

На правах рукописи



КИСЕЛЕВ Олег Сергеевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ
СВЕРХПРОВОДНИКОВЫМ ИНТЕГРАЛЬНЫМ
ПРИЕМНИКОМ**

Специальность 01.04.01: «Приборы и методы экспериментальной физики»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук.

МОСКВА – 2011

Работа выполнена в учреждении Российской академии наук Институте радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, г. Москва.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, профессор
Кошелец Валерий Павлович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор
Гольцман Григорий Наумович

кандидат физико-математических наук
Соловьев Игорь Игоревич

Ведущая организация:

Институт прикладной физики РАН (Нижний Новгород)

Защита состоится «09» декабря 2011 г. в 12⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д.002.231.03 при ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН по адресу: 125009, Москва, ГСП-9, ул. Моховая, д.11, корп.7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН.

Автореферат разослан «08» ноября 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат физико-математических наук



В.Н. Корниенко

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Одним из перспективных и активно развивающихся направлений современной сверхпроводниковой электроники является создание сверхчувствительных приёмных устройств миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн на основе туннельных переходов сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (СИС). Благодаря высокой нелинейности вольт-амперных характеристик, низкому уровню собственных шумов и криогенным рабочим температурам стало возможным создание приемных устройств с рекордными параметрами. Когерентные приёмные устройства на основе СИС-переходов являются наиболее чувствительными во всём миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне длин волн. В настоящий момент уже созданы устройства с шумовой температурой лишь в несколько раз превосходящей квантовый предел, что на порядок ниже, чем, например, у приемников на основе диодов Шоттки.

Для частот принимаемого излучения выше 300 ГГц наблюдается существенное поглощение сигнала парами воды в атмосфере. Поэтому все субмиллиметровые приемники и радиотелескопы располагаются на значительной высоте или устанавливаются на борту специальных самолетов и спутников. Габариты, вес и энергопотребление генераторов гетеродина субмм диапазона являются существенными факторами, ограничивающими их бортовое использование. В частности, генераторы на базе лампы обратной волны (ЛОВ), традиционно применявшиеся в качестве гетеродина в лабораториях и на радиотелескопах, обладают очень большой массой из-за необходимости использовать сильный постоянный магнит и высоковольтный источник питания.

В ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН была предложена концепция сверхпроводникового интегрального приемника (СИП). На одной микросхеме

размещены все элементы, необходимые для супергетеродинного приема сигналов: планарная сверхпроводниковая приемная антенна, СИС смеситель, сверхпроводниковый генератор гетеродина на основе распределенного джозефсоновского перехода (РДП), гармонический смеситель для частотной стабилизации РДП, а также согласующие структуры. Использование сверхпроводникового генератора гетеродина с возможностью перестройки в широком диапазоне частот позволяет избежать увеличения габаритов, веса, потребляемой мощности инструмента, а также увеличить его стабильность, более не ограниченную механической устойчивостью системы. Это делает СИП привлекательным как для мониторинга окружающей среды, осуществляемого с борта спутников или специальных самолетов, так и для различных лабораторных и биомедицинских исследований.

По сравнению с другими генераторами гетеродина РДП обладает большой спектральной шириной автономной линии генерации (до нескольких десятков мегагерц), что является существенным недостатком для задач спектроскопии. Для стабилизации частоты генерации и улучшения спектральных характеристик генератора гетеродина необходимо использовать систему фазовой автоподстройки частоты. Высокая степень интеграции СИП приводит к сложному взаимодействию всех его составных частей, что усложняет как исследование основных характеристик СИП, так и управление его работой в целом. К примеру, для того чтобы установить частоту гетеродина, необходимо задать ток смещения и ток в линии задания магнитного поля РДП. Последнее приводит к изменению магнитного поля вблизи образца, в том числе, возле СИС-смесителя, что, в свою очередь, требует коррекции тока в линии задания магнитного поля СИС.

Впервые СИП был использован в качестве спектрометра в рамках международного проекта TELIS (TErahertz LImb Sounder) для дистанционного исследования атмосферы с борта высотного аэростата в диапазоне 450 – 650 ГГц в режиме наклонного сканирования. При разработке этого спектрометра помимо задач, связанных с разработкой приемного элемента,

удовлетворяющего жестким требованиям проекта, требовалось создать систему отбора и тестирования образцов микросхем приемника, а также надежную систему удаленного управления, учитывающую общую сложность прибора, а также ограниченность времени на подстройку во время полета, небольшую скорость и малую пропускную способность радиоканала. Для этих целей была создана лабораторная программно-аппаратная система исследования характеристик интегрального приемника, которая была использована для тестирования новых типов микросхем. Задача использования интегрального приемника не как объекта исследования, а как законченного прибора для применения в составе научного инструмента, ранее не ставилась.

Исследование и анализ микросостава многокомпонентных газовых смесей относятся к числу наиболее сложных аналитических задач различных областей науки: высоких технологий (микропримеси воды в многокомпонентных газовых смесях), физики экологии, медицине и др. В медицине одной из интереснейших задач для неинвазивной диагностики является анализ выдыхаемого воздуха. Выдох человека представляет собой многокомпонентную газовую смесь. На основании измерений концентрации веществ-маркеров в выдыхаемом воздухе можно судить о наличии того или иного патологического процесса в организме. Успехи в разработке и применении СИП для спектromетрии атмосферы позволили расширить область его применения и использовать СИП в качестве высокоточного лабораторного спектрометра для исследования состава газовых смесей.

Цель работы

- Изучение спектральных, шумовых и вольт-амперных характеристик всех элементов сверхпроводникового интегрального приемника, разработка комплексной методики тестирования и оптимизации режимов его работы для достижения характеристик, удовлетворяющих спецификациям инструмента TELIS (частотный диапазон 490-630 ГГц, шумовая температура не более 250 К, спектральное разрешение – менее 2 МГц).
- Разработка эффективных алгоритмов дистанционного управления интегральным приемником, создание на их основе автоматизированной системы управления его работой.
- Создание лабораторной установки для спектроскопии газовых смесей в субтерагерцовом диапазоне, разработка методики исследования малых концентраций веществ методами стационарной и нестационарной спектроскопии.

