

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.231.02, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.**

аттестационное дело N \_\_\_\_\_  
Решение диссертационного совета от 26 апреля 2019 г., N 4

**О присуждении Шуракову Александру Сергеевичу, гражданину России ученой степени кандидата физико-математических наук.**

Диссертация на тему: «Спектр выходного сигнала терагерцового приемника на основе гетеродинного и прямого НЕВ-детектора» по специальности 01.04.03 «Радиофизика» принята к защите 15 февраля 2019 г., протокол № 2, диссертационным советом Д 002.231.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая. Д.11. корп.7) (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397-1958 от 21.12.2007 г.; приказ Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 714/нк от 02.11.2012 г.).

Соискатель Шураков Александр Сергеевич, 1986 года рождения, в 2008 году окончил ГОУ ВПО «Вятский государственный гуманитарный университет».

С 01.10.2008 г. по 01.10.2014 г. проходил обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО «Московский государственный педагогический университет».

Работает старшим преподавателем на кафедре общей и экспериментальной физики (КОЭФ) Института физики, технологии и информационных систем (ИФТИС) ФГБОУ ВО «Московский педагогический государственный университет» (МПГУ).

Диссертация выполнена на КОЭФ ИФТИС МПГУ.

**Научный руководитель:** Гольцман Григорий Наумович, д.ф-м.н., проф., зав. КОЭФ ИФТИС МПГУ.

**Официальные оппоненты:**

- **Карпов** Александр Владимирович, д.ф-м.н., проф., вед.н.сотр. лаборатории Сверхпроводящих метаматериалов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

- **Розанов** Сергей Борисович, к.ф-м.н., вед.н.сотр. Отдела спектроскопии Отделения оптики ФГБУН Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** - ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (г. Нижний Новгород) - в своем положительном отзыве, подписанном д.ф-м.н., гл.н.сотр. В.В.Вдовиным и утвержденном врио директора д.ф-м.н., чл.корр. РАН Г.Г.Денисовым указала, что диссертация Шуракова А.С., посвященная разработке гетеродинных и прямых НЕВ-детекторов (болметры на горячих электронах), а также исследованию сравнения их характеристик, представляет собой добротное и актуальное исследование, имеющее большое значение для развития технологий НЕВ-устройств. Выносимые на защиту положения доказаны экспериментальными результатами и их сопоставлением с имеющимися теоретическими моделями. Результаты работы, в частности, были использованы для создания лабораторного макета гетеродинной приемной системы на базе НЕВ-смесителя для ТГц канала GLT.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 7 статей в журналах перечня рецензируемых научных изданий, входящих в международные реферативные базы данных и системы

цитирования Web of Science и Scopus, 1 статья в сборниках трудов конференций, 2 тезиса докладов. Общий объем опубликованных по теме диссертации работ составил 7 печ.л., из них 4,34 печ.л. принадлежат соискателю лично.

1. **Shurakov A.**, Seliverstov S., Kaurova N. et al. Input bandwidth of Hot Electron Bolometer with spiral antenna // IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol. 2012. Vol. 2, no. 4. Pp. 400–405. Авторский вклад 70%. В работе представлено измерение полосы входных рабочих частот квазиоптического НЕВ-детектора из тонкой пленки нитрида ниобия на подложке из высокоомного кремния.

2. **Shurakov A.**, Tong C.-Y. E., Blundell R. et al. Microwave stabilization of a NEB mixer in a pulse-tube cryocooler // IEEE Trans. Appl. Supercond. 2013. Vol. 23, no. 3. P. 1501504. Авторский вклад 70%. В работе описывается изучение стабильности гетеродинного приемника с центром полосы входных рабочих частот около 810 ГГц на базе НЕВ-смесителя в охладителе на основе пульсационной трубы.

3. Tong E., Trifonov A., **Shurakov A.** et al. A microwave-operated Hot-Electron-Bolometric power detector for terahertz radiation // IEEE Trans. Appl. Supercond. 2014. Vol. 25, no. 3. P. 2300604. Авторский вклад 30%. В работе предложена новая разновидность управляемого СВЧ сигналом приемника на базе прямого НЕВ-детектора с размером чувствительного элемента  $0,5 \times 5 \text{ мкм}^2$ .

4. Lobanov Y., Shcherbatenko M., **Shurakov A.** et al. Heterodyne detection at near-infrared wavelengths with a superconducting NbN Hot Electron bolometer mixer // Opt. Lett. 2014. Vol. 39, no. 6. Pp. 1429–1432. Авторский вклад 10%. В работе описывается чувствительный приемник на основе НЕВ-детектора для гетеродинной спектроскопии в ИК диапазоне на телекоммуникационной длине волны 1,5 мкм, приводятся измерения его основных технических характеристик.

