

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.340.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО"
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.02.2023 г. № 57

О присуждении Муняеву Вячеславу Олеговичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Синхронизация и хаос в ансамблях связанных ротаторов» по специальности 1.3.4. – Радиофизика принята к защите 16 ноября 2022 г., протокол № 51, диссертационным советом 24.2.340.03, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, приказом Рособрнадзора № 1990-1015/130 от 4 сентября 2007 г.

Соискатель, Муняев Вячеслав Олегович, 22 ноября 1986 года рождения, окончил с отличием магистратуру физического факультета Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского в 2016 году. В 2020 году окончил аспирантуру Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по направлению подготовки 01.06.01 – Математика и механика направленность 01.01.02 – Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление (квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь»). Справка об обучении в образовательной организации от 07.06.2021 № 044/21. В 2020 году был зачислен в качестве экстерна в ННГУ им. Н.И. Лобачевского для сдачи кандидатского экзамена по направленности 01.04.03 – Радиофизика. Справка об обучении в образовательной организации от 07.06.2021 № 045/21. С октября 2016 года по настоящее время работает в «Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского» на кафедре теории управления и динамики систем Института информационных технологий, математики и механики, с октября 2021 года в должности преподавателя.

Диссертация выполнена на кафедре теории управления и динамики систем института информационных технологий, математики и механики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель доктор физико-математических наук, доцент Осипов Григорий Владимирович работает заведующим кафедрой теории управления и динамики систем Института информационных технологий, математики и механики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Официальные оппоненты:

1. Короновский Алексей Александрович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.03 – Радиофизика), заведующий кафедрой физики открытых систем института физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»
2. Станкевич Наталия Владимировна, гражданка Российской Федерации, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.03 – Радиофизика), старший научный сотрудник лаборатории топологических методов в динамике факультета информатики, математики и компьютерных наук федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь, в своем положительном отзыве, утверждённом 24.01.2023 г., подписанном кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры теоретической физики Голдобиным Д.С. и доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой теоретической физики В.А. Деминим, указала, что диссертация Муняева Вячеслава Олеговича удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Муняев Вячеслав Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 — Радиофизика.

Соискатель имеет 28 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в WoS, Scopus и RSCI, опубликовано 5 работ. Основные результаты диссертации были представлены на международных и всероссийских конференциях. Личный вклад соискателя в опубликованные в соавторстве работы заключается в разработке постановок задач, развитии аналитических подходов для их решения, обсуждении и интерпретации полученных результатов, анализе литературных источников по теме

исследования, а также формулировании выводов и подготовке публикаций. Результаты численного моделирования получены соискателем с применением самостоятельно реализованных программных комплексов. Проверка текста диссертации не выявила неправомерных заимствований. Исследования являются оригинальными и представляются к защите впервые. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. M. I. Bolotov, V. O. Munyaev, A. K. Kryukov, L. A. Smirnov, G. V. Osipov. Variety of rotation modes in a small chain of coupled pendulums // *Chaos*. – 2019. – Vol. 29, no. 3. – P. 033109 (Web of Science, Scopus).
2. M. I. Bolotov, V. O. Munyaev, L. A. Smirnov, A. E. Hramov. Symmetry broken states in an ensemble of globally coupled pendulums // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. – 2020. – Vol. 402. – P. 132266 (Web of Science, Scopus).
3. V. O. Munyaev, L. A. Smirnov, V. A. Kostin, G. V. Osipov, A. Pikovsky. Analytical approach to synchronous states of globally coupled noisy rotators // *New Journal of Physics*. – 2020. – Vol. 22, no. 2. – P. 023036 (Web of Science, Scopus).
4. V. O. Munyaev, D. S. Khorkin, M. I. Bolotov, L. A. Smirnov, G. V. Osipov. Synchronization structures in the chain of rotating pendulums // *Nonlinear Dyn.* – 2021. – Vol. 104. – P. 2117–2125 (Web of Science, Scopus).
5. V. O. Munyaev, D. S. Khorkin, M. I. Bolotov, L. A. Smirnov, G. V. Osipov. Appearance of chaos and hyperchaos in evolving pendulum network // *Chaos*. – 2021. – Vol. 31, no. 6. – P. 063106 (Web of Science, Scopus).