Научная новизна

1. С помощью разработанных алгоритмов управления интегральным приемником впервые экспериментально продемонстрирована возможность автоматизированного задания произвольной частоты генерации распределённого джозефсоновского перехода во всех режимах его работы: как на ступенях Фиске, так и в режиме вязкого течения джозефсоновских вихрей.
2. Впервые интегральный приемник со сверхпроводниковым генератором гетеродина, стабилизированный по частоте системой ФАПЧ, был применен для спектральных исследований атмосферы с борта высотного аэростата. Измерены спектральные линии атмосферного BrO в субмиллиметровом диапазоне, а также дневные вариации концентрации ClO и BrO в приполярных областях атмосферы Земли.

3. Впервые прибор со сверхпроводниковым генератором гетеродина, стабилизированный по частоте системой ФАПЧ, был использован для спектроскопии газов высокого разрешения, продемонстрирована возможность использования сверхпроводникового интегрального приемника для спектрометрии газовых смесей в газовой ячейке на примере перекиси водорода и аммиака.

Практическая ценность работы

1. Продемонстрирована возможность использования интегрального приемника в качестве приемного элемента субмиллиметрового спектрометра. Показано, что относительная простота конструкции и управляющей электроники, а также разработанные алгоритмы управления делают интегральный приемник одним из самых совершенных и удобных в применении приборов для приема и спектрального анализа терагерцового излучения. Продемонстрировано надежное дистанционное управление и перестройка параметров интегрального приемника; реализованы рабочий диапазон частот: 450 – 650 ГГц; минимальная шумовая температура – 150 К; спектральное разрешение лучше 1 МГц.
2. Разработанные алгоритмы оптимизации и измерения позволили в ходе кампании 2010 года впервые измерить на частоте 519.25 ГГц спектральную линию ВгО с предельно малой интенсивностью 0.3 К.
3. Исследована зависимость поглощения паров перекиси водорода, аммиака и ацетона в газовой ячейке в зависимости от давления (от 0.50 mBar до 0.01 mBar) и концентрации (до 100 ppm) исследуемого вещества. Данные соединения являются биомаркерами - индикаторами заболеваний, повышенная концентрация которых в выдыхаемом воздухе свидетельствует о наличии определенных заболеваний.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Частота РДП может быть установлена с помощью автономных алгоритмов во всем его рабочем диапазоне и во всех режимах его работы.
2. СИП может быть использован для спектрометрического исследования состава атмосферы.
3. СИП может быть использован в качестве приемного элемента в лабораторном спектрометре для исследования состава различных газовых смесей.

Личный вклад автора

Автором проведены экспериментальные исследования характеристик СИП, принято участие в разработке алгоритмов управления, созданы и проверены методики оптимизации рабочей точки системы. Автор принимал участие и производил управление работой СИП во всех описанных тестовых и полетных кампаниях инструмента TELIS в период с 2008 по 2011 год. Автор собрал две установки для лабораторного исследования газовых смесей, и провел с их помощью детектирование линий поглощения различных газовых смесей.

Апробация работы

Результаты представленных в диссертации исследований докладывались на следующих международных и российских конференциях:

- Applied Superconductivity Conference (ASC' 06, 08, 10);
- International Symposium on Space Terahertz Technology (ISSTT-07, -08, -09, -10, -11);
- International Superconductive Electronics Conference (ISEC 2007);

- International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010);
- 9th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 09);
- International Conference on Superconductive Electronics “EuroFlux – 09”;
- Прикладная Сверхпроводимость – 2010 и – 2011;
- 50-я научная конференция МФТИ, 2007.

Публикации

Основные результаты проведенных исследований опубликованы в 35 работах, из них - 8 статей, в том числе 8 - в журналах, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК Минобразования и науки РФ, а также в 27 докладах на международных конференциях с публикацией тезисов.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка публикаций по теме диссертации и списка цитированной литературы. Работа содержит 124 страницы, 62 рисунка, 3 таблицы и список цитируемой литературы из 59 работ.

Основное содержание работы

В **первой главе (введении)** обоснована актуальность темы диссертации и определены её цели. Эта глава носит обзорный характер. В ней дан краткий обзор областей применения приемников субмиллиметрового диапазона на квазичастичной нелинейности СИС-переходов, обладающих высокой чувствительностью. Описана концепция сверхпроводникового интегрального приемника (СИП), объединяющего на одной микросхеме приемную антенну, СИС – смеситель, генератор гетеродина на основе распределенного джозефсоновского перехода (РДП) и гармонический смеситель, используемый

для фазовой синхронизации РДП. Синхронизация с внешним опорным синтезатором осуществляется при помощи полупроводниковой системы фазовой автоподстройки частоты, размещенной вне криостата при комнатной температуре. Приведено описание и основные задачи инструмента, разработанного в рамках проекта TELIS, а также роль СИП как одного из приемников инструмента. Описана экспериментальная установка, использованная для исследования характеристик СИП и управления им во время полета инструмента TELIS. Рассмотрены основные предпосылки для использования СИП в качестве приемного элемента высокочувствительного лабораторного спектрометра для исследования состава газовых смесей. В заключении сформулированы основные задачи исследования.

Во **второй главе** представлены результаты исследования основных электрофизических характеристик составных частей СИП и зависимости этих характеристик от внешних условий и параметров, таких как температура, давление и внешнее магнитное поле. В главе описываются критерии определения состояния СИП при управлении им.

Исследована и представлена зависимость картины подавления сверхпроводящего тока сдвоенного СИС перехода, а также искажение этой зависимости при захвате кванта магнитного потока вблизи перехода. Продемонстрированы результаты исследования влияния на вольт-амперные характеристики СИС смесителя уровня сигнала опорного синтезатора, подаваемого на гармонический смеситель.

