



## ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОНАПРАВЛЕННО СВЯЗАННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ГРУБОГО ХАОСА И ОСНОВАННОЙ НА ИХ СИНХРОНИЗАЦИИ СХЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОЙ КОММУНИКАЦИИ

*Н. В. Демина*

Проведено численное моделирование схемы широкополосной или конфиденциальной коммуникации, основанной на нелинейном подмешивании информационного сигнала к хаотическому и на синхронизации передатчика и приемника, в качестве которых выступают генераторы грубого гиперболического хаоса. Синхронизация приемника и передатчика осуществлена посредством сильной однонаправленной связи между ними. Исследована возможность синхронизации подсистем и функциональные возможности коммуникационной схемы.

*Ключевые слова:* Синхронизация, хаотическая коммуникация, автоколебательная система, гиперболический хаос.

### Введение

Хаотическая коммуникация – активно изучаемая задача в нелинейной динамике, имеющая как прикладное, так и теоретическое значение. Известны методики передачи информации (конфиденциальной и широкополосной), основанные на принципе нелинейного подмешивания информационного сигнала к хаотическому сигналу некой динамической системы [1]. Информация при этом непосредственно участвует в динамике передатчика-шифратора. Расшифровка закодированного таким образом сигнала, согласно данной методике, осуществляется благодаря феномену синхронизации. Передатчик и приемник должны представлять собой идентичные хаотические системы, синхронизованные достаточно сильной однонаправленной связью. В сущности, передатчик должен управлять приемником посредством связи – передаваемого в радиоканал сигнала. Если достигнута полная синхронизация, то временные реализации хаотических генераторов (приемника и передатчика) полностью идентичны, и это позволяет вычленивать подмешанную полезную информацию из пришедшего по каналу связи сигнала, сопоставив его с сигналом приемника, соответствующим несущему хаотическому сигналу передатчика.

Описанная методика кодирования и детектирования данных, как оказывается, применима и к более общему случаю обобщенной синхронизации, например, фазовой [2]. Данный тип синхронизации является более грубым в том смысле, что допускает некоторые отстройки параметров приемника и передатчика. Качество детектирования сигнала при этом естественным образом ухудшается.

Значимой проблемой для большинства схем передачи данных на основе синхронизации является чувствительность хаотических свойств динамики непосредственно генераторов хаоса и динамики в режиме их синхронизации (даже обобщенной) к малым возмущениям и вариациям параметров, к шумам. Решением данного вопроса может стать использование генераторов грубого хаоса в качестве передающей и принимающей систем. До недавнего времени физически реализуемых примеров таких генераторов не было известно. Однако, в последние годы (см. работы [3–11]) был предложен ряд моделей различной физической природы, кроме того, предложены некоторые схемы радиотехнических устройств, генерирующих хаос гиперболического типа [12–14]. Такой тип поведения обладает грубостью, или структурной устойчивостью – малые возмущения параметров и функций в динамической системе не влияют на структуру хаотического аттрактора и характеристики хаотической динамики.

В настоящей работе будет произведено исследование схемы передачи информации, отличительной чертой которой от ранее известных является то, что в качестве источников динамического хаоса в приемнике и передатчике используется генератор хаоса гиперболического типа, предложенный в [3].

## 1. Генератор грубого хаоса

Генератор грубого хаоса, ассоциирующийся с гиперболическим странным аттрактором типа Смейла–Вильямса, представляет собой систему связанных модифицированных осцилляторов ван дер Поля

$$\begin{cases} \ddot{x} - (A \cos(\omega t/T) - x^2)\dot{x} + \omega^2 x = \varepsilon y \cos(\omega t), \\ \ddot{y} - (-A \cos(\omega t/T) - y^2)\dot{y} + (2\omega)^2 y = \varepsilon x^2. \end{cases} \quad (1)$$

Обсудим кратко основные принципы его функционирования. Собственная частота второго осциллятора вдвое больше частоты первого. Параметр, ответственный за бифуркацию Андронова–Хопфа и рождение автоколебательного режима в парциальных системах, медленно периодически модулируется. Период модуляции  $2\pi T/\omega$  содержит достаточно большое число периодов собственных колебаний индивидуального осциллятора. Модуляция автоколебаний двух подсистем производится в противофазе. На одном полупериоде модуляции первый осциллятор находится в режиме генерации, а второй ниже порога возбуждения. На втором полупериоде наоборот генерирует второй осциллятор, а первый затухает. Осцилляторы связаны между собой специальным образом. Первый осциллятор действует на второй через член, пропорциональный квадрату обобщенной координаты  $x$ . При этом наиболее эффективно он действует на стадии своей генерации. Порождаемая при этом вторая гармоника является резонансной для второго осциллятора. Удвоенная (в результате возведения в квадрат) фаза воздействия служит затравкой для фазы второго осциллятора

