

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П. Н. ЛЕБЕДЕВА

**СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.023.01**

19 января 2015 года

*Защита диссертации
Цыбулева Петра Григорьевича
на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 01.03.02*

(астрофизика и звездная астрономия)

*“Развитие систем регистрации радиоастрономических
данных и повышение чувствительности радиотелескопа
РАТАН-600”*

Присутствовали члены диссертационного совета:

1. Кардашев Н.С., академик, 01.03.02, физ.-мат. науки, Председатель
2. Новиков И.Д., член-корр., 01.03.02, физ.-мат. науки, Зам.председателя
3. Ковалев Ю.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки, Уч.секретарь
4. Бочкарев Н.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
5. Бурдюжа В.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
6. Дагкесаманский Р.Д., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
7. Дорошкевич А.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02 физ.-мат.науки
8. Каленский С.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
9. Ковалев Ю.Ю., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
10. Комберг Б.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
11. Ларионов М.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
12. Лукаш В.Н., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
13. Малофеев В.М., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки
14. Матвеенко Л.И. д.ф.-м.н., 01.03.02 техн. науки
15. Попов М.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
16. Рудницкий Г.М., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки
17. Шишов В.И., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. Науки

Председательствующим на данном заседании является доктор физико-математических наук, академик РАН, руководитель АКЦ ФИАН, председатель диссертационного совета Н.С. Кардашев.

Секретарь заседания — ученый секретарь диссертационного совета д.ф.-м.н. Ю.А. Ковалев.

Председатель.

Первая диссертация. Цыбулёв Петр Григорьевич. САО РАН. “Развитие систем регистрации радиоастрономических данных и повышение чувствительности радиотелескопа РАТАН-600”. На соискание степени кандидата технических наук. Оппоненты Зинченко Игорь Иванович, доктор физико-математических наук, и Косов Александр Сергеевич, доктор технических наук. Ведущая организация -- Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ им. М.В.Ломоносова. Кворум есть (14 чел). Слово предоставляется секретарю

Секретарь.

Кратко докладывает об основном содержании представленных соискателем документов и их соответствии установленным требованиям.

Председатель. Слово для доклада предоставляется соискателю.

Соискатель (в докладе демонстрирует слайды 1-28, распечатки которых даны в Приложении к стенограмме, а к электронному файлу стенограммы приложен электронный файл слайдов).

Уважаемые коллеги, позвольте представить диссертационную работу “Развитие систем регистрации радиоастрономических данных и повышение чувствительности радиотелескопа РАТАН-600”. **Основная цель работы:** 1) Активная помехозащита дециметровых диапазонов радиотелескопа РАТАН-600 в период с 1995 по 2010 год. 2) Построение прецизионной измерительной системы для радиометра, не вносящей в измеряемый сигнал собственного шума вида $1/f$ (f - низкая частота), с целью повышения точности и долговременной стабильности измерения сигналов радиометров. 3) Исследование шума вида $1/f$ самого радиометра с целью выявления источников этого шума и возможности их устранения. 4) Повышение чувствительности и долговременной стабильности радиометров континуума радиотелескопа РАТАН-600. 5) Внедрение полученных результатов в непрерывные

штатные радиоастрономические наблюдения на радиометрах континуума радиотелескопа РАТАН-600 в диапазоне 1-30 ГГц в период с 1995 года по настоящее время для всех плановых наблюдательных программ. Реализация поставленных целей является актуальной для радиоастрономии.

В Главе 1 говорится о развитии средств и методов активного помехоподавления на РАТАН-600. В 1995-1998 годах, в условиях ухудшающейся помеховой обстановки, на РАТАН-600 были проведены научно-исследовательские работы по активному помехоподавлению в дециметровых диапазонах. Метод назывался «частотно-временное помехоподавление». Метод известный, но в нем впервые на РАТАН-600 использовались средства цифровой обработки сигналов. С помощью сигнальных процессоров в масштабе реального времени очищались от помех сигналы отдельных подполос широкой входной полосы радиометров континуума. Действие этого метода показано здесь (слайд 3). Метод состоял из анализа (разделения) широкой полосы радиометра на узкие подполосы, удаления помех, где они присутствуют, и сборки сигнала (синтез широкой полосы путем усреднения узких подполос, весовое или обычное усреднение). На рисунке (слайд 4) показано, как выглядит наблюдение без помехоподавления. С помехоподавлением получаем чистый сигнал от радиоисточника. Метод был внедрен в 1996-1997 годах в штатные наблюдения на РАТАН-600, и работал вплоть до 2010 года включительно. Далее помеховая ситуация ухудшилась кардинально, и в настоящее время наблюдения в дециметровых диапазонах пока невозможны. Мы ищем новые пути решения этой проблемы. В результате работ по частотно-временному помехоподавлению удалось продлить наблюдения в дециметровых диапазонах на РАТАН-600 на 15 лет(на 1995-2010 годы).

Глава 2. Разработка Системы Сбора Данных и Управления радиометрами -- системы нового поколения для проведения радиоастрономических наблюдений в континууме на радиотелескопе РАТАН-600.

Положительный опыт, накопленный в задаче частотно-временного помехоподавления, привел к применению Цифровой Обработки Сигналов (ЦОС) для синхронного детектирования и НЧ фильтрации сигналов модуляционных радиометров, заменяя собой аналоговые цепи. Радиометр “должен сам” оцифровать свой сигнал, обработать и отправить к центру сбора радиоастрономических данных. Новая Система Регистрации (Измерительная Система) должна быть прецизионной, малошумящей, легко наращиваемой для обеспечения радиометров нужным числом измерительных каналов, простой и надежной в непрерывной эксплуатации.

Измерительная система, не вносящая шума $1/f$ (слайд 7), была разработана и введена в штатную работу для всех радиометров континуума РАТАН-600 (на 3-х Облучателях, для 30 радиометров; "Облучатель" -- передвигающаяся по рельсам платформа с вторичным зеркалом и аппаратурной кабиной, устанавливаемая в фокус первичного отражателя РАТАН-600). Результаты опубликованы в работе: П.Г. Цыбулев, Система сбора данных и управления нового поколения для проведения радиоастрономических наблюдений в континууме на радиотелескопе РАТАН-600, Астрофизический Бюллетень, 2011, т.66 (1), стр. 118-133. Система состояла из двух подсистем, аналоговой и цифровой. Аналоговая подсистема являлась на тот момент уникальной и обеспечивала такие предельные характеристики как отсутствие шума вида $1/f$ в измерительной системе. При этом система встраивается в радиометр. Отсюда название системы: Embedded Radiometric Data Acquisition System (название докторской диссертации). На следующем рисунке (слайд 8) показаны тестовые измерения собственных шумов системы, когда на ее входе устанавливается источник постоянного напряжения (заменяя собой квадратичный детектор радиометра). Мы

проводили измерения в 2-х разных конфигурациях этой системы. В данной разработке применены так называемые авто-зера усилители (auto-zero) в качестве усилителей постоянного тока. И рисунок показывает сравнение этих усилителей с традиционными усилителями, которые ранее применялись при обработке радиоастрономической информации и у нас, и за рубежом. Для примера взяты два лучших образца усилителей каждого типа и произведено их сравнение. Красная кривая демонстрирует наличие флюктуаций вида $1/f$ (соответствующий спектр будет показан далее), а синяя кривая демонстрирует практически белый шум. Калибровка на обеих кривых одна и та же (реакция на один и тот же входной сигнал). На следующем слайде (слайд 9) приведены спектральные плотности амплитуды флюктуаций приведенных сигналов, где по оси X -- частота в Герцах. Видно, что предыдущие варианты низкочастотных усилителей с традиционными усилителями демонстрируют очень большой шум вида $1/f$. Подъем в их спектре начинается в районе (10 — 1) Гц. Добавляется очень большая мощность в измеряемый сигнал. То есть измерительная система вносит в измеряемый сигнал много лишнего шума, которого не было в измеряемом сигнале (не приходил с детектора радиометра на самом деле). Синяя кривая демонстрирует спектр амплитуды с применением авто-зера усилителей. Здесь есть небольшой подъем у нуля частот, которого быть не должно, он обусловлен тем, что эталонный источник постоянного напряжения (который устанавливался на входе системы) невозможен на практике (трудно реализуем). Это его избыточные флюктуации. На самом деле, спектр шума авто-зера усилителя «белый» вплоть до очень низких частот, менее 0.01 Гц (что соответствует гармонике 100 секунд). В результате, измерительная система радиометра претерпела изменения.

