

АЛБАНБАЙ НҮРТАЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ В МОДЕЛЯХ НЕЙРОННЫХ СИСТЕМ

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Диссертационная работа основана на исследованиях, направленных на изучение автоколебательных процессов и нелинейных эффектов в нейронных системах на основе двух связанных нейронов ФитцХью-Нагумо.

Актуальность работы.

Современные проблемы радиотехники, электроники и телекоммуникаций, повышение эффективности каналов связи и многие другие задачи могут быть успешно решены с использованием нейронных сетей. В связи с этим, изучение динамики нейроноподобных систем играет важную роль в науке и технике.

Говоря о нейронных сетях в целом, следует отметить, во-первых, сложность их элементарных составляющих – нервных клеток (нейронов), математические модели которых сами по себе являются многомерными системами со сложной многомасштабной динамикой, и, во-вторых, сложность структур, образуемых нейронами при помощи возбудимых отростков, обеспечивающих нелокальные связи между нервными клетками. Динамика моделей нейронов долгое время изучалась без привлечения стохастических дифференциальных уравнений, вследствие усложнения исследовательской задачи введением шума. Кроме того, было недостаточно ясно, как корректно вводить шумы в модели нейронов и нейронных систем. Тем не менее, экспериментальные данные показывали необходимость учёта шумов для адекватного описания нейронов, находящихся в естественной среде существования. Под действием относительно малого шума в таких системах происходят процессы возбуждения и релаксации, в результате которых возникают незатухающие стохастические колебания. Однако вопросы автоколебательных процессов в нейронных сетях мало исследованы даже для простейших моделей нейронов.

Другой ключевой проблемой является изучение нелинейных эффектов в нейронных системах. В силу чрезвычайной разнообразности многоэлементных систем, как по структурному строению, так и по функциональным свойствам здесь остается неисследованными целый ряд ключевых вопросов и проблем. Для качественного описания динамических эффектов нейронных систем необходимо, прежде всего, получить и исследовать адекватную модель нейронной системы. Использование

наиболее точных моделей, построенных на основе подхода Ходжкина-Хаксли, сильно ограничено, поскольку ведет к усложнению модели элемента за счет большого числа переменных и параметров, требующих точной настройки. В этом случае, даже на уровне отдельных элементов не всегда удается проследить механизмы возникновения динамических режимов, оценить области их существования и устойчивости. Главным свойством выбираемой для моделирования нейронной системы является наличие у нее устойчивых колебательных решений, соответствующих спайкам нейронов. Чтобы решить данную проблему возникает необходимость в разработке модели, учитывающей определенные черты динамики реальных нейронов, существенные для описания конкретных динамических феноменов. В связи с этим проводимые исследования в данной области являются актуальными и могут иметь множество практических применений.

Цель работы: Теоретическое, численное и экспериментальное исследование нелинейных эффектов, наблюдаемых в системах, состоящих из одного и разных типов нейронов.

Задачи исследования:

- Разработать математическую модель, описывающую воздействие внешнего шума на систему, состоящую из двух типов (связанных) нейронов Фитц-Хью-Нагумо;
- Разработать статистическую модель нелинейного эффекта, наблюдаемого под действием внешнего шума в системе, состоящей из двух типов нейронов Фитц-Хью-Нагумо, и провести ее численное исследование;
- Разработать электронно-схемотехническую (схемотехническую) модель, описывающую воздействие внешнего шума на систему, состоящую из двух типов нейронов Фитц-Хью-Нагумо;
- Реализация и проведение экспериментальных исследований схемотехнической модели, описывающей воздействие внешнего шума на систему, состоящую из двух типов нейронов Фитц-Хью-Нагумо;
- Разработка математической модели системы, построенной из одного типа нейронов Фитц-Хью-Нагумо;
- Теоретическое и численное исследование динамики системы, построенной из одного типа нейронов Фитц-Хью-Нагумо;
- Разработка схемотехнической модели, соответствующей системе, построенной из одного типа нейронов Фитц-Хью-Нагумо;
- Реализация и проведение экспериментальных исследований схемотехнической модели системы, построенной из одного типа нейронов Фитц-Хью-Нагумо;
- Обработка экспериментальных данных и сопоставление их с выводами теории.

Объект исследования: Нелинейные эффекты системы, построенной из связанных нейронов Фитц-Хью-Нагумо.

Методы исследования: Математические модели нейронных систем изучались теоретически, численные исследования проводились в среде

Matlab. Схемотехнические модели исследованы в среде специальных программ Multisim и LabVIEW. Физические экспериментальные исследования проводились с помощью аналоговых электронных устройств, соответствующих схемотехническим моделям.

Новизна исследования - впервые:

- Установлено, что количество «взрывов» при воздействии внешнего шума на систему, состоящую из нейронов ФитцХью-Нагумо, подчиняется экспоненциальному распределению.

- Показано, что в системе, построенной из одного типа нейронов ФитцХью-Нагумо, нейроны не возбуждаются одновременно.

- Установлено, что частотная характеристика сигналов, генерируемых в системе, построенной из одного типа нейронов ФитцХью-Нагумо, зависит от начальных условий.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Количество «взрывов» при воздействии внешнего шума на систему, состоящую из нейронов ФитцХью-Нагумо, подчиняется экспоненциальному распределению

2. В системе, построенной из одного типа нейронов ФитцХью-Нагумо, нейроны не возбуждаются одновременно.

3. Частотная характеристика сигналов, генерируемых в системе, построенной из одного типа нейронов ФитцХью-Нагумо, зависит от начальных условий.

Теоретическая и практическая значимость работы. Изучение режимов обработки сигнала с помощью нейронной системы, а также зависимости от собственных показателей и внешних шумов позволяет определить основные методы управления динамикой всей системы. Полученные результаты могут быть применены при создании новых радиоэлектронных, телекоммуникационных устройств, в которых существенную роль могут играть возможности генерации и обработки сложных сигналов путем изучения характеристик автоколебательных процессов и нелинейных явлений в моделях нейронных систем.

Личный вклад автора. Все результаты теоретического, численного исследований и физического эксперимента были получены лично соискателем. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными руководителями.

Достоверность результатов. Достоверность результатов исследований, выполненных в рамках диссертации, определяется использованием в ходе работы современных математических методов, воспроизводимостью экспериментальных результатов, согласованностью результатов математического моделирования и экспериментальных исследований между собой, с теоретическими предпосылками и выводами, полученными другими авторами, публикациями в рецензируемых научных журналах по тематике настоящей работы, обсуждением результатов исследования на конференциях.

Апробация работы. Результаты, полученные в диссертационной работе докладывались и обсуждались на: 15th International Conference «Dynamical Systems Theory and Applications» (Łódź, Poland), «Materials VIII International scientific and methodical conference dedicated to the 90th anniversary of Abai Kazakh National Pedagogical University», «Труды Сатпаевских чтений инновационные решения традиционных проблем: инженерия и технологии».

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 7 печатных работ, в том числе: 2 статьи – в рецензируемых журналах с высоким импакт-фактором, входящих в международную базу данных Scopus (Chaos, Journal of Computational and Nonlinear Dynamics); 2 статьи – в изданиях, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан; 3 – в сборниках тезисов международных конференций, в том числе 1 – в зарубежной международной конференции (15th International Conference «Dynamical Systems Theory and Applications» Łódź, Poland).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, 126 наименований списка использованных источников и содержит два приложения. Общий объем диссертационной работы 86 страниц, 48 рисунков.