

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.166.07, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО» ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24.03.2021 г. № 9.

О присуждении Герасимовой Светлане Александровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Диссертация «Генерация и синхронизация сигналов в нейроморфных радиофизических системах» по специальности 01.04.03 – радиофизика принята к защите 29 декабря 2020 г., протокол № 6, диссертационным советом Д 212.166.07, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, приказом Рособнадзора № 1990-1015/130 от 4 сентября 2007 г.

Соискатель, Герасимова Светлана Александровна, 1989 года рождения, окончила радиофизический факультет Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского в 2013 году. В 2017 году окончила аспирантуру Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия направленность 01.04.03 «Радиофизика» (квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь»). С мая 2012 года по настоящее время работает в ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университета им. Н.И. Лобачевского». С мая 2012 года работает на должности инженера кафедры нейротехнологий, с 11.09.2020 по 31.12.2020 – младший научный сотрудник Отдела фундаментальных и прикладных исследований (внутренний совместитель). Диссертация выполнена на кафедре нейротехнологий Института

биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Казанцев Виктор Борисович, доцент, заведующий кафедрой нейротехнологий, ведущий научный сотрудник кафедры нейротехнологий Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Официальные оппоненты:

1. Постников Евгений Борисович, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (специальность - 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор кафедры физики и технологий, заведующий отделом теоретической физики НИЦ физики конденсированного состояния федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курский государственный университет»
2. Караваев Анатолий Сергеевич, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук (специальность - 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), доцент, старший научный сотрудник Саратовского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН), г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном 26.02.2021 г., составленном 26.02.2021 г. на заседании лаборатории «Информационные и коммуникационные технологии на основе динамического хаоса» Института радиотехники и электроники РАН доктором физико-математических наук А.С. Дмитриевым, указала, что диссертация Герасимовой Светланы Александровны удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Герасимова Светлана Александровна

заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиоп физика.

Соискатель имеет 41 опубликованную работу по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК опубликовано 7 работ. Основные результаты диссертации были представлены на международных и всероссийских конференциях. Личный вклад соискателя в опубликованные в соавторстве работы заключается в проведении экспериментов и теоретическом исследовании генерации и преобразования сигналов нейроноподобных генераторов, в получении и анализе экспериментальных и теоретических результатов, в анализе литературных источников по теме исследований, а также в формулировании результатов и выводов.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Zhevnenko, D. Simulation of memristor switching time series in response to spike-like signal / D. Zhevnenko, F. Meshchaninov, V. Kozhevnikov, E. Shamin, A. Belov, S. Gerasimova, D. Guseinov, A. Mikhaylov, E. Gornev // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2020. – P. 110382.
2. Mikhaylov, A. Neurohybrid Memristive CMOS-Integrated Systems for Biosensors and Neuroprosthetics / A. Mikhaylov, A. Pimashkin, Y. Pigareva, S. Gerasimova, S. Lobov, E. Gryaznov, M. Talanov, I. Lavrov, V. Demin, V. Erokhin, V.B. Kazantsev, H. Wu, B. Spagnolo // *Frontiers in Neuroscience*. – 2020. – P. 358.
3. Mikhaylov, A.N. Effect of ion irradiation on resistive switching in metal-oxide memristive nanostructures / A.N. Mikhaylov, A.I. Belov, D.S. Korolev, S.A. Gerasimova, I.N. Antonov, E.V. Okulich, R.A. Shuiskiy, D.I. Tetelbaum // *Journal of Physics: Conference Series*. - 2019. – V. 1410. – I. 1. – P. 012245.
4. Mishchenko, M.A. Optoelectronic system for brain neuronal network stimulation / M.A. Mishchenko, S.A. Gerasimova, A.V. Lebedeva, L.S. Lepekhina, A.N. Pisarchik, V.B. Kazantsev // *PloS one*. – 2018. – V. 13. – I. 6. - P. 1-9.
5. Герасимова, С.А. Имитация синаптической связи нейроноподобных генераторов с помощью мемристивного устройства / С.А. Герасимова, А.Н. Михайлов, А.И. Белов, Д.С. Королев, О.Н. Горшков, В.Б. Казанцев // *Журнал технической физики*. – 2017. – Т. 87. – В. 2. – С. – 1248-1254.