На следующем слайде (слайд 10) вверху представлена традиционная схема измерения сигнала модуляционного радиометра. Новая измерительная система предназначена для измерения и в модуляционном режиме, и в режиме полной мощности. В модуляционном режиме выходная часть стандартного модуляционного радиометра, включающая в себя синхронный детектор и аналого-цифровой преобразователь заменяется на новую схему, где сигнал радиометра проходит через прецизионные цепи усиления, оцифровки, и далее цифровой сигнальный процессор выполняет всю необходимую постдетекторную обработку сигнала (синхронное детектирование, НЧ фильтрацию, децимацию данных). На следующем слайде (слайд 11) показан основной режим работы новой измерительной системы, где показано, как сигнал модуляционного радиометра проходит стадии обработки в цифровом сигнальном процессоре. Здесь разделяются отдельные полупериоды модуляции модуляционного радиометра, а, поскольку регистрация производится на постоянном токе, отдельные полупериоды несут каждый свою информацию. Например, если радиометр построен по схеме Р. Дике, то один полупериод несет информацию о канале сравнения, а второй — о канале «антенна». Если это радиометр с диаграммной модуляцией, то каждый из каналов несет информацию о своем входе приемника. Далее производится НЧ-фильтрация и децимация данных, так что исходный поток со скоростью 32768 отсчетов в секунду превращается в выходной поток со скоростью 128 отсчетов в секунду. Этого вполне достаточно для проведения радиоастрономических наблюдений как на РАТАН-600, так и на других радиотелескопах. Далее (слайд 12) представлены характеристики новой измерительной системы. Система: прецизионная по постоянному току за счет применения Auto-Zero Операционных Усилителей, ОУ (температурный дрейф нуля в 300 !!! раз ниже, чем для обычных ОУ); не вносит в измерения своего шума вида $1/f$ за счет применения Auto-Zero ОУ; имеет предельно низкий собственный белый шум, аналоговая обработка сигналов заменена на Цифровую обработку сигналов; встраиваемая в радиометр; максимально приближена к источнику сигнала

(детектору); сетевая (Ethernet). Отсутствие в измерительной системе собственного шума вида $1/f$ позволяет использовать ее для исследования шума вида $1/f$ самого радиометра.

В Главе 3 (слайд 13) говорится о применении новой измерительной системы. Это важно для радиоастрономов, как правильно пользоваться выходными данными новой системы, что нового дает система и как в дальнейшем обрабатывать ее выходные данные. Вся эта информация собрана в данной Главе. Также описано применение новой измерительной системы для радиометрических измерений. Продемонстрировано, как с помощью новой системы измерять шум вида $1/f$ радиометра (все параметры этого шума, мощность, спектральный индекс). Это нужно для дальнейшей классификации источников этого шума, и их анализа.

В Главе 4 говорится о шуме вида $1/f$ в радиометре полной мощности. В предыдущих главах показано, как устранен шум вида $1/f$ в измерительной системе. Это дает возможность подойти к изучению этого шума в самом радиометре. На рисунке (слайд 14) показан стандартный вид записи с $1/f$ шумом (красная кривая). Это шум радиометра полной мощности. Р. Дике в 1946 году предложил устранять избыточный шум вида $1/f$ модуляционным способом приема (черная кривая на графике). Это 2 экспериментальные кривые. Нижняя кривая соответствует идеальному радиометру полной мощности (это то, к чему нам хотелось бы стремиться, но это было недостижимо). Шум на этой синей кривой в 2 раза меньше, чем у радиометра Р. Дике, и это модельная запись (не экспериментальная). Но, хотелось бы на практике получать такую высокую чувствительность радиометра. Но по радиометрической литературе известно, что это считается невозможным, и даже Д.В. Корольков в книге «Радиотелескопы и радиометры» написал, что, по-видимому, этот избыточный шум вида $1/f$ принципиально не устраним. На следующем слайде (15) показано, какие основные источники шума $1/f$ в радиометре присутствуют. Это НЧ-часть радиометра. Обычно считалось, что основным источником шума вида $1/f$ являются все СВЧ усилители радиометра (у них флюктуирует коэффициент усиления). И докторантставил одной из задач в своем исследовании — увидеть этот избыточный шум (связанный с флюктуациями усиления). Однако, мы смотрим на все усилители через детектор радиометра, который сам может являться источником шума данного вида.

В данной работе докторант применил детекторы на основе обращенных туннельных диодов. План был на получение возможности сравнения радиометра с детекторами разных типов (будет ли отличие в их выходных сигналах и спектрах?). Отсюда можно увидеть возможный вклад детектора. Традиционно применяются детекторы на основе диодов Шоттки. Эффект оказался резким, сильным, положительным. Схема лабораторного измерения (слайд 16) состоит из модуляционного радиометра, у которого со входа удален входной переключатель, и на входе установлена согласованная нагрузка, что имитирует полностью сбалансированный радиометр Дике. На выходе работает синхронный детектор, разделяющий 2 полупериода модуляции на отдельные сигналы, как было показано в Главах 2 и 3. Полусумма этих сигналов дает сигнал радиометра полной мощности, а их разность дает сигнал модуляционного радиометра. Полусумма в эксперименте дает красную кривую (радиометр полной мощности), а разность — черную (модуляционный радиометр Дике). Применение детекторов на туннельных диодах в режиме радиометра полной мощности дает на практике синюю кривую. Ранее такой результат на практике был недостижим. Это является одним из основных достижений данной работы. На слайде 17 приведены спектры мощности сигналов, представленных на предыдущем слайде. Это сглаженные оценки спектральной плотности мощности по достаточно длинным реализациям (около 13 часов