5. **Shurakov A.**, Tong C.-Y. E., et al. A microwave reflection readout scheme for Hot Electron Bolometric direct detector // IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol. 2015. Vol. 5, no. 1. Pp. 81–84. Авторский вклад 70%. В работе представлен быстрый терагерцовый приемник на базе прямого НЕВ-детектора из тонкой пленки NbN, объединенного с СВЧ рефлектометром для обработки его выходного сигнала.

6. **Shurakov A.**, Lobanov Y., Goltsman G. Superconducting hot-electron bolometer: from the discovery of hot-electron phenomena to practical applications // Supercond. Sci. Technol. 2015. Vol. 29, no. 2. P. 023001. Авторский вклад 70%. В работе описано развитие НЕВ-технологии за последние несколько десятков лет, включая основные аспекты изготовления, физико-математический аппарат и сферы применения.

7. **Shurakov A.**, Mikhalev P., Mikhailov D. et al. Ti/Au/n-GaAs planar Schottky diode with a moderately Si-doped matching sublayer // Microelectron. Eng. 2018. Vol. 195. Pp. 26–31. Авторский вклад 80%. В работе описывается терагерцовый приемник на основе планарного ДБШ с согласующим подслоем, выполненного в квазиоптической схеме реализации; приводятся результаты измерений его технических характеристик и результаты ЭМ моделирования в HFSS предложенной слоевой структуры чувствительного элемента приемника.

8. **Shurakov A.**, Tong E., Blundell R., Gol'tsman G. Microwave stabilization of NEB mixer by a microchip controller // IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. 2012. Pp. 1–3. Авторский вклад 70%. В работе представлена система стабилизации тока смещения НЕВ-смесителя на основе компактного микроконтроллера, осуществляющего автоподстройку мощности белого шума СВЧ диапазона, который инжектируется в смеситель для подогрева его электронной подсистемы.

9. **Shurakov A.**, Tong C. E., Blundell R., Gol'tsman G. A Microwave Pumped NEB Direct Detector Using a Homodyne Readout Scheme // 25th International Symposium on

Space Terahertz Technology / Higher School of Economics. Moscow, Russia: 2014.—April 27-30. P. 129. Авторский вклад 70%. В работе описан быстрый терагерцовый приемник на базе прямого НЕВ-детектора из тонкой пленки NbN, объединенного с используемым для обработки его выходного сигнала СВЧ рефлектометром.

10. **Shurakov A.**, Maslennikov S., Tong C. E., Gol'tsman G. Performance of an NEB Direct Detector Utilizing a Microwave Reflection Readout Scheme // 26th International Symposium on Space Terahertz Technology / Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. Cambridge, MA, USA: 2015.—March 16-18. Pp. P-36. Авторский вклад 80%. В работе сопоставлены результаты расчетов и измерений импеданса НЕВ-устройства в СВЧ диапазоне, а также эффективности электронного разогрева для рабочей точки в гистерезисной области положительной ветви ВАХ, установленной при развертке напряжения смещения в сторону понижения.

В диссертации отсутствуют достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы из:**

- ФГБУН Института нанотехнологий микроэлектроники РАН от к.ф.-м.н., ст.н.сотр. М.А.Тархова (замеч.: в описании 2-й главы автореферата не в полной мере понятно насколько эффективно влияет топология чувствительного элемента на шумовую температуру в двухполосном режиме.).

- ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» от к.ф.-м.н. Г.Е.Федорова, доцента кафедры общей физики (замеч.нет.).

- ФГБУН Физического ин-та им. П.Н.Лебедева РАН от к.ф.-м.н. А.В.Смирнова, зав. проектно-комплексной лабораторий Астрокосмического центра (замеч.: в качестве рекомендаций и замечаний, следует отметить, что: 1. Автором совершенно не рассмотрены и не обозначены отечественные крупные проекты, нацеленные на создание наземных и космических инструментов ТГц диапазона для решения широкого круга астрономических задач. Это проекты «Спектр-М» - космический 10-метровый телескоп, содержащий в составе научной аппаратуры гетеродинный приемник ТГц диапазона частот, и получивший в последние годы второе дыхание проект «Суффа», нацеленный на строительство наземного телескопа диаметром 70 метров, работающего в ТГц диапазоне частот. 2. Автором в работе использован новый тип терминологии - «охладитель на пульсирующих трубках», который не соответствует термину, давно установившемуся в кругах людей, занимающихся криогенной техникой, а именно «криогенная газовая машина замкнутого цикла на основе пульсационной трубы». 3. Стоит обратить внимание на использование во всем документе однозначной терминологии: или криостат, или охладитель. Полагаю, что все измерения, представленные автором, проводились в криостате, а он был заливным, или на базе криогенной газовой машины замкнутого цикла на основе пульсационной трубы. 4. Из содержания автореферата осталась непонятной необходимость расчёта коэффициента корреляции Пирсона. 5. Автореферат содержит большое количество опечаток, синтаксических и грамматических ошибок.).

