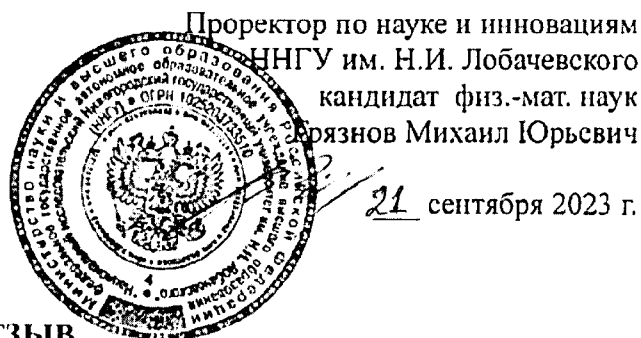


«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по науке и инновациям
ННГУ им. Н.И. Лобачевского
кандидат физ.-мат. наук
Брызнов Михаил Юрьевич

21 сентября 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» на диссертацию Рыбаловой Елены Владиславовны «Влияние неоднородностей и внешних воздействий на формирование и синхронизацию пространственно-временных структур в ансамблях нелинейных осцилляторов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика

Диссертационная работа Рыбаловой Елены Владиславовны посвящена изложению результатов исследования влияния различных шумовых воздействий и неоднородностей на динамику одиночных и связанных ансамблей нелокально связанных нелинейных осцилляторов с дискретным и непрерывным временем. Данное направление в исследованиях сложных многокомпонентных систем является в настоящий момент актуальным и перспективным, что подтверждается большим количеством работ как отечественных, так и зарубежных ученых и специалистов в области радиофизики, нелинейной динамики, нейробиологии и др. Несмотря на наличие большого количества активно цитируемых работ в данной области, в том числе в высокорейтинговых журналах, все еще остаются нерешенные вопросы, касающиеся влияния неоднородностей и шумов на время жизни и вероятность установления сложных пространственно-временных структур, таких как химерные состояния, уединенные состояния, комбинированные состояния, а также связанные с влиянием различных неоднородностей на возможность и степень синхронизации таких структур в ансамблях с различными парциальными элементами. Для анализа динамики пространственно-временных структур автором был разработан метод на основе расчета коэффициента взаимной корреляции для автоматического обнаружения химерных и уединенных состояний, а также подсчета уединенных узлов в зашумленных ансамблях. Вышесказанное свидетельствует об актуальности и практической значимости темы диссертационного исследования Рыбаловой Елены Владиславовны.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Она имеет логично организованную структуру и четкое и ясное изложение представленного материала.

Во **введении** обоснована актуальность исследуемой проблемы, сформулирована цель и задачи диссертационной работы, описана научная новизна, личный вклад автора, научная и практическая значимость полученных результатов. Во **введении** представлены основные результаты и положения, выносимые на защиту, информация о структуре и объеме работы, сведения о достоверности полученных результатов, их апробации и публикациях.

Диссертационную работу можно разделить на две части. Первая часть, состоящая из 1 и 2 глав, посвящена исследованию динамики одиночных ансамблей, в которых в зависимости от типа парциальных элементов могут устанавливаться химерные (1 глава) или уединенные состояния (2 глава), в присутствии шума и неоднородностей. Во второй части, к которой относится 3 глава, исследуется динамика связанных ансамблей, взаимодействие и возможность синхронизации сложных пространственно-временных структур, рассмотренных

в 1 и 2 главах диссертационной работы. В начале каждой главы представлен краткий обзор известных результатов в данной области исследований и обоснована актуальность исследуемой в главе задачи, а также перечислены опубликованные работы автора, в которых изложены результаты исследований. В конце каждой главы сформулированы основные выводы на основании проведенных исследований. Остановимся на изложении этих результатов.

В **первой главе** приведены результаты исследования динамики ансамблей нелокально связанных нелинейных осцилляторов с дискретным и непрерывным временем, в которых при вариации управляющих параметров возможно установление различных типов химерных структур. Показано, что введение аддитивного шума (с равномерным и нормальным распределением случайных значений) с некоторым оптимальным значением интенсивности приводит к увеличению вероятности установления фазовых химер в кольцах нелокально связанных отображений. Выявлено, что такой же эффект имеет место и при шумовой модуляции управляющих параметров парциальных элементов. С другой стороны, исследовано влияние шумовой модуляции коэффициентов силы связи между элементами. Показано, что это вызывает разрушение некогерентных кластеров фазовой и двухъямной химер, хотя интенсивность, необходимая для этого, зависит от спектрального состава шума. Наконец для систем, в которых химерные состояния являются переходными или сосуществуют в фазовом пространстве с другими структурами, аддитивный шум является стабилизатором этих химерных структур.

