

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

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

**Влияние шума на эффект перемежаемости и время жизни амплитудной
химеры в ансамбле нелокально связанных логистических отображений**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 421 группы

направления 03.03.03 Радиофизика

физического факультета

Клюшиной Дарьи Юрьевны

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н., доцент _____ Г.И. Стрелкова

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор _____ В.С. Анищенко

Саратов 2019

ВВЕДЕНИЕ

Все объекты в окружающем нас мире связаны между собой посредством различных сетей. Транспортные развязки, социальные сети, косяки рыб и другие биологические сети, - всё это наглядные примеры многообразия реальных сетей. В системах с нелокальной связью была обнаружена интересная динамика, в последствие названная химерой. Под химерными состояниями понимают рождение ярко выраженных кластеров с некогерентными (несинхронными) колебаниями в локализованных областях пространства осцилляторов, в то время как все другие элементы ансамбля демонстрируют когерентную (синхронную) динамику. Они были обнаружены в широком классе различных моделей, включающих как дискретные отображения, так и дифференциальные системы с регулярной и хаотической динамикой. Существование химерных состояний многократно подтверждено не только численно, но и экспериментально. С практической точки зрения интерес к химерным структурам обусловлен, в частности, установленным фактом реализации подобного эффекта в коре головного мозга человека и животных. Примером может послужить явление однополушарного сна у различных видов животных. Экспериментально доказано, что механизмы синхронизации (аттракторы) и метастабильность головного мозга имеют общую способность согласовывать работу нейронных ансамблей. В данной работе химерные состояния были рассмотрены на примере ансамбля нелокально связанных логистических отображений.

Целями выпускной квалификационной работы являются наблюдение эффекта перемежаемости во времени амплитудных химер и анализ влияния шумового воздействия на данный процесс и время жизни амплитудных химер в ансамбле нелокально связанных логистических отображений.

Для достижения этих целей были поставлены следующие **задачи**:

1. На примере временных реализаций для выбранных осцилляторов из кластеров амплитудных химер провести наблюдение и установить наличие эффекта переключений или перемежаемости во времени между различными видами динамики.
2. Изучить влияние постоянно действующего источника шума малой интенсивности на процесс перемежаемости и время жизни амплитудных химерных состояний.
3. Провести анализ влияния локализованного кратковременного шумового воздействия различной интенсивности на процесс восстановления и время жизни амплитудных химер после их переключения в режим фазовых химер.
4. Исследовать зависимость времени жизни амплитудных химер от длительности локализованного шумового воздействия различной интенсивности.

Данная выпускная квалификационная работа состоит из 6 глав:

- 1) Краткий обзор состояния разработок по исследуемой теме
- 2) Исследование эффекта перемежаемости во времени амплитудных химер в ансамбле нелокально связанных логистических отображений
- 3) Зависимость времени жизни амплитудных химер при постоянном шумовом воздействии на все элементы ансамбля
- 4) Влияние локализованного единичного источника шума на восстановление амплитудной химеры и время её жизни после её переключения в фазовую химеру
- 5) Влияние локализованного шумового воздействия конечной длительности на амплитудные химеры
- 6) Сравнение полученных результатов с результатами для процесса переключений и времени жизни амплитудных химер без шума

Основное содержание работы. В главе 1 приводится краткий обзор состояния разработок по теме, исследуемой в рамках ВКР.

Глава 2 посвящена исследованию эффекта перемежаемости во времени амплитудных химер в ансамбле нелокально связанных логистических отображений на примере 1-ого и 2-ого кластеров амплитудных химер.

В данной работе исследовалась одномерная сеть нелокально связанных логистических отображений (1), заданная уравнениями:

$$x_i^{t+1} = f(x_i^t) + \frac{\sigma}{2P} \sum_{j=i-P}^{i+P} [f(x_j^t) - f(x_i^t)] \quad (1)$$

где x_i - вещественная динамическая переменная; $i = 1, 2, \dots, N$ - порядковый номер замкнутых в кольцо парциальных осцилляторов; N - число осцилляторов в ансамбле; t - дискретное время; σ - коэффициент связи; P - число соседних осцилляторов слева и справа от i -го осциллятора; $r = P/N$ - радиус связи; $f(x_i) = ax_i(1 - x_i)$ для любого i -го осциллятора.

Для исследования была выбрана система со следующими параметрами: $r=0.14$, $a=3.8$, $P=140$, $N=1000$. На рисунке 1 наглядно показано существование в системе двух кластеров амплитудных химер (1 кластер выделен синим, второй - зелёным) и фазовых химер.

