

ОТЗЫВ

официального оппонента 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.

Диссертационная работа Богомолова Ю.В. посвящена проблемам математического моделирования и последующего анализа биологических структур, связанных с задачами нейродинамики. Основным интересом при этом представляет проблема выявления специфических режимов функционирования модели, присущих исходному биологическому прототипу. Одной из таких особенностей нервной системы является наблюдаемое хаотическое поведение отдельных нейронных структур в процессе восприятия и различных явлений, связанных с памятью. При этом следует отметить, что некоторые особенности отмеченных процессов в головном мозге в последние десятилетия традиционно связываются с образованием ансамблей синхронно функционирующих нейронов и синхронизацией импульсной активности нейронов под внешним воздействием. Соответственно, актуальным является изучение процессов возникновения хаотических режимов в динамике моделей искусственных нейронных сетей, а также исследование особенностей синхронизации и десинхронизации таких сетей.

Наряду с эффектом синхронизации в нейронных ансамблях большое значение имеет задача моделирования генерации импульсных пакетов. При этом устойчивый режим изменений мембранного потенциала представляет собой серии коротких высокоамплитудных всплесков, чередующихся с промежутками относительно медленного изменения данной величины. Такое поведение нейробиологических структур получило название “bursting behavior” и в последнее время моделируется и изучается для ряда искусственных нейронных сетей. Кроме пакетов импульсов в динамике электрической активности нейросетей следует принимать во внимание эффект мультистабильности,

когда у соответствующей динамической системы может сосуществовать большое количество аттракторов. Это явление может интерпретироваться как возможность запоминания с помощью нейросети нескольких информационных образов и позволяет моделировать процессы хранения информации с помощью динамических систем, в частности, ассоциативной памяти.

Основой подхода автора к созданию математических моделей динамики нейронов явилось использование и развитие математических моделей предложенных работах С.Д.Глызина, А.Ю.Колесова, Н.Х.Розова, С.А. Кащенко. В частности, в этих работах предложен подход к моделированию импульсной активности нейрона, при котором в сетях на основе данной модели нейрона реализуются оба описанных явления (bursting и мультистабильность). При этом открытыми остаются вопросы, связанные с определением количества сосуществующих аттракторов, изучением областей существования таких устойчивых режимов в системах с bursting-эффектом, а также особенности формирования и разрушения данных режимов (bursting-циклов). Таким образом, круг рассмотренных в диссертационной работе вопросов относится к числу **актуальных направлений исследования**, имеющих несомненный теоретический и практический интерес.

В целом диссертация Богомолова Юрия Викторовича посвящена изучению процессов формирования режимов синхронной импульсной активности в ряде моделей искусственных нейронных сетей, а также анализу особенностей данных режимов при различных значениях параметров. Рассматривается хаотическая синхронизация в этих нейросетевых системах, а также возникновение bursting-эффекта и мультистабильности.

Структурно диссертационная работа разделена на три основные главы, введение, заключение и приложение. Во введении приведен обзор литературы и основных результатов в выбранной области исследований, приводятся постановки задач, рассмотренных в диссертации. Объектом изучения первой главы работы являются нейронные сети, основанные на модели, состоящей из элементов, функционирующих в дискретном времени. Для дан-

ной сети доказана неустойчивость стационарных режимов при всех значениях параметров, что позволяет скорректировать модель, сохраняя при этом разнообразие устойчивых режимов, возникающих в ней. В частности, для данной нейросетевой модели найдены значения параметров, при которых ее динамика является хаотической. Численное обоснование хаотичности поведения сети основано на вычислении и анализе оценок статэнтропии.

Во второй главе автор исследует процессы синхронизации и десинхронизации однонаправлено связанных нейронных сетей описанного выше вида (передатчика и приемника), которые рассматриваются как генераторы хаотических колебаний. Для данных нейронных сетей в ходе серии вычислительных экспериментов выделены области значений параметров (в первую очередь коэффициента связи), при которых наблюдается синхронизация. При значениях параметров, для которых характерна десинхронизация сетей, вычисляются числовые характеристики рассогласования, что позволяет автору говорить об экспоненциальном разбегании траекторий данных систем.

