

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.392.01, СОЗДАННОГО НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»,
МИНОБРНАУКИ РОССИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 23.12.2022 № 29

О присуждении **Большакову Денису Ивановичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Электронное моделирование и исследование динамики нейроноподобного генератора на базе системы фазовой автоподстройки частоты» по специальностям 1.3.5. «Физическая электроника», 1.3.4. «Радиофизика» принята к защите 14 октября 2022 года (протокол заседания № 22) диссертационным советом 24.2.392.01, созданным на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (ФГБОУ ВО «СГУ имени Н. Г. Чернышевского»), Минобрнауки РФ, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83; приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета от 15.02.2013 №75/нк; приказы об изменении состава совета от 15.12.2015 № 1598/нк-9, от 28.09.2016 № 1180/нк-52, от 15.02.2017 № 116/нк-38, от 26.01.2018 № 92/нк-50, от 17.04.2018 № 431/нк-26, от 23.11.2018 № 301/нк-66, от 24.09.2019 №873/нк-26; приказ об установлении полномочий совета от 03.06.2021 № 561-нк (Приложение 1/597); приказ об изменении состава совета от 15.10.2021 № 1046/нк-33.

Соискатель Большаков Денис Иванович, 1993 года рождения, в 2017 году окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского» (ФГАОУ ВО «ННГУ им. Н.И. Лобачевского») с присвоением квалификации магистра по направлению 03.04.03 «Радиофизика». В период подготовки диссертации с 2017 по 2021 год соискатель обучался в очной аспирантуре ФГБАУ ВО «ННГУ им. Н.И. Лобачевского» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность «Радиофизика». Работает младшим научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории кафедры

теории колебаний и автоматического регулирования радиофизического факультета ФГБАУ ВО «ННГУ им. Н. И. Лобачевского», Минобрнауки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре теории колебаний и автоматического регулирования радиофизического факультета ФГБАУ ВО «ННГУ им. Н. И. Лобачевского», Минобрнауки РФ.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук, профессор Матросов Валерий Владимирович, ФГАОУ ВО «ННГУ им. Н. И. Лобачевского», радиофизический факультет, декан; кафедра теории колебаний и автоматического регулирования, заведующий;

доктор физико-математических наук, доцент Сысоев Илья Вячеславович, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», факультет компьютерных наук и информационных технологий, кафедра системного анализа и автоматического управления, профессор; ФГАОУ ВО «ННГУ им. Н. И. Лобачевского», радиофизический факультет, кафедра теории колебаний и автоматического регулирования, ведущий научный сотрудник.

Основные научные результаты диссертации, относимые к специальности 1.3.5. «Физическая электроника», получены под руководством В. В. Матросова; основные научные результаты, относимые к специальности 1.3.4. «Радиофизика», получены под руководством И. В. Сысоева.

Официальные оппоненты:

1 **Куркин Семён Андреевич**, доктор физико-математических наук (специальность 05.13.18), ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта» (г. Калининград), Центр нейротехнологий и машинного обучения, ведущий научный сотрудник;

2 **Щапин Дмитрий Сергеевич**, кандидат физико-математических наук (01.04.03), ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской Академии наук», (г. Нижний Новгород), Лаборатория динамики активных нелинейных систем, старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"» (г. Москва) в своём положительном отзыве, подписанном Сафиним Ансаром Ризаевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой формирования и обработки радиосигналов, указала, что «разработка электронных нейронов и их сетей и исследование их динамики, освещаемые в диссертационной

работе Д. И. Большакова, являются актуальной и востребованной задачей». Научная новизна диссертационной работы заключается в теоретическом и практическом изучении процессов генерации и синхронизации нейроподобных колебаний системами фазовой автоподстройки частоты, в использовании для определения степени соответствия электронной аппаратной реализации математической модели разработанного метода реконструкции параметров по временным, в применении модели синаптического контакта на основе мемристивного элемента для связывания генераторов в ансамбль и исследования коллективной динамики. Диссертационная работа Большакова Дениса Ивановича «Электронное моделирование и исследование динамики нейроподобного генератора на базе системы фазовой автоподстройки частоты» представляет завершённую научно-квалификационную работу, выполненную на высоком методическом уровне, которая полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а её автор, Большаков Денис Иванович, заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.5. «Физическая электроника» и 1.3.4. «Радиофизика».

Соискатель имеет 28 опубликованных работ по теме диссертации общим объёмом 4,43 п. л. (авторский вклад 1,61 п. л.), из которых 4 статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК. Список публикаций по теме диссертации включает 8 работ в изданиях, индексируемых международными информационно-аналитическими базами данных и системами научного цитирования Web of Science и/или Scopus.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1 **Большаков Д.И.**, Мищенко М.А., Матросов В.В., Сысоев И.В. Электронный нейроподобный генератор с возбудимым и автоколебательным режимом на основе системы фазовой автоподстройки частоты // Письма в журнал технической физики. – 2022. – Т. 48. – №. 9. – С. 23-26.