при переходе его к стадии возбуждения (амплитудная затравка не принципиальна по сравнению с собственной динамикой осциллятора при его «раскачке»). В свою очередь, второй осциллятор на стадии генерации действует на первый посредством члена, пропорционального произведению переменной  $y$  и опорного сигнала на рабочей частоте первого осциллятора. Резонансным для первого осциллятора является сигнал на разностной частоте. Фазовой затравкой для первого осциллятора, когда он вновь начинает генерировать, служит полученная вторым осциллятором на предыдущем полупериоде фаза, которая, в свою очередь, равна удвоенной фазе первого осциллятора период  $2\pi T/\omega$  назад. Таким образом, делая стробоскопическое сечение через период  $2\pi T/\omega$  можно наблюдать отображение «сдвиг Бернулли» (растягивающее отображение окружности) для фазы

$$\varphi_{n+1} = 2\varphi_n \pmod{2\pi}, \quad (2)$$

которое является эталонной моделью – «сублиматом» гиперболического хаоса. В 4-х мерном фазовом пространстве системы в стробоскопическом сечении реализуется аттрактор типа соленоида Смейла–Вильямса. Генерируемый каждым из осцилляторов ван дер Поля сигнал представляет собой периодическую последовательность цугов с хаотическим заполнением: частота заполнения определяется собственной частотой каждого осциллятора, но в начале каждого цуга (когда амплитуда колебаний мала и фаза плохо определена) происходит хаотический сдвиг фазы.

На рис. 1 представлены зависимости спектра ляпуновских показателей системы (1) от различных параметров при фиксированных значениях остальных параметров

$$A = 3, \quad \varepsilon = 0.5, \quad T = 10, \quad \omega = 2\pi. \quad (3)$$

На графиках выделены диапазоны существования грубого хаоса: ляпуновские показатели ведут себя в них гладко, старший показатель положителен, не имеет провалов

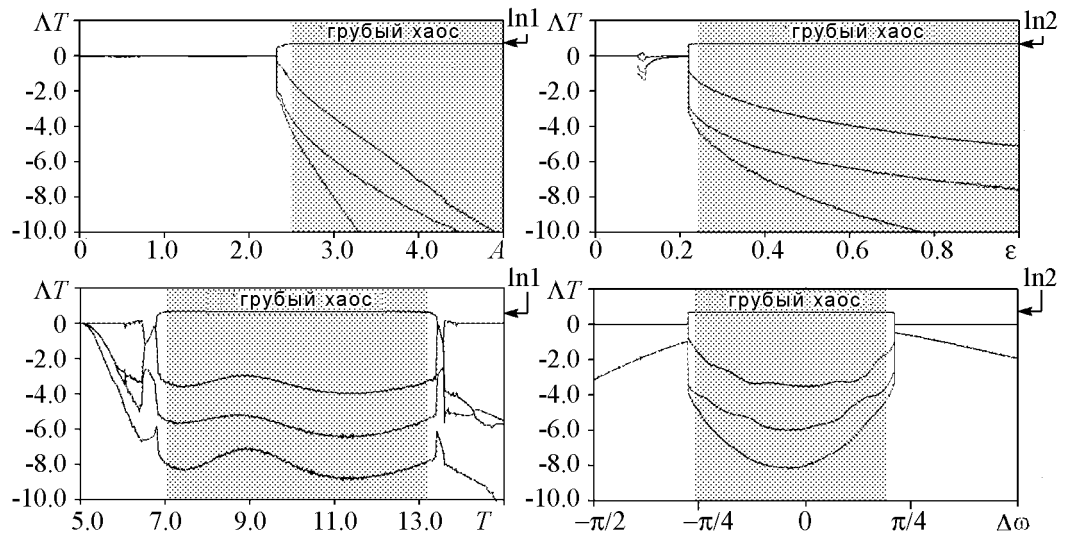


Рис. 1. Зависимости спектра ляпуновских показателей системы (1) от амплитуды модуляции  $A$  параметра, отвечающего за бифуркацию Андронова–Хопфа (а), параметра связи  $\varepsilon$  (б), периода модуляции  $T$  (в) и параметра  $\Delta\omega$ , представляющего отстройку частоты второго осциллятора от частоты первого (г)

в отрицательную область и близок к  $\ln 2$ . Более строгое доказательство гиперболичности, а следовательно, грубости реализующегося в системе аттрактора проведено в работах [15–17].

