

**УТВЕРЖДАЮ:**

Проректор по научной работе и цифровому развитию  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

д. ф.-м. н., профессор

Алексей Александрович Короновский

 2025 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Саратовский национальный исследовательский  
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

по диссертации **Фунтова Александра Андреевича** «Эффекты резистивной неустойчивости в средах с комплексной диэлектрической проницаемостью и их влияние на группировку электронного потока в приборах вакуумной СВЧ электроники» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника, выполненной на кафедре электроники, колебаний и волн института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора СГУ №63-Д от 21.03.2023.

Соискатель **Фунтов Александр Андреевич** в 2014 г. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по специальности «физика открытых нелинейных систем» с присвоением квалификации «физик, системный аналитик».

В 2014г. поступил в аспирантуру. Диплом об окончании аспирантуры по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» выдан в 2018 г. ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Справка о сданных кандидатских экзаменах №24 2023 от 14.04.2023 выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

В настоящее время Фунтов А.А. работает старшим преподавателем на кафедре электроники, колебаний и волн ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Научный руководитель — Титов Владимир Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники, колебаний и волн ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утвержденный приказом ректора СГУ №63-Д от 21.03.2023, представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании кафедры электроники, колебаний и волн института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

На заседании присутствовали:

1. *Аникин Валерий Михайлович*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиотехники и электродинамики СГУ;
2. *Глухова Ольга Евгеньевна*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующая кафедрой радиотехники и электродинамики СГУ;
3. *Рыскин Никита Михайлович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой динамических систем СГУ на базе Саратовского филиала ФГБУН ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН;
4. *Давидович Михаил Владимирович*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры радиотехники и электродинамики СГУ;
5. *Пономаренко Владимир Иванович*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии СГУ;
6. *Москаленко Ольга Игоревна*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики открытых систем СГУ;
7. *Роговин Владимир Игоревич*, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры основ проектирования приборов СВЧ СГУ на базе АО «Научно-производственное предприятие «Алмаз»;
8. *Гришин Сергей Валерьевич*, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой электроники, колебаний и волн СГУ;
9. *Слепченков Михаил Михайлович*, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиотехники и электродинамики СГУ;
10. *Ремпен Ирина Сергеевна*, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры электроники, колебаний и волн СГУ;
11. *Егоров Евгений Николаевич*, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры электроники, колебаний и волн СГУ;
12. *Титов Владимир Николаевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники, колебаний и волн СГУ;
13. *Титов Алексей Владимирович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники, колебаний и волн СГУ;

14. *Савин Дмитрий Владимирович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем СГУ;
15. *Адилова Асель Булатовна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики открытых систем СГУ;
16. *Торгашов Роман Антонович*, кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры нелинейной физики СГУ.

Рецензенты диссертации:

*Пономаренко Владимир Иванович*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры динамического моделирования и биомедицинской инженерии института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» представил положительный отзыв.

*Торгашов Роман Антонович*, кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры нелинейной физики института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» представил положительный отзыв.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Диссертация Фунтова А.А. посвящена анализу взаимодействия электронного потока с электромагнитными полями сред с комплексной диэлектрической проницаемостью в приборах вакуумной СВЧ электроники с использованием линейной и нелинейной теорий волн, а также численного моделирования.

**Личный вклад.** Все результаты, включенные в диссертационную работу, получены лично соискателем. Ему принадлежит вывод всех аналитических выражений, разработка большинства алгоритмов и программ для ЭВМ, выполнение численных расчётов. Совместно с Д.И. Трубецковым (научным руководителем до 2020 г.) было выбрано основное направление исследований, связанное с использованием метаматериалов в резистивном усилителе и его гибриде с другими СВЧ вакуумными лампами. Совместно с научным руководителем В.Н. Титовым были реализованы современные подходы к решению поставленных задач и обсуждались структуры, соответствующие фундаментальным моделям.

**Достоверность полученных результатов** обусловлена использованием традиционных для электроники СВЧ методов исследования процессов взаимодействия электронного потока и электромагнитных волн, а именно метода дисперсионного уравнения, волнового метода Овчарова-Солнцева, стационарной нелинейной теории. Для предложенных нелинейных моделей получены предельные переходы к известным линейным моделям. Полученные результаты не противоречат современным физическим представлениям о силах пространственного заряда, взаимодействии пучка с полями структур и сред с различной проводимостью и диэлектрической проницаемостью.

