

125009, г. Москва,  
ул. Моховая, д. 11, корп. 7,  
ФГБУН Институт радиотехники и  
электроники им. В.А. Котельникова  
Российской академии наук,  
Диссертационный Совет Д 002.231.02

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Шуракова Александра Сергеевича  
“СПЕКТР ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ТЕРАГЕРЦОВОГО ПРИЕМНИКА НА ОСНОВЕ  
ГЕТЕРОДИННОГО И ПРЯМОГО НЕВ-ДЕТЕКТОРА”,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
(специальность 01.04.03 – радиофизика)

**Актуальность.** В последние годы неуклонно возрастает интерес к терагерцовому диапазону электромагнитных волн, который находит всё более широкое применение как для решения научных задач, так и в прикладных разработках. Особенно активно терагерцовый диапазон используется в радиоастрономии, лабораторной спектроскопии, медицине, при создании систем безопасности и др. Наибольшие успехи в регистрации слабых сигналов терагерцового диапазона к настоящему времени достигнуты при использовании сверхпроводниковых болометров на горячих электронах (английская аббревиатура НЕВ), как в режиме прямого детектирования сигналов, так и при супергетеродинном приеме. Важным достоинством НЕВ-приемников является отсутствие частотных ограничений, присущих альтернативным технологиям (переходы сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник, диоды с барьером Шоттки).

На современном этапе исследований НЕВ-приемников одним их наиболее актуальных вопросов становится достижение их предельных характеристик в практических устройствах, использующих длительное накопление сигнала с целью снижения уровня шума. Для продвижения в этом направлении необходимы как выяснение фундаментальных физических ограничений, присущих НЕВ-приемникам, так и разработка методов стабилизации характеристик таких приемников в условиях их реальной эксплуатации. Диссертационная работа А.С.Шуракова посвящена исследованию и решению именно этого круга проблем, поэтому ее высокая актуальность не вызывает сомнений.

**Новизна и достоверность.** Автором диссертации детально исследованы физические причины возникновения дрейфовых шумов и нестабильностей в выходных сигналах приемных устройств на НЕВ-структурах и механизмы воздействия слабого СВЧ излучения на сверхпроводниковые болометры. На основе этих исследований рассмотрены различные способы использования такого излучения для повышения стабильности и чувствительности практических НЕВ-приемников, как детекторных, так и супергетеродинных. А.С.Шураковым предложены новые оригинальные научно-технические решения задачи стабилизации терагерцовых НЕВ-приемников, а также оптимизирован ряд ранее предложенных методов стабилизации.

Полученные автором экспериментальные результаты являются внутренне непротиворечивыми, соответствуют качественно и количественно данным, представленным в работах других авторов. На основе результатов диссертации разработан

ряд коммерчески доступных терагерцовых НЕВ-приборов, успешно используемых их потребителями. Все это подтверждает достоверность и надежность результатов, приведенных в диссертации А.С.Шуракова.

**Научная и практическая значимость.** Результаты, полученные в диссертационной работе, позволяют оценить предельно достижимые характеристики практических НЕВ-приемников и выбрать оптимальный метод стабилизации их характеристик в зависимости от решаемых задач и используемого криогенного и радиоэлектронного оборудования. Эти результаты были использованы автором при создании прототипа приемной системы на основе НЕВ-смесителя на частоту 1,44 ТГц для Greenland Telescope, а также при разработке инновационных одно- и многоэлементных терагерцовых детекторных НЕВ-приемников компанией ЗАО «Сконтел». Это свидетельствует о большой научной и практической значимости диссертации.

Диссертационная работа А.С.Шуракова объединяет результаты оригинальных исследований автора и включает в себя

- анализ состояния и тенденций развития детекторных и супергетеродинных НЕВ-приёмников терагерцового диапазона частот с обозначением круга нерешённых проблем, на основе чего определяются цели и задачи работы;
- разработку методик и экспериментальных стендов для 1) измерений параметров детекторных и супергетеродинных приемников и 2) исследования различных методов стабилизации характеристик таких приемников;
- выполнение экспериментальных исследований;
- обработку и анализ полученных результатов, позволившие сформулировать основные выводы работы.

Диссертация хорошо оформлена. Автореферат и публикации по теме диссертации с достаточной полнотой отражают ее содержание. Результаты исследований опубликованы в ведущих научных и научно-технических журналах из списка ВАК, а также в трудах и тезисах представительных международных конференций. Отдельно хочется отметить хороший и с физической, и с исторической точки зрения обзор литературы по тематике диссертации. Диссертация написана хорошим языком, в ней четко сформулированы цели и задачи исследования, описаны использованные методы и полученные результаты.

При проведении экспериментов автором использовались стандартные или хорошо отработанные общепринятые методики измерений. В тексте диссертации показана связь проводившихся автором исследований с предшествующими работами в этом направлении его коллег по МПГУ, отмечаются преемственность работ и хорошая согласованность результатов, рассматриваемых в диссертации, с данными предыдущих исследований. Изготовление НЕВ-болометров и их экспериментальные исследования были выполнены на самом современном оборудовании.

Указан личный вклад автора в полученные результаты, в большинстве публикаций по теме диссертации этот вклад является определяющим. Использование данных из работ других авторов сопровождается корректными ссылками на их публикации.

**Замечания.** По диссертации имеется два замечания:

- 1) Представляется недостаточно оправданным использование в диссертации безразмерных нормированных значений дисперсии Аллана, поскольку практически всегда в тексте обсуждаются фактические значения вариаций физических величин, для

получения которых приходится выполнять обратную операцию умножения безразмерной вариации Аллана на ее нормировочное значение;

2) В некоторых случаях, в частности, в разделах 2.4.2 и 2.4.3 диссертации, автор практически не обсуждает и не комментирует приведенные в тексте графики и таблицы, а выводы по результатам исследований формулируются только в конце соответствующих глав.

Указанные замечания относятся целиком к представлению результатов работы и не меняют общей безусловно положительной оценки диссертации А.С.Шуракова.

Диссертационная работа является самостоятельным законченным исследованием, выполненным на современном уровне и имеющим большое научное и практическое значение. Рецензируемая работа по объему проведенных исследований и их значимости удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК России к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Официальный оппонент,

Ведущий научный сотрудник  
Отдела спектроскопии Отделения оптики  
Физического института им. П.Н.Лебедева РАН,  
канд. физ.-мат. наук



С.Б.Розанов

"09" 04 2019 г.

Подпись ведущего научного сотрудника, к.ф.-м.н. С.Б.Розанова заверяю.

Ученый секретарь  
Физического института им. П.Н.Лебедева РАН,  
канд. физ.-мат. наук



А.В.Колобов

"09" 04 2019 г.

*Информация об оппоненте:*

Ф.И.О.: Розанов Сергей Борисович

Учёная степень: кандидат физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика, радиоастрономия

Почтовый адрес: 119991 ГСП-1, г. Москва, Ленинский проспект, д.53, ФИАН

Рабочий телефон: 8 (499) 132-68-99

E-mail: [rozanovsb@lebedev.ru](mailto:rozanovsb@lebedev.ru)

Организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН (ФИАН)

Учёное звание: нет

Должность: ведущий научный сотрудник

Подразделение: Отделение оптики, Отдел спектроскопии