## 2. Схема хаотической коммуникации

Рассмотрим следующую схему хаотической коммуникации на основе синхронизации двух генераторов гиперболического хаоса, один из которых отвечает за передатчик (Т), а второй – за приемник (R):

$$(T) : \begin{cases} \ddot{x} - (A \cos(\omega t/T) - x^2)\dot{x} + \omega^2 x = \varepsilon y \cos(\omega t + \rho(t)), \\ \ddot{y} - (-A \cos(\omega t/T) - y^2)\dot{y} + (2\omega)^2 y = \varepsilon x^2, \end{cases}$$

$$S(t) = y(t) \cos(\omega t + \rho(t)), \quad (4)$$

$$(R) : \begin{cases} \ddot{z} - (A' \cos(\omega' t/T') - z^2)\dot{z} + \omega'^2 z = \varepsilon' S(t), \\ \ddot{p} - (-A' \cos(\omega' t/T') - p^2)\dot{p} + (2\omega')^2 p = \varepsilon' z^2. \end{cases}$$

Здесь  $\rho(t)$  – полезный информационный сигнал;  $S(t)$  – сигнал, поступающий из передатчика в канал связи. Обратим внимание на способ нелинейного подмешивания информационного сигнала к хаотическому. С точки зрения описанного ранее механизма эстафетной передачи заправки для фазы между осцилляторами ван дер Поля в отдельно взятом генераторе хаоса, введенный информационный сигнал представляет собой некую добавку к фазе генерируемого хаотического сигнала. Динамика именно фазовой составляющей определяется хаотическим отображением Бернулли, чем и обосновывается целесообразность такого подмешивания информации [18, 19]. Характерный временной масштаб  $\tau$ , отвечающий изменению во времени информационного сигнала, должен быть много больше периода цугов несущего сигнала. В связи с тем, что собственный набег фазы в каждом новом цуге несущего сигнала ведет себя хаотически, введенная в него информационная добавка не может быть детектирована напрямую, без приемника аналогичной передатчику конструкции. В таком контексте рассматриваемая схема может быть применима для конфиденциальной коммуникации.

Если парциальные системы (Т) и (R) в схеме (4) идентичны ( $A = A'$ ,  $\varepsilon = \varepsilon'$ ,  $T = T'$ ,  $\omega = \omega'$ ), то, благодаря сильной связи между ними, через передаваемый по каналу сигнал может происходить полная синхронизация, в результате которой реализации переменных  $p(t)$  и  $y(t)$  должны совпадать. Тогда делением сигнала  $S(t)$ , пришедшего из канала связи, на переменную  $p(t)$  в приемнике получим величину  $S(t)/p(t) \rightarrow \cos(2\pi t + \rho(t))$ , из которой тригонометрическими преобразованиями (фазовым демодулятором в радиотехнической схеме) можно извлечь информацию  $\rho' = \rho(t)$ .

Следует отметить недостаток данной схемы, заключающийся в необходимости деления на переменную  $p$ , которая естественно обращается в ноль два раза за каждый период собственных колебаний. Результат деления может быть неопределенным. При численном моделировании процесса в случае идентичных  $p(t)$  и  $y(t)$  эта проблема не возникает в силу дискретизации динамических переменных и конечной

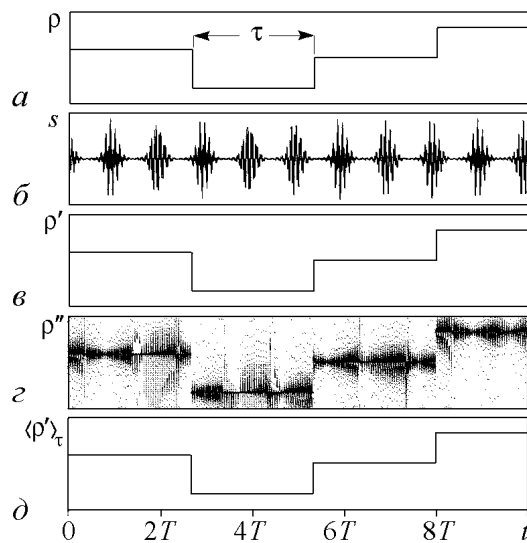


Рис. 2. Демонстрация передачи цифрового сигнала посредством схемы (4):  $a$  – ступенчатый информационный сигнал с шириной импульсов  $\tau$ ;  $b$  – сигнал в канале связи;  $v$  – раскодированный сигнал в случае идентичных приемника и передатчика;  $z$  – раскодированный сигнал в случае слабо неидентичных передатчика и приемника;  $d$  – усредненный по интервалам  $\tau$  раскодированный сигнал ( $z$ )