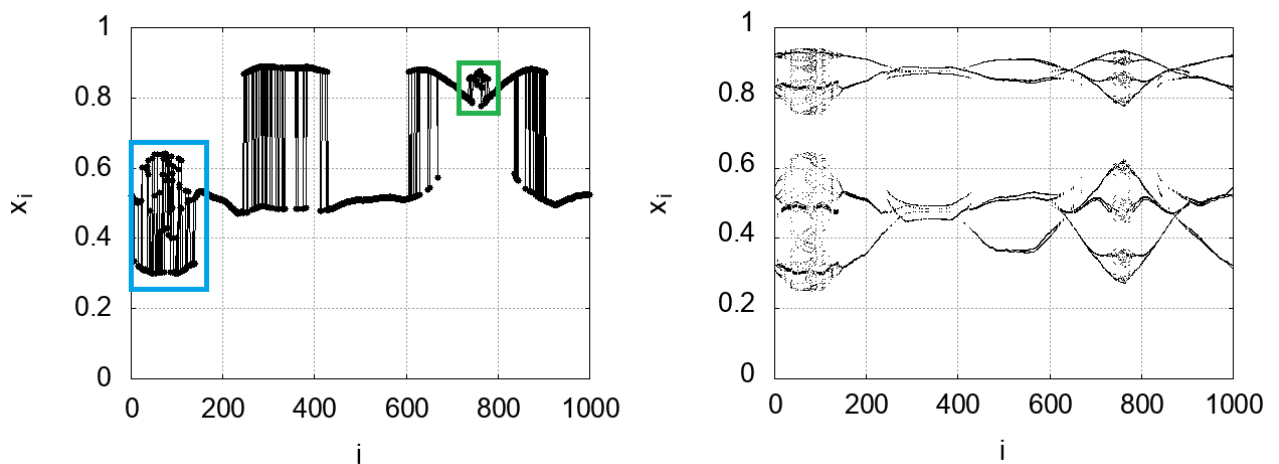


Рисунок 1 - Мгновенный профиль (слева) и пространственно-временной профиль (справа) для $\sigma = 0.255$. Параметры системы: $r = 0.14$, $a = 3.8$, $N = 1000$.

Для наблюдения эффекта перемежаемости были рассмотрены временные реализации конкретных осцилляторов из кластеров амплитудных химер. Были установлены времена жизни амплитудных химер в каждом кластере.

Наши исследования показывают, что переключение 1-й амплитудной химеры в режим фазовой химеры происходит раньше, чем в случае 2-й амплитудной химеры. Это означает, что процесс перемежаемости (а значит и время жизни) для 2-й амплитудной химеры наблюдается в течение долгого времени.

В главе 3 определялась зависимость времени жизни амплитудных химер при постоянном шумовом воздействии на все элементы ансамбля с начала отсчёта и с момента их установления.

Для исследования влияния шума вводится в исследуемую систему (1) слагаемое, содержащее интенсивность шума D и источник шума $W(t)$.

В качестве источника шума был выбран белый гауссовский шум.

$$x_i^{t+1} = f(x_i^t) + \frac{\sigma}{2P} \sum_{j=i-P}^{i+P} [f(x_j^t) - f(x_i^t)] + \sqrt{2D}W(t) \quad (2)$$

Мгновенные и пространственно-временные профили, представленные на рисунках 2 и 3, имеют существенные различия с профилями первоначальной системы. Этот факт свидетельствует о том, что даже воздействие с такими малыми интенсивностями как $D=10^{-20}$ и $D=10^{-15}$ на весь ансамбль с начала отсчёта и с момента установления амплитудных химер приводит к принципиальным изменениям в системе.