измерений). Радиометр полной мощности с Шоттки детектором дает наихудший вариант (красная кривая), радиометристы знают такой вид спектра. Так, если нанести на этот график спектр мощности одного из радиометров проекта «Планк», эта кривая пройдет рядом, даже выше. Черная кривая представляет спектр мощности шума радиометра Дике. Синяя кривая — результат данной работы. Она описывает радиометр полной мощности с туннельным детектором. Видно, что на частотах порядка (1-10) Гц ранее был виден сильный аномальный случайный шум вида $1/f$. Видно, что эта случайная компонента резко упала, так что шум радиометра Дике на этих масштабах лежит в 4 раза выше, чем на синей кривой (отличие в 4 раза по «белому» спектру мощности — значит в 2 раза по средне-квадратичному отклонению). Этот результат получен доктором впервые. Все записи на слайде 16 — в одном масштабе. Если бы на этих записях был радиоисточник (или калибровочный сигнал), он был бы одной и той же амплитуды на всех 3-х записях. Чтобы в этом убедиться, рассмотрим радиоастрономические наблюдения (слайд 18). Здесь красная кривая — старое наблюдение с Шоттки детектором в режиме полной мощности, здесь самый большой шум. Черная кривая — это шум в режиме радиометра Дике. Синяя кривая — это запись радиометром полной мощности с туннельным детектором. Видно что здесь шум наименьший, и в 2 раза меньше, чем у модуляционного радиометра. Выигрыш в 2 раза по чувствительности в сравнении с модуляционным радиометром автоматически означает, что мы приблизились к теоретическому пределу — идеальному радиометру полной мощности, в указанной полосе частот. Полоса частот, где шум радиометра еще белый, как раз характерна для наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 при прохождении радиоисточника через неподвижную диаграмму направленности радиотелескопа. В настоящее время такой низкий шум мы уже наблюдаем на 8-ми радиометрах (8 штатных радиометров на телескопе переведено в режим полной мощности). На слайде 18 приведен еще один пример наблюдения на радиотелескопе РАТАН-600. Здесь красная кривая относится к радиометру с диаграммной модуляцией, которая практически является радиометром Дике, если на вход одного из рупоров установить согласованную нагрузку (нижнего отклика от радиоисточника не будет, а шум останется точно таким же). Синяя кривая — радиометр с туннельным детектором. Здесь также видно, что шум на синей кривой в 2 раза меньше, чем на красной записи.

Результаты, выносимые на защиту (слайды 20 и 21). 1) Произведена полная модернизация Систем Сбора Данных и Управления (ССДиУ) всех радиометров континуума РАТАН-600 (три приемных комплекса с 30 радиометрами) на новой аппаратно-программной основе (ER-DAS). 2) Устранен основной источник шума вида $1/f$ в измерительной системе радиометра. Это позволяет измерять параметры шума вида $1/f$ радиометра, зная, что измерительная система не вносит своих дрейфов. 3) Разработана и внедрена универсальная, прецизионная, встраиваемая в радиометр, сетевая измерительная система, ER-DAS — Embedded Radiometric Data Acquisition System (название доктора). ER-DAS является «строительным блоком» для построения распределенных сетевых систем регистрации радиометрических сигналов и сигналов различных датчиков. 4) Устранен основной источник шума вида $1/f$ в радиометре. Показано, что применение детекторов на основе туннельных обращенных диодов вместо детекторов на диодах Шоттки резко снижает шум вида $1/f$ в радиометре полной мощности. Впервые на практике реализована чувствительность идеального радиометра полной мощности на типовых для РАТАН-600 масштабах времени (около 10 секунд). При этом чувствительность радиометра полной мощности на масштабах времени до 100 секунд остается выше, чем у модуляционного радиометра. **Результаты успешно внедрены в работу высокочувствительных радиометров континуума РАТАН-600 для сантиметровых**

диапазонов длин волн. 5) Работы с участием доктора в области активной помехозащиты дециметровых диапазонов (частотно-временное помехоподавление) позволили более чем на 10 лет продлить наблюдения на радиометрах 13, 30 и 50 см в условиях ухудшающейся помеховой обстановки. 6) Весь наблюдательный материал РАТАН-600 в континууме, полученный в течение последних 15 лет круглосуточных плановых наблюдений по всем наблюдательным темам галактической и внегалактической радиоастрономии, записан системами регистрации, разработанными, сопровождаемыми и развивающимися доктором.

Научная новизна работы (слайд 22). 1) Впервые в практику радиоастрономических наблюдений введена прецизионная измерительная система, практически не имеющая собственных дрейфов нуля (шума вида $1/f$). Это позволяет измерять истинную полную мощность СВЧ-сигнала, поступившего на детектор радиометра, а также исследовать источники шума вида $1/f$ в радиометре. 2) Используя новую измерительную систему получены новые данные по шуму вида $1/f$ в радиометре и по источникам этого шума.

3) Основываясь на этих данных и их анализе, впервые устранен основной источник шума вида $1/f$ в радиометре. При этом подъем в спектре мощности выходного шума радиометра сместился от (10-100) Гц к частоте 0.1 Гц, что в (100-1000) раз лучше типичных значений в радиометрии. 4) По этим результатам впервые на практике реализована чувствительность идеального радиометра полной мощности на масштабах времени около 10 секунд. При этом чувствительность радиометра полной мощности на масштабах времени до 100 секунд остается выше, чем у модуляционного радиометра.

Апробация работы (слайды 23, 24). Работа представлялась на многих российских и международных конференциях (более 25). Результаты работы Системы Сбора Данных и Управления (ССДиУ) и ее развития доктором успешно используются в течение 15 лет во многих астрофизических исследованиях с личным участием автора и в сотнях других работ с применением ССДиУ радиометров континуума РАТАН-600 по таким направлениям, как исследования микроволнового фона Вселенной, галактических объектов, мгновенных спектров радиогалактик и квазаров, изучение радиоизлучения Солнца и планет Солнечной системы и многим другим.

Структура и объем докторской диссертации (слайд 25). Диссертация состоит из Введения, четырех Глав, Заключения, трех Приложений и Списка цитируемой литературы. Общий объем докторской диссертации составляет 146 страниц и содержит 35 рисунков, одну таблицу. Библиография из 94 наименований содержит 12 страниц. Приложения А-С - 40 страниц.

Публикации по теме докторской диссертации (слайд 25). 15 работ в журналах из списка ВАК, 49 других публикаций, из них: 5 статей в научно-технических изданиях; 4 технических отчета САО РАН; 40 работ в материалах конференций.

Список публикаций доктора в журналах из списка ВАК представлен на слайдах 26 и 27.

Спасибо за внимание.

Председатель. Есть ли вопросы?

Бурдюжа В.В.. Скажите пожалуйста, Вы сказали, что усилились помехи. Кто их создал?

Ответ соискателя. - На сегодняшний день?

Бурдюжа В.В.. Когда вы начинали.

Ответ. Эти работы были начаты П. А. Фридманом, который активно внедрял системы помехоподавления на РАТАН-600. Я тогда был молодым специалистом, занимался этими системами. В основном речь шла об импульсных помехах различного происхождения, и природного, и техногенного. Системы помехоподавления удаляли кратковременные импульсы. В докладе были картинки наблюдений без помехоподавления и с ним. Без помехоподавления видны огромные помехи - они все импульсного характера, поскольку эффективно подавлялись этим методом.

Бурдюжа В.В. К этому же. Вы сейчас сказали что помехи естественного происхождения. Это что? Грозы?

Ответ. Да, конечно.

Председатель. Еще вопросы?

Малофеев В.М. Продолжение предыдущего вопроса. А с чем связано последнее, с 2010 года, резкое увеличение помех?

Ответ. Помехи техногенные. Это все системы связи, радиорелейной, сотовой, системы ближнего доступа, типа WiFi, Bluetooth. Рядом с РАТАН-600 находится станица Зеленчукская, и мы сейчас пытаемся решать вопросы помехозащиты другими методами. Основа для решения уже есть. Недавно А.Б. Берлин разработал новый трехдиапазонный дециметровый радиометрический комплекс "Октава". На этом новом комплексе мы сейчас готовимся внедрить новые методы, для дальнейшего продления наблюдений (которые практически сейчас остановлены) в этих диапазонах. Планируем установку сетки-экрана вокруг РАТАН-600 (его основных рабочих секторов) для экранирования от станицы Зеленчукская, как источника ближайших помех.