На примере ВАХ РДП исследована устойчивость параметров РДП при термоциклировании. ВАХ РДП значительно изменяются при термоциклировании, что может приводить к изменению частоты генерации на величину до 12 ГГц для разных термоциклов. Это приводит к необходимости заново оптимизировать рабочую точку РДП для заданной частоты генерации при каждом охлаждении до рабочей температуры.

Далее рассмотрены режимы работы гармонического смесителя и параметры системы ФАПЧ. Исследована сложная зависимость сигнала ПЧ ФАПЧ от мощности сигнала опорного синтезатора и напряжения смещения гармонического смесителя. Были рассмотрены два режима работы гармонического смесителя – джозефсоновский, реализуемый при малых значениях мощности опорного синтезатора, и квазичастичный. С точки зрения управления и стабилизации РДП квазичастичный режим предпочтительнее, так как более широкие пики позволяют проводить быструю оптимизацию уровня ПЧ ФАПЧ в более широких пределах без потери стабилизации РДП, однако уровень сигнала ПЧ ФАПЧ в таком режиме может быть ниже. Подобные зависимости индивидуальны для каждого образца, более того, они зависят от номера гармоники и частоты сигнала опорного синтезатора, однако их характер значительно не меняется со временем. По результатам исследования сделан вывод о предпочтительных режимах работы гармонического смесителя, определены диапазоны оптимизации мощности сигнала опорного синтезатора и напряжения смещения при подстройке параметров.

Третья глава посвящена исследованию спектральных характеристик СИП, а также оптимизации его чувствительности. Представлены результаты исследования зависимости ширины линии генерации РДП от положения рабочей точки в пределах одной ступени Фиске. Экспериментально показано, что автономная ширина линии излучения РДП в пределах одной ступени Фиске изменяется в несколько раз и имеет минимум в геометрическом центре ступени. Продемонстрировано, что точность измерения напряжения критична для работоспособности прибора, и не должна быть хуже 1 мкВ. Установлено, что шумовая температура СИП зависит от частоты гетеродина (см. рис. 1), рабочей точки РДП, рабочей точки СИС и гармонического смесителя, а также качества подавления критического тока СИС смесителя. При настройке СИП для приема сигнала на заданной частоте оптимизация шумовой температуры должна производиться по всем вышеперечисленным параметрам.

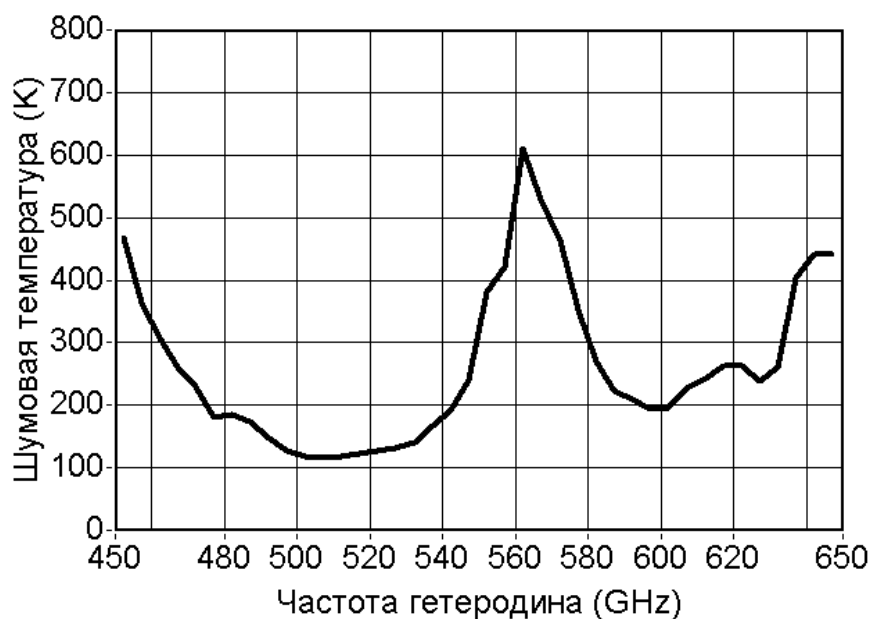


Рис. 1. Зависимость шумовой температуры от частоты гетеродина.

Проведены оценки стабильности работы приемника, проведенные по методу исследования вариации Аллана (рис. 2). Подтверждено, что стабильность прибора, сравнима со стабильностью стационарных спектрометров для астрономических исследований.

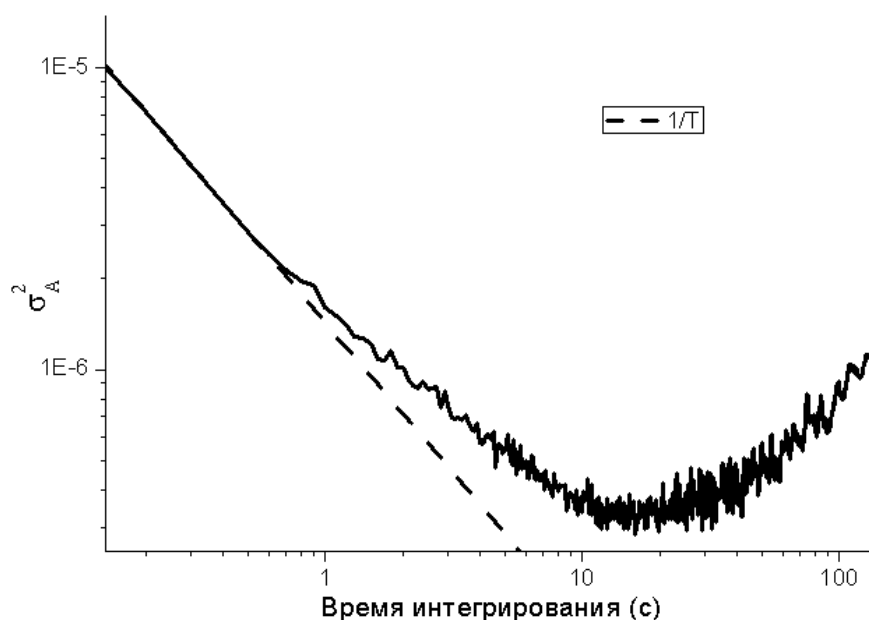


Рис. 2. Зависимость вариации Аллана от времени интегрирования.

