

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор

ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Алексей Николаевич Чумаченко

2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

по диссертации **Плотниковой Анастасии Дмитриевны** «Использование показателей Ляпунова для изучения сложной динамики и синхронного поведения в радиофизических генераторах с запаздыванием и реальных нейрофизиологических системах» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. — «Радиофизика», выполненной на кафедре физики открытых систем института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора СГУ от 30.12.2019 № 237-Д.

Соискатель **Плотникова Анастасия Дмитриевна** окончила в 2019 году федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по направлению «Прикладные математика и физика» с присвоением квалификации «Магистр».

В период подготовки диссертации с 2019 и по настоящий момент соискатель обучается в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по направлению 03.06.01 — «Физика и астрономия», направленность «Радиофизика».

Справка о сданных кандидатских экзаменах №23.1-2022 выдана 05.04.2022 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением

высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Научный руководитель — Москаленко Ольга Игоревна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики открытых систем института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утвержденная приказом ректора СГУ от 30.12.2019 № 237-Д, представила положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на объединенном научном семинаре кафедр физики открытых систем, электроники, колебаний и волн и нелинейной физики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений СГУ.

На заседании присутствовали:

1. Аникин Валерий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей, теоретической и компьютерной физики СГУ;
2. Короновский Алексей Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики открытых систем СГУ;
3. Павлов Алексей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики открытых систем СГУ;
4. Шараевский Юрий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории "Метаматериалов" НИИ механики и физики СГУ;
5. Москаленко Ольга Игоревна, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики открытых систем СГУ;
6. Стрелкова Галина Ивановна, доктор физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой радиофизики и нелинейной динамики СГУ;
7. Сысоев Илья Вячеславович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры системного анализа и автоматического управления СГУ;

8. Гришин Сергей Валерьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой электроники, колебаний и волн СГУ;
9. Егоров Евгений Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры электроники, колебаний и волн СГУ;
10. Адилова Асель Булатовна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем СГУ;
11. Куровская Мария Константиновна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем СГУ;
12. Сельский Антон Олегович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем СГУ;
13. Титов Владимир Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники, колебаний и волн СГУ;
14. Титов Алексей Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники, колебаний и волн СГУ;
15. Бух Андрей Владимирович, кандидат физико-математических наук, инженер учебной лаборатории радиофизики СГУ.

Рецензенты диссертации:

Павлов Алексей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики открытых систем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» представил положительный отзыв.

Стрелкова Галина Ивановна, доктор физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой радиофизики и нелинейной динамики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» представила положительный отзыв.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Заключение

по диссертации Плотниковой Анастасии Дмитриевны «Использование показателей Ляпунова для изучения сложной динамики и синхронного поведения в радиофизических генераторах с запаздыванием и реальных нейрофизиологических системах» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4.— «Радиофизика».

В диссертации Плотниковой А.Д. проведено исследование сложной динамики и синхронного поведения хаотических динамических систем с использованием расчета спектра показателей Ляпунова. В качестве объектов исследования выбраны сложные модельные системы с запаздыванием и экспериментальные данные нейрофизиологической природы. Для решения данной задачи в работе предложены и апробированы новые методы расчета показателей Ляпунова в таких системах.

Научная новизна работы

1. Разработан и апробирован метод расчета спектра показателей Ляпунова для систем с запаздыванием;
2. Выявлены особенности обобщенной синхронизации, присущие системам с запаздыванием;
3. Получена зависимость значения параметра связи, отвечающего за установление режима обобщенной синхронизации, от величины времени запаздывания;
4. Выявлена степень синхронизма перемежающейся фазовой синхронизации крысы линии WAG/Rij без лекарств и под действием препарата клонидин;
5. Продемонстрированы законы изменения показателя Ляпунова в обоих рассматриваемых случаях;
6. Проанализированы аналогичные результаты для ЭЭГ головного мозга человека, страдающего эпилепсией;
7. Проведено изучение поведения вероятности детектирования ламинарной фазы в ансамбле однонаправленно связанных неидентичных осцилляторов Ресслера с использованием двух принципиально различных методов вычисления вероятности наблюдения ламинарной фазы: по времени и по ансамблю;
8. Определено влияние количества осцилляторов на вероятность детектирования ламинарной фазы в режимах перемежающейся фазовой синхронизации и фазовой синхронизации.

Практическая значимость работы

В диссертационной работе решена научная задача, имеющая большое практическое значение для современной радиофизики в части разработки новых методов расчета спектра показателей Ляпунова для модельных систем с запаздыванием и реальных экспериментальных временных рядов и анализа многочисленных явлений и закономерностей при помощи разработанных подходов. Для систем с запаздыванием предложенный метод может использоваться на практике в системах скрытой передачи информации на основе обобщенной синхронизации, а метод оценки нулевого условного показателя Ляпунова по временному ряду может найти применение в области нейрофизиологической медицины для диагностики различных заболеваний нервной системы.

Ценность научных работ соискателя, лежащих в основе его диссертации, определяется тем, что полученные результаты вносят существенный вклад в область исследований обобщенной и перемежающейся фазовой синхронизации связанных нелинейных систем. Разработанные методы для расчета спектра показателей Ляпунова расширяют границы применимости данного подхода и делают возможным более детальное исследование синхронных режимов в сложных системах различной природы.

Личный вклад автора

Исследования, проведенные в рамках настоящей диссертационной работы, осуществлялись автором лично, либо при его непосредственном участии. Задачи исследования были сформулированы научным руководителем работы — д.ф.-м.н., профессором Москаленко О.И. Разработка и апробация метода расчета спектра показателей Ляпунова для систем с запаздыванием проводилась совместно с научным руководителем и д.ф.-м.н., профессором Короновским А.А.

В рамках диссертационной работы были изучены реальные экспериментальные данные нейрофизиологической природы — сигналы электроэнцефалограмм (ЭЭГ), снятые с различных областей головного мозга крысы линии WAG/Rij и человека, страдающего эпилепсией. Экспериментальные данные были получены специалистами-нейрофизиологами в Радбаут

университете Наймегена (Нидерланды) и в Институте высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, а также в НИИ кардиологии Саратовского государственного медицинского университета.

Метод расчета показателя Ляпунова для оценки степени синхронизма перемежающейся фазовой синхронизации по временным рядам был модифицирован на основе работ д.ф.-м.н., профессора Москаленко О.И. и к.ф.-м.н. Павлова А.С. с учетом специфики решаемой задачи

Достоверность результатов

Достоверность теоретических результатов, представленных в настоящей диссертационной работе, обоснована выбранными классическими математическими моделями, базовыми методами для их решения и исследования. В качестве изначальных данных были выбраны достоверные, ранее полученные результаты. Для валидации разработанных методов были также использованы дополнительные хорошо зарекомендовавшие себя методики, при этом итоговые результаты хорошо согласуются между собой. Расхождения с существующими опубликованными и общепризнанными научными результатами отсутствуют.

Апробация работы

Основные материалы работы докладывались на следующих школах и конференциях:

1. 11 и 12 Международные школы-конференции «Хаотические автоколебания и образование структур» (Саратов, 2016, 2019);
2. 18 и 19 Научные школы «Нелинейные волны» (ННГУ и ИПФ РАН, Нижний Новгород, 2018, 2020);
3. 16 и 18 Всероссийские школы-семинары «Физика и применение микроволн» им. А.П. Сухорукова (МГУ, Москва, 2017, 2019);
4. 14 Всероссийская научная школа молодых ученых «Нанoeлектроника, нанoфотоника и нелинейная физика» (Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН и СГУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, 2019);

5. Всероссийская школа-конференция «Нелинейные дни в Саратове для молодых» (СГУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, 2018-2020);
6. Научная конференция «Presenting academic achievements to the world» (СГУ им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, 2016, 2018);
7. Студенческие конференции факультета нелинейных процессов (СГУ им. Н.Г.Чернышевского, Саратов, 2017-2019).

Материалы диссертации были использованы при выполнении грантов:

1. Оценка степени синхронности поведения взаимодействующих систем по временному ряду (модельные системы и нейрофизиологические данные). Грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-4574.2016.2 (руководитель – д.ф.-м.н., профессор Москаленко О.И);
2. Обобщенная синхронизация однонаправленно и взаимно связанных сосредоточенных и распределенных систем, характеризующихся несколькими положительными показателями Ляпунова. Грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-531.2018.2 (руководитель – д.ф.-м.н., профессор Москаленко О.И);
3. Теоретическое и экспериментальное исследование перемежающегося поведения вблизи границ различных типов синхронизации в связанных системах и сетях со сложной топологией аттрактора. Грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых № МД-21.2020.2 (руководитель – д.ф.-м.н., профессор Москаленко О.И.);
4. Фундаментальные закономерности процессов установления/разрушения динамических режимов и переходов между ними в сложных нелинейных системах. Грант Российского научного фонда № 19-12-00037 (руководитель – д.ф.-м.н., профессор Короновский А.А.).