точности их определения (обращение в ноль нецелой переменной маловероятно). Этот недостаток, однако, существен и будет приводить к искажениям детектированного сигнала в экспериментальном устройстве, а также при отсутствии полной синхронизации переменных  $p$  и  $y$ . Избежать этой проблемы до некоторой степени может позволить процедура фильтрации в радиотехническом эксперименте или усреднение при численной процедуре. При этом периоды собственных колебаний осцилляторов ван дер Поля в генераторе хаоса должны быть больше характерного периода изменения во времени информационного сигнала. Тогда ошибки, возникающие в моменты обращения в ноль переменной  $p$  будут иметь большую частоту по сравнению с частотой изменения информационного сигнала и могут быть отфильтрованы.

На рис. 2 проиллюстрирован процесс коммуникации – шифрования, передачи и детектирования некоего цифрового информационного сигнала, представляющего собой ступенчатую функцию ( $a$ ). Видно, что сигнал в канале связи ( $b$ ) имеет сложный характер в виде периодической последовательности импульсов с хаотическим заполнением. В случае идентичных приемника и передатчика и полной синхронизации между ними детектирование полезной информации происходит без ошибок ( $v$ ).

### 3. Синхронизация односторонне связанных генераторов грубого хаоса и передача информационного сигнала в случае слабо неидентичных приемника и передатчика

Функционирование рассматриваемой схемы передачи данных невозможно без существования синхронизации между приемником и передатчиком (по крайней мере, обобщенной). В случае, когда они абсолютно идентичны, очевидно достижение полной синхронизации. В реальных радиотехнических устройствах такой «идеальности» достичь однако невозможно: характеристики приемника и передатчика могут слегка различаться; в результате эффекта Доплера частота приходящего на приемник сигнала может быть искажена и пр. В связи с этим важным является исследование режимов синхронизации связанных генераторов при наличии отстроек параметров в одной из подсистем относительно другой. (Некоторые аспекты возникновения синхронизации идентичных диссипативно связанных систем с гиперболическим хаосом в виде уравнений для медленных комплексных амплитуд изучены ранее в работе [20].)

Рассмотрим систему (4) в случае отсутствия информационного сигнала  $\rho(t) = 0$ . Будем варьировать параметры второго хаотического генератора при фиксированных значениях (3) параметров первого и понаблюдаем за поведением спектра ляпуновских показателей (рис. 3). Имеется восемь показателей, четыре из которых соответствуют управляющей подсистеме (Т) – на графиках они остаются постоянными. Проследив за вторым по величине показателем Ляпунова, можно определить диапазоны отстроек параметров, при которых имеет место обобщенная синхронизация. Как видно из рисунка, второй показатель имеет отрицательные значения в достаточно широкой области по параметрам, что подтверждает наличие коррелированности между динамикой ведущей и ведомой подсистем. К сожалению, синхронизация эта не полная, то есть соответствующие друг другу переменные парциальных систем не совпадают. Реализуется режим обобщенной синхронизации, когда переменные одной подсистемы имеют функциональную зависимость от переменных другой подсистемы. Тем не менее, благодаря принципу грубости, переход от полной синхронизации (для идентичных подсистем) к обобщенной происходит без резких изменений хаотического аттрактора, реализующегося в восьмимерном фазовом пространстве системы.

