

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

**Химерные состояния в ансамбле связанных хаотических осцилляторов
Рёсслера при взаимодействии близкому к глобальному**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента(ки) 4 курса 421 группы
направления 03.03.03 Радиофизика
физического факультета
Мартыновой Юлии Андреевны

Научный руководитель

к.ф.- м.н., ассистент

И.А. Шепелев

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

В.С. Анищенко

Саратов 2019

Введение. Целью данной работы является исследование динамических режимов в ансамбле связанных хаотических осцилляторов Рёсслера при взаимодействии близкому к глобальному. А так же исследование режима solitary state chimera в этом ансамбле и определение области его существования. Состояние химеры было обнаружено в начале столетия и представляет собой состояние сети, когда все элементы сети разделены на две пространственно локализованные сосуществующие группы: одна синхронную динамику, а другая колеблющаяся асинхронно. В последнее время изучение формирования и эволюции различных пространственно-временных состояний в ансамблях или сетях связанных осцилляторов стало одной из наиболее быстро развивающимся направлением в нелинейной науке и ее приложениях. Этот интерес связан с открытием нового типа пространственно-временной структуры – химерным состоянием. Большое внимание уделяется динамике связанных ансамблей идентичных элементов с различными топологиями связи, но особый интерес представляют ансамбли с различными типами элементов сети. В последнем случае ожидается улучшение режимов и синхронизация пространственно-временных моделей.

В данной работе мы анализируем пространственно-временную динамику сети, кольцо осцилляторов Рёсслера с нелокальной связью. Численные исследования показали, что эта сеть может демонстрировать тип химерной структуры, называемый химерой уединенного состояния (solitary state chimera). Эта структура характеризуется появлением кластера (области с четкими границами), которая включает в себя несколько уединенных состояний и сосуществует с кластером когерентности.

Усилия многих исследователей направлены на поиск новых типов химерных структур, на описание их динамических и статистических характеристик и на возможность дать их обоснованную классификацию. До настоящего времени было выявлено, например, несколько типов химер: фазовые и амплитудные

химеры, когерентно-резонансные химеры, двухямные химеры, нестационарные химеры переключающего типа и др. Химерные структуры были обнаружены в ансамблях связанных осцилляторов очень различной природы с регулярной и хаотической динамикой. Кроме того, химеры могут быть реализованы и наблюдаемы как численно, так и экспериментально.

Однако, теперь мы хотели бы обратить внимание на еще одну структуру, которая впервые находится в связанных кольцах и может называться химерой уединенного состояния (solitary state chimera). Эта новая структура наблюдается впервые в кольце осцилляторов Рёсслера в области близкой к глобальной связи.

Основное содержание работы. Обычно при исследовании химерных состояний в ансамбле нелокально-связанных нелинейных элементов рассматривается ансамбль идентичных осцилляторов с различными видами связями. В данной работе мы рассматриваем случай нелокальной связи между элементами, считаем что все элементы ансамбля полностью идентичны, т.е. имеют одни и те же параметры. Граничные условия периодичны по всем трем элементам. Модель представляет собой кольцо нелокально-связанных хаотических осцилляторов Рёсслера, описываемое следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 \dot{x}_i &= -y_i - z_i + \frac{\sigma}{2P} \sum_{k=i-P}^{i+P} (x_k - x_i), \\
 \dot{y}_i &= x_i + ay_i + \frac{\sigma}{2P} \sum_{k=i-P}^{i+P} (y_k - y_i), \\
 \dot{z}_i &= b + z_i(x_i - c) + \frac{\sigma}{2P} \sum_{k=i-P}^{i+P} (z_k - z_i), \\
 x_{i+N}(t) &= x_i(t), \quad y_{i+N}(t) = y_i(t), \\
 z_{i+N}(t) &= z_i(t), \quad i = 1, \dots, N,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где индекс i определяет положение элемента в цепочке, t – время, a , b и c – управляющие параметры системы, были взяты $a = b = 0,2$, $c = 4,5$; σ — сила связи, P – число соседей, связанных с i -ым элементом с каждой стороны. Ансамбль состоит из 300 элементов. Степень нелокальности взаимодействия характеризуется радиусом связи $r = P/N$.

Данный ансамбль уже плотно изучался и в данной системе были найдены химерные состояния при нелокальном типе взаимодействия. При изучении перехода от режима полной синхронизации к режиму полной десинхронизации переход происходит через образование химерных состояний.

При переходе от режима полной синхронизации, ниже наблюдается фазовая химера.

В работе рассматривались основные динамические режимы для ансамбля (1) при нелокальной связи ($P = 90$).

Полная хаотическая синхронизация проявляется для однонаправленно связанных систем $u(t)$ и $v(t)$, если векторы их состояния полностью совпадают. Необходимым условием возникновения полной синхронизации является идентичность значений управляющих параметров систем. Если значения управляющих параметров различны, то временная реализация одной из динамических систем сдвигается на некоторый временной промежуток Δt , что характерно для типа синхронизации с запаздыванием. Однако, при достаточно большом значении параметра связи, временной промежуток Δt будет стремиться к нулю, и в системе будут наблюдаться синхронизация, очень близкая к полной.

