

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу Емельяновой Анастасии Александровны «Смешанная динамика в коэволюционных ансамблях осцилляторов Курамото», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. — Радиофизика

Емельянова А.А. начала научно-исследовательскую работу под моим руководством в 2016 году, будучи студенткой 3 курса радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского. С 2017 года она работает в отделе нелинейной динамики ИПФ РАН и занимается теоретическим анализом и численным моделированием динамики ансамблей автоколебательных элементов с различными типами межэлементных связей. Под моим руководством она защитила бакалаврскую (2018 г.) и магистерскую (2020 г.) дипломные работы по профилю «Радиофизика». В 2020 году поступила в аспирантуру ИПФ РАН и в 2024 году досрочно и успешно её окончила.

Диссертационная работа Емельяновой А.А. посвящена разработке моделей, демонстрирующих третий тип хаоса — смешанную динамику, в классе коэволюционных ансамблей Курамото с симплексными (первого и второго порядков) и адаптивными межэлементными связями, и выявлению на их основе динамических свойств и характеристик этого нового явления, а также исследованию режимов синхронизации в этом классе систем. В основе моделей лежит парадигмическая модель Курамото, используемая для описания автоколебательных процессов в системах различной природы. В предложенных в диссертации системах связи между взаимодействующими осцилляторами являются не постоянными во времени и меняются в зависимости от состояний элементов (фаз) — так называемые адаптивные, или коэволюционные, связи. Например, применительно к нейродинамике, адаптивные связи отражают свойство нейронной пластичности. Кроме адаптивности, связи в моделях, предложенных в диссертации, являются симплексными, то есть они воспроизводят сложную структурную организацию реальных систем. Например, симплексные связи существуют в нейронных сетях мозга и ансамблях электрохимических осцилляторов. Исследований ансамблей взаимодействующих автоколебательных элементов с одновременно адаптивными и симплексными связями до работы диссертанта практически не было. Большая часть диссертации Емельяновой А.А. посвящена исследованию смешанной динамики в системах такого вида.

Смешанная динамика, характеризующаяся сосуществованием в одной и той же системе консервативных и диссипативных объектов — это новое и актуальное направление в теории детерминированного хаоса, традиционного объекта радиофизики. До работы диссертанта это явление обнаруживалось и изучалось только в обратимых системах, то есть в системах, симметричных относительно обращения времени и преобразования координат. В диссертационной работе приведены первые примеры необратимых систем, демонстрирующих смешанную динамику, и разработаны методы её исследования в этом классе систем. Емельяновой А.А. впервые было исследовано влияние периодического внешнего воздействия на смешанную динамику. В рамках диссертационной работы был реализован первый генератор шумоподобных колебаний в режиме смешанной динамики, спектральные характеристики которых, как показано в диссертации, отличаются от характеристик шумоподобных колебаний в случае классического диссипативного хаоса. Впервые было установлено, что в случае смешанной динамики ансамбль осцилляторов Курамото воспроизводит сложные спайковые последовательности, которые не могут быть реализованы в рамках классической хаотической диссипативной динамики.

Другая часть диссертации посвящена исследованию режимов синхронизации в коэволюционных ансамблях осцилляторов Курамото. Емельяновой А.А. выделены условия на параметры функции адаптации, при которых ансамбли осцилляторов Курамото демонстрируют синхронизацию как в случае симплексных связей первого порядка, так и в случае симплексных связей второго порядка. Ею впервые показано, что процесс разрушения синхронных режимов в коэволюционных сетях осцилляторов Курамото при изменении параметра, характеризующего правило адаптации, происходит иерархически, и 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.

Исследований влияния правила адаптации на синхронизацию в сетях неоднородных осцилляторов Курамото с симплексными связями, насколько известно, до настоящей диссертационной работы не проводилось.

Полученные Емельяновой А.А. результаты обладают как теоретической, так и практической значимостью. Разработанные в диссертации методы исследования третьего типа хаоса 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. Таким образом, все рассмотренные в диссертации направления исследований являются актуальными, а полученные результаты обладают высокой научной новизной.

В ходе работы Емельяновой А.А. был проанализирован большой объём литературы по научным направлениям, касающихся предмета диссертационного исследования. Ею были освоены методы численного моделирования многомерных динамических систем со сложной динамикой, методы исследования синхронизации в сетях осцилляторов Курамото, разработаны и реализованы методы исследования третьего типа хаоса в необратимых коэволюционных ансамблях осцилляторов Курамото и процесса десинхронизации в коэволюционных сетях неоднородных осцилляторов Курамото с симплексными связями. Результаты, изложенные в диссертации, неоднократно докладывались на всероссийских и международных симпозиумах, конференциях, школах и обсуждались на научных семинарах, поэтому диссертантом был приобретён навык публичных выступлений. За время работы Емельянова А.А. проявила себя как активный и перспективный исследователь, владеющий современными методами нелинейной динамики, теории бифуркаций, методами численного моделирования. Полученные в ходе диссертационного исследования научные результаты отмечены призовыми местами на конкурсах докладов конференций и на конкурсе работ молодых учёных ИПФ РАН. Работы диссертанта хорошо известны научной общественности, признаны ведущими специалистами, и многие из них имеют высокую цитируемость.

На основании вышеизложенного, считаю, что представленная диссертационная работа «Смешанная динамика в коэволюционных ансамблях осцилляторов Курамото» соответствует требованиям ВАК, а её автор, Емельянова Анастасия Александровна, достойна присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. — Радиофизика.

Научный руководитель
Заведующий отделом нелинейной динамики,
доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент РАН



В.И. Некоркин

« 06 » мая 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН). Адрес: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46. Телефон: 8 (831) 436-72-91. Адрес электронной почты: vnekorkin@appl.sci-nnov.ru

Подпись В.И. Некоркина удостоверяю.

Ученый секретарь ИПФ РАН,
кандидат физико-математических наук



И.В. Корюкин