

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.166.20
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НИЖЕГОРОДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 19 мая 2022 года
протокол № 10/22

О присуждении Барабашу Никите Валентиновичу ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Аттракторы в кусочно-гладких системах лоренцевского типа и синхронизация фазовых осцилляторов» по специальности 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление принята к защите 4 марта 2022 года, протокол № 06/22 диссертационным советом Д 212.166.20, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» (далее ННГУ) Министерства науки и высшего образования России, 603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, приказ № 95/нк от 09.02.2015.

Соискатель Барабаш Никита Валентинович, 1992 года рождения, в 2016 году окончил специалитет ННГУ, в 2020 окончил аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (далее ВГУВТ), в настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории динамического хаоса ННГУ по основному месту работы на половину ставки, а также в должности ассистента кафедры математики ВГУВТ внешним совместителем на четверть ставки.

Диссертация подготовлена на кафедре математики ВГУВТ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Белых Владимир Николаевич работает в ВГУВТ в должности заведующего кафедрой математики.

Официальные оппоненты:

Жиров Алексей Юрьевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры математики, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (г. Москва)

Кашенко Илья Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой математического моделирования, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова» (г. Ярославль)

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация нижегородский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» в своем **положительном заключении**, подписанном заведующей кафедрой фундаментальной математики, доктором физико-математических наук, доцентом **Починкой Ольгой Витальевной** указала, что диссертация удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.

В отзыве указано, что диссертация посвящена решению актуальных задач современной нелинейной динамики, а ее результаты существенны для теории хаотических аттракторов и теории синхронизации фазовых осцилляторов. Выносимые на защиту положения формулируются в главах диссертации в форме теорем и сопровождаются ясными доказательствами. Результаты работы полно отражены в 8 статьях, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для публикации результатов диссертаций ВАК Минобрнауки РФ, а также докладывались соискателем на многочисленных международных конференциях и семинарах. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации **опубликованы** в 8 работах в журналах общим объемом 8 п.л. (личный вклад – 4 п.л.), рекомендованных ВАК РФ при защите по специальности 01.01.02 и индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus (Q1 и Q2), четыре из которых опубликованы в издании Q1. Опубликованные результаты получены соискателем самостоятельно, а также совместно с сотрудниками ВГУВТ, ННГУ и Государственного университета Джорджии (США). А именно, аналитические результаты получены совместно с научным руководителем; постановка задач и обсуждение полученных результатов были выполнены совместно с соавторами И.В. Белых, Г.В. Осиповым, Т.А. Лева-

новой и научным руководителем В.Н. Белых; И.В. Белых также принадлежит редактирование работ, выполненных в соавторстве. Все численные результаты получены лично соискателем. В опубликованных работах отражены все основные положения и ключевые результаты диссертации, представленной к защите. В диссертации отсутствуют некорректные заимствования, а также недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые **научные работы** по теме диссертации:

1. **Н. Барабаш**, В. Белых. Пороги синхронизации в ансамбле фазовых осцилляторов Курамото со случайно мигающими связями // Известия вузов. Радиофизика. — 2017. — Т. 60, № 9.
2. V. N. Belykh, **N. V. Barabash**, I. V. Belykh. A Lorenz-type attractor in a piecewise-smooth system: Rigorous results // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. — 2019. — Т. 29, № 10. — С. 103108.
3. **N. V. Barabash**, V. N. Belykh. Non-stationary attractors in the blinking systems: ghost attractor of Lorenz type // Cybernetics and Physics. — 2019. — Т. 8, № 4. — С. 209—214.
4. **N. V. Barabash**, V. N. Belykh. Chaotic driven maps: Non-stationary hyperbolic attractor and hyperchaos // The European Physical Journal Special Topics. — 2020. — Т. 229, № 6. — С. 1071—1081.
5. **N. V. Barabash**, T. A. Levanova, V. N. Belykh. Ghost attractors in blinking Lorenz and Hindmarsh–Rose systems // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. — 2020. — Т. 30, № 8. — С. 081105.
6. **В. Белых**, Н. Барабаш, И. Белых. Бифуркации хаотических аттракторов в кусочно-гладкой системе лоренцевского типа // Автомат. и телемех. — 2020. — Т. 81, № 8. — С. 1385—1393.
7. V. N. Belykh, **N. V. Barabash**, I. V. Belykh. Sliding homoclinic bifurcations in a Lorenz-type system: Analytic proofs // Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science. — 2021. — Т. 31, № 4. — С. 043117.
8. **N. V. Barabash**, V. N. Belykh, I. V. Belykh, G. V. Osipov. Partial synchronization in the second-order Kuramoto model: an auxiliary system method // Chaos. — 2021. — Т. 31, № 11. — С. 113113.

