

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 25 октября 2024 г. № 51

О присуждении **Торгашову Роману Антоновичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Особенности процессов распространения электромагнитных волн и электронно-волнового взаимодействия в миниатюрных приборах О-типа миллиметрового диапазона с пространственно-развитыми электродинамическими структурами и ленточными электронными потоками» по специальности 1.3.4. - Радиофизика принята к защите 28 июня 2024 года (протокол заседания № 48) диссертационным советом 24.2.392.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки России, 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/нк50, 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); приказы об изменении состава совета от 15.10.2021 № 1046/нк-33, от 23.05.2023 №1131/нк-39 и от 25.09.2024 № 889/нк-43.

Соискатель Торгашов Роман Антонович, 19 февраля 1997 года рождения, в 2020 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 03.04.01 «Прикладные математика и физика». В 2024 году освоил программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГБОУ ВО

«СГУ имени Н.Г. Чернышевского» Минобрнауки России по группе научных специальностей 1.3. Физические науки, специальность 1.3.4. - Радиофизика.

Соискатель работает младшим научным сотрудником лаборатории вакуумной микро- и нанoeлектроники в Саратовском филиале ФГБУН Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (СФИРЭ РАН) и ассистентом кафедры нелинейной физики в ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Диссертация выполнена на кафедре динамических систем на базе СФИРЭ РАН ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», а также в лаборатории вакуумной микро- и нанoeлектроники СФИРЭ РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Рыскин Никита Михайлович, СФИРЭ РАН, лаборатория вакуумной микро- и нанoeлектроники, главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», заведующий кафедрой динамических систем на базе СФИРЭ РАН.

Официальные оппоненты:

Царёв Владислав Алексеевич, доктор технических наук (05.27.02), профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», кафедра «Электронные приборы и устройства», профессор;

Федотов Алексей Эдуардович, кандидат физико-математических наук (01.04.04), ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», г. Нижний Новгород, отдел высокочастотной релятивистской электроники, лаборатория коротковолновых СВЧ-генераторов, старший научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Алмаз», г. Саратов, в своем положительном отзыве, подписанном Роговиным Владимиром Игоревичем (05.27.02), кандидатом физико-математических наук, доцентом, заместителем директора НПЦ «Электронные системы» по развитию и внедрению результатов НИОКР, указала, что тема диссертационной работы Торгашова Р.А. является актуальной и перспективной для радиофизики и современной СВЧ-электроники миллиметрового диапазона. Работа изложена ясным научным языком, содержит оригинальные результаты, обладающие научной новизной и научно-практической значимостью для данной научной отрасли, и удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении

ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Торгашов Роман Антонович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. - Радиофизика.

Выбор официальных оппонентов обосновывается близким соответствием проводимых ими исследований теме диссертации, их высокой квалификацией в области радиофизики, связанной с изучением высокоэффективных источников электромагнитного излучения и электродинамических структур миллиметрового диапазона длин волн, 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 её высоким авторитетом среди научно-исследовательских организаций, эффективно работающих над решением актуальных задач радиофизики, 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.

Соискатель имеет 97 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 57 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и/или Scopus, опубликовано 12 работ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. **Torgashov R.A.**, Rozhnev A. G., Ryskin N. M. Design study on a multiple-tunnel meander-line slow-wave structure for a high-power V-band traveling-wave tube // IEEE Transactions on Electron Devices – 2022 – Vol. 69 – No. 3 – P. 1396-1401.
2. Torgashov G. V., **Torgashov R.A.**, Titov V.N., Rozhnev A.G., Ryskin N.M. Meander-line slow-wave structure for high-power millimeter-band traveling-wave tubes with multiple sheet electron beam // IEEE Electron Device Lett. –2019 – Vol. 40 – No. 12 – P. 1980-1983.
3. Ryskin N.M., **Torgashov R.A.**, Starodubov A.V., Rozhnev A.G., Serdobintsev A.A., Pavlov A.M., Galushka V.V., Bessonov D.A., Ulisse G., Krozer V.

