

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию  
Аржанухиной Дарьи Сергеевны  
«Радиофизические системы с динамикой,  
описываемой отображениями на торе»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.03 – радиофизика

Диссертационная работа Д.С. Аржанухиной посвящена конструированию, исследованию и радиофизической реализации нелинейных систем с хаотической динамикой, обусловленной наличием гиперболических аттракторов. Системы данного типа позволяют генерировать хаос, устойчивый к возможным малым изменениям параметров, и благодаря такой грубости предпочтительны в практических приложениях хаоса, возможность которых активно исследуется специалистами во многих областях, в том числе в радиофизике. В этой связи актуальность диссертационной работы Д.С. Аржанухиной не вызывает сомнений. Тема диссертации соответствует специальности 01.04.03 – радиофизика, поскольку касается разработки физических основ генерации, усиления и преобразования колебаний и волн.

В работе представлен и исследован ряд примеров, в которых реализуется хаотическая динамика на аттракторе типа Аносова, а также так называемый DA-аттрактор Смейла (Derived-from-Anosov). Принятый в диссертации общий принцип построения этих примеров состоит в том, чтобы система, генерирующая последовательность радиоимпульсов, связывала значения фаз колебаний, отвечающих двум новым импульсам, с фазами предшествующих импульсов через отображение тора с хаотической динамикой.

В первой главе автор обсуждает модельные системы в виде отображений и обсуждает применительно к ним хаотическую динамику Аносова, DA-аттрактор, а также разрушение этих объектов при изменении параметров системы с переходом к негиперболическому хаосу и регулярной динамике.

Во второй главе рассмотрены неавтономные системы, составленные из трех возбуждающихся по очереди, благодаря периодическому изменению параметров, осцилляторов Ван-дер-Поля. На основе численного моделирования исследован случай, когда составная система имеет аттрактор, расположенный на торе, с динамикой задаваемой отображением типа Аносова. Модификацией этой системы получен пример, где реализуется гиперболический DA-аттрактор; соответствующий анализ динамического поведения также проведен численным моделированием.

В третьей главе представлены конкретные схемы радиофизических устройств, реализующие описанные во второй главе режимы динамики, и продемонстрирована работа этих схем путем моделирования с использованием пакета программ Multisim.

В четвертой главе рассматривается автономная система с запаздывающей обратной связью, позволяющая получить в зависимости от параметров гиперболический хаос, соответствующий аттрактору Смейла – Вильямса, динамике Аносова на аттракторе, расположенной вблизи вложенного в бесконечномерное фазовое пространство двумерного тора, и динамику, предположительно соответствующую DA-аттрактору Смейла.

Один из ярких результатов работы, представляющийся принципиально важным, состоит в том, что впервые указан пример физически реализуемой системы с DA-аттрактором Смейла, который до сих пор рассматривался только как абстрактный объект формальной математической теории динамических систем. В диссертации представлено его рассмотрение, как на уровне системы дифференциальных уравнений, так и на уровне конкретного схемотехнического решения.

Также заслуживает внимания специалистов проведенный анализ соотношения динамики типа Аносова, традиционно рассматривавшейся только для консервативных систем, и диссипативной динамики, выражающейся в наличии гиперболических хаотических аттракторов.

Интересным представляется развитие предлагаемого автором подхода применительно к моделям с запаздыванием, являющихся по существу разновидностью распределенных систем с бесконечным числом степеней свободы. Возможность гиперболического хаоса в таких системах чрезвычайно интересна и может быть принципиально важной в контексте приложений теории динамических систем к таким фундаментальным вопросам, как проблема анализа возможных механизмов турбулентности.

В методическом плане надо отметить то обстоятельство, что на протяжении всего изложения и применительно практически ко всем задачам проработаны и сопоставлены дополняющие друг друга методики анализа. Сюда относится исследование упрощенных моделей на основе метода медленных амплитуд, прямого численного моделирования динамики путем решения дифференциальных уравнений, представление данных с помощью портретов аттракторов, спектров, вычисление показателей Ляпунова. Особенно привлекательной чертой диссертационной работы и весьма важной в контексте специальности служит то обстоятельство, что автору удается довести конструируемые модели с весьма сложными, и ранее не встречавшимися в приложениях типами динамики, до реализации на уровне радиотехнических схем.