По результатам диссертационной работы были зарегистрированы программы ЭВМ:

1. А.Д. Плотникова, О.И. Москаленко, А.А. Короновский, Программа для расчета вероятности детектирования фазовой синхронизации по ансамблю с возможностью управления количеством осцилляторов, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661003, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Дата государственной регистрации 16.09.2020.
2. О.И. Москаленко, А.А. Короновский, А.Д. Плотникова, Программа для детектирования обобщенной синхронизации в системах с запаздыванием, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661004, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Дата государственной регистрации 16.09.2020.
3. О.И. Москаленко, А.А. Короновский, А.Д. Плотникова, Программа для расчета спектра показателей Ляпунова в системах с запаздыванием, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661348, Официальный бюллетень Реестра программ для ЭВМ. Дата государственной регистрации 22.09.2020.

Публикации

По результатам диссертационной работы опубликовано 17 работ, из них 7 статей в центральных реферируемых научных журналах, входящих в системы цитирования Web of Science, Scopus, РИНЦ, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук:

1. **Плотникова А.Д. (Колоскова А.Д.)**, Москаленко О.И. Определение степени синхронности перемежающейся фазовой синхронизации по данным электроэнцефалограмм человека // Письма в ЖТФ. 2017. – Т. 43. – Вып.10. – С. 102-110.
2. Moskalenko O.I., **Plotnikova A.D. (Koloskova A.D.)**, Zhuravlev M.O., Koronovskii A.A., Hramov A.E. Intermittent phase synchronization in human epileptic brain // Proc. SPIE. 2017. - Vol. 10063. – P. 1006316.

3. **Плотникова А.Д. (Колоскова А.Д.)** Определение степени синхронности перемежающейся фазовой синхронизации по данным ЭЭГ лабораторных животных // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2017. – Т. 25. – № 5. – С. 26-34.
 4. **Плотникова А.Д. (Колоскова А.Д.), Москаленко О.И., Короновский А.А.** Метод расчета спектра показателей Ляпунова для систем с запаздыванием // Письма в ЖТФ. 2018. – Т. 44. – Вып. 9. – С. 19-25.
 5. **Плотникова А.Д., Москаленко О.И.** Особенности обобщенной синхронизации в системах с запаздыванием // Письма в ЖТФ. 2019. – Т. 45. – Вып. 11. – С. 31-33.
 6. **Плотникова А.Д., Москаленко О.И.** Обобщенная синхронизация в однонаправленно связанных системах с запаздыванием // Известия РАН. Серия физическая. 2020. – Т. 84. – № 1. – С. 87-89.
 7. **Moskalenko O.I., Koronovskii A.A., Plotnikova A.D.** Peculiarities of generalized synchronization in unidirectionally and mutually coupled time-delayed systems // Chaos, Solitons & Fractals. 2021. - Vol. 148. – P. 111031.
- В работе Плотниковой А.Д. не содержится материал или отдельные результаты без ссылок на авторов и источники заимствования.

Общая оценка диссертации

Диссертационная работа «Использование показателей Ляпунова для изучения сложной динамики и синхронного поведения в радиофизических генераторах с запаздыванием и реальных нейрофизиологических системах» является логически законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи радиофизики, направленной на изучение сложной динамики и различных типов хаотической синхронизации динамических систем с использованием расчета спектра показателей Ляпунова.

Основные положения и результаты диссертации в полной мере опубликованы в научных статьях и материалах конференций. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 1.3.4. – «Радиофизика». Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых

степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Использование показателей Ляпунова для изучения сложной динамики и синхронного поведения в радиофизических генераторах с запаздыванием и реальных нейрофизиологических системах» Плотниковой Анастасии Дмитриевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4.– «Радиофизика» как удовлетворяющая критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» для кандидатских диссертаций.

Заключение принято на объединенном научном семинаре кафедр физики открытых систем, электроники, колебаний и волн и нелинейной физики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений СГУ. На заседании присутствовало 15 человек, из них 7 докторов наук и 8 кандидатов наук по профилю диссертации. Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – нет, воздержались – нет (протокол № 1301 от 28 апреля 2022 г.).

Заведующий кафедрой
физики открытых систем
института физики
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»,
д.ф.-м.н., профессор



410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83
Тел.: +7 (8452) 27 - 14 - 96
e-mail: alexey.koronovskii@sgu.ru

Короновский Алексей Александрович

