

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

Стрелковой Галины Ивановны

«ХИМЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ В АНСАМБЛЯХ НЕЛОКАЛЬНО
СВЯЗАННЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ»,

представленную на соискание учёной степени

доктора физико-математических наук

по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Натурные системы по большей части сложные. Типичная ситуация – система состоит из большого числа разнородных элементов связанных друг с другом нетривиальным образом и демонстрирующих плохо предсказуемое поведение. Сталкиваясь с необходимостью изучения таких систем, исследователи традиционно строят упрощённые математические модели, отсекая все, что кажется несущественным или непонятным. Уровень сложность этих моделей определяется степенью развитости математического аппарат и имеющейся вычислительной мощностью. Очевидно, что естественным направлением развития науки должно быть стремление к исследованию всё более и более сложных, а значит и более адекватных, математических моделей. В рецензируемой диссертации на основе простых и хорошо изученных моделей радиофизики строятся и исследуются многоэлементные, гетерогенные системы с нелокальными связями. Такой подход лежит в русле современной тенденции развития науки в сторону усложнения объектов изучения и поэтому тема диссертации является актуальной.

Объектом изучения в диссертации являются ансамбли отображений и потоковых систем с нелокальными связями и хаотической индивидуальной динамикой. При нулевой или слабой связи между элементами в таких ансамблях с очевидностью имеет место пространственно-временной хаос. Уже достаточно давно известно, что когда связь достаточно

сильна, элементы демонстрируют синхронное хаотическое поведение. Однако переход от полностью несинхронного поведения к синхронизации происходит не одновременно, как это наблюдается в случае классической синхронизации периодических колебаний, а занимает некоторую, зачастую достаточно протяжённую область на оси параметра силы связи. Даже в случае синхронизации двух хаотических систем сценарий этого перехода достаточно богат. В случае перехода к синхронизации в ансамбле из достаточно большого числа хаотических систем с нелокальными связями типичным элементом сценария являются так называемые химерные состояния. Под этим понимают сосуществование в ансамбле синхронных и несинхронных кластеров, включающих конечное число чётко разграниченных в пространстве элементов ансамбля. В диссертации уделяется достаточно большое внимание обсуждению сценариев развития синхронизации в ансамблях хаотических элементов, однако, основной фокус интереса сосредоточен на химерных состояниях разного типа.

Диссертация отличается логической связностью и целостностью. К числу достоинств работы следует отнести систематичность и единообразие применяемых исследовательских подходов. Цель и задачи чётко сформулированы и последовательно раскрываются в тексте. Сначала рассматриваются химеры разного типа в ансамблях хаотических осцилляторов, обсуждаются их свойства, анализируется шумовое воздействие на химеры. Затем исследуется новый тип химер, так называемые химеры уединённых состояний. Далее исследуются химерные состояния и их синхронизация в двух связанных ансамблях и наконец, исследуется синхронизация химер в многослойных сетях.

В диссертации получен ряд интересных результатов. Рассмотрены ансамбли логистических отображений, отображений Эно, отображений Лози и систем Лоренца. Для них выполнен анализ сценария перехода от несинхронного к синхронному поведению. Для систем на основе

логистического отображения и отображения Эно показано, что существенной деталью перехода являются амплитудные и фазовые химеры. Для этих химер выявлены и проанализированы бифуркационные механизмы их формирования. Также был применён статистический анализ и было показано, что фазовые и амплитудные химеры имеют принципиально разные свойства.

Показано, что появление химер зависит от характера хаотической динамики локальных системы. Фазовые и амплитудные химеры наблюдались для логистических отображений и отображений Эно. Ансамбли отображений Лози и систем Лоренца демонстрируют при переходе от несинхронного к синхронному поведению уединённые состояния. Уединённые состояния характеризуются временной динамикой, полностью отличной от поведения во времени остальных элементов ансамбля. Отличие уединённых состояний от химер в том, что они не формируют устойчивых кластеров некогерентности с определёнными границами в пространстве ансамбля. Количество осцилляторов в режиме уединённых состояний монотонно возрастает с уменьшением силы связи между элементами ансамбля.

Исследованы свойства амплитудных химер и показано, что в отличие от фазовых, они имеют конечное время жизни и фактически являются долгоживущим переходным процессом. Амплитудные химеры проявляют себя как нерегулярные чередования хаотических и периодических колебаний. После исчезновения, на месте амплитудной возникает фазовая химера.