В контексте рассмотренной проблемы синхронизации неидентичных связанных генераторов гиперболического хаоса полезно было бы узнать, как расстройка параметров подсистем влияет на процесс детектирования информации в изучаемой схеме коммуникации. На рис. 2,  $\varepsilon$ ,  $\delta$  продемонстрирован процесс детектирования цифрового информационного сигнала в случае, когда частота приемника отлична от частоты передатчика:  $\omega' = \omega + 0.0001^1$ . Как видно из рис. 2 раскодированные данные

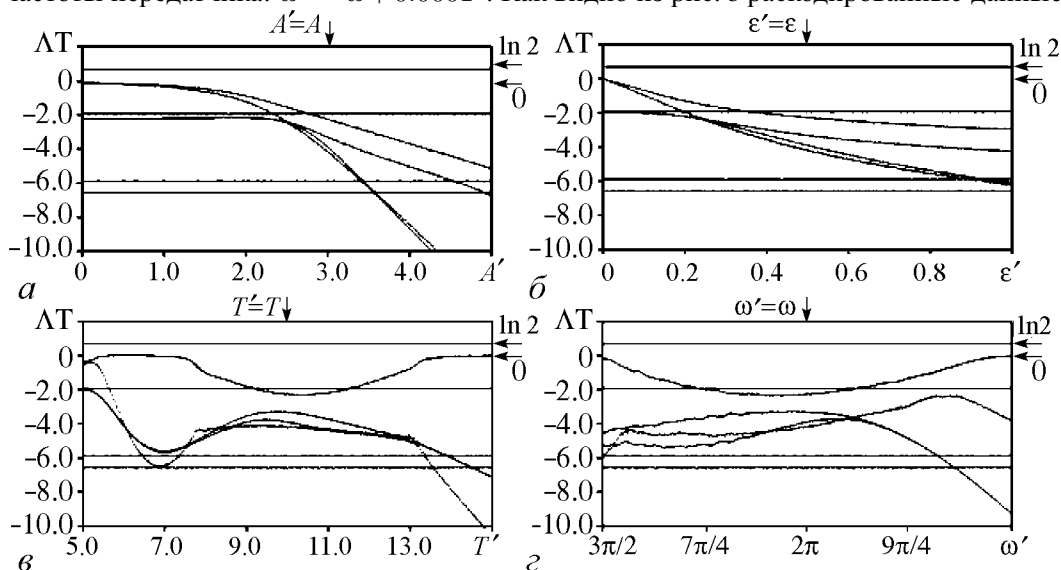


Рис. 3. Графики спектра ляпуновских показателей однонаправленно связанных генераторов гиперболического хаоса (системы (4) при отсутствии информационного сигнала  $\rho = 0$ ) при вариации параметров управляемой парциальной системы относительно фиксированных значений параметров управляющей системы

<sup>1</sup>На самом деле, расстройка любых параметров приемника и передатчика должна привести к затруднению детектирования информации. Продемонстрированная ситуация неидентичности частот кажется наиболее значимой: она приведет к сильной расстройке между быстро меняющимися во времени переменными  $y$  и  $p$ , затруднит фазовое детектирование сигнала  $S(t)/p(t)$ .

выглядят весьма зашумленными в этом случае. Однако если этот раскодированный сигнал усреднить на интервалах времени, отвечающих длине ступенек исходного цифрового сигнала, то получается практически идеальное с ним совпадение. Таким образом, для раскодирования сигнала не требуется полная синхронизация и исследуемый в работе метод передачи данных применим и для слабо неидентичных приемника и передатчика.

#### **4. Влияние характеристик информационного сигнала на динамику передатчика при нелинейном подмешивании**

Необходимо отметить, что информационный сигнал, который подмешивается в передатчике и который аналогичным образом действует и на приемник, по сути, является внешним воздействием и может оказать влияние на характер поведения динамической системы. Негативное влияние этого воздействия может отразиться на возможности синхронизации приемника и передатчика и на характере генерируемого передатчиком сигнала: он может потерять свойство грубости и, более того, может вообще потерять хаотические свойства. Проблема с синхронизацией, по-видимому, не является существенной при рассматриваемом способе ввода информационного сигнала. Проблема же нарушения гиперболического хаоса требует непосредственного исследования.

Оценим допустимые характеристики подмешиваемого информационного сигнала на основе анализа возможности реализации структурно устойчивого хаоса системой-передатчиком

$$\begin{cases} \ddot{x} - (A \cos(\omega t/T) - x^2)\dot{x} + \omega^2 x = \varepsilon y \cos(\omega t + \rho(t)), \\ \ddot{y} - (-A \cos(\omega t/T) - y^2)\dot{y} + (2\omega)^2 y = \varepsilon x^2. \end{cases} \quad (5)$$