Председатель. Еще вопросы?

Горшков А.Г. (кандидат физ.-мат. наук, ГАИШ МГУ). Насколько я помню (о методе частотно временного помехоподавления), разделение на субканалы уже было давно сделано. Оно, правда, в дециметровых диапазонах не в цифровом виде работало, а в аппаратном. И я лично обрабатывал эти сигналы.

Ответ. Так это он (метод) и есть в действии. Вы получали записи этих субканалов, очищенные от помех. Далее Вы суммировали их, как делали все наблюдатели на РАТАН-600.

Ковалев Ю.Ю. (реплика): Они (субканалы) были с самого начала цифровые.

Ковалев Ю.А.(реплика): Их было 8 в диапазоне 13-ти сантиметров.

Горшков А.Г. В диссертации о них речь?

Ответ. Да, в диссертации именно о них идет речь.

Председатель. Еще вопросы?

Малофеев В.М. Вы применили детекторы на туннельных диодах. Они что, никем, нигде ранее не применялись?

Ответ. Они применялись в радиометрии (в радиоастрономии, в частности) и в 70-х и в 80-х, и в 90-х годах. Я читал внутренние отчеты НРАО, где применялись эти детекторы. В 60-х годах вышло несколько статей, в которых говорилось, что у туннельных детекторов (на обращенных туннельных диодах) в режиме без смещения аномальный 1/f шум вообще не обнаружен. Но в радиоастрономии детекторы применялись, во-первых, в модуляционном режиме, когда радиометр уже произвел синхронное детектирование сигнала, и эффекта в режиме полной мощности, как правило, не видели. Во-вторых, в нашей публикации мы высказали свое мнение, что в те годы был еще заметным шум 1/f от флуктуаций усиления СВЧ усилителей, и было тяжело разделить различные вклады. В настоящий момент произошло стечание обстоятельств: мы применили новые СВЧ усилители фирмы "Микран" (г. Томск), в которых практически не оказалось шума вида 1/f (а также детекторы и

систему регистрации без шума $1/f$, примечание к стенограмме.). Все эти факторы должны были одновременно подействовать, и это случилось в данной работе.

Председатель. Еще вопросы?

Ковалев Ю.Ю. Я хотел бы продолжить вопрос, который был задан, и, фактически, соискатель уже стал отвечать на него. Но давайте сформулируем этот вопрос четко, и соответственно, услышим четкий ответ. Не могли бы Вы перечислить список всех изменений, которые были внесены в радиометры для того, чтобы добиться этого результата идеального шума. По пунктам.

Ответ. Начинал я с НЧ части радиометра, с измерительной системы, устранил $1/f$ шум в измерительной системе. Следующим пунктом явилось устранения $1/f$ шума за счет применения туннельного детектора. Третий пункт, можно сказать, "сам" выполнился: в СВЧ-усилителях, которые мы применили, шум вида $1/f$ оказался крайне низким. Традиционно в литературе указывается, что основным источником $1/f$ шума являются все-таки усилители. Для современных усилителей нужно аккуратно проверять этот факт, и если шум $1/f$ усилителей низкий - радиоастрономам же лучше. Остаются еще два пункта. Первый - это внедрение измерительной системы на всех радиометрах РАТАН-600, вследствие чего был быстро получен большой объем данных с телескопа для анализа, после чего мы приняли решение о замене детекторов на диодах Шоттки на детекторы на основе туннельных диодов. Следующий, очень важный пункт. Практически все радиометры на РАТАН-600 - модуляционного типа, с диаграммной модуляцией. Поэтому перевод этих радиометров в режим полной мощности (с одновременной установкой туннельных детекторов) дает выигрыш даже не двойку, а больше, поскольку со входа радиометра убирается еще и входной переключатель, который тоже вносил потери. Поэтому реальный выигрыш в наблюдениях оказался выше двойки (2.2-2.4). Двойка здесь просто за счет отличия формулы чувствительности для модуляционного радиометра и для радиометра полной мощности.

Ковалев Ю.Ю. Было бы полезно увидеть этот список (пунктов) с одной стороны в таблице, а с другой стороны --- полученный выигрыш (заменой той или иной части старого радиометра на новую).

Ковалев Ю.А. А не важнее ли суммарный результат?

Ковалев Ю.Ю. Нет. Потому что эта табличка помогла бы в будущем принять решение, как модернизировать тот или иной радиометр, поскольку все стоит денег, и нужно получить за вкладываемые ресурсы наилучший результат.

Ответ: Таблицы действительно нет, она еще впереди, поскольку наша модернизация еще идет. Но некоторые оценки я приводил в приложении диссертационной работы. Например, была поставлена и решена задача: а что если у нас будет идеальный радиометр полной мощности, а измерительная система будет иметь шум $1/f$ (как было ранее, когда не прецизионные усилители постоянного тока были применены)? Измерения показали, что такой радиометр оказался невозможным на практике. Построение идеального радиометра оказалось невозможным только потому, что измерительная система имеет $1/f$ шум. Это уже нами оценено. Поэтому я и начал свои работы с измерительной системы.

Председатель. Леонид Иванович, пожалуйста.

Матвеенко Л.И. Какова квадратичность Ваших детекторов? То, из за чего, обычно, бывают. И второй вопрос: Ваша система не вносит собственных нулевых шумов (на нулевых частотах)? Или подавляет нулевые шумы?

Ответ. Я начну со второго вопроса. Наша измерительная система использует новые усилители с внутренней автокоррекцией нуля (авто-зера). Эти авто-зера усилители (как прецизионные усилители постоянного тока) сами с высокой частотой устраняют собственные дрейфы нуля (с частотой от 16 кГц до 200 кГц). То есть сами

они построены, как модуляционный радиометр (который также сам устраняет свой шум 1/f). Теперь Ответ на первый вопрос (квадратичность). Диапазон квадратичности туннельных обращенных диодов такой же, как у детекторов на диодах Шоттки. Мы использовали 2 вида детекторов (туннельных). Первые детекторы я построил сам (и на них был обнаружен впервые эффект), а второй тип детекторов - приобретены коммерчески доступные детекторы на обращенных туннельных диодах. У этих детекторов примерно такие же паспортные характеристики как у детекторов Шоттки.

Матвеенко Л.И. До какого порога он квадратичный?

Ответ. Квадратичность по подаваемой мощности — около -15, -17 децибел от милливатта.

Председатель. Еще вопросы?

Ковалев Ю.А. Как насчет новизны? Насколько я знаю, в САО этот вопрос задавался, и Вы на него отвечали. Не могли бы Вы ответ повторить здесь? Смотрели ли Вы по базам данных, есть ли аналогичные результаты по реализации радиометра полной мощности с временем накопления до 10 секунд (что радиометр практически свободен от 1/f шума на этих временах)?

Ответ. За литературой по этому направлению я слежу практически с самого начала, как поступил на работу на радиотелескоп РАТАН-600. Постоянный поиск по всем источникам, (индексируемые базы данных, IEEE журналы), показывает, что наши результаты новые (до сих пор я провожу этот мониторинг).

Председатель. Еще вопросы?

Горшков А.Г. Однако, с аналогичными параметрами радиометр был создан в 1998 году для РТ-70. (Фалькович и команда). Они все то же самое сделали.

Ответ. Эта цитата (и ссылка) есть в отзыве ведущей организации. Далее я более детально отвечу на этот вопрос.

Ковалев Ю.А. У меня есть примечание к моему отзыву на диссертацию, где говорится о том, что это недостоверные результаты, и я могу это доказать прямо сегодня. Статья есть у докторанта.

Ответ. Александр Георгиевич, Вы сказали, что сделано "практически одно и то же". Однако то, что сделали украинские коллеги, полностью отличается от того, что мы сделали. Мало того, там речь идет не о квадратичном радиометре (по мощности), а линейном. Авторы утверждают, что линейный детектор также измеряет мощность. Но это совсем не так, и дальнейшее обсуждение данной работы вызывает больше сомнений.

Председатель. Еще вопросы?

Каневский Б.З. (кандидат физ.-мат. наук, АКЦ ФИАН) Вы оценивали вклад входных сверхмалошумящих усилителей, которые широко используются, даже неохлаждаемых усилителей, в 1/f шум. Вы заявляли, что они фактически ничего не вкладывают.

Ответ. Если не возражаете, я вернусь к картинке, чтобы сэкономить времени. Вот эта картинка (в презентации), синяя кривая (спектральная плотность мощности радиометра полной мощности с туннельным детектором, примечание к стенограмме). О подъеме на этой кривой идет речь. На этих частотах (0.1 Гц и выше, примечание к стенограмме) практически ничего не вкладывает 1/f шум. На более низких частотах есть подъем. В нашей публикации мы говорим о том, что этот подъем требует дальнейшей классификации. Одна из причин этого подъема уже известна. Это просто температурный дрейф усилителей (с изменением их физической температуры). С увеличением температуры усиление падает, и наоборот. То есть это уже не шум. На спектре мощности, который является статистической оценкой, этот эффект виден как подъем спектра. Но на самом деле физическая температура --- это измеряемый сигнал, и он подлежит учету. Это

влияние можно учесть и устраниТЬ. И что останется после такого учета — представляет интерес для будущих исследований.

Каневский Б.З. Но ведь $1/f$ (усилителей), это основной вклад (среди всех дестабилизирующих факторов).

Ответ. Вот в этом спектре основной вклад - это температурные дрейфы. На этой картинке я привел часовую запись, а сам эксперимент длился 13 часов. На 13-ти часовой записи (если бы я ее привел), было бы видно, что есть медленные дрейфы, которые как раз связаны с физической температурой в лаборатории (усилитель не термостатировался). И это основной вклад. Если его убрать — тогда увидим $1/f$ шум усилителей, если он есть.

Председатель. Еще вопросы? Нет. Спасибо. Слово предоставляется научному руководителю. Юрий Андреевич зачитывает отзыв научного руководителя Юрия Николаевича Парийского.

Секретарь.

Юрий Николаевич болеет, поэтому отсутствует, отзыв его есть, полностью оформленный, соответствует всем требованиям. (Зачитывает Отзыв, Отзыв прилагается). Теперь остальные отзывы. Это -- Заключение организации, где выполнена работа (САО РАН), Отзыв ведущей организации и еще два дополнительно поступивших Отзыва. Заключение утверждено директором Балегой Ю.Ю., заверено гербовой печатью САО РАН. Выписка из протокола астрофизического семинара САО РАН от 2 июля 2014 года. Присутствовали 25 научных сотрудников, в отзыве перечисляется, кто именно. (Зачитывает положительное Заключение, Заключение прилагается).

Секретарь.

Следующий отзыв, который я должен зачитать, это отзыв ведущей организации. Ведущей организацией был назначен ГАИШ МГУ, но по новым требованиям Отзыв утверждается не ГАИШ, а университетом. ГАИШ подписывает на последней странице, а утверждает проректор МГУ им. Ломоносова профессор Федянин А.А. Отзыв составлен присутствующим на защите Александром Георгиевичем Горшковым (Зачитывает положительный отзыв, отзыв прилагается). Так как отзыв уже зачитан, то диссертант имеет право отвечать на замечания в нем сразу.

Председатель. А есть ли замечания?

Соискатель. Есть не замечания, а реплики, которые требуют ответа. Я отвечу, если не возражаете.

Председатель. Пожалуйста.

Соискатель (отвечает на Отзыв ведущей организации).

1) В Отзыве: «Отмечается, что впервые обнаружен эффект уменьшения $1/f$, но это свойство детекторов на ОТД известно с 80-х годов прошлого века.»

Ответ. Для самих детекторов на ОТД (Обращенных Туннельных Диодах) свойство пренебрежимой малости шума вида $1/f$ известно уже около 50 лет, см. например, A.M. Cowley, A.M. Sorensen. Quantitative Comparison of Solid-State Microwave Detectors. IEEE Transactions on Microwave Theory Techniques, (14) 1966, pp. 588-602. Но в диссертации речь идет о резком уменьшении вклада шума вида $1/f$ для всего радиометра (а не только детектора!). В радиометре есть 3 источника шума вида $1/f$: СВЧ усилители, детектор и низкочастотная часть радиометра. И только совместное уменьшение шумов вида $1/f$ от всех трех источников может привести к реализации расчетной чувствительности радиометра полной мощности. Однако в литературе по радиометрии полностью отсутствует подобная постановка задачи и ее решение.

Резкое снижение вклада шума вида $1/f$ одновременно от двух последних источников входит в задачу данного диссертационного исследования и в перечень положений, выносимых на защиту. В то же время, модернизация всех радиометров континуума РАТАН-600 (путем применения в них новых современных СВЧ усилителей)

одновременно решила и задачу резкого снижения шума вида $1/f$ в СВЧ-усилителях радиометра (стр. 85 диссертационной работы).

2. В Отзыве: «Отмечу, что в работе «Высокочувствительный компенсационный радиометр для радиотелескопа РТ-70» авторы Фалькович И.С. и др. (журнал Радиофизика и радиоастрономия, т.3, № 3, 1998) приведены результаты разработки радиометра полной мощности, где реализован теоретический предел чувствительности на масштабах времени около 10 с.»

Ответ. Содержание указанной работы не относится к содержанию диссертации, хотя название и аннотация могут приводить к недоразумениям. В работе харьковских коллег исследовалась выходная часть радиометра (а не весь радиометр) с линейным детектором. Однако, в диссертации рассмотрена классическая схема радиометра с квадратичным детектором. В книге Краус Дж. Д. «Радиоастрономия», на стр. 232 говорится об этом: «... Если детектор отличается от квадратичного, то гамма в выражении (7.20) зависит от Т системы. Как было показано в работе [3], чувствительность приемника максимальна при использовании квадратичного детектора». См. 3) Kelly, E. J., D. H. Lyons, and W. L. Root, The Sensitivity of Radiometric Measurements, J. Soc. Indust. Appl. Math., , 235-257, 1963.

3. В Отзыве: «К сожалению, автор не приводит коэффициент передачи туннельного диода и его динамический диапазон, которые он получил в процессе исследований».

Ответ. Согласно тексту диссертации, в работе применялись коммерчески доступные детекторы АСТР-1625, измеренные характеристики которых полностью согласуются с их паспортными данными. Тангенциальная чувствительность детектора равна -50 dBm. Точка компрессии по уровню 1 dB -- около -15 dBm. Так что динамический диапазон -- около 35 dB. Коэффициент передачи составляет 650 mV/mW.

