

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики открытых систем

**Обобщенная синхронизация в присутствии внешних шумов и ее  
применение для передачи информации**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 03.03.03 Радиофизика

факультета нелинейных процессов

Бонарь Сергея Владимировича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ О.И. Москаленко

Зав. кафедрой физики

открытых систем

профессор, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ А.А. Короновский

Саратов 2017 г.

## Введение

В нелинейной динамике одним из важных феноменов является синхронизация хаотических колебаний [1]. Это явление привлекло к себе внимание многих учёных. В настоящее время исследователей привлекают не только модели радиофизики, но и модели в живой природе, они находят широкое применение в медицине и физиологии, например воздействие шумов на электроэнцефалограммы и на ритм биения сердца. Также одним из важных применений данного явления считается её использование для передачи информации. И количество публикаций в научном мире по данной теме возрастает. Вид синхронизации, который будет рассмотрен в моей работе, - это обобщенная синхронизация. Если между состояниями двух хаотических осцилляторов, которые взаимодействуют однонаправленно, - это ведущий осциллятор  $\mathbf{x}(t)$  и ведомый  $\mathbf{u}(t)$ , - есть зависимость  $\mathbf{F}[\cdot]$ , такая, что после завершения переходного процесса будет установлено соотношение  $\mathbf{u}(t) = \mathbf{F}[\mathbf{x}(t)]$ , в хаотических осцилляторах наблюдается обобщенная синхронизация [2]. Метод диагностирования, который я буду использовать в своей работе, называется методом вспомогательной системы [4].

## 1. Влияние шума на режим обобщённой синхронизации

В первой главе своей бакалаврской работы я исследовал влияния шума на обобщённую синхронизацию. Как описывалось выше, я пользовался методом вспомогательной системы. В качестве объекта исследования выбрал дифференциальные уравнения, описывающие динамику однонаправленно связанных систем Рёсслера, которые я решались с помощью метода Эйлера с шагом дискретизации по времени  $h = 0.01$ .

Ведущая система описывается следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -\omega_x * x_2 - x_3, \\ \dot{x}_2 &= \omega_x * x_1 + a * x_2, \\ \dot{x}_3 &= p + x_3 * (x_1 - c) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\mathbf{x}(t) = (x_1, x_2, x_3)^T$  – это у нас вектор состояния этой системы,  $a = 0.15$ ,  $p = 0.2$  и  $c = 10$  – параметры управления,  $\omega_x = 0.99$  – параметр управления, который характеризует собственную частоту колебаний системы. Выбор значений  $\omega_x$  обусловлен расположением границы обобщенной синхронизации

Следующая система дифференциальных уравнений описывает ведомую и вспомогательную системы:

$$\begin{aligned} \dot{u}_1 &= -\omega_u * u_2 - u_3 + \varepsilon * (x_1 - u_1) + D\xi, \\ \dot{u}_2 &= \omega_u * u_1 + a * u_2, \\ \dot{u}_3 &= p + u_3 * (u_1 - c) \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь  $\mathbf{u}(t) = (u_1, u_2, u_3)^T$  – вектор состояния ведомой системы. Пусть  $\mathbf{v}(t) = (v_1, v_2, v_3)^T$ , также удовлетворяющий (2), – вектор состояния вспомогательной системы. Управляющие параметры  $a$ ,  $p$  и  $c$  выбраны теми же, что и в случае ведущей системы, а управляющий параметр  $\omega_u = 0.95$ . Параметр  $D$  определяет интенсивность шумового воздействия,  $\xi$  –

стохастический гауссов процесс с нулевым средним и единичной дисперсией. Интенсивность связи характеризуется параметром  $\varepsilon$ .

Из рисунков видно, что во всех рассматриваемых случаях взаимодействующие системы демонстрируют хаотическую динамику.

Далее я увеличивал параметр шума ( $D=1,10,20$ ). При параметре интенсивности связи  $\varepsilon = 0.14$  наблюдалось зашумление аттрактора ведомой системы b), но, как видно из рисунка a), во всех случаях, как и в отсутствие шума так и  $D(1,10,20)$  наблюдается обобщенная синхронизация, когда все точки выстраиваются в одной плоскости вдоль диагонали. Полученные результаты свидетельствуют об устойчивости режима обобщенной синхронизации в исследуемой системе по отношению к шумам.

