальная схема установки представлена на рис. 6 и описывается системой

$$
\begin{aligned}
R_0C\dot{x} &= -y - z + \xi_1(x,y,z,t) + \chi_1(t),\\
R_0C\dot{y} &= x + ay + \xi_2(x,y,z,t) + \chi_2(t),\\
R_0C\dot{z} &= b + z(x-m) + \xi_3(x,y,z,t) + \chi_3(t),
\end{aligned}
\qquad (8)
$$

где $a = R_0/R_1$; $b = U_1/5$; $m = U_2$; $R_0 = R_2, R_5...R_{10}$; U_1, U_2 – напряжение в вольтах. При обработке экспериментальных данных система (8) нормировалась по времени для того, чтобы привести ее к виду (4). Проводился переход от времени t к времени $\tau = R_0Ct$. Случайные источники $\xi_j(x,y,z,t), j = 1,2,3$, представляют собой шум, создаваемый в совокупности внутренними шумами и внешними неучтенными случайными воздействиями. Характеристики источников $\xi_j(x,y,z,t)$ не известны. Это могут быть как аддитивные случайные воздействия, так и параметрические шумы, интенсивность которых зависит от состояния системы. Кроме того, эти источники могут включать компоненты и белого шума и цветного шума. Аддитивные шумы

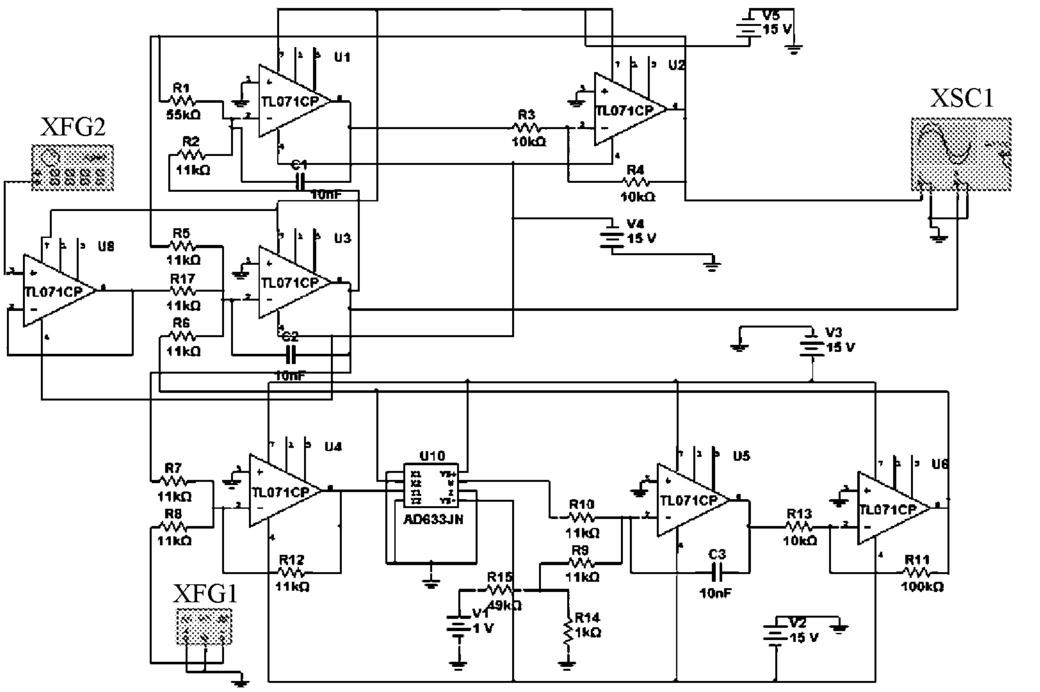

Рис. 6. Принципиальная схема экспериментальной установки. XSC1 – осциллограф, XFG1 – источник питания, XFG2 – генератор шума