На **автореферат** поступил отзыв доктора технических наук, профессора кафедры вычислительной техники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ), научного руководителя Международной научной ла-

боратории динамики негладких систем ЮЗГУ, профессора Жусубалиева Жаныбая Турсунбаевича. Отзыв положительный, содержит следующие замечания:

1. На мой взгляд, автореферат перегружен «терминологическим жаргоном», например, «бифуркации типа складки», вместо седло-узловой бифуркации, «геометрические механизмы...» (стр. 5.) и т.д.

2. Термин «border collision» был введен Nusse Н.Е., Yorke J.A. для кусочно-гладких отображений, но не для векторных полей (стр.5). Негладкие отображения «сшиваются» из отдельных гладких функций, области определения которых, разделены так называемыми многообразиями переключения. При вариации параметров, например, неподвижная точка попадает на одну из границ, разделяющей области определения гладких функций. Это приводит к специфическим перестройкам фазового пространства из-за нарушения условий существования неподвижной/периодической точки. Такие топологические перестройки фазового пространства отображений и названы Nusse Н. Е., Yorke J.A. «border collision bifurcations». На стр. 5 какая-то путаница между бифуркациями в векторных полях и отображениях.

3. Мне было очень сложно понять результаты, относящиеся к первой главе, без чтения публикаций [4,5,7] (см. в конце автореферата). Так, например, на стр. 12-13 не хватает уравнения движения по поверхности разрыва (уравнения для скользящих движений), а на стр. 13 автор только констатирует, что построено двумерное разрывное отображение (1.22) и перечисляет то, что сделано далее. Некоторые трудности связаны с нехваткой иллюстративного материала. Для того чтобы разобраться с динамикой отображения (1.22) и уравнения (1.1), приходится обращаться к статьям [4, 5, 7] или диссертации.

На диссертацию поступили отзывы:

Нижегородский филиал **ФГАОУ ВО НИУ ВШЭ** (ведущая организация), доктора физико-математических наук, профессора кафедры математики **ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»** (г. Москва) профессора **А.Ю. Жирова** (официальный оппонент),

доктора физико-математических наук, заведующего кафедрой математического моделирования **ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»** (г. Ярославль) доцента **И.С. Кащенко** (официальный оппонент).

Все отзывы положительные, имеются следующие замечания:

1. В разделе 2.1. «Управляемые отображения» в Определении 2.1.1 нестационарного гиперболического аттрактора (стр. 75) используется понятие инвариантных конусов. Для большей ясности целесообразно было бы ввести это понятие перед Определением. (замечание ведущей организации)

2. Традиционно аттрактор определяют через пересечение образов поглощающей области. В Определении 2.1.1 (стр. 75) это утверждение отсутствует. (замечание ведущей организации)

3. В разделе 1.1.3. «Скользящие движения» (стр. 24) автор доопределяет динамическую систему на границе склейки согласно методу А.Ф. Филиппова. Автор не упоминает, что доопределить систему можно и иначе и в данном случае никак не поясняет свой выбор. (замечание официального оппонента А.Ю. Жирова)

4. В главах 1 и 2 используется понятие «сингулярно-гиперболический аттрактор», при этом термины «сингулярный» и «гиперболический» подразумеваются известными. Возможно, не лишним было бы их уточнить и обосновать использование. (замечание официального оппонента А.Ю. Жирова)

5. То же самое относится к определениям нескольких динамических систем в главе 2 (мигающие системы, гиперхаотический аттрактор), вместо которых автор ограничивается литературными ссылками, а определение аттрактора призрака вовсе не аккуратно. (замечание официального оппонента А.Ю. Жирова)

6. Все статьи написаны соискателем в соавторстве с научным руководителем и старшими коллегами. Это затрудняет понимание личного вклада. Несмотря на то, что личные публикации не требуются ВАК, наличие такой статьи усилило бы общее положительное впечатление по диссертации. (замечание официального оппонента И.С. Кащенко)

Указанные недостатки никак не снижают научной ценности работы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается следующим: доктор физико-математических наук, профессор А.Ю. Жиров является известным специалистом в теории гиперболических аттракторов; доктор физико-математических наук, доцент И.С. Кащенко является известным специалистом в области динамических систем и дифференциальных уравнений.