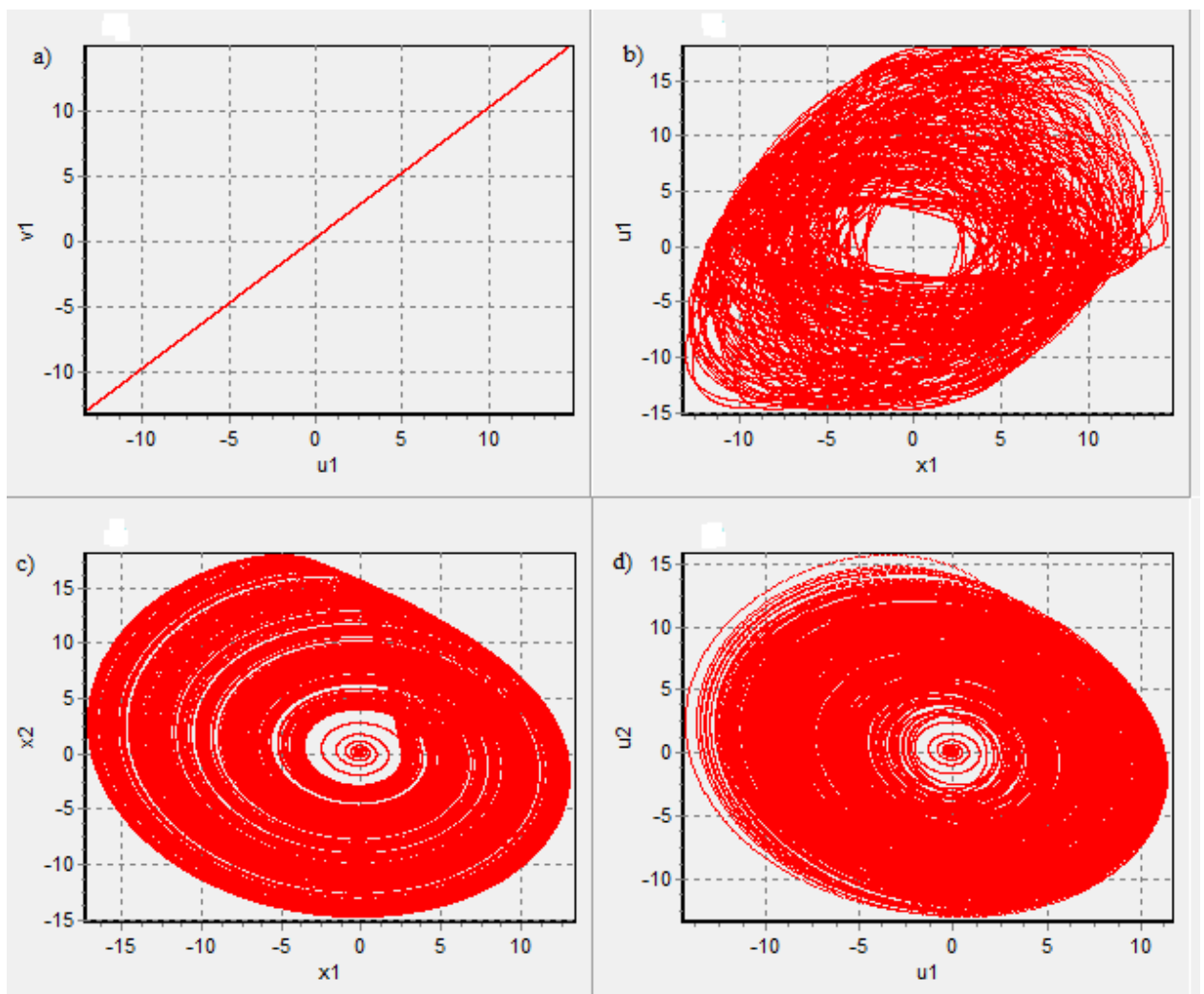


Рисунок 1 - На данном рисунке были взяты параметр шума  $D = 0$  и параметр интенсивности связи  $\varepsilon = 0.14$ , частота колебаний  $\omega_x = 0.99$ , шаг дискретизации по времени  $h=0.01$ . На плоскости а) мы наблюдаем обобщенную синхронизацию – то что все точки выстраиваются вдоль главной диагонали как раз и говорит о наличии обобщенной синхронизации. На графике б) все точки разбросаны, синхронизация в данном случае отсутствует. На плоскостях с) и d) приведены фазовые портреты, которые характеризуют как раз поведение ведущей  $(x_1, x_2)$  и ведомой  $(u_1, u_2)$  системы, они свидетельствуют о наличии хаотической динамики в исследуемых системах

Также я рассмотрел, что будет происходить в том случае, если параметр интенсивности связи уменьшить до 0.07. Значения параметра шума выбрал теми же, что и в рассмотренных выше случаях.

