

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.392.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»,  
МИНОБРНАУКИ РОССИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 20.10.2023 № 39

О присуждении **Рыбаловой Елене Владиславовне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Влияние неоднородностей и внешних воздействий на формирование и синхронизацию пространственно-временных структур в ансамблях нелинейных осцилляторов» по специальности 1.3.4. – Радиофизика принята к защите 30 июня 2023 года (протокол заседания № 35) диссертационным советом 24.2.392.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»), Минобрнауки России, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета от 15.02.2013 №75/нк; приказы об изменении состава совета от 15.12.2015 № 1598/нк-9, от 28.09.2016 № 1180/нк-52, от 15.02.2017 № 116/нк-38, от 26.01.2018 № 92/нк-50, от 17.04.2018 № 431/нк-26, от 23.11.2018 № 301/нк-66, от 24.09.2019 №873/нк-26; приказ об установлении полномочий совета от 03.06.2021 № 561-нк (Приложение 1/597); приказы об изменении состава совета от 15.10.2021 № 1046/нк-33 и от 23.05.2023 №1131/нк-39.

Соискатель Рыбалова Елена Владиславовна, 1996 года рождения, в 2020 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (ФГБОУ ВО «СГУ имени

Н.Г. Чернышевского») с присвоением квалификации магистра по направлению 03.04.03 «Радиофизика». В период подготовки и защиты диссертации с 2020 года и по настоящий момент соискатель обучается в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки России, по группе научных специальностей 1.3. Физические науки, специальность 1.3.4. – Радиофизика, с 2021 года и по настоящий момент работает ассистентом кафедры радиофизики и нелинейной динамики в ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент Стрелкова Галина Ивановна, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», кафедра радиофизики и нелинейной динамики, заведующая кафедрой.

Официальные оппоненты:

**Ряшко Лев Борисович**, доктор физико-математических наук (05.13.01), профессор, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург), кафедра теоретической и математической физики, профессор;

**Станкевич Наталия Владимировна**, кандидат физико-математических наук (01.04.03), доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Нижний Новгород, международная лаборатория динамических систем и приложений, младший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, в своем положительном отзыве, подписанном Осиповым Григорием Владимировичем, доктором физико-математических наук (01.04.03), доцентом, заведующим кафедрой теории управления и динамики систем института информационных технологий, математики и механики, указала, что диссертационная работа Рыбаловой Е.В. представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную для радиофизики тему. В работе изложены результаты исследования влияния различных шумовых воздействий и неоднородностей на динамику одиночных и взаимодействующих ансамблей нелокально связанных нелинейных осцилляторов с дискретным и непрерывным

временем, касающиеся анализа влияния неоднородностей и шумов на время жизни и вероятность установления сложных пространственно-временных структур (химерные состояния, уединенные состояния, комбинированные состояния), а также исследования возможности и степени синхронизации таких структур в ансамблях с разным типом парциальных элементов в присутствии различных случайных факторов. Соискателем был разработан метод на основе расчета коэффициента взаимной корреляции для автоматического обнаружения химерных и уединенных состояний, а также подсчета уединенных узлов в зашумленных ансамблях. Диссертационная работа 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.

Соискатель имеет 38 опубликованных работ, в том числе 23 - по теме диссертации, из них 15 - в рецензируемых научных изданиях, входящих в системы цитирования Web of Science, Scopus, РИНЦ, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, а также 8 работ в сборниках трудов конференций (4 из них индексируются в базах данных Web of Science и Scopus). Общий объем опубликованных работ по теме диссертации составляет 13.44 п.л. (авторский вклад 4.38 п.л.). При участии соискателя зарегистрировано также 6 программ для ЭВМ.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. **Rybalova E.**, Strelkova G. Response of solitary states to noise-modulated parameters in nonlocally coupled networks of Lozi maps //Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. - 2022. - V. 32. - iss. 2. - P. 021101.
2. **Rybalova E.**, Schöll E., Strelkova G. Controlling chimera and solitary states by additive noise in networks of chaotic maps //Journal of Difference Equations and Applications. - 2022. - P. 1-22.
3. **Rybalova E. V.**, Strelkova G. I., Anishchenko V. S. Impact of sparse inter-layer coupling on the dynamics of a heterogeneous multilayer network of chaotic maps //Chaos, Solitons & Fractals. - 2021. - V. 142. - P. 110477.
4. Нечаев В. А., **Рыбалова Е. В.**, Стрелкова Г. И. Влияние неоднородности параметров на существование химерных структур в кольце нелокально связанных

отображений //Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2021. – Т. 29. – No. 6. – С. 943-952.

5. **Rybalova E.**, Strelkova G., Schöll E., Anishchenko V. Relay and complete synchronization in heterogeneous multiplex networks of chaotic maps //Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. - 2020. - V. 30. - iss. 6. - P. 061104.