Возьмем в качестве информационного сигнала функцию  $\rho(t) = r \cos(\omega t)$ , тогда  $r$  и  $\omega$  можно интерпретировать как интенсивность и характерный временной масштаб информационного сигнала. В схеме передачи информации частота  $\omega$ , вообще говоря, не должна быть близкой к частоте собственных колебаний  $\omega$  для того, чтобы при детектировании было возможно выделить полезные данные с помощью фильтра частот. Кроме того, с точки зрения кодирования частота  $\omega$  должна быть малой для того, чтобы фаза сигнала в канале связи была медленно модулирована функцией  $\rho(t)$  по сравнению с периодом амплитудной модуляции  $2\pi T/\omega$ . Необходимость этого объясняется тем, что фаза сигнала генератора гиперболического хаоса (1) меняется плавно в течение полупериода  $\pi T/\omega$ , и лишь в стробоскопическом сечении через период  $T$ , благодаря механизму эстафетной передачи затравки для фазы при поочередном возбуждении осцилляторов ван дер Поля в системе (1), она ведет себя хаотически. Рассмотрим, тем не менее, систему (5) в общем смысле, как динамическую систему с гиперболическим хаосом с дополнительным периодическим внешним воздействием с частотой, меняющейся в достаточно широких пределах. На рис. 4 приведены карты старшего ляпуновского показателя системы. Черный цвет отвечает положительному старшему показателю, близкому к  $\ln 2$ , что соответствует аттрактору Смейла–Вильямса; темно серый цвет – положительному показателю с иными

значениями (возможен хаос негиперболического типа); светло серый – нулевому показателю (квазипериодические режимы); градации серого – отрицательному (периодические режимы). Видно, что при больших амплитудах информационного сигнала гиперболичность разрушается. Из увеличенных фрагментов видно, что разрушение происходит по некому сценарию, связанному, по-видимому, со стабилизацией вложенных в хаотический аттрактор циклов<sup>2</sup>. Таким образом, можно сделать вывод о необходимой малости амплитуды информационного сигнала  $\rho(t)$ , подмешиваемого к фазе, по сравнению с собственной частотой  $\omega$ .