$\chi_j(t), j = 1, 2, 3$, представляют собой сигналы специально подключенных генераторов шума с известными управляемыми характеристиками. Используемые генераторы Agilent 33250A имеют функциональный режим широкополосного шумового источника (полоса 0...50 МГц) с гауссовым распределением, позволяющий менять интенсивность шума. Интенсивность шума, создаваемого генератором шума, изменялась с помощью регулируемой характеристики G, представляющей собой среднеквадратическое выходное напряжение генератора. Можно связать интенсивность белого шума D в математической модели и величину G в эксперименте, предположив равенство интегральной шумовой мощности в полосе частот генератора шума в эксперименте и в модели с учетом нормировки времени. Однако в проведенных исследованиях мы не стремились добиться количественного соответствия источников шума в эксперименте и в математической модели, поскольку кроме шумового сигнала, создаваемого внешним генератором, в экспериментальной установке присутствуют и другие источники шума с неизвестными нам характеристиками.

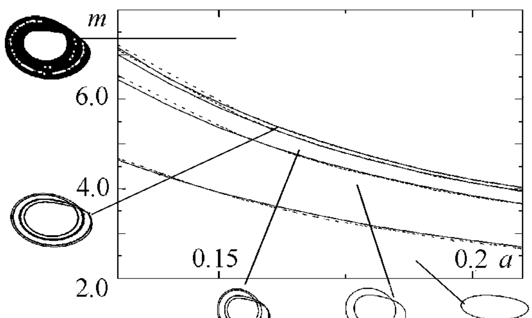

Рис. 7. Карты режимов на плоскости параметров a,m при фиксированном $b = 0.2$. Пунктирные линии обозначают бифуркации, происходящие в экспериментальной установке, сплошные линии – в математической модели (8)

Карты режимов колебаний, полученные в численном и натурном экспериментах (рис. 7), свидетельствуют о том, что экспериментальная установка с высокой точностью повторяет динамику математической модели в широком диапазоне значений управляющих параметров. Расхождения эксперимента с численным расчетом, объясняющиеся небольшими потерями энергии на активных элементах и не учтенными в уравнениях (8), являются весьма незначительными. Соответственно, ошибка в оценке параметра, связанная с неполным соответствием математической модели реальной системе, будет небольшой и модель (8) может быть использована для оценки параметров экспериментальной системы по измеряемым данным.

Эксперимент проводился следующим образом: осциллятор Ресслера подключался к измерительному оборудованию, настраивался на нужный режим работы, затем с помощью АЦП NI PCI-6133 (12-битная разрядность, частота дискретизации 200 КГц) и компьютера производилась запись в файлы в реальном времени. По полученным данным x_i и z_i с помощью уравнений (8) осуществлялся расчет оценки управляющего параметра m аналогично случаю численного моделирования, рассмотренному ранее. Исследовался режим периодических (квазигармонических) колебаний без воздействия генераторов шума, режим колебаний удвоенного периода без воздействия генераторов шума и режим колебаний удвоенного периода с подключением в систему внешнего генератора шума. Шум вводился в первый канал (что соответствует первому уравнению системы) и имел интенсивность $G_1 = 0.75$В. Строились распределения значений m_i и подсчитывалась относительная ошибка для каждого рассматриваемого режима.

Результаты обработки экспериментальных данных в трех исследованных режимах представлены на рис. 8. Все полученные плотности вероятности $p(m_i)$ далеки от гауссова распределения и не являются унимодальными. Однако оценка па-