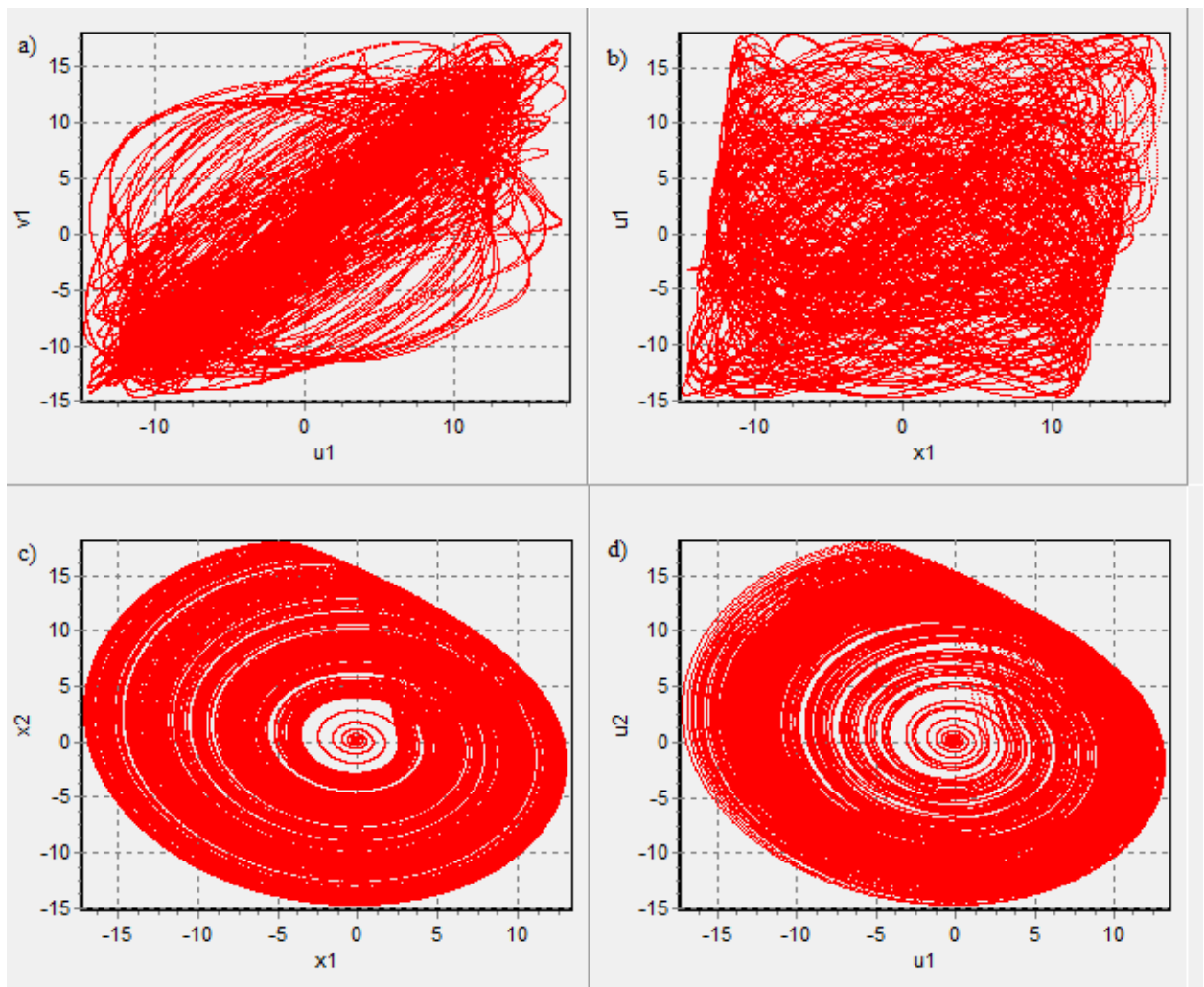


Рисунок 2 - Параметр шума  $D = 0$ , интенсивность связи  $\varepsilon = 0.07$ , частота колебаний  $\omega_x = 0.99$ , шаг дискретизации по времени  $h=0.01$ . На графике а) наблюдается отсутствие синхронизации, точки разбросанны по всей плоскости.

