

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Рыбаловой Елены Владиславовны**  
**«Влияние неоднородностей и внешних воздействий на формирование и  
синхронизацию пространственно-временных структур в ансамблях  
нелинейных осцилляторов»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика

### **Актуальность темы диссертации.**

Отличительной чертой современных исследований является переход от изучения изолированных динамических элементов к анализу сложных корпоративных явлений в связанных системах. Распределенные системы с различной геометрией связей являются ключевыми объектами в радиофизике, популяционной динамике, нейронных сетях. Сочетание сильной нелинейности, неоднородности элементов, вариации архитектуры связей и присутствия случайных возмущений приводит к большому разнообразию режимов функционирования ансамблей. Здесь наблюдаются новые явления, не имеющие аналогов в изолированном случае, выявление механизмов генерации которых требует разработки новых подходов и методов исследования.

Моделирование и анализ динамики сетей нелинейных элементов в присутствии шумов и неоднородностей по параметрам парциальных элементов, а также по самим парциальным элементам, несомненно, является актуальной проблемой радиофизики и нелинейной динамики. Данная проблематика носит как фундаментальный характер, относящийся к исследованию общих вопросов современной нелинейной динамики многосвязных систем, так и важное прикладное значение, связанное, например, с функционированием различных радиоустройств и с поведением живых систем. Важным фактором в этих исследованиях является необходимость учета присутствия неизбежных внутренних флуктуаций и внешних случайных воздействий.

Известно, что шумы и неоднородности различного характера могут играть как деструктивную роль, приводящую к нарушению и даже разрушению режимов динамики системы, так и конструктивную роль, улучшая некоторые характеристики и свойства функционирования систем различной природы. В данной диссертационной работе исследуются недавно открытые режимы частичной синхронизации, такие как химерные и уединенные состояния. Эти

режимы возможны в реальных системах и могут оказывать как позитивное, так и негативное влияние на нормальное функционирование систем. Очевидно, что большое значение имеет понимание того, как можно поддерживать, подавлять или вовсе избегать тех или иных пространственно-временных режимов в сетях связанных динамических систем. Здесь актуальным является вопрос, возможно ли управлять подобными сложными структурами с помощью внешних воздействий различного характера.

Диссертационная работа Е.В. Рыбаловой посвящена детальному исследованию влияния внешних шумовых возмущений и неоднородностей парциальных элементов и топологии связей на динамику одномерных ансамблей нелокально связанных нелинейных осцилляторов, демонстрирующих химерные и уединенные состояния. Автором представлен анализ эффектов вынужденной, взаимной и удаленной синхронизации таких структур в двух- и трехслойных сетях нелинейных систем, для которых неоднородность вводится по парциальным элементам и параметрам связи. Поставленные задачи диссертационного исследования являются четкими, целенаправленными, логически и последовательно сформулированными. В диссертационной работе исследуются одномерные ансамбли связанных моделей с дискретным (логистическое отображение, отображения Эно и Лози, отображение Рикера, отображение Эно-Лози, кубическое отображение, дискретный осциллятор ван дер Поля) и непрерывным временем (модель нейрона ФитцХью-Нагумо).

### **Научная новизна работы и практическая значимость.**

Результаты диссертационной работы, несомненно, отличаются новизной, а также научной и практической значимостью, что четко следует из изложения материалов и выводов в каждой главе диссертации. В начале каждой главы кратко излагается текущее состояние исследований в данной области, а затем дается описание полученных результатов по задачам, поставленным по исследуемой в этой главе тематике. Полученные в диссертационной работе результаты будут востребованы в высокотехнологичных отраслях экономики, которые включают в себя инфокоммуникационные и биосистемы, которые как раз и отличаются сложной архитектурой взаимосвязей.

Научная новизна результатов диссертационного исследования подтверждается большим числом опубликованных соискателем научных работ. По материалам диссертации опубликовано 23 работы, 15 из которых в центральных реферируемых научных журналах, входящих в системы



цитирования Web of Science, Scopus, РИНЦ, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук. Наличие в этом списке 10 работ в высокорейтинговых журналах, входящих в Q1, дополнительно подчеркивает научную новизну и значимость полученных результатов.

### **Обоснованность и достоверность научных положений диссертации.**

Достоверность полученных результатов и выносимых на защиту положений обеспечивается использованием классических моделей радиофизики, статистических методов, а также исследований наблюдаемых явлений с использованием различных парциальных элементов. Несомненным доказательством достоверности полученных результатов является отсутствие расхождений с уже существующими и общепризнанными научными результатами в радиофизике и нелинейной динамике. Также обоснованность и достоверность научных результатов прошли проверку и апробацию в уже упомянутом большом количестве научных публикаций, а также на 13 конференциях, 11 из которых являлись международными и 2 всероссийскими. Отдельно стоит отметить наличие 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, использованных при компьютерном моделировании и решении поставленных в диссертационной работе задач.

### **Общая характеристика работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Она имеет ясную структуру, хорошо продуманное содержание и разбиение полученных результатов на главы. Диссертация полностью соответствует специальности 1.3.4. – «Радиофизика», и, как отмечалось ранее в данном отзыве, является актуальной и имеет практическую значимость.