На диссертацию и автореферат поступило 3 отзыва от:

1. Вадивасовой Татьяны Евгеньевны, доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика, профессора кафедры радиофизики и нелинейной динамики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».
2. Клиньшова Владимира Викторовича, доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика, ведущего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской Академии наук».
3. Прохорова Михаила Дмитриевича, доктора физико-математических наук по специальности

01.04.03 – Радиофизика, доцента, профессора РАН, главного научного сотрудника Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А Котельникова РАН.

Все отзывы **положительные**. В отзывах отмечается актуальность темы исследования, новизна полученных результатов и их значимость для науки и практики.

В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания.

Замечания из отзыва ведущей организации.

Решение (4.23) является аналитической функцией частоты. С использованием Теоремы о вычетах, многие задачи среднеполевого описания для гетерогенных систем с дробно-рациональным распределением параметра (например, распределение Лоренца) могут быть сведены к алгебраическим уравнениям или нульмерным динамическим системам (см., например, §3.2 в [Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука. 1984.]). Встает вопрос, может ли Теорема о вычетах применяться для результата (4.23). Это зависит от свойств аналитического продолжения на комплексную плоскость неоднородного параметра. Анализ поведения на полной комплексной плоскости заслуживает внимания, даже если он покажет, что применение Теоремы о вычетах невозможно (как, например, в приложении работы [di Volo M. *et al.* // Chaos. – 2022. – Vol. 32. – 023120.]).

Если работать с модифицированным уравнением Смолуховского, полученным для плотности вероятности в Приложении Е, в Фурье-пространстве, то вопрос о возможности применения Теоремы о вычетах остается открытым — для лоренцева распределения частот возможность замыкания контура интегрирования для $a_{0,1}(\omega)$ необоснованна. Однако, интересен вопрос о формальном приближении — записать уравнения, какими они были бы при допустимом замыкании, и сопоставить результат с тем, что дает интегрирование точного аналитического выражения (4.23) с распределением Лоренца. Практическую важность такого приближения, если оно возможно, для работ по влиянию второй гармоники в связи на кластеризацию, невозможно переоценить.

Замечания из отзыва официального оппонента Короновского А.А.

Диссертация содержит шесть приложений и в ряде случаев (как, например, в первой главе работы, стр. 22-23) вынесение существенного материала из основного текста в приложение затрудняет чтение диссертации и снижает понятность и прозрачность изложения. Безусловно, вынесение изолированных и внутренне самодостаточных смысловых частей в приложения в ряде случаев обоснованно и имеет смысл, но в данной диссертационной работе, на мой взгляд, автор несколько излишне сместил баланс в сторону размещения материалов диссертации в

приложениях.

Несомненным достоинством и сильной стороной диссертационной работы является сбалансированное сочетание использования аналитических и численных методов. В то же самое время, при прочтении почти всей диссертационной работе (за исключением четвертой главы) складывается впечатление недостаточного сопоставления и взаимосогласования результатов численного и аналитического рассмотрения. На мой взгляд, диссертационная работа смотрелась бы более целостно и более выигрышно, если бы автор на протяжении всей диссертационной работы более настойчиво использовал тот же принцип, который он с блеском применил в четвертой главе диссертации.

Несколько странно оформлен список литературы.

Замечания из отзыва официального оппонента Станкевич Н.В.

В первой главе показано появление так называемой “drum-head”-моды. Явление заключается в том, что в цепочке из трех осцилляторов крайние элементы, не связанные друг с другом, синхронны, а средний – нет. Обзор литературы по данной тематике в диссертации ограничен 4 работами, что мне кажется недостаточным. При этом в литературе существуют два других термина, такие как удаленная синхронизация (remote synchronization) и опосредованная, которые также применяются к подобным явлениям для звездчатых топологий ансамблей. Было бы логичным рассмотреть в деталях не «вырожденный» ансамбль звездчатого типа – три локально связанных осциллятора, как это сделано в диссертационной работе, а увеличить ансамбль на один элемент и исследовать в нем синхронизацию такого типа.

