

Отзыв официального оппонента

доктора наук по прикладной математике (отрасль наук - физико-математические науки), профессора Казакова Алексея Олеговича на диссертационную работу Любченко Дмитрия Олеговича на тему «Сложные динамические режимы, отвечающие концепции грубости и концепции хрупкости, в приложении для средств коммуникации», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика

Диссертационная работа Д.О. Любченко посвящена исследованию динамических и статистических свойств сложных режимов в системах двух типов. Во-первых, это системы специфически связанных осцилляторов Ван-дер-Поля, демонстрирующие, как известно из работ С.П. Кузнецова, такие типы аттракторов как соленоид Смейла-Вильямса и странный нехаотический аттрактор Ханта-Отта. Во-вторых, это системы с дискретным временем, моделирующие динамику бильярда в области с осциллирующей границей. Этот класс моделей демонстрирует богатую мультистабильность, характеризующуюся сосуществованием в системе большого числа различных типов аттракторов (периодических, квазипериодических, хаотических), в результате чего динамические свойства асимптотического поведения траекторий чрезвычайно сильно зависят от выбора начальных условий. Связующим звеном между системами столь разных типов является их применение для средств коммуникации.

Диссертация включает в себя введение, четыре содержательных раздела с описанием полученных результатов и заключение. Во введении отмечена актуальность работы, ее научная новизна и практическая значимость, подробно описаны применяемые методы исследований, четко сформулированы выносимые на защиту результаты. В главе 1 решается важная проблема хаотической коммуникации – нарушение полной синхронизации между передатчиком и приемником из-за неизбежной расстройки по параметрам. На основе проведенных исследований диссертантом предложено использовать генераторы, демонстрирующие гиперболические хаотические аттракторы.

Вторая глава посвящена исследованию статистических закономерностей локальных характеристик режимов обобщенной синхронизации в условиях не только расстроек по параметру, но и частотных искажений в канале связи. Диссертантом установлено, что системы на основе гиперболических аттракторов демонстрируют высокую устойчивость и сохраняют однородность та-

ких характеристик, как значения старшего условного показателя Ляпунова и корреляции между передатчиком и приемником.

Третья и четвертая главы посвящены построению и анализу математических моделей бильярда с геометрией типа волновода с одной гофрированной осциллирующей границей. Диссертантом разработана иерархия приближенных моделей, восходящая к выведенному общему отображению. В консервативном пределе обнаружено и исследовано два качественно различных режима ускорения Ферми – медленное и классическое быстрое. В диссипативном случае обнаружено явление мультстабильности. На основе соответствующей модели разработана и проанализирована новая схема скрытой коммуникации. Предложенная диссертантом схема обеспечивает повышенную скрытность передачи за счет возможности динамического переключения между аттракторами.

Среди результатов работы на меня наибольшее впечатление произвело приложение такого, казалось бы, абстрактного объекта математической теории динамического хаоса, как соленоид Смейла-Вильямса, к решению прикладных задач построения средств коммуникации. Диссертантом впервые показано, что в системах связи на основе синхронизации генераторов, реализующих такого типа аттрактор, даже при нарушении полной синхронизации генератор-передатчика и генератора-приемника, информационный сигнал может быть успешно декодирован, что невозможно в случае, когда передатчик генерирует негрубый хаотический аттрактор.

Достоверность и обоснованность научных положений, вынесенных в диссертацию, в целом оцениваю как приемлемо подтвержденную с позиций численного исследования. Применённые численные методы: численное интегрирование методом Рунге–Кутты 4-го порядка, расчёт спектра показателей Ляпунова, построение фазовых портретов, анализ спектральных плотностей и локальной корреляции в скользящем окне являются стандартными и адекватными для изучаемых классов систем. Автор корректно использует математический аппарат, все выводы опираются на результаты вычислительных экспериментов, которые детально описаны и могут быть независимо проверены. Выводы, делаемые в работе, логически непротиворечивы и не расходятся с фундаментальными представлениями теории динамического хаоса.

Что касается текста диссертационной работы, то здесь у меня есть ряд замечаний.

- Исследования возможности коммуникации продемонстрировано на примере системы, генерирующей соленид Смейла-Вильямса, при этом выводы переносятся на случай гиперболических аттракторов в целом. На мой взгляд, следовало либо провести аналогичные эксперименты с системами, в которых существуют другие типы гиперболических аттракторов (благодаря работам С.П. Кузнецова такие системы известны), либо не экстраполировать результаты на класс всех гиперболических систем.

- Создается впечатление, что диссертант не знаком с широким классом робастно хаотических аттракторов, которые при этом не являются грубыми. Это т.н. класс псевдогиперболических аттракторов, введенный в рассмотрение Тураевым и Шильниковым в 1998 году, достаточно близок к тематике диссертационного исследования. На сегодняшний день открыт целый ряд таких аттракторов. Псевдогиперболические аттракторы, как и гиперболические, остаются хаотическими при возмущениях системы, при этом в них могут происходить внутренние перестройки. Полагаю, автору следовало бы хотя бы упомянуть такой класс аттракторов во введении среди рассуждений о грубости и сохранении критических свойств робастных аттракторов при возмущениях. В идеале, конечно, следовало бы провести моделирование коммуникации, когда система-передатчик и система приемник генерируют псевдогиперболические аттракторы, хотя бы аттракторы Лоренца.

- Названия всех четырех глав неоправданно громоздки.

