

«Утверждаю»

Первый проректор

Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ»



О.В. Нагорнов

1 декабря 2014 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации

Богомолова Юрия Викторовича

«Вопросы синхронизации в нейронных сетях со сложной динамикой»,

представленной на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальности

05.13.18 – Математическое моделирование,

численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы диссертации

Диссертационное исследование Богомолова Юрия Викторовича посвящено изучению процессов синхронизации импульсной активности в нейронных сетях, для которых при некоторых значениях параметров реализуется сложная динамика. В исследованиях, направленных на моделирование или имитирование структуры и свойств нервной системы, а также биологических, физиологических, когнитивных процессов важную роль играет сопоставление особенностей динамики нейросетевой модели с поведением биологического прототипа. Соответственно, модели нейронных сетей со сложной динамикой представляют интерес в силу открытости многих вопросов, связанных с ролью хаоса в нервной системе животных, в нейрофизиологических механизмах памяти и восприятия. Также с точки зрения моделирования и изучения механизмов когнитивных процессов важной задачей является ана-

лиз процессов формирования и разрушения синхронных режимов в искусственных нейросетевых моделях. Это позволяет говорить о том, что тематика представленной работы, находящаяся на стыке отмеченных направлений исследования, является актуальной.

Научная новизна полученных результатов

Перейдем к общему описанию представленной работы, отметим направления исследования и основные результаты. Диссертация Богомолова Ю.В. состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, содержащего 141 наименование, в том числе публикации автора по теме исследования. В тексте диссертации также содержится 26 рисунков и 1 таблица. Общий объем диссертации составляет 104 страницы. Исходные тексты ключевых модулей разработанного автором комплекса программ для численного анализа исследуемых нейросетевых моделей вынесены в приложение.

Во введении автор обосновывает актуальность выбранной тематики, предлагает краткий обзор результатов в данной предметной области, формулирует исходные положения и общий план исследования, описывает структуру работы и ее содержание. Автор рассматривает модель сети на основе формального нейрона МакКаллока-Питтса и две модели, основанные на дифференциальном уравнении с запаздыванием (исходная модель разработана В.В. Майоровым, С.А. Кащенко и И.Ю. Мышкиным, обобщение данной модели предложено С.Д. Глызиным, А.Ю. Колесовым, Н.Х. Розовым). Для этих моделей нейроподобных элементов ставится основная задача выявления в сетях на их основе устойчивых синхронных режимов импульсной активности, изучения областей их существования, особенностей формирования и распада таких режимов.

Первая из данных моделей, функционирующая в дискретном времени, является классической, а сети на основе такой модели изучаются с самого начала исследований в моделировании искусственных нейронных сетей. В то же время, автор получает ряд новых результатов для одной из модификаций нейронной сети МакКаллока-Питтса. Данные результаты представлены в

первой главе представленной диссертации. Для указанной модели предварительно аналитически доказывается неустойчивость стационарных режимов, что позволило автору в дальнейшем рассматривать более простую модель нейросети. В дальнейшем в ходе серии вычислительных экспериментов в данной нейронной сети производится поиск параметров, при которых наблюдается хаотическая динамика соответствующей системы. Для подтверждения хаотичности поведения нейронной сети автор использует численные оценки статэнтропии, основанные на общей методике, предложенной Е.А.Тимофеевым.

Во второй главе диссертации такие нейросетевые системы рассматриваются как генераторы хаотических колебаний, для которых исследуются процессы синхронизации и десинхронизации при однонаправленном воздействии сети-передатчика на сеть-приемник (навязывания импульсной активности нейрона-передатчика нейрону-приемнику и рассинхронизация данных нейронных сетей при других значениях параметров). Автор рассматривает два варианта взаимодействия сетей в данном случае. Основными результатами данной главы являются численное выявление областей существования синхронных режимов для сетей с хаотической динамикой при выбранных типах взаимодействия, а также выполненная оценка числовых характеристик рассогласований нейронных сетей при потере устойчивости синхронных режимов.

Аналогичные задачи рассматриваются и для модели нейроподобных осцилляторов, основанных на дифференциальных уравнениях с запаздыванием. Постановка задач, описание методов исследования и формулировка основных результатов по итогам анализа данных моделей приводятся в третьей главе диссертации. При анализе модели нейрона на основе уравнения с одним запаздыванием выявлены процессы синхронизации импульсной активности пары нейронов, объединенных диффузионной связью с большими значениями коэффициента диффузии (схожий результат был ранее описан для дискретных моделей). Для малых значений параметров автор отмечает раз-

рушение синхронного режима в данной модели нейронной сети. В той же главе исследовались процессы формирования и разрушения синхронных режимов импульсации в цепочках нейроподобных элементов, для динамики которых характерны группы интенсивных импульсов, сменяющихся относительно протяженными промежутками отсутствия импульсной активности (так называемый *bursting-эффект*). Для таких цепочек осцилляторов с диффузионной связью между соседними элементами численно выявлены новые устойчивые автоволновые режимы, отличные от описанных ранее С.Д.Глызиным, А.Ю.Колесовым и Н.Х.Розовым, определены области существования таких режимов, исследованы процессы потери их устойчивости.

