

УТВЕРЖДАЮ

Директор

ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

член-корр. РАН С.А. Никитов



08 января 2017 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Леснова Ильи Викторовича «Криоэлектронные приёмные системы и программно-технические средства для изучения и контроля их характеристик», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальностям 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»

Актуальность работы.

Одним из перспективных способов повышения ёмкости беспроводных каналов для передачи телекоммуникационных данных является продвижение в терагерцовый диапазон электромагнитных волн, а также использование малощумящих приемных систем. Поэтому актуальность диссертационной работы Ильи Викторовича Леснова «Криоэлектронные приёмные системы и программно-технические средства для изучения и контроля их характеристик», направленной на разработку новых решений в сфере создания широкополосных каналов передачи и их практическую реализацию, не вызывает сомнения.

Целью диссертации является анализ технических решений и разработка новых для создания беспроводного телекоммуникационного радиоканала ёмкостью до 1 Тбит/с, создание новых образцов аппаратуры для систем дальней космической связи, а также автоматизированных исследовательских стендов для контроля их характеристик.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 104 наименований и приложений с примерами протоколов исследования болометрических структур и актов внедрения результатов диссертации. Общий объём работы составляет 128 страниц. Диссертация содержит 88 рисунков и 12 таблиц.

Во введении сформулированы цели диссертационной работы, обоснована её актуальность, указываются ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту, а также краткое содержания диссертации.

В первой главе дан обзор существующих технологий беспроводной передачи данных. Результатом обзора является вывод о наличии тенденции по продвижению в более высокочастотные диапазоны беспроводных технологий передачи данных и использования маломощных приемных систем с целью повышения ёмкости каналов. Представлен обзор существующих источников ТГц-излучения для передатчиков и гетеродинов телекоммуникационных каналов. Приведён краткий обзор особенностей криогенного и вакуумного оборудования, используемого для охлаждения приёмных систем. Приведён обзор возможных реализаций маломощных приёмников ТГц-диапазона частот, предполагаемых для использования при построении беспроводного канала связи. Каждый из представленных разделов обзора увязан с задачами последующих оригинальных глав работы.

Во второй главе приведён теоретический анализ предельной ёмкости беспроводных ТГц каналов передачи данных с охлаждаемым до криогенных температур приёмным трактом с различными параметрами (мощность передатчика, коэффициент усиления антенны, шумовые характеристики приёмника, окна прозрачности). Анализ проведен в трёх основных конфигурациях: наземный канал – с учётом постоянно атмосферного поглощения (Земля-Земля), космического – без атмосферного поглощения (Космос-Космос) и промежуточный вариант – в условиях меняющегося с высотой атмосферного поглощения (Земля-Космос). В этой главе также описаны работы по созданию и исследованию шумовых характеристик низкочастотного прототипа канала передачи данных для нужд дальней космической связи.

В третьей главе описаны работы по снижению влияния температурных флуктуаций и виброакустических эффектов на чувствительность приёмных элементов охлаждаемых при помощи газовых механических крио-рефрижераторов замкнутого цикла. Для решения этой задачи разработаны аппаратно-программные средства для исследования температурной нестабильности крио-рефрижераторов замкнутого цикла, предложены и исследованы методы снижения её влияния на чувствительность приёмной аппаратуры.

В четвёртой главе решается задача создания аппаратно-программных средств для контроля характеристик охлаждаемых приёмных элементов ТГц диапазона и мониторинга состояния криостатируемых установок глубокого охлаждения. Данные, полученные при использовании разработанных аппаратно-программных средств, позволили усовершенствовать технологический процесс создания приёмных элементов ТГц-диапазона и добиться необходимых характеристик у этих элементов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна диссертации заключается в определении предельных значений ёмкости телекоммуникационных каналов при использовании глубокого охлаждения приёмной части тракта с учётом разной физической температуры его составляющих, а также в определении технических ограничений, возникающих при использовании механических газовых крио-рефрижераторов замкнутого цикла для охлаждения элементов приёмного тракта.

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждена экспериментальными лабораторными и натурными исследованиями на большом количестве образцов приборов и устройств, а также совпадением результатов теоретических расчётов с данными экспериментов; признанием полученных результатов научной общественностью при выступлениях на международных и всероссийских конференциях, научных семинарах, а также публикацией результатов в рецензируемых научных журналах.

