

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
Нижегородского государственного  
университета им. Н.И. Лобачевского  
Иванченко Михаил Васильевич

« 26 » 04 2022 г.



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО**  
**ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НИЖЕГОРОДСКИЙ**  
**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО»**  
(Регистрационный номер 36-22 от 26.04.2022 )

по диссертации Лещевой Ксении Александровны «Развитие методов формирования винтовых электронных пучков для новых разновидностей giroприборов» на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности 1.3.5. – Физическая электроника

Настоящее заключение выдано на основании личного заявления соискателя ученой степени от 26.04.2022 г.

Диссертация выполнена на кафедре квантовой радиофизики и электроники 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 2016 г. соискатель ученой степени Лещева К.А. с отличием окончила 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 2016 г. по 2020 г. Лещева К.А. обучалась в аспирантуре по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия». Справка об обучении в образовательной организации № 013/21 от 16.03.2021 г., содержащая сведения о сданных кандидатских экзаменах по специальности «Радиофизика» (направление 03.06.01 «Физика и астрономия»), и диплом об окончании аспирантуры № 18/04-75 от 08.10.20 выданы федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского». Справка об обучении №16-2021 от 24.03.2021г., 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 Лещева Ксения Александровна работала в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» в должности ассистента (2016-2019 гг), преподавателя (2019-2021) и старшего преподавателя (с 2021 по настоящее время) кафедры квантовой радиофизики и электроники радиофизического факультета.

Научный руководитель – Мануилов Владимир Николаевич, профессор, доктор физико-математических наук, профессор кафедры квантовой радиофизики и электроники

радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского, утвержденный 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 квантовой радиофизики и электроники радиофизического факультета ННГУ с приглашением специалистов по профилю диссертации из ИПФ РАН.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

### **Общая оценка работы**

Диссертационная работа Лещевой К.А. посвящена развитию методов формирования винтовых электронных пучков для новых разновидностей giroприборов.

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, сформулированных в диссертации, обеспечивается применением широко апробированных и хорошо зарекомендовавших себя методов численного анализа, соответствием результатов численного моделирования и экспериментальных исследований. Основные результаты опубликованы в высокорейтинговых российских и зарубежных изданиях и неоднократно обсуждались на научных семинарах и конференциях.

### **Новизна полученных результатов.**

1. Разработана методика численного моделирования систем формирования винтовых электронных пучков giroприборов произвольной геометрии, основанная на совместном использовании пакета CST Studio Suite и специализированных программ пред- и пост-обработки, разработанных соискателем. Реализована возможность переключения на различные алгоритмы задания стартовых условий и обработки результатов траекторного анализа, специфичных для адиабатических или неадиабатических систем и учитывающих пространственную структуру пучка для аксиально-симметричной, плоской или произвольной трехмерной геометрии.

2. Получены аналитические оценки основных параметров (режим, геометрия) для неадиабатических систем формирования винтовых электронных пучков, основанных на инъекции первоначально прямолинейного пучка под углом к магнитному полю. Проведена численная оптимизация таких систем. Показано, что при сохранении устойчивости пучка, возможно одновременное существенное снижение скоростного разброса и увеличение пич-фактора по сравнению с традиционными адиабатическими МИП. Предложены новые схемы трехмерных вариантов неадиабатических электронно-оптических систем, пригодные для многозеркальных и многоствольных гиротронов.

3. Изучены основные особенности формирования моновинтовых электронных пучков для giro-ЛБВ, формируемых в неадиабатическом магнитном поле, имеющем область реверса. Проанализированы как низкопервеансные (микропервеанс  $P \sim 0.1$  мкп), так и высокопервеансные ( $P \sim 1$  мкп) электронно-оптические системы. Предложены подходы, позволяющие в значительной степени скомпенсировать негативное влияние сил пространственного заряда и реализовать электронно-оптические системы с качеством пучка, приемлемым для высокоэффективного взаимодействия с высокочастотным полем. Оптимизированные варианты неадиабатических электронно-оптических систем послужили основой для разработки giro-ЛБВ с двухкаскадной схемой усиления, ориентированной на

детальную радиолокацию объектов, удаленных вплоть до геостационарной орбиты.

4. Впервые разработана и исследована 10-лучевая адиабатическая магнетронно-инжекторная пушка с секционированным эмиттером, предназначенная для мощной многоствольной гиро-ЛБВ. Предложены способы компенсации дрейфа частиц, вызванного азимутальной компонентой электрического поля пространственного заряда, и снижения скоростного разброса в каждом из парциальных пучков.

5. Теоретически и экспериментально изучены адиабатические системы, формирующие планарные винтовые электронные пучки. Даны аналитические оценки деформации краевых зон электронного пучка при дрейфе электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях. Оценки согласуются с данными численного расчета. Аналитическая теория и методика численного моделирования ленточных ВЭП при учете основных факторов, влияющих на его качество, позволили создать электронно-оптическую систему планарного 140 ГГц гиротрона с мощностью электронного пучка 3 МВт. Экспериментальное исследование ленточного ВЭП показало хорошее соответствие расчетных и измеренных параметров пучка.

