

  
Проректор по научной работе  
Нижегородского государственного  
университета им. Н.И. Лобачевского  
Иванченко Михаил Васильевич  
« 13 » 09 2022 г.  
М.П.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО**  
**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НИЖЕГОРОДСКИЙ**  
**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО»**  
(Регистрационный номер 60-22 от 13.09.2022)

по диссертации Большакова Дениса Ивановича «Электронное моделирование и исследование динамики нейроноподобного генератора на базе системы фазовой автоподстройки частоты»

на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности

1.3.5. – Физическая электроника

1.3.4. - Радиофизика

Настоящее заключение выдано на основании личного заявления соискателя ученой степени от 01.09.2022 г.

Диссертация выполнена на кафедре теории колебаний и автоматического регулирования радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Тема диссертационной работы утверждена на заседании Ученого совета радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского 16.12.2020 г. (протокол №20-11).

В 2017 г. соискатель ученой степени Большаков Д.И. окончил магистратуру радиофизического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» по направлению подготовки 03.04.03 «Радиофизика».

В период с 2017 г. по 2021 г. Большаков Д.И. обучался в аспирантуре по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия». Справка об обучении в образовательной организации № 044/А от 29.08.2022 г., содержащая сведения о сданных кандидатских экзаменах по специальности «Радиофизика» (направление 03.06.01 «Физика и астрономия»), и диплом об окончании аспирантуры № 18/04-01 от 08.10.21 выданы федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского». Справка об обучении №54-2022 от 25.08.2022г., содержащая сведения о сданном кандидатском экзамене по специальности «Физическая электроника», выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

В период подготовки диссертации Большаков Денис Иванович работал в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» в должности младшего научного сотрудника (с 2017 по настоящее время кафедры теории колебаний и автоматического регулирования радиофизического факультета.

Научные руководители – Матросов Валерий Владимирович, профессор, доктор

физико-математических наук, декан радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского и Сысоев Илья Вячеславович, доцент, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ кафедры теории колебаний и автоматического регулирования радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского, утвержденные на заседании Ученого совета радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского 16.12.2020 г. (протокол №20-11), представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Диссертация обсуждалась на расширенном заседании кафедры теории колебаний и автоматического регулирования радиофизического факультета ННГУ с приглашением специалистов по профилю диссертации из ИПФ РАН.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

#### **Общая оценка работы**

Диссертационная работа Большакова Д.И. посвящена электронному моделированию нейроноподобных генераторов с использованием систем ФАП и их ансамблей, а также анализу их динамики.

Диссертационная работа выполнена на высоком уровне. Получен ряд новых и оригинальных научных результатов.

#### **Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации.**

Все результаты, представленные в диссертационной работе, выполнены при непосредственном активном участии соискателя либо получены им лично.

#### **Степени достоверности результатов проведенных исследований.**

Достоверность полученных результатов, полученных в диссертации, подтверждается использованием при анализе динамики математических моделей качественно-численных методов теории нелинейных колебаний и теории бифуркаций, совпадением полученных экспериментальных результатов импульсной активности разработанных электронных нейронов с результатами численного моделирования, совпадением изложенных в диссертации результатов с результатами исследований отечественных и зарубежных авторов в данной области. Основные результаты опубликованы в высокорейтинговых российских и зарубежных изданиях и неоднократно обсуждались на научных семинарах и конференциях.

#### **Новизна полученных результатов.**

Научная новизна диссертационной работы заключается, во-первых, в теоретическом и практическом изучении процессов генерации и синхронизации нейроноподобных колебаний системами фазовой автоподстройки частоты. Во-вторых, в использовании для определения степени соответствия электронной аппаратной реализации математической модели разработанного метода реконструкции параметров по временным рядам. В частности, в методе впервые применена комбинация численного дифференцирования и интегрирования для реконструкции вектора состояния, используется подход к реконструкции интегрированных по времени уравнений, вводятся поправки на масштабирование и смещение, имеющее место при измерениях. В-третьих, в применении модели синаптического контакта с кратковременной пластичностью на основе мемристивного элемента для связывания генераторов в ансамбль и исследования коллективной динамики.

Основные научные результаты:

1. Разработана и исследована электронная модель нейроноподобного генератора на базе системы ФАП качественно повторяющая автоколебательную динамику мембранного потенциала биологического нейрона.
2. Проведена реконструкция параметров генератора по его экспериментальным временным рядам. В результате реконструкции достигнуто хорошее количественное соответствие со значениями, рассчитанными исходя из номиналов электронных компонентов в соответствии с математической моделью.

3. Предложена модификация цепи управления системы ФАП дополняющая автоколебательную динамику электронного нейрона возбудимым режимом. Исследована динамика модифицированной модели при внешнем импульсном воздействии. Показано, что переход от возбудимого режима к колебательному зависит только от площади воздействующего импульса.
4. Установлено, что модель синаптической связи на основе мемристивного элемента имеет нелинейную зависимость проводимости от частоты следования импульсов. Частотная зависимость проводимости мемристивного элемента качественно повторяет механизм кратковременной пластичности синапса биологического нейрона. Синхронизация двух связанных через синаптический узел нейроноподобных генераторов носит временный характер и определяется текущим значением проводимости мемристивного элемента.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая значимость работы состоит в том, что показана возможность создания электронного устройства, основанного на системе ФАП с полосовым фильтром, генерирующего нелинейные колебания различных типов (одиноким импульсы, периодические и хаотические пачки импульсов), свойственные реальным нейронам. Таким образом, продемонстрировано, что нейроподобные режимы, в том числе режимы коллективной динамики в полупроводниковых устройствах можно получить не только путём реализации составленных из биофизических принципов уравнений «в железе», но и путём феноменологического моделирования именно самих режимов активности без привязки к происхождению уравнений математической модели генератора.