Далее рассматриваем переход к частичной синхронизации ($\sigma \sim 0.061$)

Дальнейшее уменьшение связи ведет к разрушению полной синхронизации хаоса, которая сначала, через локальную изрешеченность хаотического аттрактора, становится не грубой, а затем, после прохождения точки бифуркации прорыва, сменяется режимом пузырящегося аттрактора. После этого возникает режим частичной хаотической синхронизации.

Далее при уменьшении параметра связи исчезает режим частичной синхронизации и происходит переход к режиму фазовой химеры.

Фазовая химера характеризуется тем, что два и более когерентных кластера разделены между собой не когерентным, и особенность этого некогерентного кластера в том, что колебания в нем близки по амплитуде, но при этом имеют достаточно сильное различие по фазе. Впервые такие химеры были найдены в ансамбле нелинейно-связанных осцилляторов Курамото, и впоследствии были найдены в большом количестве систем.

Уменьшая дальше параметр связи исчезает режим фазовой химеры и происходит переход к режиму амплитудной химеры.

Амплитудная химера характеризуется тем, что два и более когерентных кластера разделены между собой некогерентным, и особенность этого некогерентного кластера в том, что колебания в нем синфазны, но при этом имеют различие по амплитуде.

В настоящей работе мы анализируем пространственно-временную динамику сети, состоящей из кольца осцилляторов Рёсслера с нелокальной связью.

Особое внимание мы хотели бы обратить на еще одну структуру, которая наблюдается в кольцах и может называться как химерой уединенного состояния (solitary state chimera). А так же исследовать режимы при связи

близкой к глобальной.

Основной задачей данной работы было рассмотрение режима Solitary state chimera. В качестве исследуемой системы рассматривается ансамбль нелокально-связанных хаотических осцилляторов, который может находиться как в режиме частичной пространственной когерентности, так и демонстрировать химерные структуры. В исследуемой системе при данном радиусе обычных химер не наблюдается.

В ходе проделанной работы был найден такой коэффициент связи, при котором были обнаружены режимы существования solitary state химеры ($\sigma = 0,043$, $r = 0,46$).

А так же была выявлена область существования режима solitary state химера на плоскости параметров связи (P , σ).

Найдя параметр связи, при котором существует solitary state химера, мы рассчитали границы по радиусу связи. Определив границы, искали область существования режима solitary state химера, а именно, для каждого параметра связи были найдены границы по радиусу связи. Из рисунка 1 видно, что режим solitary state химера существует при $\sigma = 0,0415 — 0,051$.

Взяв значение меньше 0,0415, мы попадаем в область существования режима полной некогерентности. Где происходит переход из режима solitary state chimera в режим полной некогерентности через один параметр по силе связи σ .

А, если взять параметр больше 0,051, то переходим в область существования режима полной хаотической синхронизации. Где происходит разрушение режима solitary state chimera через один параметр по силе связи σ .

Двигаясь по параметрам радиуса связи, видно, что примерно при значении $R < 116$, мы переходим в область существования режима фазовой химеры. Здесь происходит переход из режима solitary state chimera в режим фазовой химеры через параметр радиуса связи r .

Однако, заметно, что solitary state химера существует и при глобальной связи в достаточной большой области. В ней с увеличением радиуса связи r , кластеры режима solitary state chimera всё ещё существуют, но при этом сильно учащаются.

Типичный пример области существования режима solitary state химера представлен на рисунке 1. Где проиллюстрированы все области, описанные выше.