Основное содержание диссертации изложено на 199 страницах и содержит 75 иллюстраций. Список литературы содержит 175 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, приводится анализ последних тенденций и результатов исследований по поставленным в диссертационной работе цели и задачам. Этот материал вместе с приведенными ссылками на литературу отражает хорошее понимание автором темы и осведомленность о научных результатах, полученных учеными ведущих исследовательских центров. Сформулированы цель работы и задачи, которые необходимо решить, описаны научная новизна и практическая значимость

полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения о достоверности и апробации полученных результатов.

**В первой главе** исследуется влияние шумового воздействия и неоднородного распределения параметров на динамику ансамблей, в которых возможно формирование химерных состояний. При проведении исследований использовался массив различных реализаций случайно распределенных начальных условий и источников шума. Показано, что при изменении интенсивности аддитивного шума в определенном интервале возможно увеличение (вплоть до 100%) вероятности наблюдения химерных структур, в то время как без шума эти состояния могли даже не наблюдаться. Установлено, что существует оптимальная ненулевая интенсивность шума, при которой интервал значений силы связи, в котором наблюдаются химерные структуры, является максимальным, а вероятность появления химерных состояний стремится к единице.

**Во второй главе** приведены результаты численного анализа влияния аддитивного и мультипликативного шума на пространственно-временную динамику ансамблей связанных осцилляторов, в которых наблюдаются другие пространственно-временные структуры, такие как уединенные состояния. Показано, что наличие аддитивного шума и шумовой модуляции управляющих параметров в ансамблях связанных хаотических отображений способствует уменьшению области значений силы связи, в которой существуют уединенные состояния. Случайное распределение значений силы связи и параметра локальной динамики парциальных элементов может, наоборот, привести к увеличению интервала наблюдения уединенных состояний и их количества.

**В третьей главе** сделан логический переход от исследования одиночных ансамблей связанных элементов к исследованию сетей связанных ансамблей, которые исследовались в первой и второй главах диссертации. Приведены результаты анализа различных эффектов синхронизации (вынужденной, взаимной и удаленной) пространственно-временных структур при наличии различных неоднородностей в сетях связанных ансамблей. Исследовалось влияние структур в слоях и характер межслойной связи (модуляция межслойной связи источниками цветного шума, разреженность межслойной связи) на степень синхронизации слоев и возможность установления в них различных структур.

Основные результаты работы и выводы подробно сформулированы в **заключении**.



Диссертационная работа написана четким и лаконичным языком, везде выдержан научный стиль повествования, что оставляет хорошее впечатление о работе.

### **Замечания по диссертационной работе.**

1. В работе исследуется влияние шума и неоднородностей на динамику ансамблей связанных элементов, моделируемых преимущественно дискретными отображениями. В качестве элемента с непрерывным временем используется только осциллятор ФитцХью-Нагумо. Хотелось бы видеть возможные изменения эффектов при использовании других элементов с непрерывным временем.
2. Для получения статистически достоверных результатов при анализе влияния шума и неоднородностей автор использовала различное количество начальных распределений динамических переменных и реализаций случайных чисел (от 3 до 100). Чем объясняется такой разброс? Действительно ли выбранного количества реализаций хватало для получения статистически достоверных результатов?
3. В главе 3 в разделах 3.4 и 3.5 приведены схемы изучаемых систем, что очень помогает при понимании диссертационной работы. И хотя часть других исследуемых сетей достаточно простые, считаю упущением отсутствие схем ко всем исследуемым системам в работе. Например, в разделах 1.2.1, 1.2.4, 3.3 схемы в особенности помогли бы понять топологию связей между парциальными элементами.
4. Часть полученных результатов описана очень кратко и совсем не проиллюстрирована, что иногда затрудняет понимание изложенного материала. Так, например, в разделе 1.2.4 результаты влияния шумовой модуляции на динамику ансамблей связанных отображений Рикера и кубических отображений описаны только словами. Стоило добавить хотя бы карты режимов для этих ансамблей.

Однако вышеперечисленные замечания скорее носят характер пожеланий для дальнейшего развития исследований. Они принципиально не сказываются на научной значимости диссертационной работы и не снижают общей положительной оценки диссертации. К основным положениям, вынесенным соискателем на защиту, нет существенных замечаний, они написаны четко и понятно, а также сопровождаются достаточно убедительными результатами, представленными в главах диссертационной работы.

## Заключение о диссертации.

На основании всего вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Рыбаловой Елены Владиславовны «Влияние неоднородностей и внешних воздействий на формирование и синхронизацию пространственно-временных структур в ансамблях нелинейных осцилляторов» соответствует всем требованиям пунктов 9-11, 13, 14 положения «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013, утверждённого приказом №842 со всеми внесенными в него последующими изменениями, предъявляемыми к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а ее автор – Рыбалова Елена Владиславовна – заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

## Официальный оппонент

профессор кафедры теоретической и математической физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доктор физико-математических наук по специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации, профессор



Ряшко Лев Борисович

Дата: 04.09.2023

Адрес: 620002, Российская Федерация, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул, Мира, д. 19

E-mail: lev.ryashko@urfu.ru

Телефон: +7 (343) 389-94-77