Также теоретическая значимость состоит в результатах исследования возбуждения и коллективной динамики аппаратных моделей нейроноподобных генераторов, связанных через мемристивный элемент.

Практическая значимость результатов данной работы заключается в возможности использования относительно простой и стабильно работающей модели нейроноподобного генератора на основе системы фазовой автоподстройки частоты, а также модели рассмотренного синаптического контакта на основе мемристивного элемента для реализации аппаратных биологически правдоподобных нейронных сетей. Такие нейронные сети в свою очередь могут применяться в адаптивных робототехнических системах, системах потоковой обработки видео и машинного зрения, системах классификации паттернов активности мозга и мышц человека, системах нейропротезирования и искусственного интеллекта.

### **Апробация работы.**

Основные результаты диссертации докладывались на российских и международных конференциях, включая: XX-XXV научные конференции по радиофизике (Н. Новгород, 2015-2021), XVII-XVIII научная школа «Нелинейные волны» (Н. Новгород, 2016, 2018), XI-XII Международная школа - конференция «Хаотические автоколебания и образование структур» (Саратов, 2016, 2019), XXII - XXIII нижегородская сессия молодых ученых. Естественные, математические науки (Н. Новгород, 2017, 2018), XII и XV Всероссийские конференции молодых ученых «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика», (Саратов, 2017, 2020), международная конференция «VOLGA NEUROSCIENCE MEETING 2018» (Н. Новгород, Самара, 2018), международная конференция «11th FENS Forum of Neuroscience» (Берлин, 2018), XX международная конференция «Математическое моделирование и суперкомпьютерные технологии» (Н. Новгород, 2020), XXIX Всероссийская научная конференция «Нелинейные дни в Саратове для молодых» (Саратов, 2021), V Международная конференция «Информационные технологии и технические средства управления» (Астрахань, 2021).

Результаты диссертационной работы использованы при выполнении научно-исследовательских работ по следующим темам: РФФИ 16-32-00643-мол-а, 18-29-23001-мк; государственного задания Министерства науки и высшего образования 0729-2020-0040;

программы развития региональных научно-образовательных математических центров № 075-02-2020-1483 «Математика технологий будущего»; грантов Президента РФ МК-2726.2017.2, МД-3006.2021.1.2.

**Ценность научных работ соискателя.**

Ценность научных работ соискателя подтверждается публикацией результатов работ в ведущих научных журналах с высоким индексом цитирования.

**Специальность, которой соответствует диссертация.**

Диссертационная работа Большакова Д.И. является законченным научным исследованием, отвечающим требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» утверждено постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Тема и содержание диссертации соответствуют специальностям 1.3.5. – Физическая электроника и 1.3.4. – Радиофизика.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени.**

Основное содержание диссертационной работы в полной мере отражено в 4 статьях в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования результатов диссертационных исследований на соискание степени доктора и кандидата физико-математических наук:

1. 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.

2. 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.

3. 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. – №. 3. – P. 854-858.

4. Mishchenko M.A., Bolshakov D.I., Lukoyanov V.I., Korolev D.S., Belov A.I., Guseinov D.V., Matrosov V.V., Kazantsev V.B., Mikhaylov A.N. Inverted spike-rate-dependent plasticity due to charge traps in a metal-oxide memristive device //Journal of Physics D: Applied Physics. – 2022 – V. 55. – № 39. – P. 394002

**Наличие в диссертации ссылок на научные работы, выполненные соискателем ученой степени в соавторстве.**

В диссертации Большакова Д.И. имеются ссылки на научные работы, выполненные в соавторстве.

**Результаты проверки текста диссертации на предмет неправомерных заимствований.**

Проверка текста диссертации не выявила факта неправомерных заимствований.

**Решение о возможности рекомендовать диссертацию к защите в диссертационном совете.**

Диссертация Большакова Дениса Ивановича «Электронное моделирование и исследование динамики нейроподобного генератора на базе системы фазовой автоподстройки частоты» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.5. – Физическая электроника и 1.3.4. – Радиофизика.

Присутствовало на расширенном заседании кафедры теории колебаний и автоматического регулирования радиофизического факультета ННГУ:

**Всего:** 14 чел.,

Профессор, д.ф.-м.н. Канаков О.И., декан радиофизического факультета, профессор, д.ф.-м.н. Матросов В.В.; д.ф.-м.н., доц. Сысоев И.В.; зав. каф. теории управления и динамики машин д.ф.-м.н., доц. Осипов Г.В.; зав. каф. нейротехнологий, д.ф.-м.н., доц. Казанцев В.Б.; доцент д.ф.-м.н. Клиньшов В.В.; доцент, к.ф.-м.н. Кастальский И.А.; младший научный сотрудник, к.ф.-м.н. Корнилов М.В.; доцент, к.ф.-м.н. Масленников О.В.; заведующий лабораторией физики и технологии тонких пленок НИФТИ, к.ф.-м.н. Михайлов А.Н.; доцент, к.ф.-м.н. Мищенко М.А.; научный сотрудник ИПФ РАН, к.ф.-м.н. Щапин Д.С.; ассистент Сутягин А.А.; инженер Нагин А.Е.

из них 6 докторов наук, 6 кандидатов наук.

**Результаты голосования:**

«за» - 14 чел.,

«против» - 0 чел.,

«воздержалось» - 0 чел.

Протокол № 2 от 12.09.2022 г.



Канаков Олег Игоревич  
председатель заседания, доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры теории колебаний и автоматического  
регулирования радиофизического факультета  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского