

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 УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.10.2021 № 9

О присуждении **Корнееву Ивану Александровичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Колебания и бифуркации в системах с мемристивными элементами» по специальности 1.3.4. — Радиофизика принята к защите 2 июля 2021 года (протокол заседания № 3) 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 Корнеев Иван Александрович, 4 мая 1992 года рождения, в 2017 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского») с присвоением квалификации магистра по направлению 03.04.03 «Радиофизика». В 2021 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», направленность «Радиофизика».

Работает заведующим учебной лабораторией кафедры радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки РФ.

Диссертация выполнена на кафедре радиофизики и нелинейной динамики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Вадивасова Татьяна Евгеньевна, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», кафедра радиофизики и нелинейной динамики, профессор.

Официальные оппоненты:

1. **Куркин Семён Андреевич**, доктор физико-математических наук (05.13.18), доцент, АНО ВО «Университет Иннополис» (г. Иннополис), центр технологий компонентов робототехники и мехатроники, лаборатория нейронауки и когнитивных технологий, профессор;

2. **Круглов Вячеслав Павлович**, кандидат физико-математических наук (01.04.03), Саратовский филиал ФГБУН «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН» (г. Саратов), лаборатория теоретической нелинейной динамики, научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (г. Пермь) в своем положительном отзыве, подписанном Деминым Виталием Анатольевичем, доктором физико-математических наук (01.02.05), доцентом, заведующим кафедрой теоретической физики, и составленном Голдобиним Денисом Сергеевичем, кандидатом физико-математических наук (01.02.05), доцентом кафедры теоретической физики, указала, что диссертация Корнеева Ивана Александровича представляет собой законченное исследование, которое вносит важный вклад в развитие теории колебаний и волн в нелинейных системах радиофизической и иной природы. Результаты проведенных исследований значительно расширяют представления о динамике особого класса нелинейных систем, в который можно выделить системы, содержащие мемристивные элементы, а также имеют важное значение для ряда практических задач в области развития компьютерной техники и цифровых систем обработки данных, в которых используются мемристивные элементы. Диссертация И.А. Корнеева по актуальности решенных задач, объему проведенных исследований, степени научной новизны и практической значимости результатов удовлетворяет всем требованиям пп. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного поста-

новлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Корнеев Иван Александрович, достоин присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиоп физика.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 работ общим объемом 11,18 п.л. (авторский вклад 4,79 п.л.), из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 10 работ. Список публикаций также включает 1 работу в сборнике трудов конференции и 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **I.A. Korneev**, T.E. Vadivasova, V.V. Semenov. Hard and soft excitation of oscillations in memristor-based oscillators with a line of equilibria // *Nonlinear Dynamics*. – 2017. – V. 89. – I. 4. – P. 2829–2843.
2. **I.A. Korneev**, A.V. Slepnev, V.V. Semenov, T.E. Vadivasova. Forced synchronization of an oscillator with a line of equilibria // *The European Physical Journal Special Topics*. – 2020. – V. 229. – I. 12. – P. 2215–2224.
3. **I.A. Korneev**, V.V. Semenov, T.E. Vadivasova. Synchronization of periodic self-oscillators interacting via memristor-based coupling // *International journal of bifurcation and chaos*. – 2020. – V. 30. – I. 7. – P. 2050096.
4. **I.A. Korneev**, V.V. Semenov, A.V. Slepnev, T.E. Vadivasova Complete synchronization of chaos in systems with nonlinear inertial coupling // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2021. – V. 142. – P. 110459.

На диссертацию и автореферат диссертации поступило 6 положительных отзывов: из Университета Огайо (США) от д.ф.-м.н., профессора Неймана А.Б. (01.04.03); из ФГБНУ ФИЦ «Институт прикладной физики РАН» (г. Нижний Новгород) от к.ф.-м.н. Клиньшова В.В. (01.04.03); из ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» от д.ф.-м.н. Осипова Г.В. (01.04.03) и к.ф.-м.н. Левановой Т.А. (05.13.18); из ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» от д.ф.-м.н. Кузнецова Н.В. (05.13.18); из Саратовского филиала Института радиотехники и электроники РАН имени В.А. Котельникова от д.ф.-м.н. Караваева А.С. (05.13.18); из Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А. от к.ф.-м.н. Сысоевой М.В. (03.01.02 и 01.04.03) и к.ф.-м.н. Балакина М.И. (05.13.18).