Председатель. Спасибо.

Секретарь.

Я продолжаю, Николай Семенович, потому что еще 2 отзыва есть. Так как я знаю, что один из них -- с замечаниями, а другой -- без них, то я зачитаю сразу два, а диссертант потом может сразу ответить. Сначала Отзыв на автореферат диссертации, подписанный главным научным сотрудником лаборатории преобразования и регистрации сигналов Института прикладной астрономии РАН доктором технических наук, профессором Н.Е.Кольцовым. Отзыв утвержден заместителем директора ИПА РАН по научной работе, кандидатом физ.-мат. наук Г.Н.Ильиным, обсужден на семинаре и направлен сопроводительным письмом от директора Института доктора технических наук, профессора А.В.Ипатова, то я предполагаю, что, вероятно, его правильнее считать Отзывом от ИПА РАН, несмотря на отсутствие прямого указания на это в тексте (Зачитывает положительный Отзыв, Отзыв прилагается).

Секретарь.

И второй отзыв --- на диссертацию, персональный, от ведущего научного сотрудника АКЦ ФИАН Ковалева Ю.А. В отзыве есть приложение с обсуждением статьи И.С.Фальковича и др., 1998. (Зачитывает положительный отзыв с приложением, полный текст отзыва прилагается, замечаний по диссертации нет).

Председатель. Пожалуйста, Петр Григорьевич.

Соискатель. (Отвечает на замечания в отзыве на автореферат)

Я отвечу на вопросы, которые прозвучали в отзыве проф. Кольцова, ИПА РАН.

Замечание 1. «Вместе с тем из автореферата видны и недостатки диссертации. Одним из основных достижений объявлено, что в результате перехода из модуляционного режима в режим без модуляции чувствительность "автоматически возросла вдвое" и соответственно необходимое время накопления уменьшилось в 4

раза (стр. 7 автореферата). Такой вывод справедлив только для идеальных радиометров (абсолютно стабильных и без аппаратурных потерь). Реальный выигрыш будет существенно меньше из за влияния нестабильностей усиления в приемном канале, флюктуаций уровня собственных шумов приемника и изменений мощности шумов антенны. В диссертации по техническим наукам следовало бы оценить чувствительность радиометров и точность измерения мощности (шумовой температуры сигнала) с учетом всех видов нестабильностей приемного канала.»

Ответ 1. Диссидент не согласен с данным замечанием, поскольку и в Гл. 4, и в самом автореферате на стр. 19 приведены рисунки с практическим удвоением чувствительности радиометров на РАТАН-600 в режиме полной мощности по сравнению с модуляционным режимом на масштабах, указанных в автореферате (п. 4 раздела "Основные положения и результаты, выносимые на защиту"). Удвоение чувствительности видно и из самих записей радиоисточников, и из полученных оценок спектральной плотности мощности (Рис. 1 а и рис. 1 б на стр. 19 автореферата). Результат получен впервые (п. 4 из раздела автореферата "Научная новизна работы") и является повторяемым на РАТАН-600. Повторение данного результата является доступным также на других радиотелескопах. Именно поэтому конкретные цифры оценок чувствительности здесь не очень существенны, на радиометрах разных обсерваторий они свои. Однако для радиометров РАТАН-600 можно для справки привести эти цифры. Чувствительности в модуляционном режиме у радиометров лежали в пределах (4-7) мК. При переводе в режим полной мощности стало (2-3.5) мК. В замечании также говорится об отсутствии оценок точности измерения мощности (шумовой температуры сигнала) с учетом всех видов нестабильностей приемного канала. По видимому, речь в данном замечании идет об абсолютной погрешности измерения входной (по отношению ко входу радиометра) мощности. При наличие в канале шума вида $1/f$ абсолютная погрешность будет зависеть от частоты калибровки канала, поэтому задача измерения конкретных оценок абсолютной погрешности не ставилась в данной работе и является темой будущих исследований. Однако оценки, во сколько раз возросла абсолютная погрешность измерений, по сравнению с состоянием до данной работы, СОДЕРЖАТСЯ в диссертации и в автореферате. В разделе автореферата "Цель работы", п. 2, ставилась цель повышения точности измерения сигналов радиометров. Задача успешно решена при разработке Измерительной системы. На стр. 18 автореферата и в Главе 2 показана практическая цифра: Измерительная система стала в 300 раз менее чувствительна к изменению температуры окружающей среды. Кроме того, практически полное устранение шума вида $1/f$ в этой системе привело к тому, что она уже дает постоянную точность на всех временных масштабах, что было невозможно ранее. Конкретная цифра выигрыша в точности измерений не приводится, так как она зависит от интересующего масштаба времени, и может быть получена путем деления соответствующих спектров мощности на Рис. 2.3 Главы 2 диссертации. В разделе автореферата "Цель работы", п. 4, ставилась цель повышения долговременной стабильности радиометров (а значит и снижение абсолютной погрешности измерений). Задача успешно решена путем резкого снижения шума вида $1/f$ в радиометре. Конкретная цифра выигрыша в долговременной стабильности не приводится, так как она зависит от интересующего масштаба времени, и может быть получена путем деления спектров мощности $S_1(f)/S_2(f)$ (Рис. 1а на странице 19 автореферата).

Замечание 2. «Формулировки раздела "Научная новизна работы" недостаточно точные. В П. 4 заявлено, что "реализована чувствительность идеального радиометра", но это не так, поскольку остались другие (кроме детектора с УПТ)

источники шума $1/f$ в радиометре (см. п. 1 данного раздела) и влияют факторы нестабильности усиления и уровня шумов в приемном канале.»

Ответ 2: Диссертант не согласен с данным замечанием, поскольку его формулировка не достаточно точно соответствует пункту 4 раздела «Основные результаты и положения, выносимые на защиту», согласно которому: «Впервые на практике реализована чувствительность идеального радиометра полной мощности на типовых для РАТАН-600 масштабах времени около 10 секунд.» Также, из приведенного на стр 19 автореферата рисунка 1а (кривая $S_2(f)$) видно, что указанные масштабы времени полностью свободны от любых компонент вида $1/f$, включая нестабильности усиления и уровня шумов в приемном канале (спектр шума на этом участке «белый»), что получено впервые.

Замечание 3. «В гл. 1 утверждается, что был разработан метод частотно-временного помехоподавления (стр. 11 реферата), хотя никакого нового метода не представлено. Разделение полосы частот на более узкие полосы и селекция по амплитудным выбросам продетектированного сигнала -- это широко известные способы борьбы с помехами (см., например, В.В. Цветков, В.Н. Демин, А.И. Куприянов. Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита. //М.:МАИ.1999). Представляется излишней и введенная здесь оклононаучная терминология: "анализ (как противоположность синтеза) широкой полосы частот", "банк фильтров" а также "синтез полной полосы", сущность которого не раскрыта (по-видимому, это -- просто усреднение данных, полученных в каналах, свободных от помех). Конкретных результатов по динамическому диапазону подавляемых радиопомех (с учетом реальной избирательности фильтров и параметров детекторов на ОТД) и по реальным потерям чувствительности радиометра при воздействии радиопомех в реферате не приведено.»