Development of microfabricated planar slow-wave structures on dielectric substrates for miniaturized millimeter-band traveling-wave tubes // Journal of Vacuum Science & Technology B. – 2021 – Vol. 39 – No. 1.

4. Ryskin N.M., Rozhnev A.G., Starodubov A.V., Serdobintsev A.A., Pavlov A.M., Benedik A.I., **Torgashov R.A.**, Torgashov G.V., Sinitsyn N.I. Planar microstrip slow-wave structure for a low-voltage V-band traveling-wave tube with a sheet electron beam // IEEE Electron Device Lett. – 2018. – Vol. 39. – No. 5. – P. 757-760

5. **Торгашов Р.А.** Замедляющая система меандрового типа на диэлектрической подложке для лампы бегущей волны миллиметрового диапазона // Письма в Журнал технической физики – 2020 – Т. 46 – № 23 – С. 25-28.

6. **Торгашов Р.А.**, Ножкин Д.А., Стародубов А.В., Рыскин Н.М. Разработка и исследование замедляющей системы для миниатюрной многолучевой лампы бегущей волны W-диапазона // Радиотехника и электроника – 2023 – Т. 68 – № 10. – С. 992-997.

На автореферат поступило 6 положительных отзывов: из АО «НПП «Исток» им. Шокина» от Комарова Д.А., д.т.н. (05.27.02); из Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» от Григорьева А.Д., д.т.н. (05.27.02); из Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» от Байкова А.Ю., д.ф.-м.н. (01.04.04), из АО «НПП «Исток» им. Шокина» от Галдецкого А.В., к.ф.-м.н. (01.04.03); из Московского института электроники и математики имени А. Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, от Кравченко Н.П., к.т.н. (5.12.10); из АО «НПП «Контакт» от Сахаджи Г.В., к.т.н. (05.27.02) и Калгановой С.Г., д.т.н. (05.09.10).

В отзывах на автореферат сделаны замечания: а) об отсутствии в тексте автореферата: обсуждения проблемы токооседания на поверхность диэлектрика и его зарядки, связанной с использованием тонких проводников; данных об устойчивости и чувствительности характеристик структур к изменениям геометрии; о ширине полосы усиливаемых частот лампы бегущей волны (ЛБВ) и влияющих на нее факторах; описания методики экспериментального исследования дисперсионных характеристик, технологий изготовления микрополосковых замедляющих систем; сведений о верификации полученных результатов; сведений о том, достаточно ли проведенного анализа взаимодействия электронного пучка только с одной модой колебаний или необходимо анализировать двухмодовую

работу лампы; информации о том, возможно ли получение плоского электронного пучка необходимой толщины; б) редакционные замечания.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

предложены новые замедляющие системы для ЛБВ миллиметрового диапазона с относительно низкими значениями ускоряющих напряжений, в которых взаимодействие возможно с высокоаспектными ленточными многолучевыми электронными потоками со сравнительно низкими значениями плотности тока;

выполнен численный анализ электродинамических процессов в миниатюрных планарных замедляющих системах миллиметрового диапазона, а также рассчитаны их основные характеристики (дисперсия, сопротивление связи, затухание, структура полей);

установлены особенности электронно-волнового взаимодействия с ленточными электронными пучками в ЛБВ миллиметрового диапазона с замедляющими системами, предложенными в диссертации;

разработаны широкополосные согласующие устройства ввода/вывода энергии для исследуемых структур;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно (с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс современных программных пакетов трехмерного электромагнитного моделирования, в частности, программные пакеты COMSOL Multiphysics и CST Studio Suite;

показано, что при соответствующем масштабировании микрополосковые замедляющие системы на диэлектрических подложках при продвижении в миллиметровый диапазон обеспечивают высокие значения коэффициента замедления и сопротивления связи;

установлено, что в замедляющей системе типа связанных меандров на диэлектрической подложке происходит расщепление основной моды на симметричную и антисимметричную, причем симметричная мода имеет более высокое сопротивление связи и не имеет отсечки в области низких частот;

выявлены закономерности трансформации спектра и структуры собственных мод при вариации числа пролетных каналов и высоты меандровой линии в замедляющей системе типа многоэтажный меандр.