В отзывах сделаны замечания: а) об отсутствии в автореферате: основных аналитических формул, используемых для визуализации теоретических результатов на рисунках 2-4, и пояснений теоретических методов исследования; б) о недостаточном представлении влияния «забывания» мемристора на динамику систем; в) о недостаточной строгости в использовании терминов; г) редакционные замечания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близким соответствием проводимых ими исследований теме диссертации, их высокой квалификацией в области радиофизики и моделирования нелинейных колебаний, позволяющей оценить научную и практическую значимость диссертационной работы, широкой известностью и признанными достижениями среди специалистов. Выбор официальных оппонентов объясняется, кроме того, отсутствием совместных печатных работ с соискателем. Выбор ведущей организации обосновывается наличием в коллективе большого числа известных специалистов, работающих в направлениях, связанных с тематикой диссертации, а также отсутствием договорных отношений с соискателем. Выбор официальных оппонентов и ведущей организации удовлетворяет критериям, сформулированным в пп. 22 и 24 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны общие представления о влиянии мемристивных элементов на колебательные и волновые процессы в нелинейных системах и ансамблях в случае мемристоров с идеальной памятью и при наличии эффекта «забывания»;

доказано, что в случае мемристоров с идеальной памятью влияние мемристивных элементов на поведение динамической системы состоит в особой чувствительности динамических режимов к начальным условиям, в частности, к начальным состояниям мемристоров, и проявляется в особенностях структуры предельного множества, возможности бифуркационных переходов при фиксированных параметрах, зависимости границы синхронизации периодических и хаотических колебаний от начальных значений переменных, управляющих состоянием мемристоров;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

установлено, что в генераторе с колебательным контуром, содержащим мемристор с идеальной памятью, в зависимости от характеристики мемристора и вида нелинейности активного элемента, возможны мягкие и жесткие бифуркации возникновения колебаний, как при изменении управляющего параметра, так и при постоянных параметрах и изменении начальных условий;

показано, что частота и фаза периодических колебаний генератора с мемристором в колебательном контуре могут быть захвачены при внешнем периодическом воздействии или при взаимодействии двух мемристивных генераторов, что подтверждает автоколебательный характер мемристивного генератора, хотя колебаниям в таком генераторе соответствует замкнутая кривая, не являющаяся изолированной (т.е. не являющаяся предельным циклом);

выявлено, что эффекты синхронизации в мемристивных системах, в том числе в системах с мемристивной связью, существенно зависят от начальных состояний мемристивных элементов: при синхронизации частот и фаз периодических колебаний зависимость границ области синхронизации от начальных состояний мемристоров наблюдается только в случае мемристоров с идеальной памятью; при синхронизации хаотических колебаний и пространственных структур в системах с мемристивным взаимодействием зависимость границы синхронизации от начального состояния мемристоров связи сохраняется и при наличии слабого эффекта забывания;

применительно к проблематике диссертации эффективно (с получением обладающих новизной результатов) **использован** приближенный квазигармонический анализ колебаний в мемристивных системах и **получены** усредненные уравнения для мгновенных амплитуд и фаз, на основании которых выведены приближенные теоретические соотношения, которые находятся в хорошем соответствии с результатами численного моделирования и аналоговых экспериментов;

раскрыта роль линий и поверхностей равновесий в фазовом пространстве мемристивных систем с идеальным характером мемристивных элементов (при отсутствии эффекта забывания) в формировании особенностей динамики мемристивных систем и роль неидеального характера мемристоров (эффекта забывания) в поведении мемристивных систем;

изучены волновые явления в дискретных моделях автоколебательной и возбудимой среды с мемристивным характером взаимодействия элементов и **установлена** зависимость формы бегущей волны от начальных состояний мемристивных связей. Для модели возбудимой мемристивной среды (кольцо мемристивно-взаимодействующих нейронов ФитцХью-Нагумо в возбудимом режиме) **показано**, что скорость распространения волны (и, соответственно, периода колебаний осцилляторов) также существенно зависят от начальных состояний мемристоров связи.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены (в рамках ведущихся на кафедре радиофизики и нелинейной динамики научных проектов) специальные программные средства, позволяющие исследовать эффекты синхронизации мемристивных генераторов и динамику ансамблей мемристивно-связанных осцилляторов;