Теоретическая значимость работы

Уточнена формула для оценки ёмкости каналов передачи данных применительно к случаю использования охлаждения приёмной части тракта. Разработан и апробирован метод оценки фундаментального предела ёмкости канала передачи данных при эквивалентной шумовой температуре приёмника, соответствующей энергии одного кванта.

Практическая значимость работы заключается в разработке и реализации пассивного метода термостабилизации, позволяющего снизить уровень температурных осцилляций крио-рефрижераторов замкнутого цикла и, тем самым, значительно повысить чувствительность приёмных систем ТГц-диапазона. Значимость работы заключается также в создании аппаратно-программных комплексов, позволивших получить необходимые данные для усовершенствования технологического процесса изготовления приёмных элементов ТГц диапазона с заданными характеристиками. Результаты работы были использованы при создании малошумящего приёмо-передающего тракта см-диапазона (прототипа тракта для систем ТГц-диапазона). Подтверждение кратного повышения отношения сигнал\шум результатами измерениями на комплексе ТНА-1500, а следовательно и производительности телеком канала с криогенным приемником – блестящее подтверждение идей и предложений диссертации, существенно дополняющие тренд развития телекоммуникаций, представленный западными исследователями.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе 8-ми рецензируемых журналах, из них 5 – в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций.

Рекомендации по использованию результатов

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при разработке и изучении характеристик высокочувствительных приёмных элементов, охлаждаемых до

криогенных температур с использованием газовых механических крио-рефрижераторов замкнутого цикла: в ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН (г. Москва), АО «НПП «Исток» им. Шокина» (г. Фрязино).

Замечания и недостатки. В работе имеются некоторые недостатки:

1. При оценке емкости каналов передачи данных в различных окнах прозрачности и при использовании различной элементной базы (рис. 2.4 в диссертации и рис. 2 в автореферате) автор не приводит ссылок на публикации, из которых взяты используемые для оценки значения шумовой температуры приемных устройств. И если величина 100 К является хорошей оценкой шумовой температуры СИС смесителей в диапазоне 100 – 900 ГГц, то остается непонятным откуда взята величина шумовой температуры $T_{ш} = 40$ К для НЕВ при температуре 0,3 К.
2. При описании исследования нестабильности температуры в криогенных системах замкнутого цикла в автореферате некорректно сформулировано, что «значительные колебания температуры и, соответственно, токов приёмных элементов (рисунок 4) обусловлены вибрациями крио-рефрижератора»; в тексте диссертации этого недочета нет. К сожалению, автором не проведено измерение реальной производительности криогенной системы при использовании предложенного им пассивного метода стабилизации температуры с использованием термического фильтра (комбинация лавсановой плёнки с низкой теплопроводностью и медной демпфирующей вставки с высокой теплоёмкостью).

Заключение

Следует отметить, что сделанные замечания не влияют существенно на общую оценку работы, они не затрагивают основных выводов диссертации и положения, выносимых на защиту, и не снижают научную и практическую значимость полученных автором результатов. Диссертация И.В. Леснова представляет собой цельную и законченную научно-квалификационную работу. Основные результаты работы докладывались на представительных международных конференциях и опубликованы в реферируемых отечественных научных журналах; они достаточно хорошо известны специалистам. Автореферат диссертации достаточно полно отражает её содержание.

Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней». Диссертация Леснова И.В. является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для теории и практики разработки беспроводных каналов передачи данных с охлаждаемой приёмной частью.

Содержание работы соответствует специальностям 05.12.04 - Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения 05.11.13 - Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, а её автор Леснов Илья Викторович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Настоящий отзыв обсуждён и одобрен на заседании научно квалификационного семинара по направлениям «Сверхпроводниковая электроника» и «Физика низкоразмерных структур, микро- и нанoeлектроника» (протокол № 2017/1 от 23.01.2017).

Адрес федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН»:

125009, г. Москва, ул. Моховая 11, корп. 7.

Телефон: (495) 629 3574;

E-mail: ire@cplire.ru;

Официальный сайт: <http://www.cplire.ru/>.

Главный научный сотрудник
ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН,
д.ф.-м.н., профессор
Кошелец Валерий Павлович

Главный научный сотрудник
ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН,
д.ф.-м.н., профессор
Овсянников Геннадий Александрович