Основные результаты исследования приводятся в заключении. К их числу можно отнести следующее:

1. Автором проведен анализ особенностей динамики нейросети на основе одной дискретной модели. Доказана неустойчивость стационарных режимов, разработан и реализован алгоритм численной оценки инвариантных характеристик аттракторов соответствующих динамических систем, что позволило численно обосновать наличие хаотических режимов в динамике сети.
2. Изучены процессы синхронизации и десинхронизации в паре однонаправленно связанных хаотических осцилляторов с различными типами взаимодействия, выявлены области существования устойчивого синхронного режима. Получены оценки числовых характеристик рассогласования сетей в случае десинхронизации.
3. Для пары диффузионно связанных осцилляторов на основе импульсной модели найдены области значений параметров, при которых возможно существование синхронных режимов импульсной активности нейронов сети.
4. Для модификации импульсной модели нейросети исследованы режимы импульсной активности цепи нейроподобных осцилляторов, в динамике которых наблюдается *bursting-эффект*. Найдены области существо-

вания устойчивых волновых режимов, отмечены особенности потери их устойчивости.

Все основные результаты, выносимые на защиту, являются новыми.

Степень обоснованности и достоверности

Научные положения и выводы, представленные в диссертационной работе, имеют аналитические или численные обоснования, что подтверждает их достоверность. Все основные результаты работы были опубликованы в научных печатных изданиях.

Значимость работы

Полученные результаты и методики исследования представляют интерес с точки зрения моделирования специфических для биологических систем режимов импульсной активности в искусственных нейронных сетях.

Рекомендации по использованию результатов

Представленные в работе численно-аналитические методы могут быть адаптированы для более широкого класса задач, связанных с изучением различных нейросетевых моделей, а также других динамических систем. Соответственно, результаты могут быть востребованы в математических центрах, проводящих исследования в области моделирования и анализа нейронных сетей, качественного анализа динамических систем. В том числе результаты могут быть использованы в следующих организациях: МГУ им. М.В.Ломоносова, НИЯУ МИФИ, Нижегородском, Саратовском и Ярославском университете, Южном федеральном университете.

Подтверждение опубликования результатов

Результаты диссертации своевременно опубликованы, в том числе представлены в необходимом количестве публикаций в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК. Также основные положения диссертации были представлены на различных конференциях и семинарах.

По представленной диссертации есть несколько замечаний.

1. Естественным продолжением исследований первой главы работы могло бы быть рассмотрение идентичных по своей топологии нейронных сетей, но на базе различных моделей нейрона. В частности, для исследуемых в работе дискретных моделей нейронных сетей, а также для модели на основе дифференциального уравнения с одним запаздыванием логично было бы рассмотреть цепочки из нейроподобных элементов, аналогичные изученным в третьей главе для модели с двумя запаздываниями.

2. Анализ модели нейронной цепи представлен только для системы из 4 осцилляторов, в то время как аналогичный анализ следовало бы выполнить и для нейронных сетей с другим числом элементов.

В то же время отметим, что указанные замечания носят рекомендательный характер, не умаляют достоинств работы и не влияют на корректность представленного исследования и их результатов.

Заключение

Представленная работа Богомолова Ю.В. представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему и на высоком научном и методическом уровнях, затрагивающее важные вопросы изучения нелинейной динамики нейросетевых моделей и содержащее численно-аналитические методики анализа соответствующих систем. Достоверность данных и полученных результатов не вызывает сомнения. Все выводы в достаточной мере обоснованы. Основные результаты опубликованы в российских рецензируемых журналах, рекомендуемых Минобрнауки для публикации результатов кандидатских диссертаций, представлены в виде докладов на научных конференциях и достаточно полно отражены в автореферате.

Диссертационная работа Богомолова Юрия Викторовича «Вопросы синхронизации в нейронных сетях со сложной динамикой» по актуальности, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых

степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Ю.В. Богомолов заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» за решение задач связанных с исследованием динамики искусственных нейродинамических систем.

Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание.

Отзыв обсуждён и одобрен на заседании кафедры прикладной математики факультета экспериментальной и теоретической физики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», протокол заседания № 9 от 09 сентября 2014 года.

115409; г. Москва, Каширское шоссе, д.31

Зам. зав. кафедры «Прикладная математика»,
д.ф.-м.н., профессор

А.В. Крянев

Доцент кафедры «Прикладная математика»,
к.ф.-м.н.

Д.И. Синельщиков

Председатель «Совета по аттестации и подготовке
научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ»;

д.ф.-м.н., профессор

Н.А. Кудряшов