- Вызывает вопросы список литературы и цитирование некоторых источников. В частности, я бы не рекомендовал использовать неустоявшееся понятие «хрупкости». Вместо этого очень давно было введено понятие негрубости. Работы [31]-[33] не кажутся какими-то фундаментальными, на основе которых следует вводить новые определения.

- При чтении последнего абзаца на странице 5 может показаться, что С.П. Кузнецов открыл аттрактор Смейла-Вильямса в специфическом отображении, а не в физической системе.

- Существование в фазовом пространстве системы бесконечного (счетного) числа аттракторов еще отмечалось в 70х годах в фундаментальных работах Ньюхауса (см., например, статью «Newhouse S. E. Diffeomorphisms with infinitely many»). Кроме того, этой тематике посвящен цикл работ Гонченко, Тураева, Шильника. Хотелось бы порекомендовать автору ознакомиться с

ключевыми работами в его профессиональной области науки, а не цитировать сомнительные современные статьи.

- Системы с негрубым хаосом это не всегда системы с квазиаттракторами (см. также второе замечание). В класс таких систем также входят системы с псевдогиперболическими аттракторами, в которых также нет окон устойчивости.

- На рис. 1.2б траектории как будто бы сваливаются на устойчивую неподвижную точку, а хаос является переходным процессом. Хотелось бы понять, что именно там наблюдается и дать комментарии в тексте.

- В первой главе приводится система (1.7) и даже фазовые портреты ее аттракторов. При этом не объяснено, что из себя представляет функция F , входящая в правую часть первого уравнения.

- У работы [85] несколько авторов. Поэтому называть алгоритм расчета показателей Ляпунова в честь первого автора Беннетина некорректно.

- Раздел 1.3, а также рис. 1.5 и далее. Не достаточно хорошо объяснено как передаваемое информационное сообщение (фотография) связано с начальной точки передающей системы.

- Многократно упоминается условный показатель Ляпунова, но я не нашел объяснения почему он условный и что из себя представляет.

- В разделе 2.9 упоминается «полный старший условный показатель». Что это такое? Каждое ли слово тут несет смысл?

- В главе 3 я предложил бы использовать более привычный термин «негрубости» вместо «хрупкости».

- В диссертации по отношению к билиардам много раз упоминается про геометрию типа волновода, при этом, что это такое определено лишь на 80й странице. Было бы удобнее намного раньше кратко объяснить, что здесь имеется в виду.

- Из диссертации непонятно, кто ввел, рассматриваемый соискателем билиард и какое место он занимает в соответствующей науке. Модели предложил диссертант?

- Довольно странно в уравнениях (3.7) видеть обозначение углов в градусах, а не радианах. Нет ли тут опечатки?

- Основные мои замечания касаются четвертой главы, в которой приведен ряд сомнительных, а местами и вовсе некорректных утверждений. Во-первых, хоть и существует много разных определений аттрактора, все они подразумевают существование открытой поглощающей области, в которой этот аттрактор находится. В связи с этим не может быть несчетного количества аттракторов. Диссертант же пишет о континууме аттракторов. Также непонятно, что такое экстремальная мультистабильности. Это существование континуума аттракторов, которого быть не может? Или счетного числа? Или большого количества? Как диссертант вообще может писать об экспериментальном подтверждении существования бесконечного количества аттракторов? А самое главное, зачем писать эту ахинею, когда можно было бы просто сказать, что в системе обнаружено много аттракторов и асимптотическое поведение траекторий сильно зависит от начальных условий.

- Кроме того, в главе 4 многократно упоминается гамильтоново управление. Если я правильно понял, имеется в виду воздействия на систему гамильтоновой системой. Если так, то «гамильтоново управление» слишком грубый жаргон. А вообще, когда речь идет об отображениях, пишут про их симплектичность, а не гамильтоновость.

- В целом диссертационная работа написана аккуратно, но, тем не менее, в глаза бросаются некоторые опечатки, например, робустный (вместо робастный, ...), «как можно будет показано» и др.

Если подытожить все вышперечисленные замечания, общее хорошее впечатление о диссертации слегка портит описание результатов, полученных в четвертой главе, а также (несознательное) игнорирование множества близких по духу фундаментальных работ при слишком частом цитировании работ сомнительных. Тем не менее, повторяюсь, общее впечатление о диссертации остается положительным, несмотря на все указанные замечания. По сути, все они больше стилистические или же являются следствием погони за новыми громкими названиями в ущерб научной достоверности.

Подводя итог, считаю, что исследования, изложенные в диссертационной работе, вносят существенный вклад, как в прикладные аспекты теории динамических систем, так и в смежные разделы математики и радиофизики. Основные результаты по теме диссертации представлены в 28 работах, 5 из которых опубликованы в реферируемых научных журналах, рекомендованных

ВАК при Минобрнауки России для опубликования основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук или индексируемых в реферативных базах данных и системах цитирования Web of Science и/или Scopus. Сама диссертационная работа выполнена на достаточно высоком уровне и соответствует требованиям и критериям пп. 9-11, 13-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор, Любченко Дмитрий Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.4. - Радиофизика.

Доктор наук по прикладной математике (отрасль наук - физико-математические науки, специальность 05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор кафедры фундаментальной математики, Нижегородский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ – Нижний Новгород)

Казаков Алексей Олегович

e-mail: akazakov@hse.ru

тел: +7 (495) 771-32-32

Почтовый адрес: 603155, г. Нижний Новгород, ул. Большая Печерская, 25/12

Подпись Казакова А.О. заверяю

Ученый секретарь НИУ ВШЭ в Нижнем Новгороде

к.ю.н. Лушина Лариса Александровна

llushina@hse.ru

