

Отзыв

официального оппонента о диссертации Москаленко Ольги Игоревны «Хаотическая синхронизация и перемежающееся поведение в неавтономных и связанных системах с малым числом степеней свободы, пространственно-распределенных средах и сетях связанных нелинейных элементов», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Хаотическая синхронизация неавтономных и связанных систем представляет собой одно из фундаментальных явлений природы, имеющих большое не только теоретическое, но и прикладное значение (например, при скрытой передаче информации, при создании новых методов управления в системах СВЧ электроники, при интерпретации различных физиологических, биологических, химических процессов). Подобное направление научных исследований активно развивается на протяжении нескольких последних десятилетий и, несмотря на большое количество публикаций по данной тематике, интерес к проблеме хаотической синхронизации не угасает и по сей день. В настоящее время выявлено несколько типов синхронной хаотической динамики в связанных системах, среди которых можно отметить режимы полной синхронизации, синхронизации с запаздыванием, фазовой синхронизации, обобщенной синхронизации и др. Систематическому изучению некоторых из них и посвящена докторская диссертация Москаленко Ольги Игоревны. В диссертационной работе особое внимание уделено режиму обобщенной синхронизации в однонаправленно и взаимно связанных системах и сетях нелинейных элементов и перемежающемуся поведению, имеющему место вблизи границ возникновения синхронных режимов. В работе затронуты как фундаментальные аспекты изучаемого явления, так и найдены практические приложения различных типов хаотической синхронизации. Вышеизложенные аргументы свидетельствуют об актуальности и важности выбранной темы диссертационного исследования и его большом интересе для современной радиофизики.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав с изложением оригинального материала, заключения и списка используемой литературы из 445 наименований. Структуру работы можно условно разделить на две основные части: в первых трех главах рассмотрены особенности режима обобщенной синхронизации в сосредоточенных и пространственно-распределенных системах с однонаправленным и взаимным типами связи, а также сетях связанных нелинейных элементов, в то время как в последующих двух главах особое внимание уделено различным типам перемежаемости, наблюдающимся вблизи границ возникновения синхронных режимов, и изложению результатов исследования возможности их одновременного существования. Общий объем диссертации составляет 435 страниц текста, включая 122 иллюстрации и 4 таблицы.

Во Введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулирована цель работы, описаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Введение содержит также основные положения, выносимые на защиту, сведения о достоверности и апробации результатов. В последующих главах диссертационной работы, как отмечалось выше, изложен оригинальный материал.

В первой главе рассмотрены некоторые не изученные ранее аспекты явления обобщенной синхронизации в системах с однонаправленным типом связи. Несмотря на то, что данное явление было описано еще в 1995 году, и за прошедшие 22 года получено много результатов в этой области, о чем справедливо отмечает автор во введении и в первом разделе данной главы, результаты, изложенные в диссертационной работе, являются принципиально новыми и оригинальными. В частности, автором впервые исследовано влияние шума на установление режима обобщенной синхронизации в системах с диссипативным типом связи, показано теоретически, численно и экспериментально, что этот режим оказывается устойчивым по отношению к шумам: даже если мощность шума оказывается сопоставимой с мощностью сигнала ведущей системы,

независимо от типа системы и характера распределения случайной величины шум практически не оказывает влияния на порог возникновения синхронного режима. Причины устойчивости режима обобщенной синхронизации по отношению к шумам объяснены при помощи метода модифицированной системы, также предложенного автором при проведении более ранних исследований. В диссертационной работе установлена возможность возникновения режима обобщенной синхронизации в случае взаимодействия хаотических и периодических систем. В частности, показано, что при воздействии внешнего хаотического сигнала на систему с периодической динамикой обобщенная синхронизация возникает раньше, чем в случае взаимодействия двух однонаправленно связанных хаотических систем, а устойчивость этого режима по отношению к шумам, наоборот, повышается. Обнаружена возможность наблюдения режима обобщенной синхронизации в бинарных системах и выявлена его взаимосвязь с режимом бинарной синхронизации, индуцированной шумом. Особое внимание в этой главе уделено практическим приложениям режима обобщенной синхронизации в присутствии шума: предложен ряд способов скрытой передачи информации на основе этого явления.

Во второй главе диссертационной работы понятие обобщенной синхронизации расширено на системы с взаимным типом связи (две взаимно связанные системы и сети связанных нелинейных элементов). Несмотря на наличие достаточно большого количества работ, посвященных исследованию обобщенной синхронизации в таких системах, все они сводились лишь к применению модификации метода вспомогательной системы к системам с взаимным типом связи, в то время как правомерность такого подхода нигде не обсуждалась и не рассматривалась. В рамках второй главы диссертационной работы показана некорректность применения метода вспомогательной системы в данном случае и предложена новая непротиворечивая концепция обобщенной синхронизации в системах с взаимным типом связи. Выявлены механизмы возникновения обобщенной синхронизации во взаимно связанных системах и сетях. Показано, что традиционная концепция обобщенной синхронизации однонаправленно связанных систем является частным случаем разработанной концепции.