Во второй главе показано формирование гиперхаоса для цепочки из 7 элементов. На рис. 2.6 представлен спектр, где для связи $K=0.1$ видны четыре положительных показателя Ляпунова, при этом на рис. 2.7 указано, что их пять. Хотелось бы понять, с чем связано расхождение. Также на графике показателей мы видим какие-то особенные режимы, где, например, три старших показателя Ляпунова равны нулю, или, где хаос, помимо положительных показателей, характеризуется двумя близкими к нулю показателями Ляпунова. Данные особенные режимы не обсуждаются в работе, хотя есть также много литературы по таким видам многомерного хаоса. Нет обзора результатов по гиперхаосу в больших ансамблях, или например, в системах с запаздыванием, которые похожи на те, что представлены в работе.

При исследовании цепочки из трех осцилляторов в первой главе представлены графики показателей Ляпунова, где локализованы области хаоса. При этом по результатам второй главы в такой цепочке должен появиться гиперхаос с двумя положительными показателями Ляпунова. Не совсем понятно, почему для цепочки из трех осцилляторов гиперхаос не продемонстрирован.

Не проводился анализ показателей Ляпунова для ансамбля с глобальной связью, поэтому непонятно возможно ли возникновение гиперхаоса в таком ансамбле.

Есть некоторые терминологические вопросы. Помимо уже упомянутого использования drum-head-моды, автор иногда употребляет выражение «наибольший показатель Ляпунова», в то время как устоявшийся термин – «старший показатель Ляпунова».

По тексту диссертации имеются незначительные опечатки, стилистические ошибки. Также структура диссертации в некоторых местах не очень удобна для читателя, т.к. рисунки сильно удалены от текста, который их описывает. Было бы лучше в таких случаях рисунки поместить на отдельные страницы.

Замечание из отзыва на автореферат Вадивасовой Т.Е.

В автореферате при изложении материала первой главы диссертации недостаточно пояснены аналитические методы, позволяющие установить границы областей неустойчивости синфазных вращений и связать характер несинфазных режимов с длиной цепочки.

Ничего не говорится о средних частотах вращения элементов ансамбля после потери устойчивости синфазным режимом, в том числе в режиме хаотических вращений. Являются ли средние частоты одинаковыми (т.е. сохраняется ли частотный синхронизм)?

Результаты четвертой главы изложены слишком кратко. Нет пояснения методов аналитического решения уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова и получения выражения (6), не все используемые в выражении (6) обозначения пояснены в тексте. В описании раздела 4.5 не приведено каких-либо результатов.

Из текста автореферата не вполне понятно, какая разница полагается между ротаторами и фазовыми осцилляторами. Например, элементы глобального ансамбля, рассмотренного в четвертой главе, названы инерционными ротаторами. В уравнении (5) заменой времени легко убрать параметр при второй производной, получив отличный от единицы коэффициент диссипации, как в уравнениях (2) и (4), однако в (5) нет нелинейности (синуса). Согласно данной во вводной части классификации, это – ансамбль фазовых осцилляторов с инерцией.

Замечание из отзыва на автореферат Клиньшова В.В.

Использование знаков тире перед формулами в списке на стр. 3 может вводить в заблуждение, так как этот знак может быть принят за минус.

Не совсем понятен смысл выделения области перекрытия различных интервалов неустойчивости I_n на Рис. 3, который отчасти проясняется только во второй главе.

На стр. 16 непонятно, какое число перекрывающихся областей неустойчивости можно

считать «большим».

Кажется не совсем корректным называть бифуркацией «удвоения периода» бифуркацию, при которой одновременно рождается несколько $(N-1)$ периодических режимов, этот сценарий требует дополнительного разъяснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается значительным опытом выполнения ими научно-исследовательских работ по тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлено следующее.