#### **Практическая значимость полученных результатов.**

Методики численного анализа систем формирования винтовых электронных пучков при произвольной трехмерной геометрии электродов, открывают возможность расчета и оптимизации новых вариантов систем формирования винтовых электронных пучков, как адиабатических, так и неадиабатических, в частности, для многолучевых и планарных гиротронов. Предложены и исследованы новые варианты неадиабатических систем формирования винтовых электронных пучков для гироприборов, позволяющие существенно снизить разброс вращательных скоростей электронов и за счет этого повысить устойчивость пучка и КПД гиротронов. Разработана 10-лучевая система формирования винтовых электронных пучков, обеспечивающая приемлемые для реализации выходной мощности 300–400 кВт параметры в многоствольной гиро-ЛБВ, предназначенной для дальнейшей радиолокации высокого разрешения. Разработаны неадиабатические электронно-оптические системы для двухкаскадного широкополосного гироусилителя  $W$  - диапазона с выходной мощностью в несколько сотен киловатт. Теоретически и экспериментально показано, что планарные магнетронно-инжекторные пушки могут формировать электронные пучки с параметрами приемлемыми для генерации мегаваттного уровня мощности в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн.

#### **Апробация работы.**

Результаты, представленные в диссертации, докладывались на следующих школах, семинарах, конференциях:

- The 46th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz'2021), Chengdu, China, 2021.
- Международной Крымской конференции: СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо, 2015, 2017, 2018);
- II российско-белорусской научно-технической конференции «Элементная база отечественной радиоэлектроники: импортозамещение и применение» им. О. В. Лосева (17–19 ноября 2015 г., Нижний Новгород),
- X Всероссийском семинаре по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн (29 февраля — 3 марта 2016 г., Нижний Новгород);
- V, VII, X Всероссийской конференции Электроника и микроэлектроника СВЧ (Санкт-Петербург, 2016, 2018, 2021),
- XXII Нижегородской сессии молодых ученых (Нижний Новгород, 2017),
- XXXIV Международной научно-практической конференции (Москва, 2019),

Результаты диссертации использованы при выполнении НИР поддержанных грантами РФФИ № 18-32-00142, 16-02-00674, РНФ №16-19-10332, 18-19-00704.

### **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 Лещевой К.А. 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 специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

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

Основное содержание диссертационной работы в полной мере отражено в 6 статьях в реферируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования результатов диссертационных исследований на соискание степени доктора и кандидата физико-математических наук и патенте на изобретение:

1. Samsonov S.V., Leshcheva K.A., Manuilov V.N. Multitube helical-waveguide gyrotron traveling-wave amplifier: device concept and electron-optical system modeling // IEEE Trans. Electron Devices. – 2020. – Vol. 67, No. 8. – P.3385 – 3390.

2. Manuilov V.N., Samsonov S.V., Mishakin S.V., Klimov A.V., Leshcheva K.A. Cusp guns for helical-waveguide gyro-TWTs of a high-gain high-power W-band amplifier cascade // J. Infrared Milli. Terahz. Waves. . – 2018. – Vol. 39, No. 9. – P. 447 – 455.

3. Гольденберг А.Л., Глявин М.Ю., Мануилов В.Н., Лещева К.А. Неадиабатическая электронно-оптическая система технологического гиротрона // Изв. вузов. Радиофизика. – 2017. – Т. 60, №. 5. – P. 442 – 448.

4. Мануилов В.Н., Заславский В.Ю., Куфтин А.Н., Лещева К.А. Оптимизация магнетронно-инжекторной пушки для мощного планарного гиротрона миллиметрового диапазона длин волн // Изв. вузов. Радиофизика. – 2021. – Т. 64, № 4. – С. 253 – 264.

5. Гольденберг А.Л., Лещева К.А., Мануилов В.Н. Влияние неоднородности эмиссии на качество винтовых пучков, формируемых неадиабатическими электронно-оптическими системами гироприборов // Прикладная физика. – 2020. – № 4. – С. 40.

6. Лещева К.А., Мануилов В.Н. Численное 3D-моделирование систем формирования винтовых электронных пучков гироприборов с азимутально неоднородным распределением тока эмиссии // Успехи прикладной физики. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 298 – 308.

7. Глявин М.Ю., Гольденберг А.Л., Лещева К.А., Мануилов В.Н., Проявин М.Д., Солуянова Е.А., Тай Е.М. Патент: 2765773. Российская Федерация. МПК Н01J23/06 Н01J25/00 . Неадиабатическая электронная пушка для мазера на циклотронном резонансе; ИПФ РАН – № 2021116212; заявл. 03.06.2021; опубл. 02.02.2022, Бюл. №4

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

В диссертации Лещевой К.А. 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 Лещевой Ксении Александровны «Развитие методов формирования винтовых электронных пучков для новых разновидностей гироприборов» рекомендуется к

защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

Присутствовало на расширенном заседании кафедры квантовой радиофизики и электроники радиофизического факультета ННГУ:

**Всего:** 11 чел.,

Декан радиофизического факультета, профессор, д.ф.-м.н. Матросов В.В.; зам. директора ИПФ РАН по научной работе, д.ф.-м.н. Глявин М.Ю.; профессор РАН, д.ф.-м.н. Самсонов С.В.; профессор РАН, д.ф.-м.н. Песков Н.Ю.; зав. сектором ИПФ РАН, д.ф.-м.н. Зотова И.В.; профессор, д.ф.-м.н. Мануилов В.Н.; доцент, к.ф.-м.н. Маругин А.В.; доцент, к.ф.-м.н. Тарасова Е.А.; доцент, к.ф.-м.н. Заславский В.Ю.; ст. преподаватель, к.ф.-м.н. Волкова Е.В.; ассистент Забавичев И.Ю.,

из них 6 докторов наук, 4 кандидата наук.

**Результаты голосования:**

«за» - 11 чел.,

«против» - 0 чел.,

«воздержалось» - 0 чел.

Протокол № 7 от 22.04.2022 г.

Матросов Валерий Владимирович  
председатель заседания, доктор физико-математических наук,  
профессор, декан радиофизического факультета  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского

