

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 28.10.2022 № 24

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

Диссертация «Формирование ленточных электронных пучков с высокой плотностью тока для приборов вакуумной электроники субтерагерцевого диапазона» по специальности 1.3.5. – Физическая электроника принята к защите 23 июня 2022 г. (протокол заседания № 17) 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 Навроцкий Игорь Александрович, 1988 года рождения, окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» в 2011 г. по специальности «Прикладная информатика (в экономике)» с присвоением квалификации «информатик-экономист».

Справка о сданных кандидатских экзаменах № 28-2022 выдана 11.05.2022 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». В период подготовки диссертации являлся соискателем (приказ ректора СГУ от 11.10.2021 г. № 139-Д). Работает старшим научным сотрудником, Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Алмаз», г. Саратов.

Диссертация выполнена на кафедре динамических систем на базе Саратовского филиала ФГБУН ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки России и в отделе перспективных исследований и новых технологий АО «НПП «Алмаз».

Научный руководитель — Рыскин Никита Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, Саратовский филиал ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, главный научный сотрудник; ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Институт физики, кафедра динамических систем на базе СФ ИРЭ РАН, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

1. **Морев Сергей Павлович**, доктор физико-математических наук (05.27.02—Вакуумная и плазменная электроника), Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Исток» им. А.И. Шокина» (г. Фрязино); эксперт научно-технической сферы экспертной группы;

2. **Соминский Геннадий Гиршевич**, доктор физико-математических наук (01.04.04—Физическая электроника), профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (г. Санкт-Петербург); Высшая инженерно-физическая школа, профессор.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (г. Нижний Новгород) в своем положительном отзыве, подписанном Глявиным Михаилом Юрьевичем, доктором физико-математических наук (01.04.04—Физическая электроника), заместителем директора по научной работе, указала, что диссертация Навроцкого Игоря Александровича представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой представлены

теоретические и экспериментальные исследования новых электронно-оптических систем с низкоперевансными ленточными электронными потоками для ЛБВ субтерагерцового диапазона. Учитывая актуальность изученного вопроса, научную новизну, практическую значимость полученных результатов, их достоверность и обоснованность выводов, можно заключить, что диссертационная работа Навроцкого И.А. «Формирование ленточных пучков с высокой плотностью тока для приборов вакуумной электроники субтерагерцового диапазона» отвечает требованиям пп. 9, 11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а ее автор Навроцкий И.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5.–Физическая электроника

Соискатель имеет по теме диссертации 36 опубликованных работ общим объемом 8,031 п.л. (авторский вклад 2,58 п.л.), из них 9 статей в рецензируемых научных журналах, входящих в список изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России для опубликования основных научных результатов диссертаций, в том числе, входящих в индексируемые в базы данных Web of Science и/или Scopus. Список публикаций также включает 26 работ в сборниках трудов российских и международных конференций и 1 патент РФ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Navrotsky I.A.**, Ryskin N.M. Electron-optic system with high compression of a multiple elliptic electron beam for a miniaturized THz-band vacuum electron device // IEEE Access. 2022. Vol. 10. P. 1334-1338.
2. **Navrotsky I.A.**, Burtsev A.A., Emelyanov V.V., Titov V.N., Ryskin N.M. Electron-optic system with a converged sheet electron beam for a 0.2-THz traveling-wave tube // IEEE Transactions on Electron Devices. 2021. Vol. 68. No. 2. P. 798-803.
3. Ploskih A.E., Ryskin N.M., Burtsev A.A., Danilushkin A.V., **Navrotsky I.A.** Performance improvement of a sub-THz traveling-wave tube by using an electron optic system with a converging sheet electron beam // Results in Physics. 2019. Vol. 12. No. 12. P. 799-803.
4. Бурцев А.А., Григорьев Ю.А., Данилушкин А.В., **Навроцкий И.А.**, Павлов А.А., Шумихин К.В. Особенности разработки электронно-оптических систем для импульсных терагерцовых ламп бегущей волны (Обзор) // ЖТФ. 2018. Т. 88. № 3. С. 464-471.
5. Пат. 179616 Российская Федерация, МПК H01J 3/02. Многолучевая электронная микропушка с эллиптическими катодами / **Навроцкий И.А.**;

заявитель и патентообладатель АО «НПП «Алмаз». – № 2017106416; заявл. 27.02.2017; опубл. 21.05.2018, Бюл. 15. -9 С.