Доказано, что количество областей неустойчивости (по параметру силы связи) синфазного вращения в цепочках локально связанных идентичных маятников с диссипацией и постоянным внешним моментом на единицу меньше количества элементов цепочки. Развитие неустойчивости приводит к установлению различных несинфазных вращательных режимов, вид которых однозначно определяется параметрами системы.

Установлено, что рост диссипации приводит к рождению хаотических аттракторов, характеризующихся различными типами вращательной динамики. Переход к хаосу возможен через последовательность бифуркаций удвоения периода периодических вращений и через бифуркацию разрушения инвариантных торов; хаос может возникать при изменении длины цепочки. Реализующийся в системе хаос может быть многомерным, при этом его размерность квазилинейно коррелирует с длиной цепочки.

Показано, что ансамбль глобально связанных идентичных маятников имеет единственную область неустойчивости синфазного режима по параметру силы связи. Развитие неустойчивости синфазного вращения приводит к одновременному рождению кластерных вращательных режимов с нарушенной симметрией. При этом реализуются только двух- и трехкластерные режимы. Установлены сценарии развития хаотической вращательной динамики.

Получены приближенные аналитические результаты для больших ансамблей глобально связанных неидентичных слабо-инерционных ротаторов с шумом, позволяющие описать зависимость параметра порядка от величины силы связи и определить тип перехода к синхронизму (суперкритический или субкритический, в зависимости от параметра инерции).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в диссертации впервые построена классификация кластерных режимов для цепочек локально связанных идентичных маятников; установлены закономерности перехода между ними при изменении величины силы связи. Разработано систематическое описание сценариев развития вращательной хаотической динамики в данных системах, обнаружена квазилинейная корреляция между размерностью

гиперхаоса и длиной цепочки. Найдена область параметров системы глобально связанных идентичных маятников, при которых синфазный вращательный режим является неустойчивым; определены сценарии развития хаотической вращательной динамики; найдены асимптотические решения для вращательных решений и исследована их устойчивость в случае малой диссипации. Построено аналитическое описание стационарных синхронных режимов в больших ансамблях глобально связанных ротаторов с шумом и малой инерцией.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что разработанные в диссертации методы могут быть использованы для управления процессами образования сложных пространственно-временных структур в ансамблях фазовых систем с инерцией, в частности, частично синхронных структур в оптомеханических системах, системах фазовой синхронизации, сетях нейронов и многих других.

Оценка достоверности полученных результатов исследования выявила, что изложенные в диссертационной работе результаты подтверждаются их согласием с результатами исследований других авторов в данной области, воспроизводимостью результатов в ходе численного моделирования с использованием различных вычислительных методов, а также соответствием теоретических выводов диссертации результатам проведенных численных экспериментов.

Личный вклад соискателя состоит в участии в постановке задач, аналитических и численных расчетах, обсуждении и интерпретации результатов. Результаты численного моделирования получены диссертантом с помощью самостоятельно разработанных программных комплексов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- 1) Не вполне ясно, каким образом соотносятся понятия "ротатор" и "осциллятор", используемые в диссертации.
- 2) Не хватает указаний конкретных физических систем, к которым могут быть применены полученные результаты.

Соискатель Муняев В.О. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

- 1) Соискатель согласился с замечанием и привел определение понятия "ротатор", используемое в работе: под термином "ротатор" в работе понимается динамическая система, имеющая в качестве переменных фазу и её производные по времени, демонстрирующая процесс неограниченного роста фазы, т.е. вращение. В свою очередь, термин "осциллятор" применяют к системам, совершающим колебания, то есть их состояние периодически повторяется во времени.

- 2) Соискатель согласился с замечанием и привел ряд примеров: массивы джозефсоновских контактов, системы фазовой синхронизации, исследование коллективного поведения лазеров.

На заседании 15.02.2023 г. диссертационный совет принял решение за решение научной задачи, имеющей значение для развития радиофизики, присудить Муняеву В.О. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек из них 8 докторов наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени — 17, против присуждения ученой степени — 0, недействительных бюллетеней — 0.

Председатель
диссертационного совета



Гурбатов Сергей Николаевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Клюев Алексей Викторович

15.02.2023