- Института физики микроструктур РАН – филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» от к.ф.-м.н. В.Л.Вакса, зав. отд. терагерцовой спектроскопии (замеч.: 1. В автореферате недостаточно вычитан текст, например стр.7, 5-я строка снизу: «В первой главе обозрены основные тенденции ...», также неудобство для чтения создает, кроме общепринятого использования НЕВ, смешанное использование русских и англоязычных аббревиатур, например, использование LNA для малошумящего

усилителя. 2. В диссертации автором получены результаты, оптимизирующие существующие методы компенсации паразитных коррелированных шумов в выходном сигнале НЕВ-устройства, улучшающие чувствительность приемной системы с его использованием, но из автореферата остается неясным, выявлены ли в процессе исследований фундаментальные ограничения стабильности выходной мощности НЕВ-устройства?).

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:** назначенные советом официальными оппонентами по кандидатской диссертации А.С.Шуракова ученые являются специалистами в области радиофизики и физики сверхпроводников, в частности, в областях дистанционного зондирования в миллиметровом диапазоне длин волн и сверхпроводниковой микроэлектроники; они широко известны своими достижениями в данных отраслях науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации. **Ведущая организация** - ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии» наук является одним из ведущих научных заведений, в котором проводятся исследования природных сред с помощью дистанционных методов наблюдения, осуществляется разработка приборов и комплексов для нужд радиоастрономии. Многочисленные работы его сотрудников в областях радиофизики, дистанционного зондирования, сверхпроводниковых устройств и систем регистрации ЭМ излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представляемые автором для защиты.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:** получены новые данные о точной количественной корреляции тока смещения и выходной мощности НЕВ-смесителя, доказана эффективность методики СВЧ автоподстройки тока смещения для улучшения стабильности сигнала ПЧ смесителя в криогенной машине замкнутого цикла. Экспериментально доказано отсутствие влияния различия распределения токов в параллельных структурах и мостиках из NbN на временную стабильность выходной мощности НЕВ-смесителей на их основе. Доказана перспективность использования СВЧ рефлектометра для регистрации выходного сигнала прямого НЕВ-детектора при создании матричного терагерцового приемника, предложена концепция “цифрового” режима детектирования терагерцового сигнала НЕВ-устройством, разработана методика эксплуатации НЕВ-детектора с нулевым смещением по постоянному току и без потери чувствительности.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что в работе представлены результаты исследования физических основ формирования дрейфовых шумов в выходном сигнале НЕВ-смесителя, а также комплексного изучения влияния СВЧ излучения на функционирование НЕВ-устройства, используемого в рамках гетеродинной приемной системы и приемника прямого детектирования; предложены новые методы и схемы на его основе, направленные на достижение предельных значений стабильности и чувствительности приемников, и доказана их эффективность.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, были использованы при разработке и создании прототипа приемной системы на основе НЕВ-смесителя в рамках реализации канала с центральной частотой 1,44 ТГц для Greenland Telescope. Кроме того, полученные наработки были

успешно применены для создания инновационных коммерчески доступных одно- и многоэлементных приемников на базе прямого НЕВ-детектора с нулевым смещением по постоянному току компанией ЗАО «Сконтел», созданной представителями Учебно-научного радиофизического центра МПГУ для коммерциализации результатов научно-технических разработок.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается соответствием промежуточных экспериментальных результатов на качественном и количественном уровне материалам, представленным в научно-технических работах других авторов, а также успешным использованием коммерциализованных наработок представителями научного терагерцового сообщества. Кроме того, основные результаты исследований были представлены автором на международных конференциях и опубликованы в научных журналах с высоким рейтингом, что свидетельствует об их успешной апробации, подтверждая достоверность и надежность.

**Личный вклад соискателя** заключался в формулировке целей и задач эксперимента, разработке методик, создании измерительных лабораторных стендов, проектировании и изготовлении вспомогательных устройств, выполнении измерений, обработке и обсуждении результатов эксперимента, написании научных статей. В диссертационной работе представлены результаты экспериментов из опубликованных работ, полученные автором диссертации лично и при определяющем вкладе автора. Опубликованные в ходе выполнения диссертационного исследования работы были выполнены в соавторстве с членами научных групп Учебно-научного радиофизического центра МПГУ и Лаборатории приемных систем Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики.

**Диссертационная работа А.С.Шуракова** является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит решение научной и практической задачи по изучению природы нестабильностей в выходном сигнале НЕВ-детектора, работающего как в режиме прямого детектирования, так и в гетеродинном режиме, и разработке методов оптимизации воздействия наведенной и собственной нестабильности НЕВ-устройства на его технические характеристики в рамках создания детектирующей системы для регистрации сверхслабого ЭМ излучения терагерцового диапазона частот и удовлетворяет требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

На заседании 26 апреля 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Шуракову А.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 15; против 0; недействительных бюллетеней 1.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Дмитриев  
Александр Сергеевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Копылов  
Юрий Леонидович

«15» мая 2019 г.