На автореферат диссертации поступило 5 положительных отзывов: из Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского от д.ф.-м.н. (01.04.03), профессора Мануилова В.Н.; из Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. от д.т.н. (05.27.02), профессора Мирошниченко А.Ю.; от д.т.н. (02.00.05), профессора Родионова И.В. и от д.т.н. (05.27.02), профессора Зоркина А.Я.; из Башкирского государственного университета (г. Уфа), от д.ф.-м.н. (01.04.04), профессора Бахтизина Р.З., из Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (г. Москва) от к.ф.-м.н. (01.04.01), Корниенко В.Н.

В отзывах сделаны замечания:

об отсутствии в автореферате: описания модели синтеза электронно-оптической системы и режима, в котором работает электронная пушка; объяснения расхождений данных между результатами численного моделирования и измерениями, представленными на рис. 7 и о недостаточной полноте в подписях к этому рисунку; сравнения результатов, полученных с помощью программного пакета CST Studio Suite, с экспериментальными исследованиями; об отсутствии пояснения эмиттерного состава катода и его возможной долговечности;

о большем внимании в изложении к техническим деталям, а не к описанию физики процессов.

Выбор официальных оппонентов обосновывается близким соответствием проводимых ими исследований теме диссертации, их высокой квалификацией в области исследования сложных электронно-оптических систем для задач формирования электронных пучков в мощных вакуумных приборах СВЧ, 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, 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:

установлена возможность формирования низкоперевансных ленточных электронных потоков (ЭП) с компрессией до 16 единиц по площади, током порядка 0.1 А и толщиной 100 мкм.

изучены особенности транспортировки ленточного ЭП с высокой компрессией в микроразмерном пролетном канале при фокусировке однородными и реверсными магнитными полями.

определены оптимизированные параметры электронно-оптических систем (ЭОС), формирующих одно- и многолучевые ленточные пучки, для приборов субтерагерцевого диапазона (0.1-0.2 ТГц).

доказана перспективность использования многолучевого ЭП с эллиптическим сечением для создания усилителей субтерагерцевого диапазона с мощностью свыше 100 Вт.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:

установлено, что ленточный ЭП, создаваемый ЭОС с высокой компрессией, при транспортировке в однородном магнитном поле в канале микроразмерной ЗС имеет сложную структуру в виде ядра и диффузной переходной области (гало), которая частично осажается на стенки канала. Однако, поскольку плотность частиц в этой области мала, на всей протяженности системы сохраняется высокое токопрохождение;

выполнен анализ структуры эквипотенциальных контуров для различных конфигураций ленточного ЭП и показано, что поток, состоящий из трех лучей эллиптической формы, при транспортировке в однородном магнитном поле испытывает значительно меньшие деформации и менее чувствителен к нарушениям симметрии, чем одиночный поток прямоугольной или эллиптической формы с высокоаспектным соотношением сторон.

исследовано влияние различных нарушений оптической симметрии на процесс транспортировки ленточного ЭП в однородном и реверсном магнитном поле.

применительно к проблематике диссертации **результативно использован** комплекс современных методов трехмерного численного моделирования для решения задач физической электроники.

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

предложена ЭОС, формирующая многолучевой эллиптический ЭП толщиной порядка 100 мкм с компрессией до 16 единиц по площади;

предложена методика, позволяющая повысить точность формирования парциальных катодов и соответствующих им отверстий в электродах пушки многолучевой ЭОС при электроэрозионной обработке. Методика основана на использовании специального электрода для прошивки, состоящего из несколько штырей эллиптической формы, что позволяет осуществлять одновременную прошивку отверстий в сетках и наконечниках ЭОС.

разработаны и исследованы экспериментальные образцы электронных пушек, формирующих микроразмерные низкочастотные ленточные ЭП, которые могут быть использованы для создания усилителей бегущей волны субтерагерцевого диапазона с мощностью 100 Вт и выше.