Оптимум – 13.6 с.

Установлено, что оптимальное время интегрирования сигнала СИП для полосы 183 КГц составляет несколько десятков секунд (для тестовой конфигурации - 13.6 секунд, см. рис. 2), что достаточно для использования в составе инструмента TELIS, где время усреднения не превышает одной секунды.

Подробное исследование спектральных характеристик СИП позволило разработать автономную процедуру непрерывной перестройки частоты генерации РДП, в том числе в области ступеней Фиске.

В **четвертой главе** представлен подробный обзор инструмента TELIS (схема приведена на рис. 3), описаны результаты нескольких тестовых кампаний инструмента, а также представлен основной результат данной работы – алгоритмы полетного управления СИП и некоторые научные результаты успешных запусков инструмента TELIS в 2009 – 2011 годах.

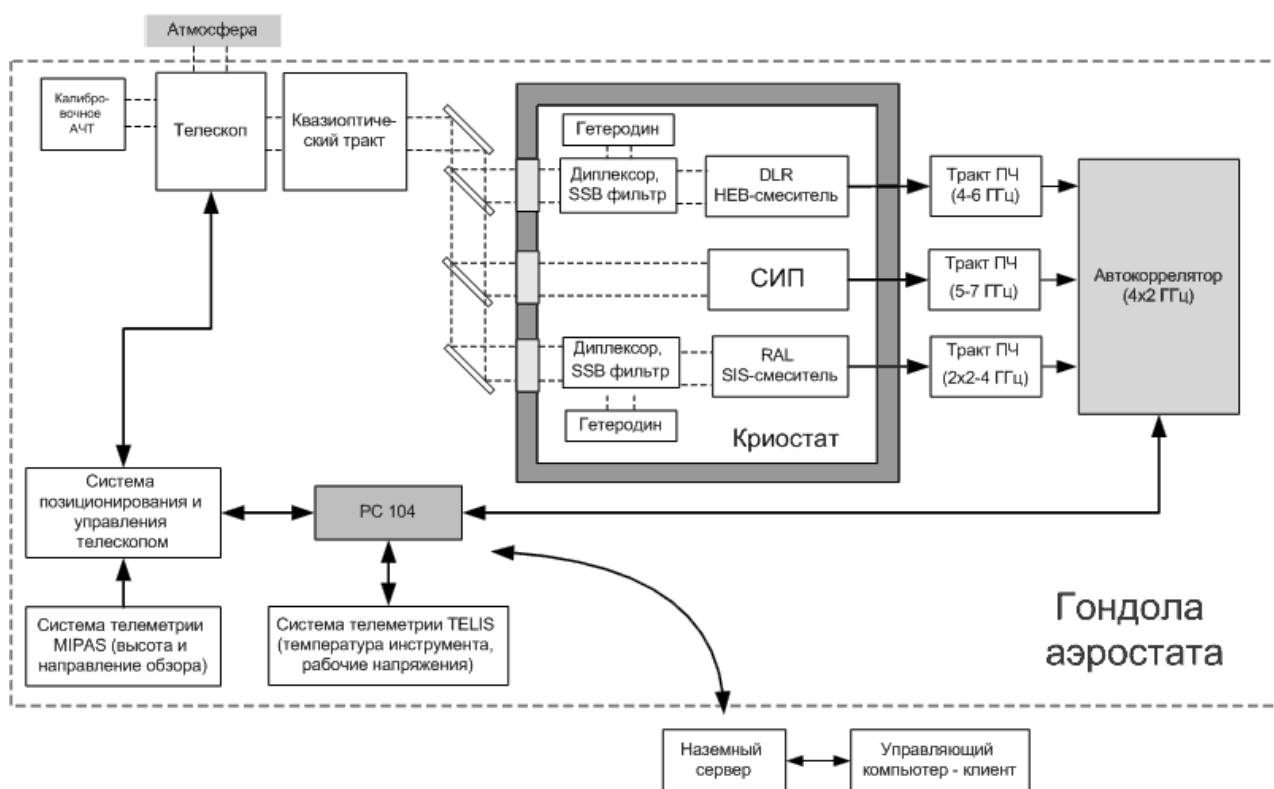


Рис. 3. Блок-схема инструмента TELIS.

Благодаря разработанным алгоритмам управления СИП во время нескольких тестовых и трех полетных кампаний была обеспечена

бесперебойная работа спектрометра в режиме фазовой синхронизации гетеродина и его перестройка в диапазоне 495 – 619 ГГц. В главе описаны методики проведения и представлены некоторые результаты тестовых кампаний, включая термовакуумный тест, измерение диаграммы направленности телескопа, а также измерения соотношения полос приема спектрометра.

Приведено описание процедуры оптимизации рабочей точки для всех частот, специфицированных в полетном задании сверхпроводникового интегрального приемника (см. табл. 1) в составе инструмента TELIS. Показано, что по предельной чувствительности СИП не имеет аналогов среди приемников, используемых для исследования атмосферы.

Таблица 1. Значения шумовой температуры СИП и исследуемые вещества для всех полетных частот гетеродина.

#	Частота гетеродина, ГГц	Шумовая температура, К	Исследуемое вещество
1	495.04	232	H ₂ - ¹⁸ O, H ₂ O и изотопы
2	496.88	254	HDO, H ₂ O и изотопы
3	505.6	246	BrO
4	507.28	244	ClO
5	515.25	247	O ₂ , H ₂ CO, H ₂ O ₂ , HNO ₃
6	519.25	256	BrO, HNO ₃ , NO ₂
7	546.76	467	H ₂ - ¹⁷ O
8	607.78	335	O ₃ , ¹⁶ ¹⁶ ¹⁸ O ₃ , ¹⁶ ¹⁸ ¹⁶ O ₃ ; ClO, HOCl, H ₂ O ₂ , HNO ₃ , N ₂ O ₂
9	619.1	338	HCl, HOCl, ClO

Разработанные алгоритмы оптимизации и измерения позволили в ходе кампании 2010 года измерить зависимость концентрации от высоты во время восхода солнца (см. рис. 4), а также впервые измерить на частоте 519.25 ГГц спектральную линию BrO с предельно малой интенсивностью 0.3 К.