Особое внимание в данной главе диссертационной работы уделено разработке методов анализа поведения сложных систем. Так, в этой главе предложен метод расчета спектра пространственных показателей Ляпунова для пространственно-распределенных систем, позволивший выявить механизмы возникновения обобщенной синхронизации в пространственно-распределенных системах с взаимным типом связи.

В третьей главе диссертационной работы показана необходимость пересмотра и уточнения существующей концепции обобщенной синхронизации как применительно к однонаправленно связанным системам, так и системам с взаимным типом связи и сложным сетям. Уточнение заключается в том, что состояния взаимодействующих систем в общем случае оказываются связанными между собой при помощи функционала, а не функционального соотношения, как это считалось ранее научным сообществом. Иными словами, при изучении поведения взаимодействующих систем с точки зрения анализа обобщенной синхронизации необходимо учитывать предысторию. Предложен новый подход к анализу этого режима, основанный на рассмотрении трубок траекторий в фазовом пространстве взаимодействующих систем, являющийся по сути дела уточнением метода ближайших соседей. Показано, что остальные методы диагностики синхронного режима, механизмы его возникновения, а также другие результаты, касающиеся изучения этого режима, остаются по-прежнему правомерными. Работоспособность метода фазовых трубок проиллюстрирована в диссертационной работе на примере модельных систем с дискретным и непрерывным временем, а также моделях пространственно-распределенных систем. В то же самое время, разработанный подход может быть применен к анализу реальных систем различной природы, что свидетельствует о важном прикладном значении разработанного метода и практической значимости полученных результатов.

В четвертой главе диссертационной работы изложены результаты исследования перемежающегося поведения вблизи границ возникновения синхронных режимов. Проведен краткий обзор известных типов перемежающегося синхронного поведения и получены новые результаты в данной области. В частности, в данной главе диссертационной работы впервые обнаружена перемежаемость типа on-off на границе синхронизации индуцированной шумом, доказана единая природа режимов перемежаемости типа I в присутствии шума и игольного ушка, показана возможность наблюдения перемежаемости кольца в режиме фазовой синхронизации на граничных временных масштабах наблюдения, изучен случай индуцированной шумом перемежаемости в бистабильных системах. Особое внимание в этой главе уделено разработке метода оценки степени синхронности перемежающегося поведения по временным рядам, основанного на вычислении нулевого условного показателя Ляпунова. Метод прошел апробацию на модельных системах, допускающих расчет того же показателя Ляпунова при помощи стандартных методов и алгоритмов, автором диссертации показано хорошее соответствие результатов обоих методов. Метод применен для оценки степени синхронности перемежающейся фазовой синхронизации, устанавливающейся между различными областями головного мозга лабораторного животного, страдающего эпилепсией, где применение стандартных методов и алгоритмов оказывается затруднительным. В диссертации показано, что различные области головного мозга характеризуются различной степенью синхронности режима перемежающейся фазовой синхронизации.

В пятой главе диссертационной работы описан принципиально новый тип поведения нелинейных динамических систем, при котором в системе одновременно существуют два различных типа перемежаемости. Этот тип поведения, названный перемежаемостью перемежаемостей, обнаружен как в модельных, так и реальных системах. Построена общая теория перемежаемостей и проведена ее конкретизация для различных типов перемежаемости, наблюдаемых одновременно: перемежаемостей типа I и игольного ушка, перемежаемостей игольного ушка и кольца, двух перемежаемостей типа on-off и др. Обнаружена возможность возникновения перемежаемости перемежаемостей на границе фазовой синхронизации в присутствии шума или при рассмотрении поведения систем на граничных временных масштабах наблюдения, в связанных хаотических осцилляторах с дополнительным полосовым фильтром, в легированном эрбием оптоволоконном лазере, при взаимодействии сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека, при развитии эпилептической активности в таламо-кортикальной сети головного мозга лабораторного животного. Во всех случаях показано хорошее соответствие теории и результатов численных или экспериментальных исследований.

В заключении подведены итоги диссертационной работы, сформулированы основные результаты и выводы, достоверность и обоснованность которых обеспечиваются адекватностью используемых математических моделей, строгостью применяемых радиофизических методов и подходов, согласованностью представленных теоретических выводов, качественных интерпретаций и результатов численного моделирования, качественным совпадением полученных результатов с отдельными результатами исследований, известными из литературы.

Из диссертационной работы явно следует, что совокупность полученных в ней результатов можно квалифицировать как научное достижение в области радиофизики, связанной с исследованием общих закономерностей различных типов хаотической синхронизации и перемежающегося поведения, имеющего место на границах различных типов синхронного поведения в неавтономных и связанных системах и сетях нелинейных элементов. Полученные результаты вносят фундаментальный вклад в развитие данного научного направления и позволяют дать ряд важных рекомендаций, имеющих практическую значимость.

Среди результатов, полученных в диссертационной работе, на мой взгляд, принципиально новыми, важными и интересными являются следующие:

1 Выявленная устойчивость режима обобщенной синхронизации по отношению к шумам и предложенные способы скрытой передачи информации на основе обобщенной синхронизации.