2 Mishchenko M.A, **Bolshakov D.I.**, Vasin A.S., Matrosov V.V., Sysoev I.V. Identification of Phase-Locked Loop System from Its Experimental Time Series // IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. – 2022. – V. 69. – No 3. – P. 854-858.

3 Мищенко М.А., **Большаков Д.И.**, Матросов В.В. Аппаратная реализация нейроподобного генератора с импульсной и пачечной динамикой на основе системы фазовой синхронизации // Письма в журнал технической физики. – 2017. – Т. 43. – №. 13. – С. 10-18.

На автореферат диссертации поступили 7 положительных отзывов: из Санкт-Петербургского государственного университета от д.ф.-м.н. (05.13.18), члена-корреспондента РАН зав. кафедрой прикладной кибернетики Кузнецова Н. В.; из Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН от д.ф.-м.н. (01.04.03), в.н.с. Ефремовой Е. В.; из Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН от д.т.н. (05.13.18), в.н.с. Вытовтова К. А.; из Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю. А. от д.т.н. (05.27.02), зав. кафедрой «Электронные приборы и устройства» Мирошниченко А. Ю.; из Волгоградского государственного технического университета от д.т.н. (05.13.01), зав. кафедрой «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Щербакова М. В.; из ННГУ им. Н.И. Лобачевского от д.ф.-м.н. (1.5.2), доцента кафедры нейротехнологий Гордлеевой С. Ю.; из Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета “ЛЭТИ” им. В. И. Ульянова (Ленина) от к.т.н. (05.13.12), доцента кафедры САПР Каримова Т. И.

В отзывах официальных оппонентов, ведущей организации и отзывах на автореферат сделаны замечания об отсутствии в автореферате: достаточного количества иллюстраций для получения полноценного представления о работе, в частности принципиальных схем устройств; результатов качественного сравнения экспериментально записанных осциллограмм аппаратной модели нейроноподобного генератора с результатами численного исследования математической модели; достаточного количества ссылок на научные работы для пояснения результатов диссертационного исследования; верификации путём реконструкции двух параметров по временным рядам модифицированного генератора, предложенного в главе 3. Также сделан ряд замечаний редакционного характера.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием проводимых ими научных исследований теме диссертации и научным специальностям, позволяющей корректно оценить научную и практическую значимость диссертационной работы. Выбор официальных оппонентов также объясняется отсутствием совместных печатных работ с соискателем. Выбор ведущей организации обосновывается наличием в её коллективе большого числа известных специалистов, работающих в направлениях, связанных с тематикой диссертации, а также отсутствием договорных отношений с соискателем. В частности, оппоненты и ведущая организация обладают большим опытом и высокой квалификацией в области исследования систем фазовой автоподстройки частоты, построения и исследования систем генера-

ции импульсной, в том числе нейроподобной активности, аппаратной реализации математических моделей нейронов. Выбор официальных оппонентов и ведущей организации удовлетворяет критериям, сформулированным в пп. 22 и 24 действующего «Положения о присуждении учёных степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны и исследованы две электронные модели генератора импульсных нейроподобных сигналов, построенные на базе системы фазовой автоподстройки частоты с полосовым фильтром, качественно повторяющие автоколебательную динамику мембранного потенциала биологического нейрона в различных динамических режимах;

установлено количественное соответствие между параметрами генератора, реконструированными по экспериментальным временным рядам, и значениями, рассчитанными из номиналов электронных компонентов в соответствии с математической моделью;

разработана модификация цепи управления системы фазовой автоподстройки частоты, дополняющая автоколебательную динамику электронного нейрона возбуждаемым режимом;

установлено, что модель синаптической связи на основе мемристивного элемента имеет нелинейную зависимость проводимости от частоты следования импульсов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

показана возможность создания электронного устройства, основанного на системе фазовой автоподстройки частоты с полосовым фильтром, генерирующего нелинейные колебания различных типов: одиночные импульсы, периодические и хаотические пачки импульсов, свойственные реальным нейронам;

изучены особенности возбуждения и коллективной динамики аппаратных моделей нейроноподобных генераторов, связанных через мемристивный элемент.

Практическая значимость результатов состоит в следующем:

установлено, что относительная простота, высокая стабильность и воспроизводимость построенного генератора позволяют рассчитывать на возможность использования сетей из таких генераторов при нейропротезировании;

показана возможность оценки параметров генератора по записанным от него скалярным временным рядам, что позволяет рассчитывать на применение разработанного подхода к реконструкции для косвенного измерения и классификации объектов, в том числе нейронов.