При увеличении параметра шума  $D=(1,10,20)$  наблюдается отсутствие синхронизации. Увеличение параметра шума приводит к более сильному зашумлению состояний взаимодействующих систем. Полученные результаты находятся в хорошем соответствии с результатами работы [6].

## 2. Передача информации

Во второй главе я применил обобщённую синхронизацию в присутствии шумов, для скрытой передачи информации. Процесс передачи информации продемонстрирован на рисунке 3.

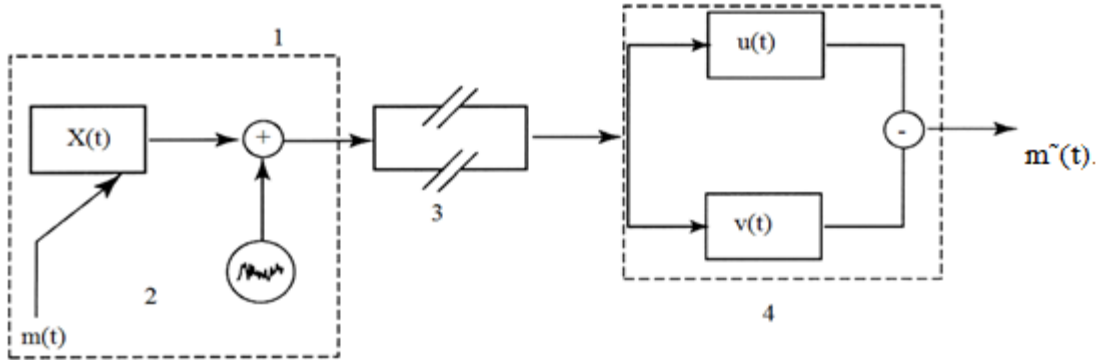


Рисунок 3 - Схема для осуществления скрытой передачи информации на основе режима обобщенной в присутствии шума (1 –передающее устройство, 2 – генератор шума, 3 – канал связи, 4 – принимающее устройство). Рисунок взят из работы [1]

То, как работает данная схема, продемонстрировано на рисунке. Для примера в качестве сигнала  $m(t)$  я взял последовательность битов 0/1. Можно пронаблюдать, что исходный сигнал (рисунок 4 а) и детектированный информационный сигнал (рисунок 4 г), совпадают, что говорит о высоком качестве передачи информации. Аналогичная ситуации будет наблюдаться, если мы и дальше будем увеличивать интенсивность шума. Способ перестает работать при  $D = 13$ .