Исследована мультиплексная сеть, состоящая из двух слоёв осцилляторов разного типа. Обнаружено, что влияние слоёв друг на друга может быть таковым, что первый слой начинает демонстрировать поведение, характерное для осцилляторов второго слоя и наоборот.

Обнаружена химерная структура нового типа, получившая в диссертации название «химера уединённых состояний». Она характеризуется

сосуществованием некогерентного кластера или кластеров осцилляторов в режиме уединённых состояний и когерентного кластера (кластеров) осцилляторов в режиме синхронных колебаний.

Исследованы эффекты синхронизации химерных состояний в многослойных сетях. Показано, что химерная структура, заданная в первом слое, передаётся от слоя к слою с малыми искажениями, величина которых определяется величиной расстройки параметров.

В целом, научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы в достаточной мере. Выполненные исследования и результаты, к которым они привели, являются новыми, они прошли апробацию на российских и международных конференциях. Следует отметить также достаточное количество публикаций в авторитетных российских и международных журналах. Представленные в диссертации результаты имеют высокую значимость. Результаты работы могут быть использованы в работе научных коллективов, занимающихся радиофизикой, нелинейной динамикой, прикладной математикой, радиофизикой, в работе таких организаций как ИРЭ РАН, СГУ, СГТУ, а также в учебном процессе. Автореферат точно отражает содержание работы.

Замечания.

1. Во второй главе помимо прочего проверяется гипотеза о связи возможности наблюдения химерных состояний со свойством квазигиперболичности хаотической динамики парциального осциллятора. Делается вывод о том, что эта гипотеза подтверждается результатами анализа, выполненного в диссертации, см. вывод №6 на стр. 150. Однако это утверждение нельзя признать обоснованным, так как не выявлена прямая связь между свойством квазигиперболичности и механизмом формирования химер.

2. Там же, во второй главе, заключение о наличии и разрушении квазигиперболичности парциальной системы делается на основе визу-

ального анализа фазового портрета, что нельзя признать достаточным. Для аттрактора типа Лоренца известен и хорошо проработан математический аппарат анализа его гиперболических свойств. Кроме того, существуют численные методы проверки гиперболичности и квазигиперболичности хаотических систем в том числе с высокой размерностью фазового пространства, не требующие чрезвычайно больших вычислительных ресурсов.

3. Анализ случайного воздействия на амплитудные химеры в разделе 3.4 не достаточно репрезентативен.

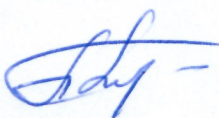
- Во-первых рассмотрена только одна конфигурация начальных условий и, соответственно, единственная конфигурация химерных состояний. Известно что ансамбль хаотических систем, и это неоднократно отмечается и в самой диссертации, обладает чрезвычайно высокой степенью мультистабильности. Следовательно, для демонстрации типичности полученных результатов следовало бы продемонстрировать их воспроизводимость для представительной выборки начальных условий.
- Во-вторых статистические характеристики влияния шума на время жизни химер вычислены для слишком маленькой выборки реализаций шума (всего 19, см. стр. 178). Эта недостаточность проявляется себя, например, на рис. 3.15, где разброс полученных статистик может достигать трёх порядков.

4. Области, на которые следует обратить внимание не всегда явным образом выделены на рисунках. Вместо этого в тексте указаны диапазоны аргументов, которые следует отыскать читателю на рисунке самостоятельно. Такой стиль оформления нельзя признать удачным так как восприятие материала затрудняется.

Указанные недостатки не снижают общего хорошего впечатления о работе. Разработанные автором на основе выполненных исследований

теоретические положения диссертации в совокупности можно квалифицировать как новое крупное научное достижение в области радиофизики. Она представляет собой законченное исследование, выполненное автором самостоятельно. Предлагаемые автором новые решения строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными решениями. Можно заключить, что диссертационная работа 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 докторским диссертациям. Её автор, *Стрелкова Галина Ивановна* заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 — радиофизика.

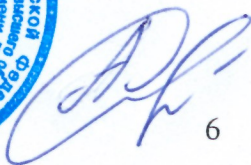
Профессор кафедры «Приборостроение» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.» (Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77, Эл. почта: r.kuptsov@sstu.ru, Телефон: 8452-99-88-14), д. ф.-м. н., доцент

11.03.2020 

Купцов Павел Владимирович

Подпись П. В. Купцова заверяю, Учёный секретарь Учёного совета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.» к. ф.-м. н., доцент





Салтыкова Ольга Александровна