## **Научная новизна результатов работы**

1. На основе модификации волнового метода Овчарова-Солнцева построена нелинейная теория взаимодействия электронного пучка с электромагнитными полями сред с комплексной диэлектрической проницаемостью (КДП). Были проанализированы физические процессы в гибридных приборах, сочетающих элементы классической вакуумной СВЧ электроники и сред с КДП: в резистивном клистроне (резонатор-среда-резонатор) и в двухсекционной ЛБВ с КДП секцией области разрыва (секция ЗС-среда-секция ЗС).

2. Построена линейная теория клистрона с распределенным взаимодействием с КДП вставкой в пространстве дрейфа для случаев 2 и 3 распределенных резонаторов.

3. Построена линейная и нелинейная теории фото-ЛБВ со вставкой КДП секции в область между фотокатодом и замедляющей системой (фотокатод-среда-ЛБВ). Оценено влияние свойств среды на эквивалентное сопротивление полученной гибридной системы.

4. Развита приближенные методы анализа планарного резистивного усилителя с метаматериалом в рамках линейной теории. Полученные аналитические оценки сопоставлены с результатами численного моделирования в рамках самосогласованной модели, реализованной в программном пакете CST Studio Suite. Сформулирована иерархия моделей резистивного усилителя с метаматериалом.

## **Научно-практическая значимость**

Все полученные аналитические результаты могут быть использованы для предварительных оценок параметров новых гибридных приборов вакуумной СВЧ электроники, предваряя этап численного моделирования при проектировании устройств. Показано, что использование сред с КДП может способствовать группировке электронного потока, что позволяет увеличить коэффициент усиления или сократить длину пространства взаимодействия. Результаты работы будут полезны при разработке и чтении лекционных курсов по физической электронике и электронике СВЧ для студентов бакалавриата, магистратуры и специалитета.

**Ценность научных работ** соискателя определяется тем, что результаты диссертации развивают теорию взаимодействия электронного потока с электромагнитными полями сред с комплексной диэлектрической проницаемостью. Важным результатом является построение полуаналитической нелинейной теории резистивной неустойчивости. На основе анализа, проведенного в рамках построенных теорий, показано, что резистивная неустойчивость может быть использована для повышения выходных характеристик электронных приборов.

**Апробация работы.** Результаты, представленные в диссертации, докладывались на следующих школах, семинарах и конференциях:

- XVI Всероссийская школа-семинар «Физика и применение микроволн» им. проф. А. П. Сухорукова (2017 г., Можайск),
- III Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы СВЧ электроники им. В. А. Солнцева 2017» (2017 г., Москва),
- Научно-техническая конференция, посвящённая 60-летию АО «НПП «Алмаз» (2017 г., Саратов),
- XVI Всероссийская школа-семинар «Волны в неоднородных средах» им. проф. А.П. Сухорукова (2018 г., Можайск),
- 13-ая международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (АПЭП-2018) (2018 г., Саратов),
- 12-ая Международная школа-конференция «Хаотические автоколебания и образование структур» (ХАОС-2019) (2019 г., Саратов),
- XVII Всероссийская школа-семинар «Волновые явления в неоднородных средах» имени А.П. Сухорукова («Волны-2020») (2020 г., Можайск),
- Научная школа-конференция «Нелинейные дни в Саратове для молодых – 2020» (2020г., Саратов),
- XVI всероссийская научная конференция молодых ученых «нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» (г. Саратов, 7-9 сентября 2021),
- Ежегодный молодежный научно-технический семинар АО «НПП «АЛМАЗ» (ЕМНТС 2024) (2024 г., Саратов)
- на объединённых научных семинарах кафедры электроники, колебаний и волн, и кафедр факультета нелинейных процессов.

Кроме того, прочитана лекция на XVII Международной зимней школе-семинаре по радиофизике и электронике СВЧ (2018г., Саратов).

Материалы работ автора, вошедшие в диссертацию, использовались при выполнении научно-исследовательских работ по гранту Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 18-02-00666.

**Публикации.** По результатам диссертации опубликовано 14 работ, из них 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание учёной степени доктора и кандидата наук, и рецензируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, 5 статей в сборниках трудов научных конференций и семинаров, и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

1. **Фунтов А.А.** К нелинейной теории взаимодействия электронных потоков с высокочастотными полями в средах с комплексной проводимостью // Известия РАН. Серия Физическая. 2019. Т. 83. № 1. С. 58–61.
2. **Фунтов А.А.** О нелинейной теории двухрезонаторного клистрона с пространством дрейфа в виде среды с комплексной диэлектрической проницаемостью // Известия вузов. ПНД. 2020. Т. 28. № 4. С. 414–424.

