

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПФ РАН,
академик РАН Г.Г. Денисов



« 10 » мая 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

по диссертации Емельяновой Анастасии Александровны «Смешанная динамика в коэволюционных ансамблях осцилляторов Курамото» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.4. Радиофизика.

Работа выполнена в отделе нелинейной динамики (отд. 310) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Научный руководитель – Некоркин Владимир Исаакович, заведующий отделом нелинейной динамики ИПФ РАН, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН.

В 2020 г. соискатель учёной степени окончила магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" по направлению подготовки 03.04.03. Радиофизика.

Сроки обучения в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»: с 1 сентября 2020 года по 30 июня 2024 года.

Свидетельство об окончании аспирантуры № 105200 00000014 от 20 мая 2024 года.

В период подготовки диссертации соискатель Емельянова Анастасия Александровна работала младшим научным сотрудником в отделе нелинейной динамики (отд. 310) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Личное участие аспиранта в получении результатов, изложенных в диссертации

Все приведенные в диссертации результаты получены либо лично аспирантом, либо при его непосредственном участии. В частности, аспирантом выполнены все присутствующие в работе численные расчёты и реализованы алгоритмы разработанных методов. Численные расчёты выполнялись на основе оригинальных программ, созданных

диссертантом самостоятельно, а также с использованием программы с открытым исходным кодом.

Научная новизна и основные результаты диссертационного исследования

1. Впервые предложены необратимые системы с третьим типом хаоса — смешанной динамикой, представляющие собой коэволюционные ансамбли Курамото.

2. Разработаны аналитические и численные методы установления пересечения хаотического аттрактора с хаотическим репеллером, введены и исследованы характеристики смешанной динамики в необратимых коэволюционных ансамблях осцилляторов Курамото.

3. Установлено, что при действии внешней силы на ансамбль осцилляторов Курамото с симплексными адаптивными связями первого порядка, находящийся в режиме смешанной динамики, фрактальная размерность как хаотического аттрактора, так и обратимого ядра, характеризующая отличие их фрактальной структуры от структуры классического многообразия, уменьшается.

4. Выделены условия на параметры функции адаптации, при которых ансамбли Курамото демонстрируют синхронизацию как в случае симплексных связей первого порядка, так и в случае симплексных связей второго порядка.

5. Впервые показано, что процесс разрушения синхронных режимов в коэволюционных сетях осцилляторов Курамото при изменении параметра, характеризующего правило адаптации, происходит иерархически. При этом в случае симплексных связей первого порядка разрушение происходит через состояния частичной синхронизации, а в случае симплексных связей второго порядка имеет место резкий, скачкообразный переход к асинхронному режиму.

6. Предложена система с дискретным временем, на основе которой реализован генератор шумоподобных колебаний в режиме смешанной динамики. Установлено, что в случае третьего типа хаоса спектральная плотность мощности колебаний более равномерно распределена по частотам, чем в случае классического диссипативного хаоса в той же системе.

7. Продемонстрировано, что ансамбли Курамото с адаптивными симплексными связями первого и второго порядков можно рассматривать как модели спайковых нейронных сетей. При этом в случае смешанной динамики ансамбль осцилляторов Курамото воспроизводит сложные спайковые последовательности, которые не могут быть реализованы в рамках хаотической диссипативной динамики.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Все представленные результаты диссертационного исследования являются достоверными и обоснованными. В работе применялись надежные и апробированные методы и подходы. Разработанные алгоритмы и программы для численного моделирования тщательно тестировались на известных моделях. Полученные аналитические и численные результаты хорошо согласуются между собой. Для дискретной модели Курамото результаты исследования подтверждены экспериментально

на ПЛИС. Положения и основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых российских и зарубежных научных журналах и подвергались оценке независимых международных экспертов. Результаты докладывались на всероссийских и международных симпозиумах, конференциях, школах и обсуждались на научных семинарах.

Практическая и теоретическая значимость результатов исследования

Разработанные методы исследования смешанной динамики могут быть полезны при изучении других систем. Реализованный на программируемой логической интегральной схеме генератор шумоподобных колебаний в режиме смешанной динамики может быть востребован при построении новых перспективных систем коммуникации и кодирования информации. Предложенные в работе правила адаптации межэлементных связей могут быть востребованы при построении новых моделей реальных нейронных сетей, обладающих сложной структурной организацией и пластичностью.

Список работ, опубликованных в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук

1. Emelianova A. A., Nekorkin V. I. On the intersection of a chaotic attractor and a chaotic repeller in the system of two adaptively coupled phase oscillators // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. — 2019. — Vol. 29, no. 11. — P. 111102.
2. Emelianova A. A., Nekorkin V. I. The third type of chaos in a system of two adaptively coupled phase oscillators // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. — 2020. — Vol. 30, no. 5. — P. 051105.
3. Emelianova A. A., Nekorkin V. I. Emergence and synchronization of a reversible core in a system of forced adaptively coupled Kuramoto oscillators // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. — 2021. — Vol. 31, no. 3. — P. 033102.
4. Касаткин Д. В., Емельянова А. А., Некоркин В. И. Нелинейные явления в осцилляторных сетях Курамото с динамическими связями // *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. — 2021. — Т. 29, № 4. — С. 635—675.
5. Shchapin D. S., Emelianova A. A., Nekorkin V. I. A chaotic oscillation generator based on mixed dynamics of adaptively coupled Kuramoto oscillators // *Chaos, Solitons & Fractals*. — 2023. — Vol. 166. — P. 112989.
6. Emelianova A. A., Nekorkin V. I. The influence of nonisochronism on mixed dynamics in a system of two adaptively coupled rotators // *Chaos, Solitons & Fractals*. — 2023. — Vol. 169. — P. 113271.
7. Emelianova A. A., Nekorkin V. I. The third type of chaos in a system of adaptively coupled phase oscillators with higher-order interactions // *Mathematics*. — 2023. — Vol. 11, no. 19. — P. 4024.
8. Emelianova A. A., Nekorkin V. I. Adaptation rules inducing synchronization of heterogeneous Kuramoto oscillator network with triadic couplings // *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. — 2024. — Vol. 34, no. 2. — P. 023112.

Ценность научных работ диссертанта отражается высоким уровнем публикаций в рецензируемых международных журналах и призовыми местами на конкурсах студенческих докладов, а также конкурсах молодых специалистов ИПФ РАН. Они неоднократно обсуждались на различных конференциях и семинарах, получили высокую оценку ведущих специалистов и имеют высокую цитируемость.

Результаты, представленные в диссертационной работе, в полной мере изложены в работах, опубликованных соискателем ученой степени. Формулировки результатов изложены в соответствии с личным вкладом автора в каждую из опубликованных статей. Ссылки на источники заимствования материалов оформлены корректно.

Научная специальность, которой соответствует диссертация: 1.3.4. Радиофизика.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 года № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике".

Диссертация «Смешанная динамика в коэволюционных ансамблях осцилляторов Курамото» Емельяновой Анастасии Александровны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.4. Радиофизика.

Настоящее заключение составлено на основании решения Ученого совета отделения нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН по проведению итоговой аттестации по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности: 1.3.4. Радиофизика.

Присутствовало на заседании 19 чел.

Результаты голосования: «за» – 19 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.
протокол № 6 от « 23 » апреля 2024 г.



Стародубцев Михаил Викторович,
доктор физико-математических наук,
Председатель Ученого совета отделения
нелинейной динамики и оптики



Шилягин Павел Андреевич,
кандидат физико-математических наук,
Учёный секретарь отделения нелинейной динамики
и оптики, зам. зав. отделом 340