6. Mikhaylov, A.N. Field-and irradiation-induced phenomena in memristive nanomaterials / A.N. Mikhaylov, E.G. Gryaznov, A.I. Belov, D.S. Korolev, A.N. Sharapov, D.V. Guseinov, D.I. Tetelbaum, S.V. Tikhov, N.V. Malekhonova, A.I. Bobrov, D.A. Pavlov, S.A. Gerasimova, V.B. Kazantsev, N.V. Agudov, A.A. Dubkov, C.M.M. Rosário, N.A. Sobolev, B. Spagnolo // *physica status solidi (c)*. – 2016. – V.13. – I. – 10-12. P. 870-881.
7. Герасимова, С.А. Синхронизация оптически связанных нейроноподобных генераторов / С.А. Герасимова, Г.В. Геликонов, А.Н. Писарчик, В.Б. Казанцев // *Радиотехника и электроника*. – 2015. – Т. 60. - № 7. - С. 1–4.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов от:

1. Щапин Д.С., кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела нелинейной динамики 310 ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук».

2. Климина Л.А., кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НИИ механики МГУ.

3. Тощев А.С., кандидат технических наук, доцент Института информационных технологий и интеллектуальных систем кафедры программной инженерии ФГАОУ ВО «Казанского (Приволжского) Федерального университета»

4. Кащенко С.А., доктор физико-математических наук, профессор, первый проректор ФГБОУ ВО «Ярославского государственного университета имени П.Г. Демидова»

5. Селезнев Е.П., доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой динамического моделирования и биомедицинской инженерии ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Все отзывы положительные. В отзывах отмечается актуальность темы исследования, новизна полученных результатов и их значимость для науки и практики.

В отзывах на диссертацию и автореферат содержатся следующие замечания:

– Замечания из отзыва ведущей организации:

– Во второй главе диссертационной работы проведено обширное экспериментальное и теоретическое исследование адаптивных свойств мемристивных

структур в составе нейроморфной системы, проведено моделирование эффекта STDP, построена кривая веса. Однако не приведено экспериментальных данных физического моделирования эффекта STDP, только представлена ссылка на подобную экспериментальную работу.

– В третьей главе построена нейрогибридная система, приведены параметры такой системы для эффективной стимуляции живых нейронов. Предложенная система имеет однонаправленный характер взаимодействия с живой клеткой, полезно было бы исследовать замкнутую систему.

– **Замечания и недостатки из отзыва официального оппонента**

Постникова Е.Б.:

- определенная неряшливость в терминологии, такая как
- употребление словосочетаний «живые нейроны» и «живые биообъекты», когда речь идет о срезах тканей – есть общепринятый термин *in vitro*, описывающих такую ситуацию, и отличающий ее от *in vivo*, относящегося к работе с живыми объектами;
- «амплитудой» (например, на стр. 76-77) именуется не максимальные значения осциллирующих переменных динамической системы, а также и их мгновенные величины;
- утверждения о демонстрации синхронизации N:1 без дополнительных уточнений, в ситуациях, когда речь идет о системах с однонаправленной связью, т.е. не о взаимной, а вынужденной синхронизации, или даже захвате (*oscillatory entrainment*);
- ряд дополнительной информации усилил бы обоснование результатов, а именно
- было бы полезно количественно промерить нелинейность полученного оптоволоконного канала, используемого для построения оптоэлектронных связей в моделях взаимодействующих осцилляторов;
- помимо представленных в работе временных зависимостей и фазовых портретов решений модельных систем, определенный интерес с точки зрения классического радиофизического подхода к исследованию динамических систем имел бы их бифуркационный анализ;

– в тексте имеется ряд опечаток (например, в расшифровке функций под системой (3) третья степень превратилась в нижний индекс) и пропусков (рис. 37 не указано, где изображен стимулирующий сигнал, а где нейрональный ответ).

– **Замечания и недостатки из отзыва официального оппонента Каравая А.С.:**

– Недостатки.

– 1.1. В главе 1 при исследовании связи между нейроноподобными генераторами не хватает теоретического анализа такой связи.

– 1.2. Результаты главы 2 указывают на мультстабильность мемристивного устройства больше, чем на его адаптивность.

– 2. Замечания.

– 2.1 На стр. 74 на рис. 29 не подписана ось абсцисс

– 2.2 На стр. 46 на рис. 11 обнаружена явная опечатка во включении светодиода в электрическую схему. Необходимо пояснить, в какой точке подается внешний сигнал на вход автогенератора.