CIO diurnal cycle

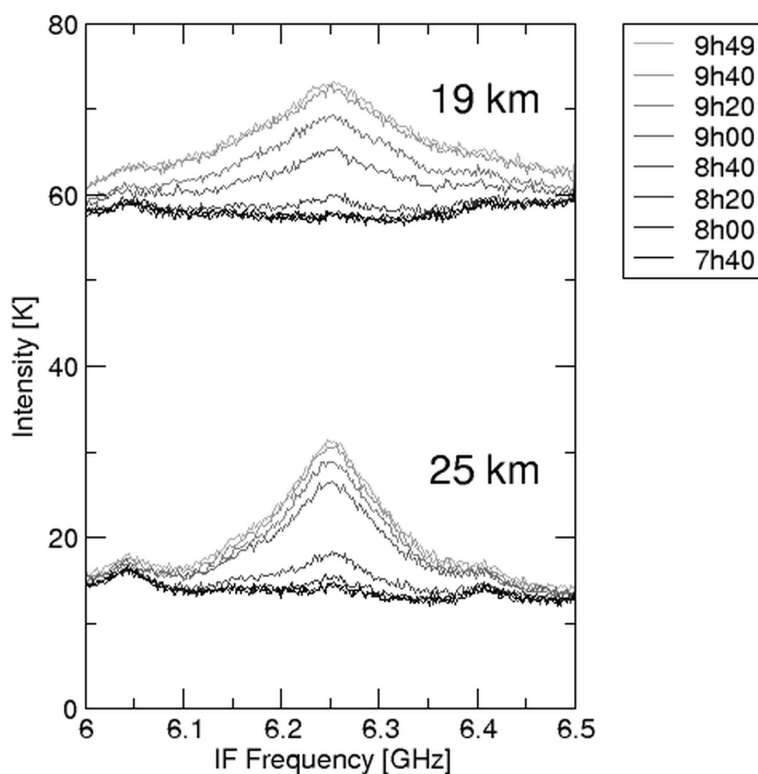


Рис. 4. Спектры, измеренные СИП. Наблюдается увеличение концентрации CIO во время восхода солнца. Частота гетеродина - 495 ГГц. Представлены результаты для двух высот наблюдения – 19 и 25 км

Пятая глава посвящена применению СИП в качестве приемного элемента спектрометра для анализа газовых смесей. Впервые прибор со сверхпроводниковым генератором гетеродина, стабилизированным по частоте системой ФАПЧ, был использован для спектроскопии газов высокого разрешения, продемонстрирована возможность использования СИП для спектрометрии газовых смесей в газовой ячейке на примере перекиси водорода и аммиака.

Описаны две созданные установки для спектрометрического исследования газовых смесей в лабораторных условиях. На первой установке на фоне переключаемой нагрузки были исследованы спектры поглощения перекиси водорода, а на второй (см. рис. 6) - продемонстрировано надежное детектирование паров аммиака концентрацией порядка 100 ppm.

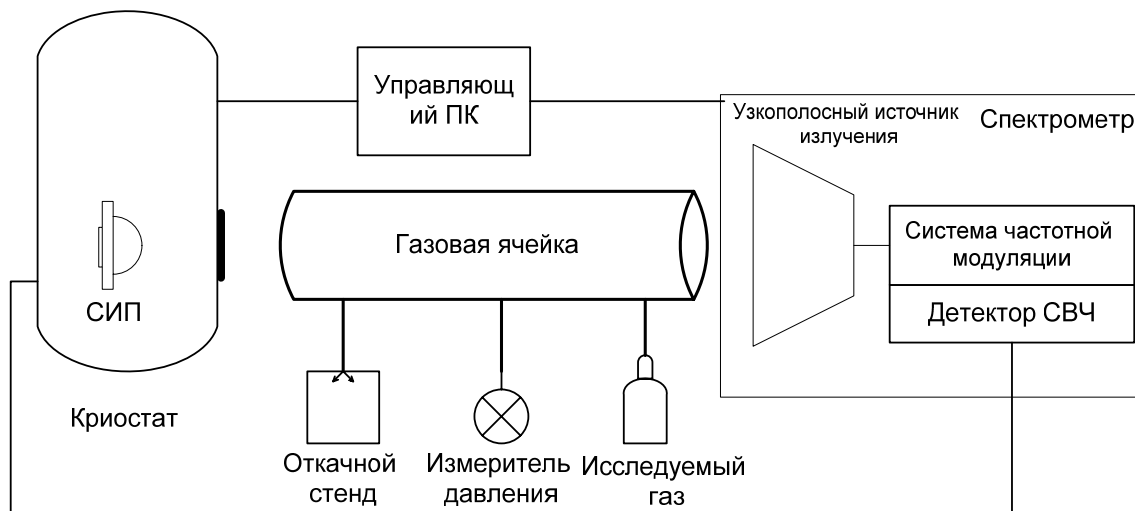


Рис. 5. Функциональная схема экспериментальной установки для анализа выдыхаемого воздуха

Исследована зависимость поглощения паров перекиси водорода, аммиака и ацетона в газовой ячейке в зависимости от давления (от 0.01 mBar до 0.5 mBar) и концентрации (до 100 ppm) исследуемого вещества. Данные соединения являются биомаркерами - индикаторами заболеваний, повышенная концентрация которых в выдыхаемом воздухе свидетельствует о наличии определенных заболеваний.

Основные результаты диссертационной работы

1. Экспериментально исследованы спектральные, шумовые и вольт-амперные характеристики сверхпроводникового интегрального приемника. Исследована резонансная структура на вольт-амперных характеристиках РДП (ступени Фиске), измерены зависимости ширины линии генерации от положения рабочей точки на ступени Фиске. На основании полученных зависимостей предложены и испытаны универсальные алгоритмы выставления частоты генерации РДП во всем рабочем диапазоне приемника (от 450 до 650 ГГц). Подстройка положения рабочей точки в пределах одной ступени Фиске позволила реализовать в данном режиме ширину автономной линии генерации порядка 1 МГц.

2. Исследованы основные элементы сверхпроводникового интегрального приемника – РДП, СИС – смеситель, гармонический смеситель, система ФАПЧ, созданы алгоритмы оптимизации рабочих параметров и режимов работы всех элементов. В результате проведенных оптимизаций СИС-смесителя и РДП с целью максимизации чувствительности СИП минимальная шумовая температура приемника в составе инструмента TELIS составила 150 К. Совместная оптимизация режимов работы гармонического смесителя и системы ФАПЧ позволила реализовать фазовую стабилизацию сверхпроводникового генератора гетеродина во всем диапазоне частот приемника 450 - 650 ГГц.
3. Во время трех научных запусков инструмента TELIS на высотном аэростате в 2009-2011 годах обеспечено бесперебойное функционирование и перестройка спектрометра в диапазоне 495 – 620 ГГц. Продолжительность непрерывных измерений во время полета инструмента достигала 11 часов (кампания 2010 года). В течение всего этого времени производился удаленный контроль рабочих параметров прибора и перестройка частоты гетеродина на основе РДП. В процессе полета при неблагоприятных внешних условиях время перестройки частоты гетеродина и полной оптимизации рабочей точки в среднем составляло 1,5 минуты.
4. Оптимизация рабочих точек на всех частотах, специфицированных в полетном задании сверхпроводникового интегрального приемника в составе инструмента TELIS, позволила достичь наилучшей, среди устанавливаемых на аэростаты приборов, предельной чувствительности. Это дало возможность измерить десятки спектральных линий газов в атмосфере и таким образом получить зависимости концентрации этих газов от высоты наблюдения и времени. Зарегистрированы спектры HDO, O₂, O₃ (с изотопами), HCl, HOCl, H₂¹⁸O, NO₂, ClO, BrO, расположенные в диапазоне 488 - 626 ГГц.
5. Созданы две установки для спектрометрического исследования газовых смесей в лабораторных условиях – методами нестационарной и стационарной спектрометрии. На первой установке на фоне переключаемой нагрузки были

исследованы спектры поглощения перекиси водорода, а на второй - продемонстрировано надежное детектирование паров аммиака концентрацией около 100 ppm. Проведены исследования зависимости поглощения аммиака от давления, температуры и процентного содержания исследуемого газа в ячейке.

Публикации по теме диссертации

- [A1]. V.P. Koshelets, A.V. Ermakov, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, **O.S. Kiselev**, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P.A. Yagoubov, R.W.M. Hoogeveen, and W. Wild, "Integrated Submillimeter Receiver for TELIS", *IEEE Trans. on Appl. Supercond.*, vol. 17, pp. 336-342, 2007
- [A2]. Кошелец В.П., Филиппенко Л.В., Борисов В.Б., Дмитриев П.Н., Ермаков А.Б., **Киселев О.С.**, Лапицкая И.Л., Соболев А.С., Торгашин М.Ю., Худченко А.В., Ягубов П.А., "Интегральный сверхпроводниковый бортовой спектрометр субмм диапазона длин волн для атмосферных исследований", *Известия ВУЗов «Радиофизика»*, Том L, № 10–11, стр. 935-940, 2007.
- [A3]. В.Л. Вакс, В.Ю. Балакирев, А.Н. Панин, С.И. Приползин, В.П. Кошелец, **О.С. Киселев**. Разработка физических принципов построения и реализации спектрометра диапазона 500–700 ГГц со сверхпроводниковым интегральным приемником. // *Физика твердого тела*, 2010, том 52, вып. 11, с. 2100-2103.
- [A4]. Дмитриев П.Н., Ермаков А.Б., Кинев Н.В., **Киселев О.С.**, Кошелец В.П., Соболев А.С., Торгашин М.Ю., Филиппенко Л.В., Худченко А.В., Arno de Lange, Gert de Lange, Pavel A. Yagoubov, «Сверхпроводниковый интегральный приёмник субмиллиметрового диапазона», *Успехи современной радиоэлектроники*, №5, стр. 75-81, 2010.
- [A5]. Valery P Koshelets, Manfred Birk, Dick Boersma, Johannes Dercksen, Pavel Dmitriev, Andrey B Ermakov, Lyudmila V Filippenko, Hans Golstein, Ruud W M Hoogeveen, Leo de Jong, Andrey V Khudchenko, Nickolay V Kinev, **Oleg S Kiselev**, Pavel V Kudryashov, Bart van Kuik, Arno de Lange, Gert de Lange, Irina L Lapitsky, Sergey I Pripolzin, Joris van Rantwijk, Avri M Selig, Alexander S Sobolev, Mikhail Yu Torgashin, Vladimir L Vaks, Ed de Vries, Georg Wagner, Pavel A Yagoubov, "Integrated Submm Wave Receiver: Development and Applications", - Chapter in the book "Nanoscience Frontiers - Fundamentals of Superconducting Electronics", Springer Serie: Nanoscience and Technology_35372, pp. 263-296, Editor: Anatolie Sidorenko, (2011).
- [A6]. Gert de Lange, Dick Boersma, Johannes Dercksen, Pavel Dmitriev, Andrey B. Ermakov, Lyudmila V. Filippenko, Hans Golstein, Ruud W.M. Hoogeveen, Leo de Jong, Andrey V. Khudchenko, Nickolay V. Kinev, **Oleg S. Kiselev**,