Во **второй главе** приведены результаты исследования динамики ансамблей нелокально связанных нелинейных осцилляторов с дискретным и непрерывным временем, в которых при вариации управляющих параметров возможно установление режима уединенных состояний. Показано, что данные состояния являются неустойчивыми к введению шума в систему и шумовой модуляции параметров, увеличение интенсивности шума ведет к уменьшению интервала существования уединенных состояний по силе связи, а также к уменьшению числа уединенных узлов в ансамбле. Однако выявлено, что случайное распределение параметров может привести к обратному эффекту.

Третья глава посвящена результатам исследования эффектов синхронизации химерных и уединенных состояний в двух- и трехслойных сетях колец нелокально связанных нелинейных осцилляторов с дискретным и непрерывным временем. Показано, что в двухслойной сети осцилляторов Фитцхью-Нагумо межслойная связь между кольцами через быстрые переменные приводит к переходу в синхронный режим через химерные состояния в обоих кольцах, а через медленные – через уединенные состояния. Выявлено, что при модуляции межслойной связи цветным источником шума спектр шума оказывает существенное влияние на синхронизацию структур. Так для системы кубических отображений наиболее благоприятным является белый шум. Установлено, что разреженная межслойная связь (только часть элементов связана) в двухслойной сети приводит к расщеплению профилей пространственно-временной динамики колец. При этом связанные части слоев могут синхронизироваться только в слабозаряженном случае, когда более половины элементов связаны. В заключительном разделе 3 главы показано, что в трехслойной сети возможно установление удаленной (только внешние слои) и полной (все три слоя) синхронизации химерных и уединенных состояний.

Основные результаты диссертационной работы и выводы компактно, четко и лаконично сформулированы в **заключении**. Анализируя их, можно выделить следующие наиболее интересные моменты:

1. Впервые показано, что воздействие аддитивного шума с равномерным и нормальным распределением может приводить к увеличению вероятности установления фазовых химерных состояний в ансамблях нелокально связанных хаотических отображений, в то время как без шума данные структуры не реализуются или вероятность их появления очень мала. Установлено, что существует оптимальный уровень шумового воздействия, при котором вероятность установления химер достигает максимума (100%). Данный эффект

аналогичен явлению когерентного и стохастического резонанса и демонстрирует конструктивную роль шума в динамике сложных ансамблей.

2. Впервые проведено детальное исследование динамики ансамблей связанных отображений в режиме уединенных состояний при наличии аддитивного и мультипликативного источников внешнего шума. Показано, что при увеличении интенсивности шума интервал значений силы связи, в котором наблюдается режим уединенных состояний, сужается, а количество уединенных узлов в ансамбле постепенно уменьшается.

3. Проведен сравнительный анализ влияния способа задания межслойной связи в двухслойной сети нелокально связанных осцилляторов ФитцХью-Нагумо на эффекты вынужденной и взаимной синхронизации и приведены количественные оценки степени синхронности динамики ансамблей при связи через быстрые и медленные переменные.

4. Детально исследована зависимость эффектов вынужденной и взаимной синхронизации химерных структур и уединенных состояний в двухслойной сети ансамблей нелокально связанных хаотических отображений от степени разреженности межслойной связи. Показано, что эффективная синхронизация наблюдается при слаборазреженной (<50% элементов) межслойной связи, в то время как увеличение количества несвязанных элементов ансамблей (>50% элементов) ухудшает синхронизацию и в итоге приводит к десинхронизации сети.

5. Установлена возможность реализации удаленной и полной синхронизации пространственно-временных структур в неоднородной трехслойной сети связанных хаотических отображений. Выявлена роль типа пространственно-временной структуры, которая реализуется в промежуточном слое, на данные эффекты синхронизации. Показано, что в случае химерной структуры в среднем слое устанавливаются как удаленная (синхронизованы внешние слои), так и полная синхронизация (все три слоя синхронизованы), тогда как в режиме уединенных состояний в промежуточном слое возможна только удаленная синхронизация.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы основывается на использовании апробированных численных методов моделировании динамики ансамблей дискретных систем (отображений) и системы с непрерывным временем, которые описаны обыкновенными дифференциальными уравнениями. Также достоверность подтверждается отсутствием противоречий полученных результатов с известными в литературе данными.