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

предложены новые конструкции замедляющих систем для ЛБВ короткой и средней части миллиметрового диапазона, позволяющие обеспечить взаимодействие с одно- и многолучевыми ленточными электронными пучками в миниатюрных ЛБВ-усилителях миллиметрового диапазона. Подобные усилители найдут практическое применение в современных системах высокоскоростной беспроводной передачи данных нового поколения, системах радиолокации, радиоастрономии, спектроскопии;

определены выходные характеристики (коэффициент усиления, выходная мощность, ширина полосы усиливаемых частот) миниатюрных ЛБВ с замедляющими системами, предложенными в диссертации;

предложены способы повышения выходной мощности ЛБВ-усилителей до значений порядка нескольких сотен ватт при сравнительно низких значениях ускоряющего напряжения (не более 20 кВ) и плотности тока (не более 220 А/см²);

результаты исследований использовались при выполнении грантов РФФИ (№№ 16-08-00450, 20-57-12001), РНФ (№№ 17-12-01160, 22-12-00181), а также государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (FFWZ-2022-0001, FFWZ-2022-0007).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использованы обоснованные и хорошо апробированные радиофизические подходы, методы и модели для анализа процессов распространения волн в мелкомасштабных электродинамических структурах, а также процессов электронно-волнового взаимодействия, в том числе, программные пакеты электромагнитного моделирования COMSOL Multiphysics и CST Studio Suite;

установлено хорошее соответствие результатов расчета, полученных с использованием различных численных методов;

показано, что результаты расчетов электродинамических характеристик планарных микрополосковых замедляющих систем на диэлектрических подложках согласуются с результатами экспериментальных измерений.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты, включенные в диссертацию, получены лично соискателем. Соискателем выполнена разработка математических моделей, проведены численные эксперименты и анализ полученных результатов. Постановка задачи, обсуждение и интерпретация результатов осуществлялись совместно с научным руководителем д.ф.-м.н., профессором Рыскиным Н.М., а также с к.ф.-м.н. Рожнёвым А.Г.

Результаты работы рекомендуются к использованию в научно-исследовательских учреждениях и производственных организациях: в Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (г. Москва) и его Саратовском филиале, Институте сильноточной электроники Сибирского отделения РАН (г. Томск), ФИЦ «Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН» (г. Нижний Новгород), НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва), АО «НПП «Исток» им. Шокина» (г. Фрязино), АО «НПП «Алмаз» (г. Саратов), АО «НПП «Торий» (г. Москва), АО «НПП «Салют» (г. Нижний Новгород).

Результаты рекомендуются к внедрению в учебный процесс в высших учебных заведениях, ведущих подготовку в области радиофизики и электроники – в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», Национальном исследовательском университете «МЭИ», Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Новосибирском национальном исследовательском государственном университете, Национальном исследовательском Томском государственном университете, Саратовском национальном исследовательском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, Саратовском государственном техническом университете им. Гагарина Ю.А., Национальном исследовательском университете Высшая школа экономики, Московском физико-техническом институте (национальном исследовательском университете) и др.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1) о требованиях к диэлектрическим подложкам микрополосковых замедляющих систем и корректному учету их электрофизических характеристик, а также учете физических процессов при оседании электронов на подложку; 2) о технологиях производства и требованиях к точности изготовления микрополосковых замедляющих систем; 3) об определении линейного и нелинейного режима усиления в ЛБВ-усилителе; 4) о перспективах применения приборов вакуумной СВЧ-электроники в терагерцевом диапазоне; 5) о величине коэффициента усиления при увеличении длины пространства взаимодействия и секционировании прибора; 6) о количественном определении степени неоднородности распределения электрического поля в области распространения электронных пучков в замедляющей системе типа многоэтажный меандр.

