



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПФ РАН,
чл. корр. РАН, д. ф.-м. н.
Сергеев А. М.

« ___ » _____ 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

по диссертации **Круглова Вячеслава Павловича**

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Тема диссертации **«Конечномерные и распределенные системы кольцевой структуры, генерирующие грубый хаос»**.

Специальность: 01.04.03 – Радиофизика.

Диссертационная работа Круглова В.П. посвящена построению примеров нелинейных систем кольцевой структуры, в которых имеет место хаотическая динамика, обусловленная присутствием гиперболических аттракторов в виде соленоида Смейла – Вильямса, с проведением теоретических и численных исследований соответствующих модельных уравнений методами современной теории динамических систем. При реализации предлагаемых схем в виде радиофизических устройств они будут обладать свойством грубости, т.е. нечувствительности характеристик генерируемых хаотических сигналов к вариации параметров и прочим мешающим факторам, что делает их привлекательными с точки зрения любых возможных приложений хаоса, в том числе для коммуникации, шумовой локации, генерации шума. Принципиальная возможность физической реализации систем с гиперболическим хаосом указана сравнительно недавно, благодаря работам группы исследователей, возглавляемой научным руководителем диссертанта. В данной конкретной работе выделен и изучается специальный класс такого рода систем, интересных с точки зрения возможных приложений, а также в плане наполнения конкретными примерами принципиально важного и проработанного с математической точки зрения раздела теории динамических систем. Можно думать, что модели, целенаправленно сконструированные с тем, чтобы реализовать гиперболический хаос, окажутся полезными для понимания фундаментальных вопросов, например, в отношении проблемы турбулентности. Другое перспективное быстро развивающееся направление, в рамках

которого полученные результаты могут представлять принципиальный интерес, это нейродинамика. Сказанное позволяет сделать заключение об актуальности темы диссертации.

Диссертационная работа соответствует специальности 01.04.03 – Радиофизика, поскольку включает круг вопросов, предусмотренных пунктом 4 паспорта специальности в части исследования нелинейной динамики, пространственно-временного хаоса и самоорганизации в неравновесных системах.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа по структуре и объему соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулирована цель работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, описаны структура и объем работы.

В первой главе рассмотрены варианты построения систем кольцевой структуры, содержащих два полосовых фильтра и элемент с квадратичной нелинейностью и насыщением.

Во второй главе рассмотрена автономная система с аттрактором типа Смейла – Вильямса, где динамика осуществляется вблизи гетероклинического цикла кольцевой цепочки из автогенераторов при поочередной активации элементов с передачей возбуждения по кольцу.

В третьей главе рассматриваются примеры распределенных систем, демонстрирующих гиперболический хаос и описываемых уравнениями с частными производными.

В четвертой главе приведены результаты компьютерной проверки гиперболической природы аттракторов систем, рассмотренных в предыдущей части диссертации и некоторых других примеров на основе статистического анализа распределения углов пересечения устойчивых и неустойчивых многообразий типичной траектории на аттракторе.

В заключении дана сводка содержания и основных результатов диссертационной работы.

Диссертант продемонстрировал владение широким набором методов исследования, как теоретических, так и численных, основывающихся на современной теории динамических систем.

Результаты, полученные в первой главе, представляются наиболее продвинутыми в плане ближайших перспектив реализации радиофизических генераторов грубого хаоса на основе схем, рассмотренных автором. Действительно, генераторы хаоса кольцевой структуры, составленные из фильтров первого и второго порядка и нелинейных элементов, в контексте конкретных практических приложений успешно разрабатываются (работы группы А.С. Дмитриева в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН). Схемы, предлагаемые автором диссер-

тации, по-видимому, могут быть реализованы на основе той же элементной базы, но будут отличаться принципиально присущим свойством грубости, которое математически строго обосновано для гиперболического хаоса.

Схема, предложенная во второй главе диссертации, хотя и использует большое число элементов, представляется весьма изящным решением проблем, возникающих при попытке реализовать гиперболический хаос в автономной системе. Путем использования резонансной передачи возбуждения по кольцу при плавном изменении собственной частоты от одного элемента к другому, так при полном обходе достигается двукратное изменение частоты с последующим замыканием петли обратной связи на второй гармонике.

Принципиальный интерес представляют рассмотренные в третьей главе модельные распределенные системы кольцевой структуры, реализующие гиперболический хаос. Одна из них – система, сконструированная на основе модификации уравнения Свифта – Хохенберга, представляет собой первый пример автономной распределенной системы, порождающей гиперболический хаос, что следует признать важным приоритетным достижением. Появление примеров распределенных систем с гиперболическим хаосом, по-видимому, отчасти оправдывает существовавшие в 70-х годах прошлого века ожидания относительно роли этого феномена в сложной пространственно-временной динамике (включая фундаментальную проблему турбулентности), хотя широкая распространенность именно этой разновидности хаоса вызывает сомнения.

Принципиальный интерес в теоретическом плане представляет также содержание четвертой главы. В самом деле, попытки конструирования физических систем с гиперболическим хаосом сталкиваются с той проблемой, что эти системы трудно или невозможно анализировать строгими методами, принятыми в математической теории динамических систем. Поэтому проработка автором компьютерной методики проверки гиперболичности конкретных систем на основе предложенного ранее в литературе анализа статистики углов пересечения устойчивых и неустойчивых многообразий траекторий на аттракторе выступает как важный инструмент при выполнении исследований и разработок.

Результаты диссертационного исследования использованы при выполнении научно-исследовательских работ в Саратовском филиале Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Защищаемые диссертантом научные положения, основные результаты и выводы характеризуются высокой степенью обоснованности. Они получены применением апробированных в радиофизике подходов к конструированию с нелинейными элементами, а также распределенных систем на основе модификации эталонных моделей, выработанных в теории нели-

нейных волн, использованием разностных схем, обеспечивающих адекватную аппроксимацию и устойчивость решений при численном интегрировании дифференциальных уравнений.

Работа не лишена отдельных недостатков:

1. Автор ограничивается проработкой моделей на уровне сконструированных определенным образом дифференциальных уравнений – обыкновенных и с частными производными, и их качественного и численного анализа. Хотя реализация предложенных схем в виде экспериментальных лабораторных макетов заведомо выходит за рамки поставленных перед диссертантом задач, в рамках диссертационного исследования уместно было бы сделать промежуточный шаг, выработав схмотехнические решения с привлечением программных продуктов схмотехнического моделирования.

2. Представленный автором анализ содержит достаточно убедительный материал, подтверждающий гиперболическую природу аттракторов (топологические свойства отображений для фаз за характерный период, слабая зависимость характеристик хаоса от параметров и особенно ценный в этом плане материал проверки «критерия углов» в четвертой главе). Однако, для предложенных в работе систем остались не проверенными математически обоснованные достаточные условия гиперболичности, например, критерий, подразумевающий инвариантность растягивающих и сжимающих конусов.

3. Для распределенных систем автор ограничивается проверкой «критерия углов» только для редуцированных конечномерных моделей. Несмотря на положительный результат тестов на гиперболичность, такой подход не дает полной уверенности в правомерности заключения о гиперболичности аттракторов распределенных систем, и в их отношении автору следовало бы специально подчеркнуть гипотетический характер сделанных заключений.

Отмеченные недостатки не изменяют общей высокой оценки диссертации. Как представляется, работа в ее настоящем виде является законченным исследованием, свидетельствующем о высокой квалификации соискателя, и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. По материалам диссертации опубликовано 25 работ, включая 7 статей в журналах, рекомендованных ВАК, и в том числе 3 статьи в международных изданиях. Основные материалы диссертации широко апробированы и доложены на российских и международных научных конференциях, включая проводившиеся в Нижнем Новгороде XVI и XVII научные школы Нелинейные волны – 2012 и 2016, Международные конференции Dynamics, Bifurcations and Strange Attractors – 2013, Hamiltonian Dynamics, Non-autonomous Systems, and Patterns in PDE's - 2014, Dynamics, Bifurcations and Chaos – 2015.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию при исследованиях и разработках в институтах Российской Академии Наук (ИРЭ РАН, г. Москва, и его филиалы в г. Саратове и г. Фрязино, Московская область, ИПФ РАН, г. Нижний Новгород) и в организациях электронной промышленности (ЗАО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон», г. Саратов, ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино, Московская область). Также рекомендуется использование в учебном процессе и исследованиях в высших учебных заведениях Министерства образования и науки Российской Федерации (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Национальный исследовательский университет "МЭИ", г. Москва, Саратовский национальный государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Юго-Западный государственный университет, г. Курск).

Можно заключить, что диссертационная работа Круглова В.П. «Конечномерные и распределенные системы кольцевой структуры, генерирующие грубый хаос» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно пунктам 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г.

Автор работы Круглов В.П. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Отзыв составил:

Некоркин Владимир Исаакович

доктор физико-математических наук, профессор

заведующий отделом нелинейной динамики, зам. руководителя Отделения нелинейной динамики и оптики по научной работе

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

Почтовый адрес: 603022, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46.

Тел.: (831) 436-72-91; Электронная почта: vnekorkin@neuron.appl.sci-nnov.ru

Интернет сайт: <http://www.iapras.ru/>

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании научного семинара отдела Нелинейной динамики (протокол № 4 от 25 июля 2016 года).

Секретарь научного семинара,

к.ф.-м.н.

/В.В. Клиньшов/