Третья глава диссертации посвящена анализу моделей нейронных сетей, основанных на дифференциальных уравнениях с запаздыванием. Для модели на основе уравнения с одним запаздыванием (ранее предложена С.А.Кащенко, В.В.Майоровым, И.Ю.Мышкиным) выявляются области существования устойчивого синхронного режима в паре нейронов, связанных диффузионно. В результате автором численно выделены области значений коэффициента диффузионной связи, при которых достигается синхронизация в рассматриваемой паре элементов, также исследуются особенности потери устойчивости синхронного режима. Данные процессы интерпретируются автором как модель процессов запоминания и забывания в биологических системах. Для модели на основе сингулярно возмущенного уравнения с двумя запаздываниями (предложена С.Д. Глызиным, А.Ю. Колесовым, Н.Х. Розовым) в той же главе ставится и исследуется задача о динамике цепочки диффузионно связанных импульсных нейронов. В первую очередь рассматривается задача нахождения для этой цепочки устойчивых режимов импульсной

активности с несколькими импульсами на периоде. Для исследования данной задачи вводится специальная система, представляющая собой систему с импульсным воздействием. По этой системе, в свою очередь, строится отображение, экспоненциально устойчивым неподвижным точкам которого соответствуют экспоненциально орбитально устойчивые периодические решения исходной системы. Данное отображение исследуется численно для некоторой выборки начальных значений. В ходе серии вычислительных экспериментов для ряда цепочек нейронов численно исследовался вопрос о числе сосуществующих устойчивых автоволновых режимов. Для выделенных режимов рассматривается задача о потере ими устойчивости при изменении параметра диффузионной связи.

Достоверность описанных результатов и выводов подтверждаются соответствующими аналитическими и численными **обоснованиями**. Выносимые на защиту положения являются новыми.

Отметим некоторые замечания, возникшие при анализе диссертации.

1. Следовало бы более подробно обсудить выбор параметров задачи и их возможный смысл в исследуемых приложениях.
2. Численный эксперимент, предпринятый в работе, на наш взгляд, нуждается в дополнении и продолжении, особенно в части вычислений статистических характеристик типа статэнтропии и их сопоставления с возникающими автоколебательными режимами. В частности, утверждение, что численно получен ответ на вопрос о максимальном числе сосуществующих устойчивых автоволновых режимов, на мой взгляд, не представляется вполне корректным.

Эти недостатки не являются существенными и не искажают общего благоприятного впечатления от работы, в ходе выполнения которой автор проявил высокую научную квалификацию, получил новые математические результаты при развитии математических моделей исследуемых явлений.

Описанные в диссертационной работе методики изучения модельных динамических систем и полученные в ходе данного исследования результаты

могут применяться для широкого класса задач импульсной динамики нейронных ассоциаций, связанных с моделированием явления синхронизации и десинхронизации в искусственных нейросетевых структурах. Это свидетельствует о **теоретической и практической значимости** работы соискателя.

Представленная Богомоловым Ю.В. диссертация является самостоятельным, законченным, актуальным **научным исследованием**. Изложенные в работе результаты **опубликованы** в достаточном количестве печатных научных работ, в том числе в 4 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ. Основные положения диссертационного исследования были представлены на большом количестве всероссийских научных и научно-технических **конференций**, докладывались на известных научных **семинарах**.

Автореферат достаточно полно отражает структуру, содержание и основные положения диссертации, дает представление о рассматриваемых задачах, используемых методах исследования и полученных в работе результатах.

Считаю, что диссертация «Вопросы синхронизации в нейронных сетях со сложной динамикой» **соответствует** всем требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Богомолов Ю.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заведующий кафедрой математики физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук, профессор (Москва 119991, Ленинские горы, МГУ, физический факультет, т. (495)9394859, nefedov@phys.msu.ru)

Н.Н. Нефедов

Подпись профессора Н.Н. Нефедова удостоверяю

Декан физического факультета МГУ имени

М.В. Ломоносова, профессор



Н.Н. Сысоев