На диссертацию и автореферат поступило 10 положительных отзывов: из ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» от д.ф.-м.н. (01.04.03), доцента Дубкова А.А. и к.ф.-м.н. (1.3.4) Болотова М.И; из ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» от д.ф.-м.н. (01.04.03) Клиньшова В.В.; из ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» от д.ф.-м.н. (05.13.18) доцента Башкирцевой И.А.; из ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» от д.ф.-м.н. (05.13.18) доцента Куркина С.А.; из Саратовского филиала Института радиотехники и электроники РАН им. В.А. Котельникова от д.ф.-м.н. (05.13.18) доцента Купцова П.В.; из ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» от к.ф.-м.н. (01.02.05) Голдобина Д.С.; из ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»» от к.ф.-м.н. (01.04.03) Захарова Д. Г.; из ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» от к.ф.-м.н. (01.04.05), доцента Измайлова И.В.; из ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт» от к.ф.-м.н. (01.04.03) Шепелева И.А.

В отзывах сделаны замечания: а) об отсутствии обсуждения, почему для исследования процессов синхронизации использовался только коэффициент взаимной корреляции; б) об отсутствии информации об использованном методе интегрирования; в) об отсутствии описания режимов, реализующихся при полной синхронизации в двухслойной системе сетей нейронов ФитцХью-Нагумо; г) об отсутствии упоминания систем с непрерывным временем в положениях, выносимых на защиту; д) об отсутствии уравнений ансамблей для случаев парциальных элементов, описываемых уравнениями с непрерывным временем; е) сделаны некоторые терминологические и редакционные замечания.

Выбор официальных оппонентов обоснован их высокой квалификацией и высокой публикационной активностью в высокорейтинговых журналах в области радиофизики и теории колебаний, что позволяет объективно определить и оценить на-

учную и практическую значимость диссертационной работы. Выбор ведущей организации обосновывается ее статусом одной из ведущих научных организаций Российской Федерации в области радиопизики, её высоким авторитетом среди научно-исследовательских организаций, эффективно работающих над решением актуальных задач радиопизики и теории колебаний, что подтверждается большим количеством публикаций ее сотрудников в высокорейтинговых журналах, а также отсутствием договорных отношений с соискателем. Выбор официальных оппонентов и ведущей организации удовлетворяет критериям, сформулированным в пп. 22 и 24 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработаны математические модели** (и соответствующие программные комплексы) для исследования динамики однослойных и многослойных сетей нелокально связанных нелинейных осцилляторов с дискретным и непрерывным временем, вычисления динамических и статистических характеристик установившихся сложных пространственно-временных структур, анализа эффектов и степени синхронизации динамических режимов в сложных ансамблях;

**выполнен** анализ влияния шума и неоднородного распределения управляющих параметров в ансамбле нелокально связанных нелинейных осцилляторов с дискретным временем на вероятность установления химерных и уединенных состояний; анализ влияния шума на время жизни химерных состояний; анализ влияния неоднородности на синхронизацию сложных пространственно-временных структур в многослойных сетях;

**предложен** автоматизированный метод нахождения химерных и уединенных состояний при численном моделировании и подсчета количества уединенных узлов в ансамблях, находящихся под шумовым воздействием, на основе расчета коэффициента взаимной корреляции, а также оценка степени синхронизации многослойных неоднородных сетей, основанная на расчете среднеквадратической ошибки, рассчитываемой как для отдельных кластеров слоев, так и для всех элементов в слоях;

**установлен** факт возможности управления вероятностью установления химерных и уединенных состояний путем вариации интенсивности внешнего шумового возмущения, а также подавления некогерентных кластеров химер за счет шумовой модуляции коэффициентов связи между элементами; эффект синхронизации

пространственно-временных структур при слаборазреженной межслойной связи; факт возможности реализации полной и удаленной синхронизации пространственно-временных структур в трехслойных сетях нелинейных осцилляторов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**разработан** критерий оценки особенности влияния аддитивных и мультипликативных шумов на химерные и уединенные состояния, основанный на расчете коэффициента взаимной корреляции;

**выявлено**, что режим уединенных состояний в промежуточном слое трехслойной сети хаотических отображений, в отличие от химерного режима, препятствует синхронизации всех трех слоев сети;

**изучено** влияние степени разреженности на возможность эффективной синхронизации двух ансамблей нелокально связанных хаотических отображений: в случае слабой разреженности в межслойной связи имеет место синхронизация структур во взаимодействующих ансамблях, в то время как для сильной разреженности может наблюдаться только качественное воспроизведение пространственно-временных режимов;