результаты исследований использовались при проведении НИР, поддержанных грантом Фонда содействия инновациям (УМНИК-2015, Договор № 6196 ГУ/2015), грантом РФФИ № 17-12-01160, грантами РФФИ № 20-57-12001, № 19-58-45040, № 16-08-00450. Результаты моделирования и экспериментального исследования электронно-оптических систем ЛБВ использованы на АО «НПП «Алмаз» (г. Саратов) в процессе выполнения опытно-конструкторской работы «Пагода-Постулат», что позволило изготовить и испытать образцы электронных пушек, а также повысить плотность тока в пролетном канале создаваемого прототипа прибора и увеличить токопрохождение.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использованы специализированные программные пакеты Lorenz-3EM и CST Studio Suite, верифицированные при изучении широкого класса электронно-оптических систем;

установлено соответствие результатов численного моделирования, полученных с помощью различных программных пакетов, друг с другом, а также с результатами экспериментальных исследований электронных пушек и макетов ЭОС;

использованы хорошо апробированные методы экспериментальных исследований на аттестованной аппаратуре.

Личный вклад соискателя состоит в выборе и построении физико-математических и компьютерных моделей ЭОС и оптимизации их параметров, разработке исследуемых образцов электронных пушек и макетов ЭОС,

экспериментальном исследовании их характеристик. Постановка цели и задач исследования, поиск путей их решения осуществлялись совместно с научным руководителем д.ф.-м.н., профессором Рыскиным Н.М., а также с д.ф.-м.н., профессором Григорьевым Ю.А. и к.т.н. Бурцевым А.А.

Результаты диссертационной 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 общей физики РАН (г. Москва), Институте прикладной физики РАН (г. Нижний Новгород), Институте сильноточной электроники Сибирского отделения РАН (г. Томск), в АО «НПП «Алмаз» (г. Саратов), АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина» (г. Фрязино).

Результаты диссертации рекомендуются к внедрению в учебный процесс в высших учебных заведениях, ведущих подготовку в области электроники: в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ», Российском технологическом университете «МИРЭА», Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Новосибирском национальном исследовательском государственном университете, Саратовском национальном исследовательском государственном университете имени Н.Г. Чернышевского, Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А. 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 1.3.5. – Физическая электроника.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания о необходимости: а) указать долговечность ЭОС, б) конкретизировать понятие «высокая плотность тока», в) указать максимально возможное число реверсов магнитного поля для разрабатываемой ЭОС, г) приведения уравнений, которые использовались в численном моделировании, а также о целесообразности экспериментального исследования ЭОС в составе ЛБВ.

Соискатель Навроцкий И.А. ответил на замечания, содержащиеся в отзывах ведущей организации, официальных оппонентов и отзывах на автореферат, на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и дал необходимые пояснения: 1) об

основных режимах работы электронной пушки; 2) о физическом механизме закручивания краев ленточного пучка; 3) о причинах появления ореола с большими вращательными скоростями; 4) о причинах расхождения между результатами численного моделирования и измерениями; 5) о причинах формировании неламинарного электронного потока; 6) о превышении рабочего магнитного поля над бриллюэновским; 7) о влиянии ионной бомбардировки на долговечность катодов; 8) о возможности использования разрабатываемой ЭОС для других частотных диапазонов; 9) о преимуществах многолучевого ленточного электронного пучка; 10) об особенностях использования полевых источников эмиссии в составе ЭОС.

Диссертация Навроцкого И.А. содержит решение актуальной задачи физической электроники, заключающейся в разработке систем формирования низкоперевансных пространственно-развитых ленточных электронных пучков для приборов вакуумной электроники О-типа диапазона 0.1–0.2 ТГц.

На заседании 28 октября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Навроцкому И.А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человека (21 человек находился в месте проведения заседания, 1 человек участвовал в заседании совета в удаленном интерактивном режиме), из них 6 докторов по специальности 1.3.5. – Физическая электроника, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за 22, против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Аникин Валерий Михайлович


Сысоев Илья Вячеславович

28 октября 2022 г.