2 Концепция обобщенной синхронизации в сетях связанных нелинейных элементов.

3 Метод фазовых трубок применительно к анализу обобщенной синхронизации.

4 Метод анализа степени синхронности поведения взаимодействующих систем по временным рядам и результаты его применения к нейрофизиологическим системам.

5 Теория, описывающая одновременное существование двух различных типов перемежаемости в нелинейных системах, и найденные примеры модельных и реальных систем, способных демонстрировать данный тип поведения.

В то же самое время, диссертационная работа О.И. Москаленко несвободна от недостатков, основным из которых, на мой взгляд, является неполное описание условий численных и натуральных экспериментов по обобщенной синхронизации в присутствии шумов (Глава 1). Проблема в том, что приводимые там результаты по устойчивости обобщенной синхронизации к шумам резко на порядки отличаются от результатов других исследователей по близким вопросам. Более того они в дальнейшем приводят к фантастической устойчивости к шумам системы связи, которую автор предлагает на основе своих результатов по синхронизации. Например, в обзоре о применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации [УФН. 143, диссертация стр. 115] приводятся данные по устойчивости разработанной схемы передачи к шумам, намного превосходящие предельные соотношения Шеннона по емкости канала. Эта теорема Шеннона в теории коммуникаций занимают примерно то же место, что и второй закон в термодинамике. До сих пор ее сомнению никто не подвергал. Если полученные автором результаты верны, то это **революция в технике связи**. И искомый результат – самый важный во всей диссертации. Но это нужно доказывать, здесь численных расчетов самих авторов явно недостаточно. Нужна независимая верификация этих результатов и объявление научному сообществу о научном прорыве. Ну, а если это артефакт счета, об этом тоже нужно сказать. Пока же приведенных в диссертации данных по условиям расчетов и экспериментов явно недостаточно, чтобы сделать какие-то определенные выводы.

И еще один момент, о котором следует сказать. Вопрос о цитировании. Мне не понравилось, как автор цитирует своих предшественников. Так, в разделе, посвященном синхронизации в однонаправленных связанных радиотехнических генераторах, дается ссылка на работу [68, Рульков], а в разделе, посвященном экспериментальному исследованию, ссылка на тот же генератор выглядит так (стр. 77): «...в качестве базового элемента схемы использовался радиотехнический генератор с нелинейным элементом и петлей обратной связи, аналогичный, описанному в [68, 309 – Храмов и др.]....». Так кто же автор этого типа генераторов? Рульков или Храмов и др.? Вот что пишет об этом сам Рульков в цитируемой автором диссертационной работе [68]: “...*The chaotic circuit consists of a nonlinear converter N and linear feedback; see the diagram of the driving circuit in Fig. 1. Chaotic circuits of such architecture was studied by Dmitriev et al.* [45]....”.

Другими словами, речь идет о кольцевом генераторе с полутора степенями свободы, предложенном А.С. Дмитриевым и В.Я. Кисловым в 1984 году (Дмитриев А.С., Кислов В.Я. Стохастические колебания в автогенераторе с инерционным запаздыванием первого порядка // Радиотехника и электроника, 1984, т. 29, № 12. С. 2389.) Генератор подробно изучался, удобен для экспериментальных исследований. Он использовался как базовая модель при разработке твердотельных генераторов хаоса. Информация о нем имеется в

нескольких монографиях, в том числе саратовских авторов. По меньшей мере, одна из этих книг известна автору (Список литературы [30]). Между прочим, все книги на русском языке, без проблем с переводом.

Зачем приписывать американцу N. Rul'gov результаты отечественных ученых?

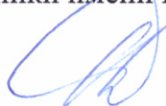
В целом работа имеет высокую научную и практическую значимость. Диссертация Москаленко Ольги Игоревны выполнена на высоком уровне и является законченным научным исследованием в области радиопизики. Полученные в диссертации результаты являются новыми и интересными, имеющими важное как теоретическое, так и прикладное значение. Научные положения и выводы являются обоснованными. Основные результаты диссертации хорошо отражены в публикациях автора, среди которых можно отметить 2 монографии, 76 статей в центральных рецензируемых отечественных и зарубежных научных журналах, входящих в системы цитирования Web of Science, Scopus, РИНЦ, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, 7 патентов Российской Федерации на изобретения, 15 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Содержание работы полностью соответствует паспорту специальности 01.04.03 – радиопизика, автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Таким образом, по степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, их достоверности и новизне, актуальности выбранной темы исследований, практической значимости полученных результатов и их научно-методическому уровню диссертация Москаленко Ольги Игоревны удовлетворяет всем требованиям пп. 9-14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физико-математических наук по специальности «01.04.03 – радиопизика».

Официальный оппонент

Заведующий отделом Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН»,

д.ф.-м.н., профессор



Дмитриев Александр Сергеевич

Почтовый адрес: 125009, г. Москва, ул. Моховая, 11, к. 7, телефон: +7 (495) 629-7278, e-mail: chaos@cplire.ru.

Подпись Дмитриева А.С. заверяю
Зам. директора ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН



С.М. Ладнушкин