Следует особо выделить тот факт, что результаты опубликованы в очень большом (15!) количестве (для кандидатской диссертации это очень много) работ в высокорейтинговых журналах.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В первой главе в разделе 1.2.4. проиллюстрировано влияние шумовой модуляции силы связи на химерные состояния только в кольце нелокально связанных логистических отображений, а сходства и различия введения такой неоднородности в системы связанных кубических отображений и отображений Рикера описаны только словами, что не дает полной картины для понимания. Поэтому следовало проиллюстрировать динамику и в этих системах.

2. Отсутствует обоснованность использования источников шума с различным распределением при проведении численных исследований. Особенно это заметно во второй главе в разделах 2.3. и 2.4., где для одной системы использовался источник шума с равномерным распределением (кольцо нелокально связанных отображений Лози), а для другой - с нормальным распределением (кольцо нелокально связанных отображений Эно-Лози). Также можно отметить, что в подписях к некоторым рисункам отсутствует уточнение, какой источник шума был использован.

3. В третьей главе в разделе 3.5. использован термин «эффективная полная синхронизация», однако, «эффективная» подразумевает неполную синхронизацию. Автору стоило прокомментировать в тексте, что именно подразумевается под понятием «эффективная полная синхронизация».

4. По всей работе, говоря о параметре, который задаст интенсивность шума, автор употребляет то термин «интенсивность», то «стандартное отклонение». Следовало бы унифицировать это по всему тексту диссертационной работы.

5. В качестве небольшого замечания можно отметить неполное единство стиля в оформлении ссылок на литературу.

Однако перечисленные замечания и недостатки не снижают общей оценки диссертационной работы Рыбаловой Е.В., которая производит положительное впечатление и выполнена на высоком уровне.

Заключение.

Диссертационная работа Рыбаловой Елены Владиславовны является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную для радиофизики тему. Диссертация соответствует специальности 1.3.4. – Радиофизика.

По результатам диссертационной работы опубликовано 15 статей в центральных рецензируемых отечественных и зарубежных научных журналах, индексируемых международными базами данных (Web of Science, Scopus) и RSCI, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук: Chaos (Web of Science, Scopus, Q1), Chaos, Solitons & Fractals (Web of Science, Scopus, Q1), Journal of Difference Equations and Applications (Web of Science, Scopus, Q3), Regular and Chaotic Dynamics (Web of Science, Scopus, Q3), Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика (Web of Science, Scopus, Q4). Опубликовано 8 статей в сборниках трудов конференций и получено 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Работа прошла хорошую апробацию на всероссийских и международных научных конференциях. Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научно-исследовательских организациях (Институт радиотехники и электроники РАН, Институт прикладной физики), а также в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Балтийском федеральном университете им. И. Канта, Национальном исследовательском университете «Высшая школа экономики», Воронежском государственном университете, Южном федеральном университете, Санкт-Петербургском государственном университете, Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Национальном исследовательском Томском государственном университете, Саратовском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, Университете Иннополис, вместе с этим могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс в высших учебных заведениях Российской Федерации, ведущих подготовку специалистов (бакалавров, магистров и аспирантов) по радиофизическим направлениям.

С учетом вышесказанного можно считать, что диссертационная работа Рыбаловой Елены Владиславовны вносит значительный вклад в развитие радиофизики, нелинейной динамики и теории колебаний и удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Рыбалова Елена Владиславовна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Отзыв составил

Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой теории управления и динамики систем института информационных технологий, математики и механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский

государственный университет им. Н.И. Лобачевского», почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23, телефон: +7(831)462-33-53, e-mail: grigori.osipov@itmm.unn.ru

Подпись:

Отзыв составлен и утвержден на заседании кафедры теории управления и динамики систем института информационных исследований, математики и механики ННГУ им. Н.И. Лобачевского (протокол № 2 от 19 сентября 2023 года).



Подпись Осипова Т.В.
автор, научный секретарь ННГУ
М.Ю. Черноморская
Тел. 462-30-21