Выбор ведущей организации обосновывается высокой квалификацией сотрудников ведущей организации в области теории динамических систем, и, в частности, гиперболической теории, а также наличием трудов по теории бифуркаций и хаотическим аттракторам (в т.ч. лоренцевского типа), которые близки к тематике диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

доказано существование сингулярно-гиперболического аттрактора лоренцевского типа в кусочно-линейной системе, имитирующей систему Лоренца. В явном виде получен каскад бифуркаций коразмерности 1, приводящий к рождению аттрактора;

доказано, что появление скользящих движений в аттракторе приводит к новому неожиданному бифуркационному сценарию, когда в результате гомоклинических бифуркаций седла с положительной седловой величиной рождаются устойчивые периодические орбиты;

доказано существование последовательности скользящих гомоклинических бифуркаций, приводящих к рождению хаотического аттрактора лоренцевского типа. В частности, в явном виде получен скейлинг-фактор для бифуркаций удвоения периода, связанных с многообходными гомоклиническими орбитами и образованием квазиаттрактора;

доказано существование нестационарного сингулярно-гиперболического аттрактора в конкретном двумерном неавтономном отображении, а также гиперхаотического аттрактора в автономном трёхмерном отображении;

предложен метод синтеза аттракторов-призраков в мигающих системах на примере мигающих систем Лоренца и Хиндмарша-Роуза;

получены явные достаточные условия устойчивой частичной синхронизации сети из произвольного числа глобально связанных двумерных осцилляторов Курамото.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

впервые построена кусочно-линейная система ОДУ, моделирующая поток динамической системы, позволяющая провести нелокальный анализ её сингулярно-гиперболического аттрактора и бифуркаций;

предложено развитие метода двумерных систем сравнения для построения поглощающих областей в фазовом пространстве ансамблей связанных фазовых осцилляторов;

предложен метод синтеза аттракторов-призраков в системах ОДУ.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается широким выбором приложения рассматриваемых конкретных динамических систем, моделирующих синхронизацию в ансамблях осцилляторов, цифровые системы автоподстройки частоты, переключательную активность технических систем, активность нейронных сетей. Полученные в диссертации результаты **могут применяться** в исследованиях, проводимых в профильных научных центрах в России и за рубежом.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

результаты являются новыми, строго доказанными, обоснованными и прошедшими апробацию на многочисленных российских и международных конференциях и семинарах;

положения, представленные в диссертационной работе, **согласуются** с ранее известными численными и аналитическими результатами об аттракторах лоренцевского типа и гиперболических аттракторах двумерных отображений, а также с результатами о синхронизации в ансамблях связанных фазовых осцилляторов, изложенных в работах В.С. Афраймовича, В.В. Быкова, Л.П. Шильникова, Дж. Гукенхаймера, Д.В. Тураева, А.Л. Шильникова, Х. Осинги, Д.В. Аносова, В.З. Гринеса, В.Н. Белых, И.В. Белых, М. Хаслера, Г.В. Осипова и других исследователей. Соискателем получены новые результаты, дополняющие и улучшающие результаты упомянутых авторов.

Личный вклад соискателя состоит в

1. доказательстве рождения сингулярно-гиперболического аттрактора в предложенной кусочно-линейной системе лоренцевского типа;

2. доказательстве того, что появление скользящих движений в аттракторе приводит к рождению устойчивых предельных циклов от гомоклинических орбит седла с положительной седловой величиной;

3. доказательстве существования последовательности скользящих гомоклинических бифуркаций, приводящих к рождению хаотического аттрактора лоренцевского типа;

4. доказательстве существования нестационарного сингулярно-гиперболического аттрактора двумерного неавтономного отображения и гиперхаотического аттрактора автономного трёхмерного отображения;

5. предложении метода синтеза аттракторов-призраков в мигающих системах ОДУ, полученных из систем Лоренца и Хиндмарша-Роуза;

6. получении в явном виде достаточных условий устойчивой частичной синхронизации конечномерной сети глобально нелинейно связанных двумерных осцилляторов Курамото;

а также в подготовке публикаций и участии в апробациях по теме диссертационного исследования.

Диссертация Н.В. Барабаша является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, имеющих существенное значение для развития теории динамических систем и теорию динамического хаоса. Она соответствует всем требованиям, предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, обозначенным в пунктах 9-14 «Положения о порядке присуждения ученой степени», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г.

На заседании 19 мая 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Барабашу Никите Валентиновичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.02 – дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление.

При проведении заседания в удаленном интерактивном режиме тайным электронным голосованием диссертационный совет в количестве 17 человек (14 человек присутствовало лично, 3 человека - в удаленном интерактивном режиме), из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет.

Председатель
диссертационного совета
Д.212.166.20



Стронгин Роман Григорьевич

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д.212.166.20

Бирюков Руслан Сергеевич

19 мая 2022 года