**доказана** возможность реализации удаленной синхронизации (в неоднородной трехслойной сети связанных хаотических отображений) в случае как химерных структур, так и уединенных состояний в слоях.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**определены** основные эффекты, вызванные воздействием шума в ансамблях хаотических систем, демонстрирующих сложные пространственные структуры, такие, как химеры и уединенные состояния, которые могут быть характерны для реальных сложных ансамблей, таких как нейронные системы, включая головной мозг;

**применительно к проблематике диссертации эффективно и результативно использованы** современные методы численного моделирования динамики сложных ансамблей нелокально связанных нелинейных парциальных элементов с применением шести оригинальных комплексов программ для ЭВМ, а также классические модели нелинейной динамики и традиционные методы их исследования;

**развит** метод автоматического поиска химерных и уединенных состояний в зашумленных системах с помощью расчета коэффициента взаимной корреляции;

**исследования выполнялись** при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (№ 20-52-12004), Российского научного фонда (№ 20-

12-00119, № 20-12-00119 (продолжение)), Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках базовой части Государственного задания (№3.8616.2017/8.9), Немецкого Физического Общества (DFG) в рамках проекта SFB 910 (подпроект B11, 2015-2022 гг.).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**проведенные исследования базируются** на современных теоретических представлениях и методах компьютерного моделирования в области исследований колебательных процессов в радиофизических системах;

**использованы** апробированные численные методы моделирования динамики ансамблей связанных парциальных элементов с дискретным и непрерывным временем, а также **использованы** классические модели нелинейной динамики в качестве парциальных элементов;

**результаты, полученные в работе, согласуются** с ранее представленными в научной литературе результатами других авторов по данной тематике;

**Личный вклад соискателя.** Защищаемые результаты диссертационной работы получены соискателем лично на основе самостоятельно разработанных методов и оригинальных программных комплексов. Планирование и постановка задач, интерпретация и обсуждение результатов, написание научных статей осуществлялись совместно с научным руководителем.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию в научно-исследовательских организациях (Институт радиотехники и электроники РАН, Институт прикладной физики РАН), а также в учебном процессе в высших учебных заведениях, ведущих подготовку в области радиофизики и нелинейной динамики (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Воронежский государственный университет, Южный федеральный университет, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Национальный исследовательский Томский государственный университет, Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского).

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1) о недостаточности использования только коэффициента взаимной корреляции и ошибки синхронизации для анализа динамики систем;

2) об отсутствии описания качественных отличий использованных базовых моделей,

3) об отсутствии описания механизмов смены динамических режимов,

4) об использовании в качестве модели с непрерывным временем единственного объекта – осциллятора ФитцХью-Нагумо;

5) об отсутствии описания метода интегрирования стохастических дифференциальных уравнений;

б) об оформлении автореферата, по формулировке аспектных характеристик диссертации и использовании некоторых терминов.

Соискатель Рыбалова Е.В. ответила на замечания, содержащиеся в отзывах ведущей организации, официальных оппонентов, в отзывах на автореферат и на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и дала необходимые пояснения: 1) об особенностях использования коэффициентов взаимной корреляции и ошибки синхронизации при исследовании динамики ансамблей и эволюции пространственно-временных режимов в присутствии шумов и неоднородностей; 2) об основных свойствах и качественных отличиях в динамике использованных моделей парциальных элементов с дискретным и непрерывным временем; 3) о целесообразности выявления основных фундаментальных эффектов (резонансо-подобный эффект вероятности установления химерных состояний, уменьшение количества уединенных узлов при увеличении интенсивности шума, возможность синхронизации многослойных сетей при разреженной и удаленной межслойной связи), наблюдаемых в исследуемых ансамблях в присутствии шумов и неоднородностей; 4) об использовании систем с дискретным временем в качестве парциальных элементов для установления особенностей влияния шумов и неоднородностей и об использовании в качестве подтверждения обнаруженных эффектов осциллятора ФитцХью-Нагумо с целью дальнейшего расширения и обобщения полученных данных на классы динамических систем с непрерывным временем; 5) о методе интегрирования детерминированной и стохастической частей систем дифференциальных уравнений; 6) о формулировках основных результатов и использованной терминологии.

В диссертационной работе Рыбаловой Е.В. решена актуальная радиофизическая задача по изучению влияния шумовых возмущений и неоднородностей на динамику и синхронизацию в однослойных и многослойных сетях ансамблей нелокально связанных нелинейных осцилляторов с дискретным и непрерывным временем. Тема и содержание диссертации целиком соответствует специальности 1.3.4. –



«Радиофизика» (отрасль науки – физико-математические), см. п.4. Содержание диссертации удовлетворяет пп. 9–11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

На заседании 20 октября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Рыбаловой Е.В. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человека (19 человек находились в месте проведения заседания, 3 человек участвовали в заседании совета в удаленном интерактивном режиме), из них 10 докторов по специальности 1.3.4. – Радиофизика, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 22 против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



20 октября 2023 г.