– 2.3 На стр. 92-93 фраза «Кроме того, такая система позволила провести адекватную оценку разных форм нейрональных ответов при оптимально подобранных параметрах стимуляции такой системы» требует уточнения оптимальных параметров.

– **Замечания из отзыва на автореферат Щапина Д.С.:**

– В автореферате есть некоторые неточности. На стр. 13 написано: «Таким образом, было установлено, что различные режимы синхронизации нейроноподобных генераторов наблюдаются при амплитуде сигнала управляющего генератора в диапазоне 2–3В и сопротивлении мемристивной структуры в диапазоне 5–7 кОм (рисунок 3)». Хотя на рисунке 3 по вертикальной отложен некоторый параметр “М”, принимающий значения в интервале (0;1.4). Необходимо было бы указать как параметр “М” соотносится с сопротивлением мемристивной структуры. На рисунке 4 указано изменение проводимости “DG” в единицах “мС”, видимо, допущена опечатка, поскольку проводимость должна быть указана в [мСм] (миллисименс). Однако эти замечания не влияют на общую высокую оценку работы.

– **Замечания из отзыва на автореферат Тощева А.С.:**

– Из текста автореферата не очень понятно, почему разработанная динамическая модель мемристора использована для демонстрации синаптической пластичности по упрощенному правилу STDP, но не использована для моделирования явления синхронизации нейронов, изученного в эксперименте. Однако указанное замечание не влияет на общую высокую оценку диссертации.

– **Замечания из отзыва на автореферат Селезнева Е.П.:**

– К замечаниям, а скорее к комментариям к работе отмечу отсутствие упоминаний о хаотических режимах взаимодействия, которые, скорее всего, автор наблюдал, но не анализировал.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается значительным опытом выполнения ими научно-исследовательских работ по тематике диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований установлено, что:

– автогенераторы, выполненные в виде радиотехнических схем и связанные посредством оптоэлектронной связи, способны демонстрировать синхронизацию N:1;

– включение мемристивного устройства в канал связи между двумя взаимодействующими нейроноподобными генераторами позволяет адаптивно управлять режимами синхронизации между генераторами подобно синаптической связи между биологическими нейронами;

– нейрогибридная оптоэлектрическая система, состоящая из нейроноподобного генератора Фитцхью-Нагумо, оптоэлектрического интерфейса и живых нейронов мозга крысы, позволяет осуществить стимуляцию живых клеток мозга и обеспечить эффект синхронизации между сигналами искусственного и живого нейрона.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в диссертации описан теоретический подход к исследованию механизмов генерации, передачи и преобразования сигналов между нейронами, в ходе работы были выявлены и подтверждены мультистабильные свойства мемристивных устройств, что может

положить начало построению больших нелинейных систем нейронных осцилляторов с мемристивными связями и исследованию сложных нелинейных эффектов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что на основании полученных в диссертационном исследовании результатов показана возможность разработки оптоэлектронных, мемристивных интерфейсов с живыми нейронами мозга. При этом одним из наиболее перспективных вариантов таких интерфейсов является введение оптоволокна непосредственно в мозг экспериментальным животным, а использование мемристивного устройства как компонента нейроморфного интерфейса позволяет обеспечить адаптивность связи, может положить начало разработке гибких биолого-правдоподобных нейропротезов.

Оценка достоверности полученных результатов исследования выявила, что достоверность полученных результатов подтверждается согласованностью теоретических моделей и экспериментальных данных межнейронных процессов, верификацией полученных теоретических и радиофизических моделей путем разработки на их основе нейрогибридной системы для стимуляции живых нейронов мозга, а также согласием результатов диссертации с результатами исследований отечественных и зарубежных авторов в данной области. Сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты, достоверны.

Личный вклад соискателя состоит в макетировании нейронов и межнейронного взаимодействия, проведении теоретических и экспериментальных исследований по изучению генерации, синхронизации и преобразованию сигналов в нейроморфных системах, в том числе в нейроноподобных осцилляторах, связанных через оптоволокно, через мемристивное устройство, в нейрогибридной системе.

На заседании 24.03.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Герасимовой С.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика, на основании того, что диссертация представляет собой научную квалификационную работу, в которой содержатся новые теоретические и экспериментальные результаты, имеющие значение для развития радиофизики, и которая соответствует критериям, установленным требованиям пп. 9 – 11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней»,