Ответ 3 : Диссертант не согласен с данным замечанием. В Гл. 1 и на стр 11 автореферата НЕ говорится о том, что метод новый. Наоборот, отдельные детали метода (бланкирование импульсов) применялись и ранее, в т. ч. и на РАТАН-600, см. параграф "Аналоговое импульсное помехоподавление" в Гл. 1. диссертации. Однако, новизна в методе присутствовала (применение средств Цифровой Обработки Сигналов), и его реализация в 1995-м году представлена в 1997 году на конференции: Берлин А. Б., Булаенко Е. В., Гольнев В. Я., Ловкова И. М., Нижельский Н. А., Тимофеева Г. М., Тузенко С. В., Фридман П. А., Цыбулев П. Г. Противопомеховая приставка к радиометру РАТАН-600 на волну 13 см. // Сб. тезисов докл. 27-й радиоастрономической конференции. — С.-Петербург, 1997. — С. 158—159. (ссылка на эту работу есть в диссертации).
О терминах. Они вызваны необходимостью перевода на английский язык статьи по помехозащите (все статьи и номера этого журнала издаются также в переводе на английский язык). Термин "банк фильтров" имеет свой прямой англоязычный аналог - "filter bank" (http://en.wikipedia.org/wiki/Filter_bank). "Анализ-синтез" — применение этих двух терминов позволило сократить текст без потерь на обоих языках.
Диссертант благодарен за замечание по нечеткости описания методики «синтеза широкой полосы»: "синтез широкой полосы" выполнялся действительно путем усреднения, но не только свободных от помех каналов, но и очищенных с помощью цифрового сигнального процессора. Действительно, конкретных цифр по динамическому диапазону подавляемых помех ни в автореферате, ни в диссертации не приведено, поскольку они не опубликованы в статьях. Главным представлялось получить чистые от помех радионаблюдения. Но для информации цифры привести можно: устранились помехи в диапазоне мощностей от -25 dBm до +10 dBm (итого 35

dB динамического диапазона помехи).

Замечание 4. «На стр. 4 и 5 реферата отмечено, что активная помехозащита позволила продлить наблюдения на радиотелескопе до 2010 г. Как после 2010 г. проводились наблюдения в условиях ухудшающейся помеховой обстановки не показано. По-видимому снизилась эффективность используемой системы помехозащиты в условиях быстрого развития сетей мобильной радиосвязи в диапазоне метровых и дециметровых волн. Новые, более эффективные методы защиты от радиопомех в рассматриваемом диапазоне волн (см., например, патент РФ на изобретение номер 2431852 от 20.10.11, опубл. 2012, булл. 20; Труды ИПА РАН, 2012, номер 27, С 168-177) в диссертации не рассматриваются.»

Ответ 4: Действительно, нет освещения дальнейших, выходящих за рамки данной диссертации, работ на РАТАН-600 по помехозащите. Активная помехозащита с применением метода частотно-временного помехоподавления проводилась на РАТАН-600 до 2010 года, что позволило сохранить практически весь наблюдательный материала в дециметровых диапазонах с 1995 года. Сейчас эффективность метода не только снизилась, она упала до нуля из-за резкого ухудшения помеховой обстановки. В связи с этим, разработан новый дециметровый трехдиапазонный радиометрический комплекс "ОКТАВА" (во главе разработки стоял безвременно ушедший от нас А.Б. Берлин), и на его основе планируется внедрение новых методов, в т. ч. и активного помехоподавления, что является предметом нового диссертационного исследования молодых сотрудников РАТАН-600. В настоящее время проводятся измерения и выбор методов, и диссертант благодарен профессору Кольцову за ссылки на патент и публикацию в данном отзыве.

Замечание 5. «В приложениях даны описания идеальных радиометров и выводы известных формул для них, что представляется совершенно лишним для квалификационной работы. То же относится и к длинной цитате на стр. 19-20 реферата. Вместо этого следовало бы шире и конкретнее представить результаты оригинальных разработок соискателя - достигнутые параметры аппаратуры, реальный выигрыш по чувствительности, точности измерений и помехозащищенности.»

Ответ 5: Диссертант не согласен с данным замечанием. Работу прочтут и молодые радиометристы, это, скорее, для них. Причина написания Приложений дана на с.21. Формулы известны, но их вывод не всегда легко найти. Приведенная цитата важна, и говорит о том, что в проекте ПЛАНК замечено (но не устранено !) сильное влияние детекторного шума вида $1/f$, что подтверждает выводы и данной работы. Все достигнутые параметры аппаратуры, полученные в рамках темы данного исследования, представлены полностью. Реальный выигрыш по чувствительности и точности измерений - см. ответ на Замечание 1. Реальный выигрыш по помехозащищенности состоит в положительных результатах на РАТАН-600 в 1995--2010 годах дециметровых измерений одновременных спектров в диапазоне (1.4-31) см. (а не спектров в диапазоне (1-7) см). Иначе они просто отсутствовали бы. Планы по дальнейшей помехозащите представлены в ответе на Замечание 4.

Председатель. Теперь отзывы официальных оппонентов. Игорь Иванович Зинченко, пожалуйста.

Официальный оппонент И.И. Зинченко. Выступает с положительным Отзывом. Отзыв прилагается.

Председатель. Петр Григорьевич, пожалуйста, ответы на замечания.

Соискатель. (отвечает на замечания оппонента).

Замечание 1. «Непонятно, насколько общими являются результаты сравнения детекторов разного типа. Сам автор отмечает в конце 4-й главы, указывая, что его выводы относятся только к той элементной базе, которая использовалась в радиометрах, описанных в данной работе. При этом непонятно и сколько детекторов каждого типа использовалось в описанных экспериментах. Поэтому применение этих результатов в других местах без предварительного исследования невозможно, хотя они и могут указать путь к повышению стабильности радиометров. В идеале хотелось бы иметь какое-то физическое объяснение наблюдаемым эффектам»

Ответ 1. В работе R. E. Chase and K. K.. N. Chang, "Tunnel diodes as millimeter wave detectors and mixers", IRE Tram. on Microwave Theory and Techniques (Correspondence), vol. MTT-11, pp. 560–561, November 1963, показано, что для детектора на туннельном обращенном диоде, используемом в режиме без смещения, $1/f$ шум не обнаружен. Напротив, $1/f$ шум в детекторах с диодами Шоттки хорошо описывается теоретически и полностью подтверждается на практике (есть много публикаций). Приведенные 2 положения полностью подтверждены данной работой, хотя после написания вышеприведенной статьи прошло уже более 50 лет, и модели диодов сейчас совершенно другие. Это дает основание заключить, что полученные результаты являются достаточно общими для 2-х типов детекторов (на туннельном обращенном диоде без смещения и диоде Шоттки). Говоря об элементной базе, особое внимание следует уделить усилителям радиометра. Будущие исследования покажут, насколько усилители других моделей и других производителей свободны от шума вида $1/f$. Нами также запланированы в ближайшее время исследования $1/f$ шума в усилителях, построенных на отечественных транзисторах (импортозамещение).