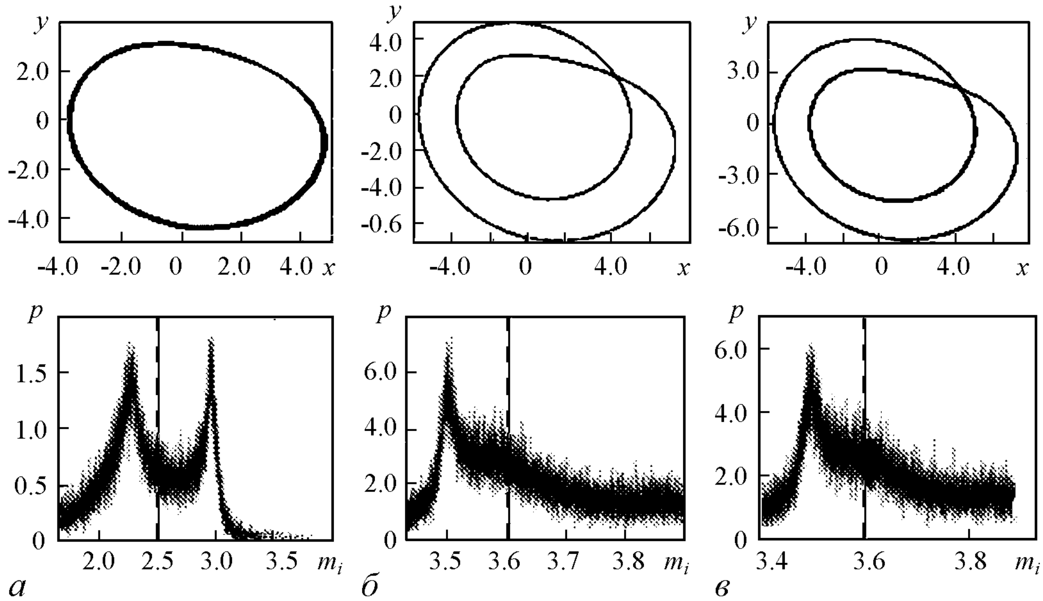

Рис. 8. Результаты обработки экспериментальных данных: *а* – в режиме квазигармонических колебаний при $m = 2.5$ без использования генератора шума; *б* – в режиме колебаний удвоенного периода при $m = 3.6$ без генератора шума; *в* – при $m = 3.6$ с генератором шума в первом канале с интенсивностью $G_1 = 0.75$В. В верхнем ряду приводятся проекции фазовых портретов колебаний, в нижнем – распределения значений m_i. Вертикальными линиями отмечены средние значения $\langle m_i \rangle$ (пунктир), принимаемые в качестве оценки параметра m и истинные значения параметра m (сплошные линии)

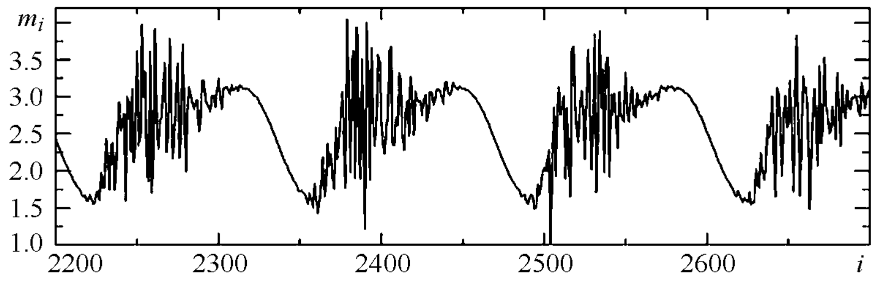

Рис. 9. Зависимость m_i от номера шага измерения i в режиме квазигармонических колебаний при $m = 2.5$ без подключения генераторов шума

раметра m по среднему значению дает приемлемый результат. И это – несмотря на присутствие в системе значительного динамического шума, на шум измерения и на неполное соответствие экспериментальной системы и математической модели (8). В режиме квазигармонических колебаний без воздействия генераторов шума относительная ошибка оценки составляет $\Delta = 0.83\%$ (рис. 8, *а*), в режиме колебаний удвоенного периода без воздействия генераторов шума – $\Delta = 1.03\%$ (рис. 8, *б*), а при подключении в систему внешнего генератора шума она становится даже немного меньше – $\Delta = 0.87\%$ (рис. 8, *в*).