Соискатель Торгашов Р.А. ответил на замечания, содержащиеся в отзывах ведущей организации, отзывах официальных оппонентов, в отзывах на автореферат, и на заданные ему в ходе заседания вопросы и дал необходимые пояснения: 1) что в

диссертации использовались кварцевые диэлектрические подложки. Пояснил, что в ходе изготовления замедляющих систем осуществлялся подбор режимов лазерной абляции, при которых поверхность диэлектрика не деформируется. Указал, что перспективным является применение алмаза как материала с высокими значениями диэлектрической проницаемости и коэффициента теплопроводности; 2) пояснил, что в процессе изготовления микрополосковых замедляющих систем на диэлектрической подложке использовалась технология магнетронного напыления медного слоя с адгезионным подслоем. Указал, что используемая технология обеспечивает высокое качество изготовления, что подтверждается соответствием результатов численного и экспериментального исследования электродинамических характеристик изготовленных структур; 3) пояснил, что при моделировании процессов электронно-волнового взаимодействия переход от линейного режима к нелинейному определялся исходя из зависимости коэффициента усиления от входной мощности; 4) пояснил, что для освоения терагерцевого диапазона с помощью приборов О-типа перспективным является использование пространственно-развитых замедляющих систем и электронно-оптических систем с ленточными и многолучевыми электронными пучками с большим поперечным сечением; 5) показал, что в двухсекционной конструкции ЛБВ коэффициент усиления увеличивается более, чем в два раза, за счет того, что на вход второй секции поступает сгруппированный электронный пучок, который возбуждает экспоненциально нарастающую волну; 6) пояснил, что мерой неоднородности электрического поля по поперечному сечению замедляющих систем типа многоэтажный меандр являются усредненные значения сопротивления связи в центральных и крайних пролетных каналах. В силу неоднородности электрического поля высших поперечных мод разница в значениях сопротивления связи в отдельных каналах может достигать 11 Ом, а для основной моды – до 3 Ом.

Содержание диссертации удовлетворяет пп. 9–11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. - Радиофизика, как удовлетворяющую следующим пунктам паспорта этой специальности: 1) Разработка физических основ генерации, усиления и преобразования колебаний и волн различной природы (электромагнитных, акустических, плазменных, механических), а также автоволн в неравновесных химических и биологических системах. Поиски путей создания

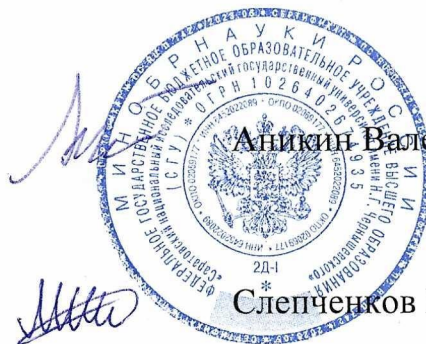
высокоэффективных источников когерентного излучения миллиметрового, субмиллиметрового и оптического диапазонов, техническое освоение новых диапазонов частот и мощностей; 3) Разработка и исследование новых электродинамических систем и устройств формирования и передачи радиосигналов: резонаторов, волноводов, фильтров и антенных систем в радио, оптическом и ИК – диапазоне.

На заседании 25 октября 2024 года диссертационный совет принял решение за решение актуальной задачи радиофизики, заключающейся в разработке новых замедляющих систем для эффективных источников когерентного излучения миллиметрового диапазона – ЛБВ-усилителей и ЛОВ-генераторов, в которых осуществляется взаимодействие с высокоаспектными ленточными одно- и многолучевыми электронными потоками, присудить Торгашову Р.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. - Радиофизика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек (21 человек находились в месте проведения заседания, 2 человека участвовали в заседании совета в удаленном интерактивном режиме), из них 10 докторов по специальности 1.3.4. - Радиофизика, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 23, против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Аликин Валерий Михайлович

Слепченко Михаил Михайлович

25 октября 2024 г.