УДК 53.087/.088

# МОДЕЛЬ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА НЕСТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

***Семёнов Георгий Александрович***
*Алтайский государственный университет, г.Барнаул, Россия*

При изучении свойств различных открытых динамических систем принято пользоваться критериями и способами оценки хаотичности (показатели Ляпунова, энтропия, фрактальные размерности), основанными на исследовании всего временного ряда какой-либо физической величины (сигнала, порождаемого системой). При этом существуют задачи, для решения которых является необходимым разделение массива сигнала на некоторое количество подмассивов. Это связано с необходимостью изучения локальных изменений рассматриваемой физической величины.

Одной из таких задач является задача поиска режима перемежаемости динамической системы, который относят к надёжному способу детектирования детерминированного хаоса [1]. Режим перемежаемости – один из сценариев перехода динамической системы из упорядоченного состояния в хаотическое и обратно. В графическом отображении режим перемежаемости представляет собой чередование периодического и хаотического сигнала. Пример графического отображения режима перемежаемости представлен на рисунке 1.

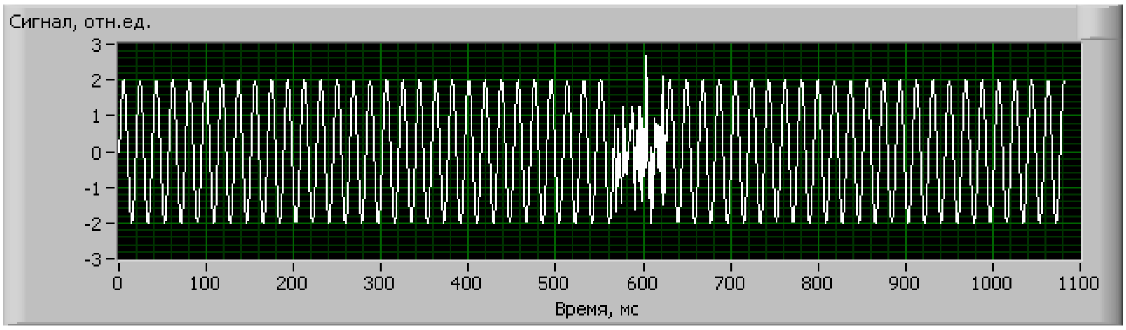


***Рисунок 1 – Режим перемежаемости открытой динамической системы***

Детектировать начало режима перемежаемости можно, решив задачу обнаружения ограниченного во времени хаотического фрагмента в упорядоченном сигнале. В случаях, когда хаотические фрагменты кратковременны, частота их появления мала, а сигнал является зашумлённым, визуальный поиск данных нестационарных участков по графическому отображению сигнала является весьма затруднительным.

Для решения этой проблемы необходимо создание детектора нестационарных состояний, позволяющего проводить автоматический поиск режима перемежаемости динамической системы.

Регистрация нестационарных состояний в рамках данной модели осуществляется по следующей схеме:

1. Формирование временного окна *d* – размера подмассивов сигнала, для которых будет вычислен контрольный параметр (*d* выбирается на основе гипотезы о длительности нестационарного фрагмента по отношению ко всему исследуемому сигналу);

2. Вычисление контрольного параметра для *(n–1)* сдвигов временного окна с шагом $\Delta = d/k$ (значение величины *k* определяется требованиями точности);

3. Анализ полученного массива значений контрольных параметров для n подмассивов исследуемого сигнала;

4. Вывод о наличии нестационарной составляющей в рассмотренных участках исследуемого сигнала на основе результата проверки условия, определяемого критерием алгоритма поиска.

Контрольным параметром здесь является дисперсия автокорреляционных функций подмассивов исследуемого сигнала: в случае наличия хаотической составляющей дисперсия будет существенно ниже дисперсии массива сигнала, соответствующего периодическому сигналу. Поиск проводится следующим образом:

После подсчёта дисперсий $D_i$ автокорреляционных функций подмассивов сигнала производится вычисление их наиболее вероятного значения $D_{HB}$, затем находится значение дисперсии $D(D_i)$. Заключительный шаг – проверка условия:

$$D_i < D_{HB} - 1{,}5\sqrt{D(D_i)}\,, \tag{1}$$

в случае положительного результата для некоторого $D_k$ делается вывод о локализации в *k-том* подмассиве сигнала режима перемежаемости.

Данная модель корреляционного детектора скрытых нестационарных состояний динамической системы была создана в среде визуального программирования LabVIEW. Вычисление автокорреляционных функций производилось при помощи встроенного виртуального прибора “AutoCorrelation”, создание массива $D_i$ и проверка условия – в окружениях циклов “For Loop” и “While Loop”. Также использовались встроенные функции “Mode”, “Standard Deviation and Variance”, “Greater?”, “Multiply”, “Divide”.