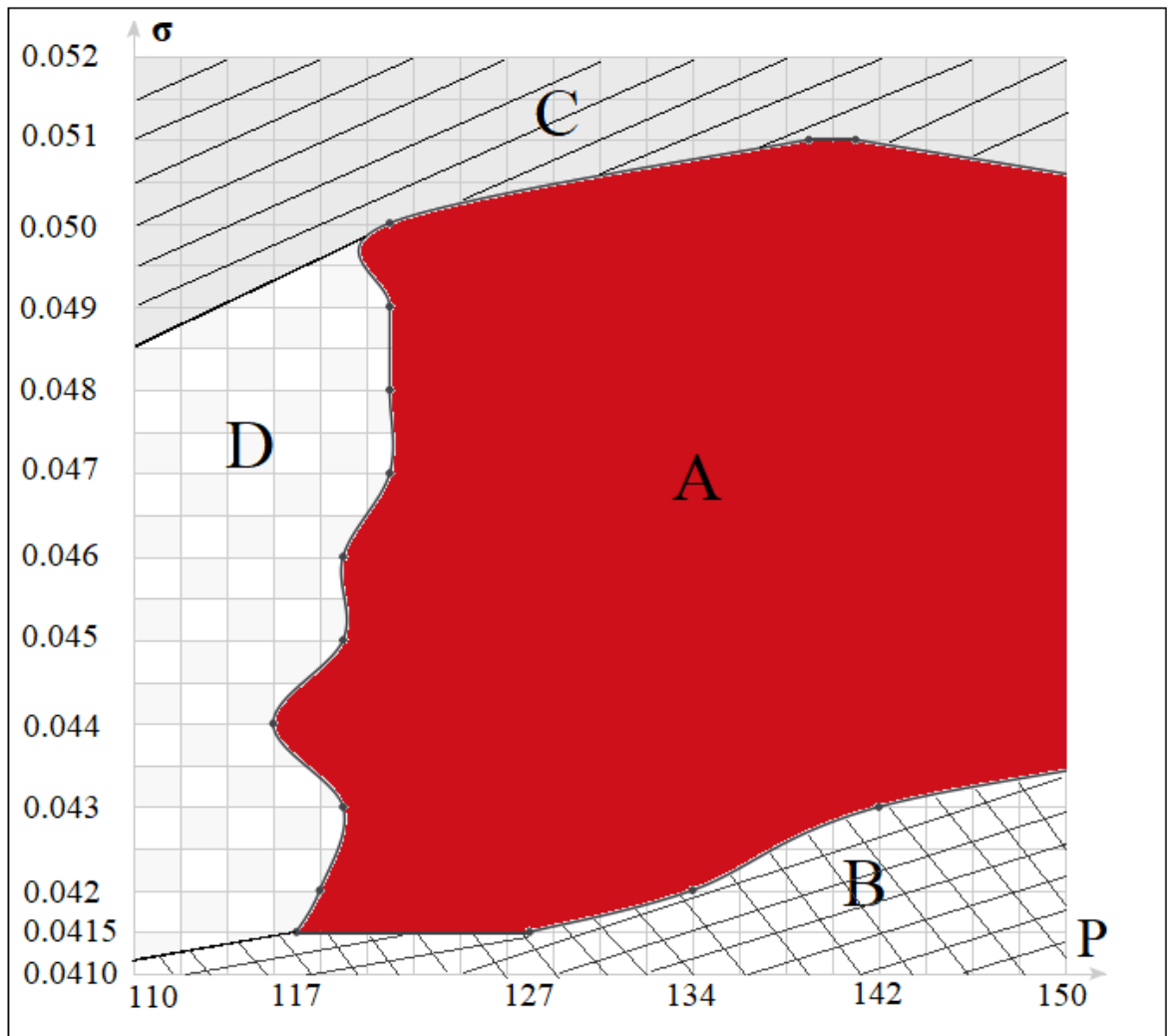


Рис. 1 Область существования режимов : область А — существование режима solitary state химера. При пересечении нижней границы, попадаем в область В — режим полной некогерентности. Дальше, двигаясь к верхней границе, при её пересечении попадаем в область С — режим полной хаотической синхронизации. Уходя в сторону, при пересечении левой границы, оказываемся в области D — режим фазовой химеры. А также замечаем большой участок области правой границы, при котором solitary state химера существует при глобальной связи.

Заключение. В настоящей работе были раскрыты и описаны механизм реализации химеры уединенного состояния (SSC) в ансамбле нелокально-связанных хаотических осцилляторов Рёсслера в области близкой к

глобальной связи.

Так же в данной работе были проведены исследования пространственно-временной динамики сети, состоящей из кольца связанных осцилляторов Рёсслера. Наше вычисление показало, что в данной системе могут быть реализованы уединенные состояния. Этот новый тип химерного состояния был обнаружен в сети (2). Это состояние химеры характеризуется сосуществованием кластера некогерентности с некоррелированными хаотическими колебаниями элементов кластера и кластера когерентности с синхронным хаотическим колебанием.

Кроме того, мы рассчитали границы существования этого режима и построили диаграмму на плоскости параметров связи (P, σ). На этой диаграмме видно, что в определенной области происходит существование режима *solitary state* химера. Однако, при пересечении границ, мы попадаем в другие области, такие как : режим полной некогерентности — при пересечении нижней границы; режим полной хаотической синхронизации — пересечение верхней границы; режим фазовой химеры — при пересечении левой границы. А также замечаем большой участок области правой границы, при котором *solitary state* химера существует при глобальной связи. Полученные численные результаты подтвердили, что явление существования *solitary state* химеры реализуется в определенном диапазоне коэффициента связи в системе связанных осцилляторов Рёсслера близкой к глобальной связи.

Исследовав ансамбль нелокально-связанных хаотических осцилляторов, который может находиться как в режиме частичной пространственной

когерентности, так и демонстрировать химерные структуры, был найден такой коэффициент связи, при котором было видно существование химерных

состояний и выяснено, что в случае связи близкой к глобальной режим solitary state chimera действительно существует.