3. **Фунтов А.А.** О теории гибрида лампы бегущей волны с фотокатодом и усилителя с комплексной диэлектрической проницаемостью // Известия РАН. Серия Физическая. 2021. Т. 85. № 1. С. 98–105.
4. **Фунтов А. А.** О теории клистрона с распределенным взаимодействием и пространством дрейфа в виде среды с комплексной диэлектрической проницаемостью // Известия вузов. ПНД. 2021. Т. 29. № 5. С. 765–774.
5. **Фунтов А. А.** О теории гибрида ЛБВО и усилителя с комплексной диэлектрической проницаемостью // Известия вузов. ПНД. 2023. Т.31. №4. С. 452–468.
6. **Титов В. Н., Фунтов А. А.** О планарных моделях резистивного усилителя (теория и моделирование) // Известия вузов. ПНД. 2025. Т.33. № 6. 13 с (опубликована онлайн, DOI: 10.18500/0869-6632-003173).
7. **Трубецков Д. И., Чижмотря Н. В., Фунтов А. А.** Забытые приборы возвращаются. Часть 1. Усиление и шумы в системах «электронный поток – электромагнитные поля в диэлектриках и метаматериалах // Электронные приборы и устройства СВЧ: Материалы научно-технической конференции, посвящённой 60-летию АО «НПП «Алмаз». - Саратов: Изд-во ООО «Научная книга» – 2017. – С. 7-10. - 196с.
8. **Титов А. В., Трубецков Д. И., Фунтов А.А.** Волновой метод Овчарова-Солнцева в теории нетрадиционных СВЧ приборов // Сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы СВЧ электроники им. В. А. Солнцева 2017». Москва – 2017. – С. 5-6. – 92с.
9. **Фунтов А.А.** Лампы на поглощении и классические приборы с использованием метаматериалов // Материалы XVII Международной зимней школы-семинара по радиофизике и электронике сверхвысоких частот, 5–10 февраля 2018, Саратов. - Саратов: ООО «Издательский центр «Наука» – 2018. – С.40-43. -115с.
10. **Фунтов А.А.** О нелинейной теории двухрезонаторного клистрона с пространством дрейфа в виде среды с комплексной диэлектрической проницаемостью // Материалы XII международной школы-конференции "хаотические автоколебания и образование структур" (ХАОС-2019) (Саратов, 01-06 октября 2019 г.). - Саратов: ООО «Издательский центр «Наука» – 2019. – С. 44-45. -122с.
11. **Фунтов А. А.** О гибриде лбв и усилителя с комплексной диэлектрической проницаемостью // «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: тез. докл. XVI Всерос. конф. молодых ученых. - Саратов: Изд-во «Техно-Декор» – 2021. – С. 193-194. - 228с.
12. **Фунтов А.А.** Программа расчета выходных характеристик гибрида ЛБВО и усилителя с комплексной диэлектрической проницаемостью по линейной теории. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023662976 от 18.06.2023
13. **Фунтов А.А.** Программа расчета выходных характеристик гибрида ЛБВО и усилителя с комплексной диэлектрической проницаемостью по волновому методу Овчарова-Солнцева. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023662975 от 18.06.2023
14. **Фунтов А.А.** Программа расчета выходных характеристик пролетного клистрона с пространством дрейфа, обладающим комплексной диэлектрической

проницаемостью по волновому методу Овчарова-Солнцева. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023662974 от 18.06.2023

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** Основные положения и результаты диссертации в полной мере опубликованы в научных статьях и материалах конференций. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 1.3.5. – Физическая электроника, удовлетворяя пп. 3, 4 паспорта данной специальности.

**Общая оценка диссертации.** Диссертационная работа «Эффекты резистивной неустойчивости в средах с комплексной диэлектрической проницаемостью и их влияние на группировку электронного потока в приборах вакуумной СВЧ электроники» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной задачи физической электроники, заключающейся в выявлении особенностей взаимодействия электронного потока с электромагнитными полями сред с комплексной диэлектрической проницаемостью в приборах вакуумной СВЧ электроники. Диссертация выполнена на высоком уровне с применением современных методов теоретического анализа и компьютерного моделирования. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры электроники, колебаний и волн института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского». На заседании присутствовало 16 человек, из них 6 докторов наук и 10 кандидатов наук по профилю диссертации. Результаты голосования: «за» – 16 чел., «против» – нет, воздержались – нет (протокол № 5 от 27 мая 2025 г).

Заведующий кафедрой электроники, колебаний и волн  
института физики  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»,  
к.ф.-м.н., доцент



**Гришин Сергей Валерьевич**

410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83  
Тел.: 8(8452)210726  
e-mail: [sergrsh@yandex.ru](mailto:sergrsh@yandex.ru)