Можно констатировать, что работа Д.С. Аржанухиной вносит принципиальный вклад в проблему конструирования радиофизических устройств, способных генерировать грубый хаос, т.е. хаотические сигналы с характеристиками, нечувствительными к деталям устройства и параметрам систем, что может иметь существенное значение для практических приложений.

Работа написана четким, ясным стилем. Хорошо продумано и реализовано структурное построение диссертации.

В адрес работы можно сделать ряд критических замечаний.

- 1) Часть материала первой главы представляется недостаточно проработанной с точки зрения анализа реализующихся бифуркаций и описания возможных сценариев, а также в плане взаимосвязи с конкретными системами, обсуждаемыми в последующих главах.
- 2) Обоснование гиперболической природы динамики в предложенных системах остается у автора на качественном уровне, ограничиваясь сопоставлением графиков и диаграмм, отвечающих наблюдаемой динамике, с таковыми для модельных отображений с гиперболической динамикой. Было бы желательно представить проверку в численных расчетах формальных критериев гиперболичности, предложенных в математической теории.
- 3) Отнесение аттрактора, наблюдаемого в системе с запаздыванием, к типу DA аттрактора Смейла в заключительной части главы 4 недостаточно подкреплено вычислениями или качественным анализом и выглядит скорее как правдоподобная гипотеза, нежели чем хорошо обоснованное заключение.
- 4) К сожалению, в работе нет предложений по схемотехнической реализации очень интересных примеров систем с запаздыванием, рассмотренных в четвертой главе.

Указанные замечания не снижают общего хорошего впечатления от диссертационной работы. Это тщательно выполненная научно-квалификационная работа, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для радиофизики и смежных областей. Эта работа, несомненно, открывает дальнейшие перспективы для исследования и приложений устройств с хаотической динамикой. Также она вносит существенный вклад в установление важных взаимосвязей между дисциплинами прикладного характера и абстрактной теорией динамических систем, где наработано множество фундаментальных результатов, остающихся пока не востребованными.

Результаты, представленные в диссертации, характеризуются несомненной новизной – это исследование целого ряда новых примеров гиперболического хаоса. Достоверность результатов диссертации определяется использованием в расчетах известных, апробированных численных методов, соответствием качественного описания результатам численного моделирования, а также результатам схемотехнического моделирования с помощью современного программного пакета.

Основные результаты опубликованы в 5 статьях в изданиях, включенных в перечень утвержденных ВАК при Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций, а также хорошо представлены докладами на научных конференциях различного уровня.

Диссертационная работа свидетельствует, что ее автор Д.С. Аржанухина является квалифицированным специалистом в области радиофизики и электроники. Она хорошо владеет математическим аппаратом, требуемым для анализа хаоса и сложной нелинейной динамики в системах радиофизики, навыками разработки радиотехнических схем, сопоставления результатов и данных, полученных на основе разных подходов.

Диссертация и автореферат, несомненно, представляют работу, выполненную лично автором. Автореферат правильно и достаточно полно передает содержание диссертации. Четко указаны степень новизны и научно-практической значимости полученных результатов. Личный вклад адекватно отражен соответствующими формулировками в диссертации и автореферате. Все существенные моменты, касающиеся результатов других авторов, корректно оформлены ссылками в тексте диссертации, а соответствующие работы представлены в списке цитируемой литературы. Результаты диссертации могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработках устройств, для генерации хаоса. Также результаты исследования можно рекомендовать для использования в учебных курсах по соответствующим специальностям (радиофизика, электроника, нелинейная динамика).

На основе анализа диссертационной работы и публикаций по теме диссертации, следует признать тему исследования актуальной, а ее выводы и положения надежно обоснованными, достоверными и новыми. Содержание диссертационной работы удовлетворяет требованиям п. 9, а также пп. 10-14 "Положения о присуждения ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Аржанухина Дарья Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

**Официальный оппонент:**

доктор физико-математических наук, профессор  
ФГАОУ «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

**Ряшко Лев Борисович**

Почтовый адрес:

620000 Екатеринбург, ул. Тургенева 4, 602

Телефон: 3433507541

Электронный адрес: Lev.Ryashko@urfu.ru

Подпись Л.Б. Ряшко заверяю