- Bart van Kuik, Arno de Lange, Joris van Rantwijk, Alexander S. Sobolev, Mikhail Yu. Torgashin, Ed de Vries, Pavel A. Yagoubov, and Valery P. Koshelets, "Development and Characterization of the Superconducting Integrated Receiver Channel of the TELIS Atmospheric Sounder", *Supercond. Sci. Technol.* vol. 23, No 4, 045016 (8pp), (2010).
- [A7]. **Kiselev, O.** Birk, M. Ermakov, A. Filippenko, L. Golstein, H. Hoogeveen, R. Kinev, N. van Kuik, B. de Lange, A. de Lange, G. Yagoubov, P. Koshelets, V. "Balloon-Borne Superconducting Integrated Receiver for Atmospheric Research", *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Volume: 21 No. 3, June 2011, pp 612-615
- [A8]. A.S. Sobolev, P.V. Kudryashov, **O.S. Kiselev**, "Flux-flow Oscillator with Anticorrelated Noise on the Bias Current and the Magnetic Field.", *Journal of Physics: Conference Series* 234 (2010)
- [A9]. **Киселев О.С.**, Ермаков А.Б., Кошелец В.П. "Алгоритмы управления сверхпроводниковым интегральным приемником", 50-я научная конференция МФТИ, секция твердотельной электроники и радиофизики, ноябрь 2007.
- [A10]. **Киселев О.С.**, В.П. Кошелец, М.Ю. Торгашин, Л.В. Филиппенко, В.Л. Вакс, С.И. Приползин. «Применение сверхпроводникового интегрального приемника для неинвазивной диагностики на основе анализа выдыхаемого воздуха», конференция «Прикладная сверхпроводимость – 2010», 23 марта 2010 г, Москва
- [A11]. **O. Kiselev**, M. Birk, A. Ermakov, L. Filippenko, H. Golstein, R. Hoogeveen, N. Kinev, B. van Kuik, A. de Lange, G. de Lange, P. Yagoubov, V. Koshelets. "Balloon-Borne Superconducting Integrated Receiver for Atmospheric Research". *Applied Superconductivity Conference ASC-2010*. Washington, USA, August 2010, oral presentation 4EX-02.
- [A12]. **О.С. Киселев**, В.П. Кошелец, М.Ю. Торгашин, Л.В. Филиппенко, В.Л. Вакс, С.И. Приползин, «Сверхпроводниковый интегральный приемник для неинвазивной диагностики на основе анализа выдыхаемого воздуха: отработка методики и измерения газовых смесей», 2-я Международная научная конференция «Прикладная сверхпроводимость - 2011», 4 марта 2011 г., Москва.
- [A13]. **O. S. Kiselev**, M. Birk, P. N. Dmitriev, A. B. Ermakov, L. V. Filippenko, H. Golstein, B. van Kuik, A. de Lange, G. De Lange, A. M. Selig, P. Vogt, G. Wagner, and V. P. Koshelets, "Operating of the superconducting integrated receiver channel of the TELIS atmospheric sounder.", 22nd International Symposium on Space Terahertz Technology, Tucson, USA, 26-28 April 2011, poster P-23.
- [A14]. V.P. Koshelets, V.B. Borisov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, **O.S. Kiselev**, I.L. Lapitskaya, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P.A. Yagoubov, R. W.M Hoogeveen, "Integrated Submillimeter Receiver for TELIS", The Joint International Workshop "Nanosensors and Arrays of Quantum

- Dots and Josephson Junctions for space applications" combined with the 10th International Workshop "From Andreev Reflection to the Earliest Universe" Björkliden, Kiruna, Sweden, April 1-9, 2006
- [A15].V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, **O.S. Kiselev**, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P.A. Yagoubov, R.W.M. Hoogeveen, and W. Wild, "Integrated Submillimeter Receiver for TELIS", presented at the Applied Superconductivity Conference ASC-2006. Seattle, USA, August 2006, report 2EY01.
- [A16].V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, N.V. Kinev, **O.S. Kiselev**, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P.A. Yagoubov, R.W.M. Hoogeveen, and W. Wild, "Superconducting Integrated Spectrometer for TELIS", presented at the 18th International Symposium on Space Terahertz Technology, Pasadena, CA, USA, March 2007, report 10-5.
- [A17].Кошелец В.П., Филиппенко Л.В., Дмитриев П.Н., Ермаков А.Б., **Киселев О.С.**, Лапицкая И.Л., Соколев А.С., Торгашин М.Ю., Худченко А.В. "Интегральный сверхпроводниковый бортовой спектрометр субмм диапазона волн для атмосферных исследований", Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, март 2007.
- [A18].V. P. Koshelets, A.B. Ermakov, P. N. Dmitriev, L.V. Filippenko, A. V. Khudchenko, N. V. Kinev, **O. S. Kiselev**, I.L. Lapitskaya, A. S. Sobolev, M. Yu. Torgashin, P. A. Yagoubov, R. W.M. Hoogeveen, G. de Lange, and W. Wild, "Superconducting integrated receivers for radio astronomy and atmospheric monitoring", 11-th International Superconductive Electronics Conference (ISEC 2007), Washington D.C., USA, June 2007.
- [A19].V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, P.N. Dmitriev, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, N.V. Kinev, **O.S. Kiselev**, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P.A. Yagoubov, R.W.M. Hoogeveen, and W. Wild, "Superconducting Integrated Submm Wave Receiver" submitted to the Frontiers of Josephson Physics and Nanoscience (FJPN07), 7th International AQDJJ conference, Italy, September 2007.
- [A20].V.P. Koshelets, V.B. Borisov, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, N.V. Kinev, A.V. Khudchenko, **O.S. Kiselev**, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, P.A. Yagoubov, G. de Lange, W. Wild, R.W.M Hoogeveen, "Development of the Superconducting Integrated Spectrometer for TELIS", Joint International Workshop "A new generation of ultra-sensitive detectors for dark energy and cosmology experiments", Bjorkliden, Kiruna, Sweden, March 30 -April 6, 2008
- [A21].Valery P. Koshelets, Andrey B. Ermakov, Pavel N. Dmitriev, Lyudmila V. Filippenko, Andrey V. Khudchenko, Nickolay V. Kinev, **Oleg S. Kiselev**, Alexander S. Sobolev, Mikhail Yu. Torgashin, "Phase-locked Local Oscillator for Superconducting Integrated Receiver", presented at the *19th International Symposium on Space Terahertz Technology (ISSTT-08)*, Groningen, the Netherlands, April 2008, report 7-5.