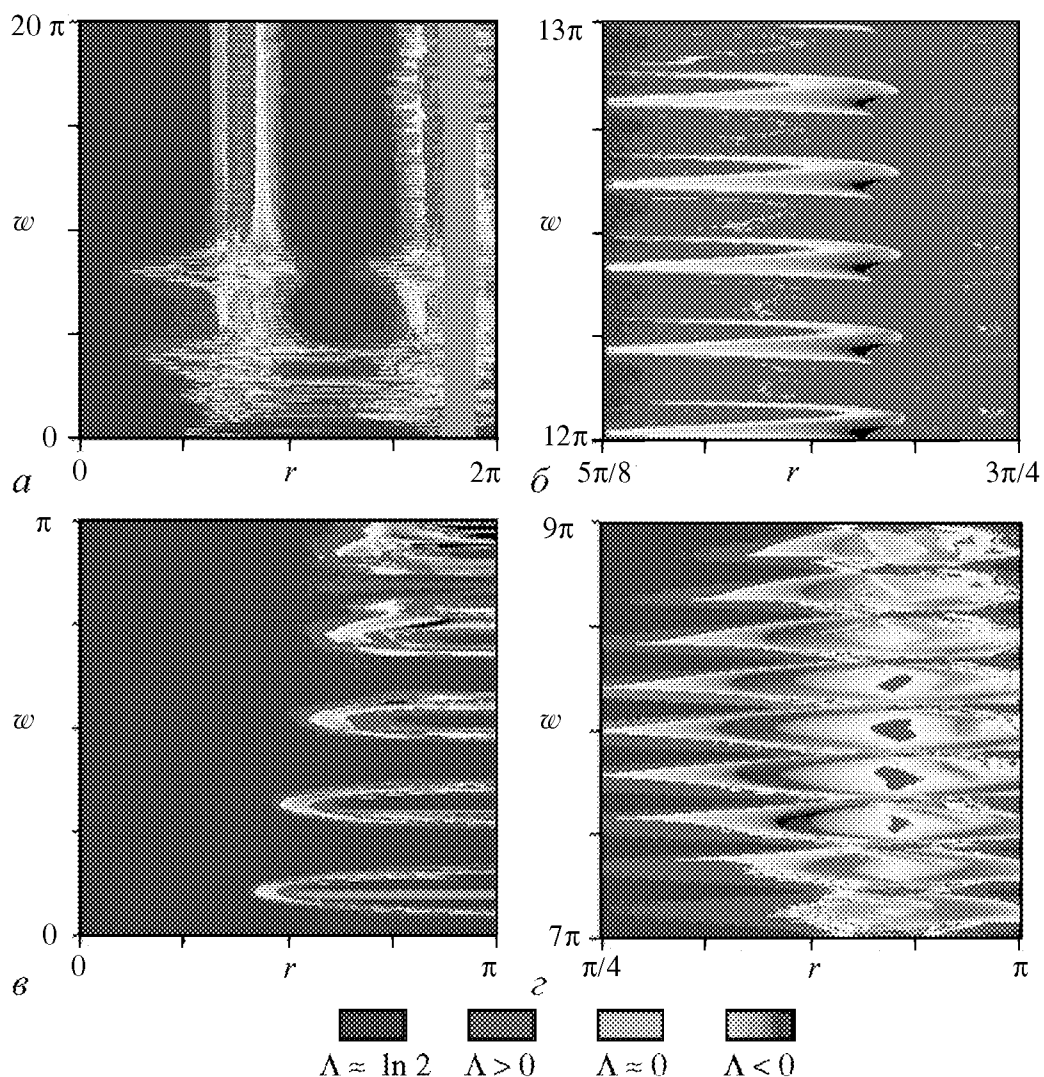


Рис. 4. Карта старшего ляпуновского показателя системы (5) (а) и ее увеличенные фрагменты (б)-(г) при значениях параметров (3) на плоскости параметров, характеризующих информационный сигнал, где  $r$  – амплитуда сигнала, а  $w$  – его частота

<sup>2</sup>Сходное поведение описано в работе [21], изучающей разрушение ДА-аттрактора при усилении диссипации в модельных отображениях. Известные сценарии разрешения или возникновения гиперболического аттрактора Смейла-Вильямса обнаружены в работах [22, 23].



## Заключение

Исследованы функциональные возможности схемы широкополосной или конфиденциальной передачи информации с нелинейным подмешиванием полезного сигнала к хаотическому. Коммуникация, основана на известном принципе синхронизации приемника и передатчика. В качестве приемника и передатчика в рассматриваемой схеме использовались обладающие свойством грубости и, следовательно, нечувствительные к расстройкам параметров и другим малым возмущениям генераторы гиперболического хаоса. Показано, что связанные генераторы грубого хаоса демонстрируют также свойство структурной устойчивости и в режиме обобщенной синхронизации, что позволяет удовлетворительно детектировать полезный цифровой сигнал в случае неидентичных генераторов в качестве приемника и передатчика.

Автор выражает благодарность научному руководителю доценту СГУ О.Б. Исаевой, а также с.н.с. и в.н.с. СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН А.Ю. Жалнину и В.И. Пономаренко за обсуждение и помощь при выполнении работы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №12-02-31342).*

## Библиографический список

1. *Дмитриев А.С., Панас А.И.* Динамический хаос: Новые носители информации для систем связи. М.: Физматлит, 2002.
2. *Chen J.Y., Wong K.W., Cheng L.M., Shuai J.W.* A secure communication scheme based on the phase synchronization of chaotic systems // *Chaos*. 2003. Vol. 13. P. 508.
3. *Kuznetsov S.P.* Example of a physical system with a hyperbolic attractor of the Smale-Williams type // *Phys. Rev Lett*. 2005. Vol. 95. P. 144101.
4. *Кузнецов С.П.* Динамический хаос и гиперболические аттракторы. От математики к физике. Москва-Ижевск: Изд-во ИКИ, 2013. 488с.
5. *Isaeva O.B., Jalnine A.Yu., Kuznetsov S.P.* Arnold's cat map dynamics in a system of coupled nonautonomous van der Pol oscillators // *Phys. Rev. E*. 2006. Vol. 74. P. 046207.
6. *Kruglov V.P., Kuznetsov S.P.* An autonomous system with attractor of Smale-Williams type with resonance transfer of excitation in a ring array of van der Pol oscillators // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2011. Vol. 16. P. 3219.
7. *Isaeva O.B., Kuznetsov S.P., Mosekilde E.* Hyperbolic chaotic attractor in amplitude dynamics of coupled self-oscillators with periodic parameter modulation // *Phys. Rev. E*. 2011. Vol. 84. P. 016228.
8. *Kuptsov P.V., Kuznetsov S.P., Pikovskiy A.* Hyperbolic chaos of Turing patterns // *Phys. Rev. Lett*. 2012. Vol. 108. P. 194101.
9. *Kuznetsov A.S., Kuznetsov S.P.* Parametric generation of robust chaos with time-delayed feedback and modulated pump source // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2013. Vol. 18, № 3. P. 728.