Результаты исследований использовались при выполнении НИР, поддержанных грантами Минобрнауки 0729-2020-004, Российского фонда фундаментальных исследований № 16-32-00643-мол-а, № 18-29-23001-мк и грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (проект № МК-2726.2017.2) и докторов наук (проект № МД-3006.2021.1.2).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- установлено качественное и количественное совпадение полученных экспериментальных результатов импульсной активности разработанных электронных нейронов с результатами численного моделирования;
- полученные в эксперименте карты динамических режимов не противоречат общеизвестным положениям теории бифуркаций;
- достигнута повторяемость основных результатов, в том числе динамических режимов на нескольких экземплярах построенного генератора;
- в численных расчётах использованы высоконадёжные, многократно протестированные библиотеки алгоритмов.

Личный вклад соискателя состоит в выполнении аналитических исследований, проведении численного и схмотехнического моделирования, разработке и изготовлении нескольких лабораторных прототипов нейроноподобного генератора, выполнении экспериментального исследования динамики лабораторного прототипа, а также сопоставлении результатов экспериментального исследования с результатами численного моделирования. Постановка задачи, обсуждение и интерпретация результатов осуществлялись совместно с научными руководителями. К защите представлены результаты, полученные лично соискателем.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию в следующих научно-исследовательских, научно-производственных и образовательных организациях (в том числе при подготовке студентов по направлениям и специальностям в области электроники и радиофизики): ФГБУН Институт радиотехники и электроники РАН и его филиалы (г. Москва, г. Фрязино Московской области, г. Саратов, г. Ульяновск), Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной физики РАН» (г. Нижний Новгород), ФГБУН Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН (г. Москва), Московский государственный университет имени М.В.

Ломоносова; Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград; ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», г. Уфа; ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет; ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет; ФГБОУ ВО Саратовский национальный исследовательский государственный имени Н.Г. Чернышевского; ФГБОУ ВО Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

В ходе защиты диссертации были заданы следующие вопросы и высказаны критические замечания: 1) необходимо пояснить, что представлял собою мемристор, откуда была получена его математическая модель и каково отношение сопротивлений в диэлектрическом и проводящем состоянии; 2) о смысле процедуры реконструкции параметров (глава 2); 3) о преимуществах предложенной модели по сравнению с радиотехнической реализацией нейрона ФитцХью-Нагумо; 4) об исследовании модели с шумом; 5) зачем было разрабатывать два различных генератора; 6) о типе наблюдаемой в связанных системах синхронизации; 7) о простых колебательных режимах, существующих в генераторе.

Соискатель Д. И. Большаков ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и дал необходимые пояснения: 1) что мемристор был предоставлен в рамках совместных исследований в виде готового прибора, уравнения которого были выведены на основе аппаратной реализации совместно с коллегами, изготовившими мемристор; 2) что имеющаяся модель была выведена с существенными допущениями и до проведения процедуры реконструкции не было ясно, насколько она может описывать экспериментальную установку количественно и качественно; 3) что предложенный генератор нейроподобной активности на базе системы фазовой автоподстройки частоты с полосовым фильтром по — это трёхмерная система, где возможны более сложные режимы, и при этом система очень просто реализуемая схемотехнически; 4) что исследование модели с шумом в данной работе не проводилось; 5) что первый генератор был построен по модели, предложенной ранее профессором В. Д. Шалфеевым, а второй генератор представляет собою модификацию первого, в которой реализован возбудимый режим, типичный для нейронов; 6) о том, что наблюдалась частотная синхронизация; 7) что простые режимы с почти синусоидальными колебаниями имеются, но находятся в области большой частотной расстройки опорного и управляемого генераторов и не представляют ценности для моделирования нейроподобной активности, поэтому подробно не анализировались.

Основная часть диссертации Д. И. Большакова представляет собою экспериментальное исследование. В диссертации решена актуальная задача на стыке физической электроники и радиофизики: в области физической электроники разработаны новые физические механизмы генерации импульсной и пачечной (спайковой и бёрстовой) активности в полупроводниковых приборах (пункт 2 паспорта специальности «Физическая электроника»); в области радиофизики проведён анализ сигналов, полученных от разработанных приборов методами нелинейной динамики, в том числе при наличии помех (пункт 4 паспорта специальности «Радиофизика»). Содержание диссертации удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.5. «Физическая электроника» и 1.3.4. «Радиофизика».

На заседании 23 декабря 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Большакову Д.И. учёную степень кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.5. «Физическая электроника» и 1.3.4. «Радиофизика».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человека (18 человек находились в месте проведения заседания, 4 человека участвовали в заседании совета в удалённом интерактивном режиме), из них 5 докторов по специальности 1.3.5. «Физическая электроника», 9 докторов по специальности 1.3.4. «Радиофизика», участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета: проголосовал: за – 22, против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель
диссертационного совета

И. о. учёного секретаря
диссертационного совета

23 декабря 2022 г.



Аникин Валерий Михайлович

Стрелкова Галина Ивановна