- [A22].A.B. Ermakov, **O.S. Kiselev**, V.P. Koshelets, P.A. Yagoubov, G. de Lange, B. van Kuik, “Superconducting Integrated Receiver for TELIS optimization and computer control”, presented at the *19th International Symposium on Space Terahertz Technology (ISSTT-08)*, Groningen, the Netherlands, April 2008, report P6-5
- [A23].V.P. Koshelets, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, N.V. Kinev, **O.S. Kiselev**, A.S. Sobolev, M.Y. Torgashin, G. de Lange, P.A. Yagoubov, R.W.M. Hoogeveen, W. Wild, «Development and Characterization of the Superconducting Integrated Spectrometer for TELIS», Abstract for the Applied Superconductivity Conference ASC-2008. Chicago, USA, August 2008, invited report 3EPE03.
- [A24].Valery Koshelets, Pavel Dmitriev, Andrey Ermakov, Lyudmila Filippenko, Andrey Khudchenko, Nickolay Kinev, **Oleg Kiselev**, Alexander Sobolev, Mikhail Torgashin, “Superconducting integrated submm wave receiver for atmosphere monitoring”, The 10-th Workshop on Submm-Wave Receiver Technologies in Eastern Asia, Wu-Xi, China, November 15-18, 2009.
- [A25].V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, N.V. Kinev, **O.S. Kiselev**, I.L. Lapitskaya, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, “Superconducting Integrated Terahertz Spectrometer for Atmosphere Monitoring and Radio Astronomy”, Invited talk to the I.F. Schegolev Memorial Conference “Low-Dimensional Metallic and Superconducting Systems”, October 11–16, 2009, Chernogolovka, Russia.
- [A26].V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, N.V. Kinev, **O.S. Kiselev**, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, “Superconducting Integrated Receiver”, presented at the International Conference on Superconductive Electronics “EuroFlux-2009: from devices to circuits and systems”, Avignon, France, September 20-23, 2009.
- [A27].V.P. Koshelets, P.N. Dmitriev, A.B. Ermakov, L.V. Filippenko, A.V. Khudchenko, N.V. Kinev, **O.S. Kiselev**, A.S. Sobolev, M.Yu. Torgashin, “On-board Integrated submm spectrometer for atmosphere monitoring and radio astronomy”, ISTC Thematic Workshop “Perspective materials, devices and structures for space applications”, Yerevan, Armenia, May 26 - 28, 2009.
- [A28].Gert de Lange, Pavel Yagoubov, Hans Golstein, Arno de Lange, Bart van Kuik, Joris van Rantwijk Ed de Vries, Johannes Dercksen, Ruud Hoogeveen, Valery Koshelets, **Oleg Kiselev**, Andrey Ermakov “ First Light of the TELIS instrument”, *20th International Symposium on Space Terahertz Technology, Charlottesville*, USA, report T1B, 20-22 April 2009.
- [A29].Кошелец В.П., Дмитриев П.Н., Ермаков А.Б., Кинев Н.В., **Киселев О.С.**, Лапицкая И.Л., Соболев А.С., Торгашин М.Ю., Филиппенко Л.В., Худченко А.В., «Интегральный сверхпроводниковый спектрометр субмм диапазона волн

- для атмосферных исследований и радиоастрономии». Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн, Нижний Новгород, март 2009.
- [A30]. Valery P. Koshelets, Andrey B. Ermakov, Lyudmila V. Filippenko, Nickolay V. Kinev, **Oleg S. Kiselev**, Mikhail Yu Torgashin, Arno de Lange, Gert de Lange, Sergey I Pripolzin, and Vladimir L Vaks, "Superconducting integrated THz receivers: development and applications", presented at the "Infrared, Millimeter Wave, and Terahertz Technologies" conference is part of Photonics Asia 2010, 18-20 October 2010, Beijing, China.
- [A31]. Valery P. Koshelets, Pavel N. Dmitriev, Andrey B. Ermakov, Lyudmila V. Filippenko, Andrey V. Khudchenko, Nickolay V. Kinev, Pavel Kudryashov, **Oleg S. Kiselev**, Mikhail Yu. Torgashin, Gert de Lange, Leo de Jong^b, Pavel A Yagoubov, «Superconducting Integrated THz Receiver», presented at the 35th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2010), Rome, September 2010.
- [A32]. В.Л.Вакс, В.Ю.Балакирев, А.Н.Панин, С.И.Приползин, В.П.Кошелец, **О.С.Киселев**, "Разработка физических принципов построения и реализации спектрометра диапазона 500-700 ГГц с интегральным сверхпроводниковым приемником", XIV Симпозиум «Наноп физика и наноэлектроника», Нижний Новгород, 15-19 марта 2010 г.
- [A33]. Gert de Lange, **Oleg Kiselev**, Pavel Yagoubov, Hans Golstein, Arno de Lange, Bart van Kuik, Joris van Rantwijk, Ed de Vries, Johannes Dercksen, Ruud Hoogeveen, Manfred Birk, Georg Wagner, Andrey Ermakov and Valery Koshelets, "TELIS instrument performance analysis", *21th International Symposium on Space Terahertz Technology, Oxford, Great Britain, 23-25 March 2010.*
- [A34]. Valery P. Koshelets, Pavel N. Dmitriev, Andrey B. Ermakov, Lyudmila V. Filippenko, Andrey V. Khudchenko¹, Nickolay V. Kinev, Pavel Kudryashov, **Oleg S. Kiselev**, Mikhail Yu. Torgashin, Gert de Lange, Arno de Lange, Leo de Jong, Pavel A Yagoubov, Vladimir L. Vaks, Sergey I. Pripolzin, "Superconducting Integrated THz Receivers", *21th International Symposium on Space Terahertz Technology, Oxford, Great Britain, 23-25 March 2010.*
- [A35]. М.Ю. Торгашин, **Киселев О.С.**, Л.В. Филиппенко, В.П. Кошелец, «Интегральный приемник субмм диапазона на основе низкотемпературных сверхпроводников», конференция «Прикладная сверхпроводимость – 2010», 23 марта 2010 г, Москва.