Характер получаемых в эксперименте распределений $p(m_i)$ может быть объяснен присутствием в системе узкополосного параметрического шума и/или регулярных изменений параметров. Особенно это отразилось на распределении, представленном на рис. 8, *а*. Наличие двух наивероятнейших значений параметра m (двух максимумов распределения), по-видимому, есть результат паразитных наводок, приводящих к модуляции параметра. Это предположение подкрепляется видом зависимости m_i от номера шага измерения i (рис. 9).

Заключение

Проведенные численные и экспериментальные исследования подтвердили возможность получения достаточно точной оценки управляющего параметра динамической системы, содержащей источники динамического шума, при использовании простого и быстрого метода оценки, на основании известных уравнений системы и ряда значений динамических переменных. Оценки с хорошей точностью были получены даже при большой интенсивности шума, как при численном моделировании, так и для экспериментально измеряемых данных в различных режимах колебаний системы.

В случае расчета оценок для численной модели Ресслера без шума возможно использование временной реализации лишь одной динамической переменной (в исследованном случае $y(t)$). Введение шума делает невозможным получение приемлемой оценки управляющего параметра из-за чувствительности расчета производных к флуктуациям. Поэтому для получения оценок параметра как в случае численной модели Ресслера с шумом так и в случае эксперимента необходимо использовать временные реализации двух динамических переменных ($x(t)$ и $z(t)$). Однако, возможность или невозможность использования значений только одной динамической переменой связана с конкретным видом системы и тем, какой управляющий параметр нас интересует.

Сравнительно хорошая точность оценки параметра в физическом эксперименте, несмотря на наличие различного рода шумов и помех и неточности математической модели, свидетельствует о возможности применения исследованного метода в задаче скрытой передачи сигнала с помощью модуляции параметра реальной динамической системы. Однако при этом требуется решить еще ряд задач. Одной из таких задач является установление оптимального частотного диапазона работы системы при заданном спектре сигнала и определение минимального интервала времени, на котором измерение и обработка реализаций динамических переменных дает приемлемые оценки мгновенных значений изменяющегося во времени параметра. Важно также более детально изучить возможное влияние на оценку параметра низкочастотных и узкополосных источников параметрического шума динамической системы. Решение этих задач требует проведения дальнейших численных и экспериментальных исследований.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (гос. контракт № 14.740.11.0074).

Библиографический список

1. *Безручко Б.П., Смирнов Д.А.* Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 2005.
2. *Павлов А.Н., Янсон Н.Б., Анищенко В.С.* Реконструкция динамических систем // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44, № 9. С. 1075.
3. *Короновский А.А., Москаленко О.И., Храмов А.Е.* О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации // Успехи физических наук. 2009. Т. 179, № 12. С. 1282.
4. *Анищенко В.С., Павлов А.Н., Янсон Н.Б.* Реконструкция динамических систем в приложении к решению задачи защиты информации // Журнал технической физики. 1998. Т. 68, № 2. С. 1.
5. *Тихонов В.И., Харисов В.Н.* Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. М: Радио и связь, 1991.
6. *McSharry P.E., Smith L.A.* Better nonlinear models from noisy data: Attractors with maximum likelihood // Phys. Rev. Lett. 1999. Vol. 83, № 21. P. 4285.
7. *Timmer J.* Parameter estimation in nonlinear stochastic differential equations // Chaos, Solitons & Fractals. 2000. Vol. 11. P. 2571.
8. *Sitz A., Schwarz U., Kurths J., Voss H.U.* Estimation of parameters and unobserved components for nonlinear systems from noisy time series // Phys. Rev. E. 2002. Vol. 66. P. 016210.
9. *Smirnov D.A., Vlaskin V.S., Ponomarenko V.I.* Estimation of parameters in one-dimensional maps from noisy chaotic time series // Physics Letters A. 2005. Vol. 336. P. 448.
10. *Mariño I.P., Míguez J.* On a recursive method for the estimation of unknown parameters of partially observed chaotic systems // Physica D. 2006. Vol. 220. P. 175.

