

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.

Объектом исследования представленной работы Богомолова Ю.В. являются различные математические модели функционирования и взаимодействия нервных клеток. В представленной диссертации рассматривается искусственная нейронная сеть на основе нейрона-сумматора (дискретное отображение), а также нелинейные дифференциальные уравнения с запаздывающим аргументом. Основное внимание сосредоточено на исследовании динамики взаимодействия осцилляторов нейронного типа и процессов формирования устойчивых синхронных режимов их импульсной активности. В настоящее время наблюдается повышенный интерес к моделям нейродинамики, одной из ключевых задач которой является выбор наиболее адекватных феноменологических моделей, которые могли бы, с одной стороны, использоваться при описании конкретных физиологических процессов при передаче информации по волокнам нейронного типа, а с другой стороны, для них могли бы быть решены стоящие несколько вдалеке от классической нейродинамики задачи хранения, передачи и извлечения информации. В связи с этим тема диссертационной работы представляется актуальной.

Кроме того, в последнее время значительное внимание уделяется изучению роли хаотического поведения структур головного мозга в процессе обработки информации. Поэтому важная задача заключается также в том, чтобы придумать такие модели нейронов и так попытаться организовать взаимосвязь между ними, чтобы можно было объяснить перенос информации в реальных биологических системах с отмеченными особенностями поведения. В силу принципиальной сложности данных систем особую значимость приобретает сочетание асимптотических методов исследования качественного поведения решений и численных методов оценки инвариантных характеристик аттракторов исследуемых систем. В работе используются аналитические методы исследования устойчивости дискретного отображения и систем дифференциальных

уравнений с запаздыванием, а также численные методы построения и анализа соответствующих математических моделей, в том числе методы оценки статэнтропии.

Представленная Богомоловым Ю.В. диссертация состоит из введения, трех основных глав, заключения, списка литературы и приложения. Во введении обосновывается актуальность темы исследования, приводится описание простейших феноменологических моделей нейрона, производится постановка цели и задач исследования, кратко представляются результаты, отмечается их научная новизна и практическая ценность.

Первая глава посвящена исследованию особенностей динамики искусственной нейронной сети на основе модели формального нейрона-сумматора. Основной задачей данной части работы является обоснование возможности реализации хаотической динамики в достаточно простой математической модели нейросети. Хотелось бы особо выделить два наиболее важных результата данной части работы. Во-первых, автором была аналитически доказана неустойчивость стационарных режимов в рассматриваемой нейросетевой модели. Из этого был сделан вывод о возможности сократить количество параметров системы, для которых в дальнейшем предполагалось обосновать возможность возникновения хаотических режимов. Во-вторых, для рассматриваемой системы было получено численное подтверждение хаотического характера динамики при некоторых значениях параметров. Для этого в работе описана методика, основанная на построении символической динамической системы по траекториям исходного дискретного отображения и вычислении для нее оценки статэнтропии.

Полученные результаты позволяют рассматривать нейронные сети описанного выше вида как хаотические генераторы и изучать процессы синхронизации в более системах на их основе. В частности, во второй главе диссертации рассматривается задача изучения процессов навязывания режимов импульсной активности при однонаправленном воздействии одного такого генератора на другой. В работе для двух видов взаимодействия найдены пороговые значения параметров связи, ниже которых происходит формирование устойчивого синхронного режима динамики соответствующих нейронных сетей. Для значений параметров, при которых синхронизации генераторов не происходит, автором проводится анализ особенностей рассинхронизации, для чего численно оценивается старший ляпуновский показатель по временному ряду для разности состояний взаимодействующих нейронных

сетей. Отмеченные в данной главе особенности поведения связанных хаотических генераторов интерпретируются как моделирование образования и распада устойчивых синхронных режимов в биологических нервных системах.