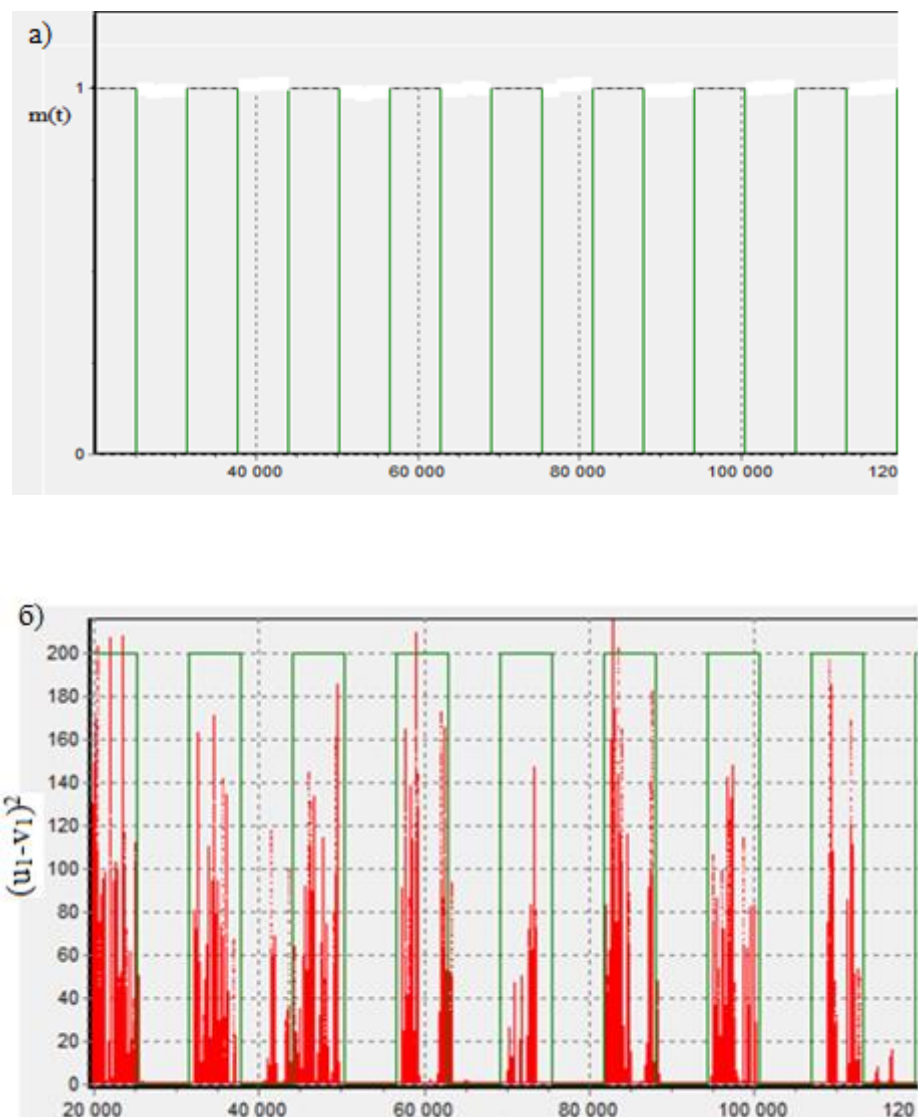


Рисунок 4 – На данном рисунке представлена иллюстрация способа обобщенной синхронизация в присутствии внешних шумов и ее применение для передачи информации ( $D = 10$ ): а) сигнал  $m(t)$ , представленный последовательностью битов 0/1, б) восстановленный сигнал  $m\tilde{(t)}$  и детектированный информационный сигнал, который был пропущен через фильтр нижних частот.



## **Заключение**

В своей работе я исследовал, как параметр шума и интенсивность связи влияют на установление обобщенной синхронизации, в системе двух однонаправленно связанных хаотических осцилляторов. Показана высокая устойчивость режима обобщенной синхронизации и возможность использования этого режима для скрытой передачи информации. Исследование проводилось при помощи метода вспомогательной системы. Были построены графики, иллюстрирующие передачу информации и поведение взаимодействующих систем, при различных значениях параметра шума и интенсивности связи. Было показано, что при одном и том же параметре интенсивности связи, но при разных значениях параметра шума может наблюдаться обобщенная синхронизация, что свидетельствует об устойчивости системы по отношению к шумам. При уменьшении параметра интенсивности связи наблюдается разрушение обобщенной синхронизации, причем такая ситуация также имеет место при различных значениях интенсивности шумового воздействия.

## Список литературы

1. Пиковский А. С., Розенблюм М. Г., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера. (2003)
2. Rulkov N. F., Sushchik M. M., Tsimring L. S., Abarbanel H. D.I. Generalized synchronization of chaos in directionally coupled chaotic systems. *Phys. Rev. E.* 51 (2) (1995) 980-994
3. Pyragas K. Weak and strong synchronization of chaos. *Phys. Rev. E.* 54 (5) (1996) R4508-R4511
4. Abarbanel H. D.I., Rulkov N. F., Sushchik M. M. Generalized synchronization of chaos: The auxiliary system approach. *Phys. Rev. E.* 53 (5) (1996) 4528-4535
5. Pyragas K. Conditional Lyapunov exponents from time series. *Phys. Rev. E.* 56 (5) (1997) 5183-5188
6. Москаленко О.И., Овчинников А.А. Исследование влияния шума на обобщенную хаотическую синхронизацию в диссипативно связанных динамических системах: устойчивость синхронного режима по отношению к внешним шумам и возможные практические приложения. *Радиотехника и электроника.* 55, 4 (2010) 436-449
7. Короновский А.А., Москаленко О.И., Храмов А.Е. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации. *УФН.* 179, 12 (2009) 1281-1310
8. Короновский А.А., Москаленко О.И., Храмов А.Е. Скрытая передача информации на основе режима обобщенной синхронизации в присутствии шумов. *ЖТФ.* 80, 4 (2010) 1-8