Для визуального наблюдения за изменением сигнала, корреляционных функций, массивом значений максимумов корреляционных функций использовался виртуальный прибор “Waveform Graph”.

Для апробации модели на основе встроенных виртуальных приборов “Gaussian White Noise” и “Sine Wave” при помощи функции “Insert Into Array” был создан генератор зашумлённого периодического сигнала с вкраплёнными в него короткими гауссовскими шумовыми фрагментами.

При тестировании созданного детектора на данном генераторе был получен положительный результат, вследствие чего был сделан вывод о его применимости к реальным физическим лазерным системам.

Кроме того, корреляционный детектор был успешно применён к генератору решений системы Лоренца-Хакена [2], созданного на основе встроенного виртуального прибора “Lorenz Attractor” пакета LabVIEW.

$$\begin{cases} \dfrac{d\mathrm{E}}{d\tau} = \kappa \cdot (P - E) \\ \dfrac{d\mathrm{P}}{d\tau} = \gamma_{\perp}(nE - P) \\ \dfrac{dn}{d\tau} = \gamma_{\parallel}(A - n - EP) \end{cases}, \tag{2}$$

Здесь $E$ – амплитуда электрического поля волны, $P$ – амплитуда поляризации активной среды, $n$ – разность населённостей рабочих уровней (инверсия), т – время, $\gamma_{\parallel}$ – скорость релаксации разностей населённостей, $\gamma_{\perp}$ – скорость релаксации поляризации, $A$ – параметр накачки (отношение ненасыщенной инверсии к её пороговому значению), $\kappa = \dfrac{1}{2T_C}$, $T_C$ – время жизни фотона в резонаторе.

Модель, описываемая системой уравнений (2), соответствует одномодовому лазеру бегущей волны с двухуровневой активной средой, в которой реализуется однородное уширение спектральных линий излучения. Выбор математической модели динамической системы обусловлен тем, что она удовлетворительно описывает большое количество различных физических процессов, например, процесс образования ячеек Бенара [3]. Это позволило выявить класс задач, для которых описанный корреляционный детектор является применимым.

Таким образом, была создана и протестирована модель корреляционного детектора скрытых нестационарных состояний открытой динамической системы. На основе полученных результатов был сделан вывод о возможности детектирования в рамках данного метода детерминированного хаоса с помощью обнаружения режима перемежаемости.

**Литература.**

1. Климонтович, Ю.Л. Введение в физику открытых систем / Ю.Л. Климонтович – М.: Янус-К. 2002 – 284 с.

2. Ханин, Я.И. Основы динамики лазеров / Я. И. Ханин. – М.: Наука. Физматлит, 1999. – 368 с.

3. Хакен Г. Лазерная светодинамика / Г. Хакен – М.: Мир.– 1988. 350 с.

УДК 621.396.96

## УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

***Сидорович О.В.***

*УО «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск*

**Введение.** Для анализа системы стабилизации ракеты с регулятором переменной структуры (РПС), функционирующей в условиях случайных возмущений, можно воспользоваться двумя известными способами статистического анализа: методом статистической линеаризации (СЛ) [1] и методом, основанным на теории систем со случайной структурой (ТССС) [2].

Суть статистической линеаризации состоит в том, что нелинейное преобразование аппроксимируется линеаризованной зависимостью [1]. В результате для анализа нелинейного звена, которым является регулятор переменной структуры, можно применить аппарат линейной теории.

При анализе методом, основанным на ТССС [2], рассматривают систему с переменной структурой, действующую в условиях возмущений, как своеобразную модель марковского случайного процесса с поглощением и восстановлением реализаций на границе плоскости скольжения.

При этом для системы $n$-го порядка методом СЛ необходимо решить $n$ уравнений для математических ожиданий и $n(n+1)/2$ для дисперсий, то есть всего $n^2+3n/2$ дифференциальных уравнений. Одна из проблем ТССС связана с тем, что закон изменения структуры предполагается пуассоновским, и это является главной сложностью применения ТССС для стохастического анализа ССР с РПС, так как в этом случае закон изменения структуры, очевидно, носит близкое к нормальному распределение. Учет произвольного закона изменения структуры динамической системы случайной структуры осуществляется с помощью метода псевдосостояний. “Однако одним из основных недостатков данного метода являются необходимость интегрирования существенно большого числа дифференциальных уравнений для вероятностных моментов и вероятностей