определены эффекты, связанные с конечной памятью мемристоров и состоящие в исчезновении или уменьшении влияния начального состояния мемристора на динамику системы;

создана аналоговая модель мемристивного элемента и аналоговая модель мемристивного генератора на основе колебательного контура с отрицательным сопротивлением, содержащего мемристор;

результаты исследований использовались при выполнении НИР, поддержанных грантами РФФИ (№ 19-32-90030, № 20-52-12004) и Российского научного фонда (проект № 20-12-00119);

представлены результаты, свидетельствующие о возможности управления характеристиками волн в ансамблях возбудимых осцилляторов и возбудимых средах с мемристивным характером взаимодействия элементов с помощью выбора начальных состояний мемристивных связей.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Для экспериментальной аналоговой модели генератора с мемристором в колебательном контуре было получено качественное и частично количественное соответствие результатов аналогового моделирования с данными численных экспериментов. Такое соответствие наблюдается для аналоговой модели на конечном времени наблюдения, которое при соответствующей настройке аналогового устройства может быть достаточно длительным;

для теоретических результатов достоверность подтверждается хорошим количественным соответствием с данными численного моделирования;

использованы специально разработанные и апробированные компьютерные программы, предназначенные для численного моделирования динамики мемристивных систем.

Личный вклад соискателя состоит в решении задач с применением аналитических методов, в разработке аналоговой модели мемристивного генератора и получении экспериментальных данных, разработке программ для проведения численных исследований и проведении компьютерного моделирования динамики всех рассмотренных в диссертации систем. Планирование и постановка задач, интерпретация и

обсуждение результатов, написание научных статей осуществлялись совместно с научным руководителем.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию в научно-исследовательских организациях, занимающихся изучением физических явлений в нелинейных колебательных системах (Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, г. Москва, и его филиалах; Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород; Физическом институте имени П.Н. Лебедева, г. Москва; Институт общей физики РАН, г. Москва, и др.), а также в учебном процессе вузов, ведущих подготовку специалистов в области радиофизики и нелинейной динамики (СГУ имени Н.Г. Чернышевского, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Санкт-Петербургский государственный университет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова и др.).

Содержание диссертации удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1) о неопределенности терминов «простая и сложная хаотическая динамика»; 2) о нечеткости пояснений, как отражено свойство мемристивности в уравнениях; 3) о необходимости указать примеры мемристивных устройств; 4) о необходимости пояснения, чем ограничивается амплитуда колебаний в мемристивном генераторе с линейной характеристикой активного элемента; 5) о неясности того, в чем состоит новизна эффекта захвата частоты и фазы колебаний применительно к мемристивному генератору.

Соискатель Корнеев И.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и дал необходимые пояснения: 1) пояснил, что имелась ввиду простая и сложная модели с хаотической динамикой; 2) было показано, какие именно функции в правой части уравнений отражают свойства мемристора; 3) были указаны известные примеры мемристивных систем (термистор и газоразрядная лампа); 4) было указано, что ограничение амплитуды колебаний в мемристивном генераторе с постоянным отрицательным сопротивлением происходит за счет особого характера зависимости проводимости мемристора от значений динамических переменных; 5) И.А Корнеев

указал, что эффект захвата частоты и фазы в мемристивном генераторе с внешним воздействием не является тривиальным, поскольку периодическим колебаниям генератора в фазовом пространстве соответствует непрерывное множество замкнутых кривых разного размера, а не изолированная замкнутая кривая (предельный цикл), что не подходит под определение автоколебательной системы.

На заседании 22 октября 2021 года диссертационный совет принял решение за решение актуальной задачи радиофизики, заключающейся в установлении влияния мемристивного элемента на динамику простой модели колебательной системы, на явление синхронизации и распространению волн в мемристивно связанных системах, присудить Корнееву И.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человека (15 человек находились в месте проведения заседания, 4 человека участвовали в заседании совета в удаленном интерактивном режиме), из них 5 докторов по специальности 1.3.4. – Радиофизика, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета: проголосовал: за – 19, против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель

диссертационного совета



Аникин Валерий Михайлович

Ученый секретарь

диссертационного совета

Слепченков Михаил Михайлович

22 октября 2021 г.