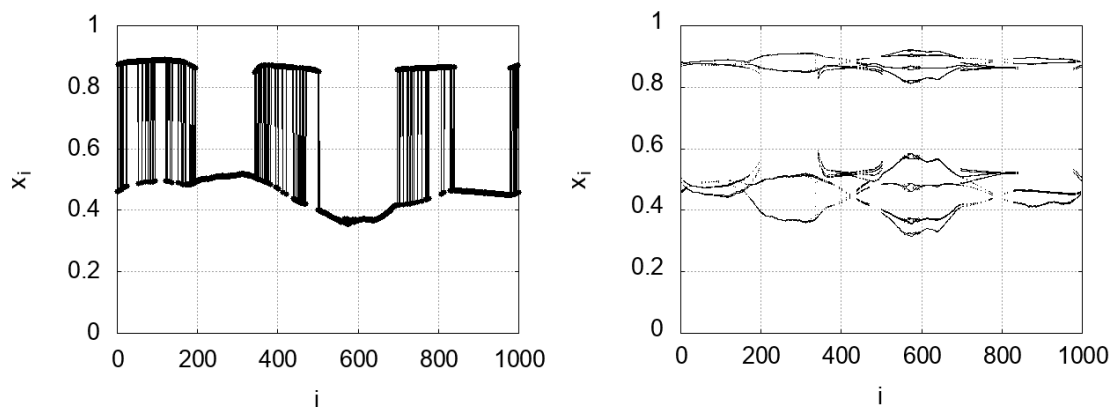


Рисунок 2 - Мгновенный профиль (слева) и пространственно-временной профиль (справа)

для $t=12400$. Влияние на весь ансамбль с начала отсчёта с интенсивностью $D=10^{-20}$

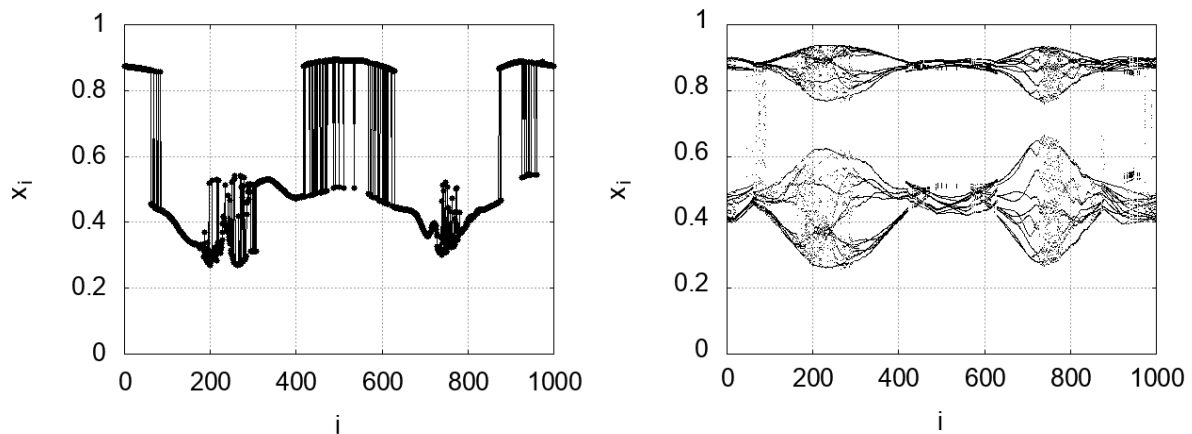


Рисунок 3 - Мгновенный профиль (слева) и пространственно-временной профиль (справа) для $t=13600$. Воздействие шума на весь ансамбль с момента установления амплитудных химер с интенсивностью $D=10^{-20}$

В главе 4 исследуется влияние локализованного единичного источника шума на восстановление амплитудной химеры и время её жизни после её переключения в фазовую химеру.

Воздействие шумом производилось в течение одной итерации (в один момент времени) поочерёдно на каждый кластер амплитудной химеры с различной интенсивностью, убедившись, что в системе (1) установился режим фазовой химеры.

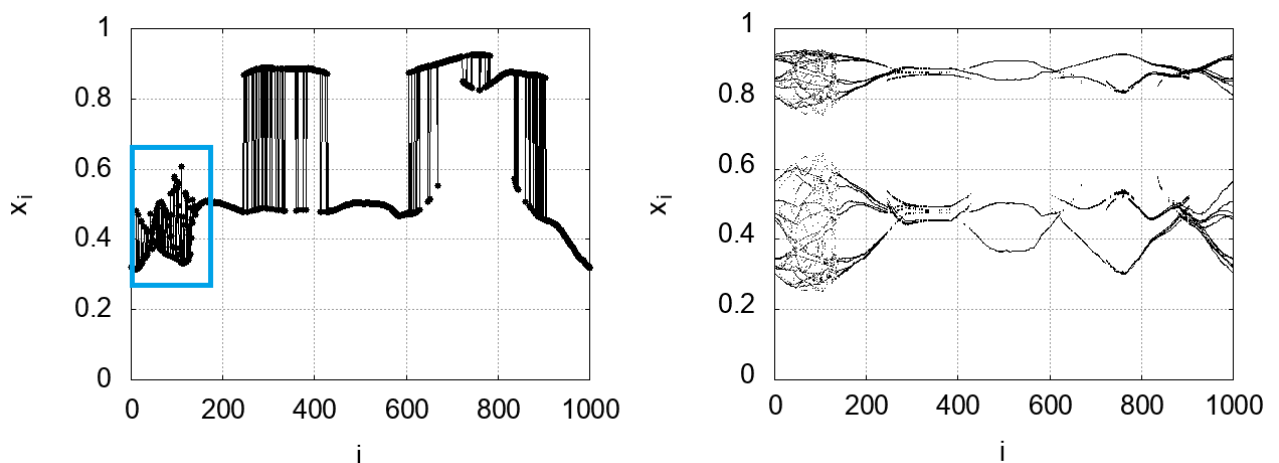


Рисунок 4 - Мгновенный профиль (слева) и пространственно-временной профиль (справа) для $t=500200$. Возрождение амплитудной химеры в 1-ой амплитудной химере при единичном воздействии шума интенсивностью $D=0.002$

Проведённые исследования единичного воздействия на кластеры амплитудных химер дали весьма интересные результаты. В то время как для 1-ой амплитудной химеры источник шума такой небольшой интенсивности как $D=0.0004$ и $D=0.0011$ оказывается недостаточным для восстановления химеры, то для 2-ой амплитудной химеры при этих значениях интенсивности наблюдаются довольно продолжительные времена жизни. В отличие от 1-ого кластера амплитудных химер, во 2-ом кластере воздействие с достаточно большой интенсивностью $D=0.009$ не приводит к восстановлению амплитудных химер.

Глава 5 описывает влияние локализованного шумового воздействия конечной длительности на амплитудные химеры.

Воздействие шумом производилось так же, как и в предыдущей главе поочерёдно на каждый кластер амплитудной химеры с различной интенсивностью, но в течение нескольких итераций, убедившись, что в системе (1) установился режим фазовой химеры.

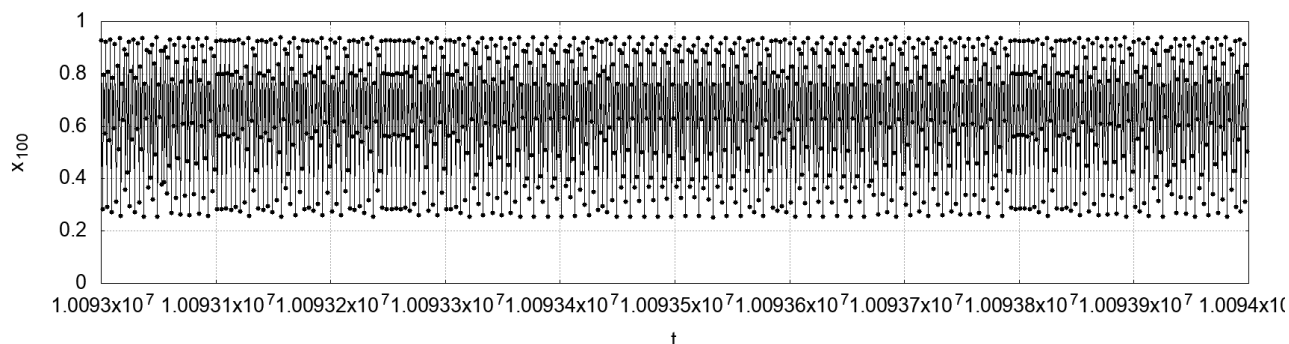


Рисунок 5 – Временная реализация для осциллятора $N=100$ из 1-й амплитудной химеры. Продолжение жизни амплитудной химеры при $t=10^7$ в 1-м кластере амплитудной химеры при воздействии шума интенсивностью $D=0.0004$ в течение 10 итераций

Совершенно неожиданными оказались результаты исследования влияния локализованного шумового воздействия на 1-ую амплитудную химеру. Анализ влияния локализованного шумового воздействия на 1-ую амплитудную химеру показал, что время жизни амплитудных химер в 1-ом кластере весьма неоднозначно зависит от количества итераций и значений интенсивности шума. Выяснилось, что для таких значений интенсивности как $D=0.0015$, $D=0.004$,

$D=0.009$ с увеличением числа итераций время жизни амплитудных химер уменьшается. Для остальных значений такой прямой зависимости нет.

Анализ влияния локализованного шумового воздействия на 2-ую амплитудную химеру показал, что время жизни амплитудных химер во 2-м кластере по-разному, весьма неоднозначно зависит от количества итераций и значений интенсивности шума. Наблюдая за динамикой амплитудной химеры во времени при различных значениях интенсивности шумового воздействия, удалось обнаружить, что для интенсивности $D=0.009$ время жизни амплитудной химеры становилось больше с увеличением числа итераций, а для $D=0.002$ время жизни амплитудной химеры становилось меньше с увеличением числа итераций. Но далеко не для всех значений интенсивности характерна такая прямая зависимость времени жизни от количества итераций. Например, при влиянии с интенсивностями $D=0.0004$ и $D=0.004$ с увеличением числа итераций время жизни химер сначала росло, а затем восстановления амплитудных химер не происходило вовсе.

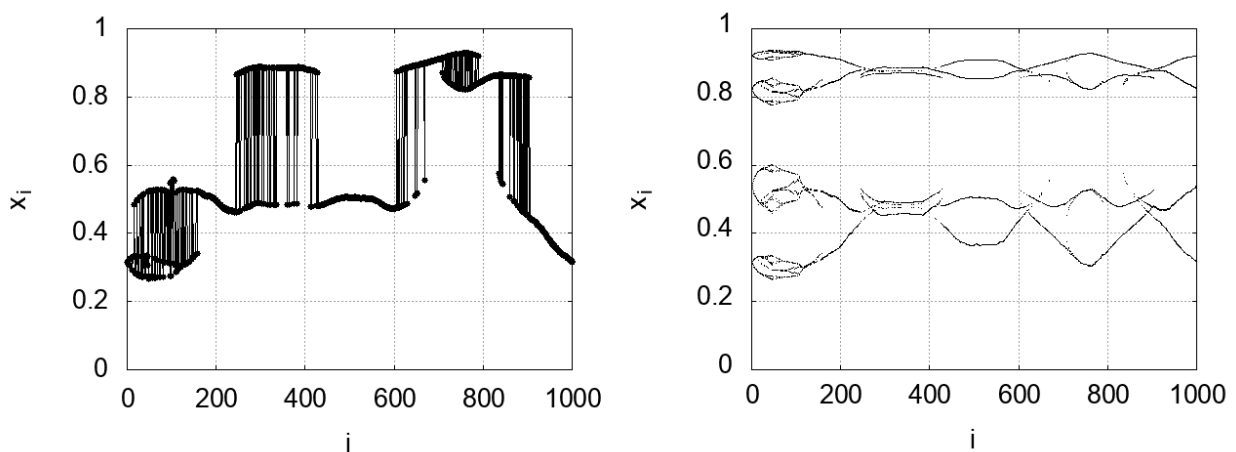


Рисунок 6 - Мгновенные профили (слева) и пространственно-временные профили (справа) для $t=500200$. Восстановления амплитудной химеры во 2-м кластере при воздействии шума интенсивностью $D=0.004$ в течение 50 итераций не происходит

В 6 главе приводится сравнение полученных результатов при воздействии шума с результатами для процесса переключений и времени жизни амплитудных химер без шума.

В результате проведённых исследований процесса переключений и времени жизни амплитудных химер было достоверно установлено, что время жизни амплитудных химер зависит от шумового воздействия на них. Шумовое воздействие способно изменять время жизни химер.

Заключение. В ходе выпускной квалификационной работы было установлено наличие эффекта переключений или перемежаемости во времени между различными видами динамики (фазовой и амплитудной химерой).

Было изучено влияние постоянно действующего источника шума малой интенсивности на процесс перемежаемости и время жизни амплитудных химерных состояний. Воздействие с такими малыми интенсивностями как $D=10^{-20}$ и $D=10^{-15}$ на весь ансамбль с начала отсчёта и с момента установления амплитудных химер привело к принципиальным изменениям в системе.

Проведённый анализ влияния локализованного кратковременного (единичного) шумового воздействия различной интенсивности на процесс восстановления и время жизни амплитудных химер после их переключения в режим фазовых химер показал, что при таком воздействии можно как продлить время жизни до нескольких миллионов, так и не восстановить амплитудные химеры вовсе.

Локализованное шумовое воздействие различной интенсивности на кластеры амплитудных химер подтвердило идею о том, что время жизни амплитудных химер зависит от длительности шума. Причём с увеличением числа итераций время жизни может как возрасти, так и уменьшиться. Также возможна ситуация, когда восстановления амплитудной химеры не произойдёт вовсе.