11. *Mariño I.P., Zambrano S., Sanjuán V.F.F., Salvadori F., Meucci R., Arecchi F.T.* Adaptive procedure for the parameter estimation of a model of a CO_2 chaotic laser // International Journal of Bifurcation and Chaos. 2007. Vol. 17, № 10. P. 3639.
12. *Mariño I.P., Míguez J., Meucci R.* A Monte Carlo method for adaptively estimating the unknown parameters and the dynamic state of chaotic systems // Phys. Rev. E. 2009. Vol. 79. 056219 (1–12).
13. *Peng H., Li L., Yang Y., Wang C.* Parameter estimation of nonlinear dynamical systems based on integrator theory // Chaos. 2009. Vol. 19. 033130 (1–11).
14. *Parlitz U.* Estimating model parameters from time series by autosynchronization // Phys. Rev. Lett. 1996. Vol. 6. P. 1232.
15. *Parlitz U., Junge L., Kocarev L.* Synchronization-based parameter estimation from time series // Phys. Rev. E. 1996. Vol. 54, № 6. P.6253.
16. *Маляев В.С., Вадивасова Т.Е.* Оценка параметров зашумленных динамических систем // Нелинейная динамика. 2010. Т. 6, № 2. С. 267.

Саратовский госуниверситет им. Н.Г. Чернышевского — *Поступила в редакцию 12.12.2011* — *После доработки 26.03.2012*

ESTIMATION OF THE MAIN PARAMETER VALUES OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEM WITH NOISE IN EXPERIMENT

V.S. Malyaev, V.V. Semenov, T.E. Vadivasova

We consider the method of parameter values estimation of dynamical system with noise in application to secure communication. We solve the problem of creating experimental radiophysical generator (Ressler generator) and comparison dynamics of numerical model with radiophysical experiment data. We analyse the influence of noise on the oscillator dynamics and parameter estimation error. We research the possibility of estimation of constant parameter and time-variable parameter, which can be modulated by different form signals. We determine the limits of applicability of the method to experimental generator.

Keywords: Secure communication, parameter estimation, modulation, nonlinear dynamic system with noise, noise analyzing.

Маляев Владимир Сергеевич – родился в ноябре 1980 года в Саратове. Окончил Саратовский государственный университет по специальности радиофизика (2002) и аспирантуру. Является инженером кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета СГУ. Основные научные интересы – стохастические процессы. Автор нескольких научных публикаций.

410012 Саратов, Астраханская, 83
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
E-mail: val@chaos.ssu.runnet.ru

Семенов Владимир Викторович – родился в Саратове (1990). Студент пятого курса физического факультета СГУ кафедры радиофизики и нелинейной динамики. Область научных интересов – применение методов нелинейной динамики к задаче о скрытой передаче информации, исследование различных явлений в натурном радиофизическом эксперименте. Автор нескольких научных публикаций.

410012 Саратов, Астраханская, 83
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
E-mail: vsemenov90@mail.ru

Вадивасова Татьяна Евгеньевна – родилась в 1958 году. Окончила физический факультет Саратовского государственного университета (1981), доктор физико-математических наук. В настоящее время – профессор кафедры радиофизики и нелинейной динамики физического факультета СГУ. Научные интересы сосредоточены в области нелинейной динамики: эффекты синхронизации в ансамблях хаотических осцилляторов, явление фазовой мультистабильности взаимодействующих хаотических систем, свойства различных типов нерегулярных аттракторов, статистические характеристики динамического хаоса, роль флуктуаций в нелинейных системах и др. Автор более 60 публикаций в отечественной и зарубежной печати, включая 3 монографии.

410012 Саратов, Астраханская, 83
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
E-mail: vadivasovate@yandex.ru