Третья глава диссертации посвящена изучению систем сингулярно возмущенных нелинейных дифференциально-разностных уравнений, являющихся математической моделью нейронной сети на основе импульсного нейрона. Модель нейрона, содержащую одну функцию с запаздыванием, дает решения релаксационного характера с асимптотически большими всплесками и периодами невосприимчивости, когда значение мембранного потенциала асимптотически мало. Основные результаты первой части данной главы касаются нахождения областей значений параметров (в первую очередь коэффициента связи), при которых происходит синхронизация диффузионно связанных нейроподобных осцилляторов на основе данной модели, а также особенностей рассогласования импульсной активности соответствующих нейроподобных элементов при малых значениях коэффициента диффузии. Наиболее интересные результаты представлены во второй части данной главы, в которой рассматриваются цепочки нейроподобных осцилляторов на основе уравнения с двумя запаздываниями. Для данной модели С.Д.Глызиным, А.Ю.Колесовым и Н.Х.Розовым отмечена возможность одновременной реализации так называемого берстинга (генерации нейроном группы интенсивных импульсов на периоде) и наличия сосуществующих устойчивых неоднородных решений, что может интерпретироваться как возможность запоминания нескольких образов в соответствующей модели памяти. В диссертации Богомоллов Ю.В. рассматривает задачу выделения всех таких неоднородных режимов в данной цепочке осцилляторов при различных значениях параметров. В результате при малых значениях коэффициента диффузионной связи найдены новые устойчивые автоволновые режимы. В дальнейшем автором определяются пороговые значения коэффициента диффузии, при которых данные режимы теряют устойчивость, а также исследуются особенности перехода системы к новому устойчивому режиму.

Все результаты, полученные в диссертационной работе являются обоснованными, доказательства корректны. Выносимые на защиту положения являются новыми.

Вместе с тем следует отметить некоторые замечания, возникшие при анализе диссертации.

1. Материал диссертационной работы распределен по главам недостаточно равномерно. В частности, в первой и второй главах рассматриваются задачи, связанные с одной моделью нейросети, но при этом вторая глава заметно меньше. Поэтому, возможно, следовало бы более сбалансированно распределить материал между ними.
2. Модель нейронной сети, исследуемую во второй главе, можно естественным образом обобщить, рассмотрев цепочку однонаправленно связанных хаотических генераторов и проанализировав, как будет осуществляться процесс навязывания импульсной активности по цепочке.
3. Приведенные в третьей главе диссертации биологические предпосылки к моделированию импульсной активности нейрона следовало бы, на мой взгляд, вынести во введение.

Эти недостатки не являются критическими и не искажают общего благоприятного впечатления от работы.

О теоретической и практической значимости работы также позволяет говорить тот факт, что предложенные автором методы исследования особенностей образования и распада синхронных режимов в нейронных сетях со сложной динамикой могут быть не только использованы для решения актуальных задач нейродинамики, но и применены для разнообразных задач, связанных с хранением и передачей информации.

Диссертация Богомолова Ю.В. является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором самостоятельно на достаточно высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Основные результаты диссертации опубликованы, в том числе в ведущих изданиях из списка ВАК РФ, они неоднократно обсуждались на различных конференциях и семинарах. Рассматриваемые модели и представленные результаты имеют содержательную интерпретацию. Используемые в работе аналитические и численные доказательства являются строгими и обоснованными. Эффективность разработанных программных реализаций подтверждена сопоставлением с асимптотическими методами. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа отвечает требованиям «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Богомолов Юрий Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по

специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ.

Официальный оппонент, ·

заведующий кафедрой компьютерных
систем, сетей и технологий

ИАТЭ НИЯУ «МИФИ»,

доктор физико-математических наук,

249040, Калужская область, г. Обнинск,
Студгородок, 1, ИАТЭ. т. (48439)3-69-31.

С.О. Старков

Подпись официального оппонента заверяю.

Ученый секретарь Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ:

Проф. В.Л. Шаблов