10. *Isaeva O.B., Kuznetsov A.S., Kuznetsov S.P.* Hyperbolic chaos of standing wave patterns generated parametrically by a modulated pump source // *Phys. Rev. E*. 2013. Vol. 87. P. 040901.
11. *Исаева О.Б., Кузнецов А.С., Кузнецов С.П.* Гиперболический хаос при параметрических колебаниях струны // *Нелинейная динамика*. 2013. Т. 9, № 1. С. 3.
12. *Кузнецов С.П.* Схемы электронных устройств с гиперболическим хаосом и моделирование их динамики в программной среде Multisim // *Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика*. 2011. Т. 19, № 5. С. 98.
13. *Кузнецов С.П., Селезнев Е.П.* Хаотическая динамика в физической системе со странным аттрактором типа Смейла–Вильямса // *ЖЭТФ*. 2006. Т. 129, № 2. С. 400.
14. *Кузнецов С.П., Пономаренко В.И.* О возможности реализации странного аттрактора типа Смейла–Вильямса в радиотехническом генераторе с запаздыванием // *Письма в ЖТФ*. 2008. Т. 34. вып. 18. С. 1.
15. *Kuznetsov S.P., Sataev I.R.* Hyperbolic attractor in a system of coupled nonautonomous van der Pol oscillators: Numerical test for expanding and contracting cones // *Phys. Lett. A*. 2007. Vol.365, № 1–2. P. 97.
16. *Кузнецов С.П., Сатаев И.Р.* Проверка условий гиперболичности хаотического аттрактора в системе связанных неавтономных осцилляторов ван дер Поля // *Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика*. 2006. Т. 14, № 5. С. 3.
17. *Wilczak D.* Uniformly hyperbolic attractor of the Smale–Williams type for a Poincaré map in the Kuznetsov system // *SIAM J. Applied Dynamical Systems*. 2010. Vol. 9. P. 1263.
18. *Жалнин А.Ю.* Системы передачи информации на основе генераторов грубого хаоса // *Тезисы докладов Всероссийской конференции «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»*. 2011. С. 114.
19. *Жалнин А.Ю.* Модуляция хаотической фазы: Новая схема передачи информации на основе динамического хаоса с модулируемой фазовой динамикой // *Тезисы докладов Всероссийской конференции «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»*. 2010. С. 148.
20. *Купцов П.В., Кузнецов С.П.* О феноменах, сопровождающих переход к режиму синхронного хаоса в связанных неавтономных осцилляторах, представленных уравнениями для комплексных амплитуд // *Нелинейная динамика*. 2006. № 3. С. 308.
21. *Аржанухина Д.С.* О сценариях разрушения гиперболического хаоса в модельных отображениях на торе с диссипативным возмущением // *Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика*. 2012. Т. 20, № 1. С. 117.
22. *Шильников Л.П., Тураев Д.В.* О катастрофах голубого неба // *Док. РАН*. 1995. Т. 342. С. 596.
23. *Isaeva O.B., Kuznetsov S.P., Sataev I.R.* A «saddle-node» bifurcation scenario for birth or destruction of a Smale–Williams solenoid // *Chaos*. 2012. Vol. 22, № 4. P. 043111.

*Саратовский госуниверситет  
им. Н.Г. Чернышевского*

*Поступила в редакцию 4.03.2013*

## THE STUDY OF THE UNIDIRECTIONALLY COUPLED GENERATORS OF ROBUST CHAOS AND WIDE BAND COMMUNICATION SCHEME BASED ON ITS SYNCHRONIZATION

*N. V. Demina*

A numerical simulation of a wide band or secure communication scheme, based on nonlinear admixture of an information signal to the chaotic one, and on synchronization of the transmitter and receiver generators, manifesting hyperbolic chaos. Synchronization of the transmitter and receiver is provided by a strong unidirectional coupling between them. The study of the possibility of synchronization between subsystems and functionality of the communication scheme are presented.

*Keywords:* Synchronization, chaotic communication, self-sustained system, hyperbolic chaos.



*Демина Наталья Вячеславовна* – окончила саратовский Лицей-интернат естественных наук (2007) и факультет нелинейных процессов Саратовского государственного университета (2012). Аспирант по специальности «Радиофизика». Область научных интересов – нелинейная динамика, теория хаоса, синхронизация и их практические приложения. Имеет несколько публикаций в сборниках трудов конференций.

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