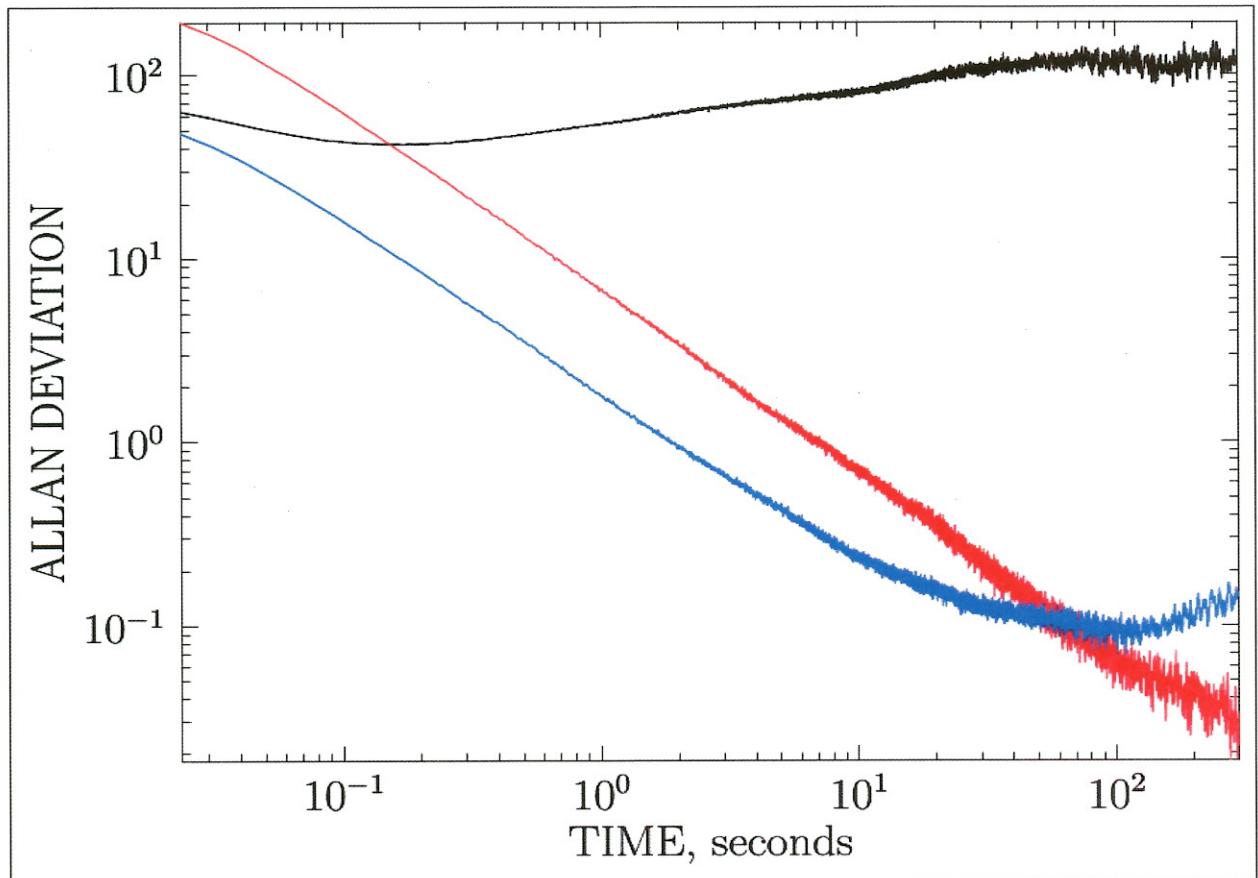
В автореферате говорится о 8-ми радиометрах, переведенных в режим полной мощности по результатам данной работы. Это означает, что заменено 8 детекторов на диодах Шоттки (2 модели) на 8 туннельных детекторов (также 2 модели, одна — коммерчески доступный детектор, а вторая — созданный автором детектор). Кроме того, применена построенная автором НЧ-часть, свободная от шума вида $1/f$. Также, в этих 8-ми радиометрах применены усилители фирмы «МИКРАН» (3 различных диапазона и 3 различных модели усилителей). Результат этих модернизаций всегда приводил к резкому снижению шума вида $1/f$ и реализации чувствительности радиометра полной мощности на указанных масштабах. Применение этих результатов в других местах требует выполнения этих же 3-х основных шагов: 1) применения детектора на обращенном туннельном диоде без смещения, 2) построения НЧ- части радиометра, свободной от шума вида $1/f$, 3) применения усилителей, свободных от шума вида $1/f$. На каждом шаге нужен контроль шума вида $1/f$ радиометра, чтобы эффект от каждого шага можно было зафиксировать документально. Возможно, шаг 3 будет выполняться для современных усилителей уже автоматически (это предмет наших будущих исследований).

Замечание 2. «В работе нет сравнения детекторов разного типа по другим важным параметрам, в частности, по динамическому диапазону, который у детекторов на обращенном туннельном диоде, скорее всего, заметно меньше, чем у детекторов на диодах с барьером Шоттки»

Ответ 2. Да, действительно, это недостаток, поскольку указанная характеристика детекторов интересуют многих разработчиков. Эта характеристика получена практически автором для основных двух типов детекторов, примененных в данной работе, и будет представлена в готовящейся публикации по практическому

измерению динамического диапазона радиометра. Однако, можно привести ее здесь. Динамический диапазон (квадратичности) детектора на Шоттки равна 38 дБ, Туннельного детектора — 35 дБ.

Пожелание оппонента к диссертанту: "Широко используемой характеристикой стабильности различных устройств является дисперсия Алана. Она, конечно, связана со спектральной плотностью мощности шума, но позволяет более наглядно оценить временные интервалы стабильной работы радиометра. Было бы полезно привести ее для исследуемых радиометров (это не замечание, а пожелание)."



Ответ. Действительно, дисперсия Алана все чаще применяется как самостоятельно, так и в дополнение к методу спектральной плотности мощности шума, и обладает свойством наглядности. Я представляю здесь графики корня из дисперсии Алана (аналог Средне-Квадратичного Отклонения) в зависимости от времени интегрирования (по горизонтальной оси). Здесь красная кривая (слева верхняя) соответствует модуляционному радиометру, черная (слева средняя) — радиометру полной мощности с детектором Шоттки, и синяя (слева нижняя) — радиометру полной мощности с туннельным детектором (результат диссертанта).

Ковалев Ю.Ю.

Это модельные данные или экспериментальные?

Соискатель.

Это все экспериментальные данные. По тем же наблюдениям, по которым были получены экспериментальные спектральные плотности из доклада.

Ковалев Ю.Ю.

Тогда нельзя сравнивать квадратичные детекторы с Диодом Шоттки против туннельных детекторов? Ведь мы сегодня уже говорили, что речь идет о целом комплексе изменений, который был произведен. Что является причиной?

Соискатель.

Эта картинка получена по 4-й Главе диссертации, в которой рассматривалось именно то, что произошло, когда мы применили именно туннельный детектор. По тем данным. При этом все остальные шаги уже сделаны. Система регистрации уже «хорошая», а мы меняем «плохой» вариант с детектором Шоттки на «хороший» (синяя кривая), в котором чувствительность в 2 раза выше, чем для модуляционного приемника. Поменяли детектор.

Ковалев Ю.Ю. Спасибо.

Председатель. Второй оппонент, пожалуйста.

Секретарь.

Оппонент в командировке. Мы должны полностью зачитать его Отзыв. Итак, Отзыв официального оппонента Косова Александра Сергеевича, зав. Лабораторией микроволновой техники Института космических исследований РАН, доктора технических наук. (Зачитывает положительный Отзыв официального оппонента, Отзыв прилагается).

Новиков И.Д.

Вопрос к секретарю. В одних отзывах написано, что опубликовано 15 работ в журналах из списка ВАК, а в других — 14.

Секретарь.

Я не могу отвечать на этот вопрос, я зачитываю так, как написано.

Соискатель.

Когда писались начальные отзывы (в САО), было 14 работ, а потом появилась 15-я.

Секретарь.

А, конечно, это же статья по «Радиоастрону», она вышла только в октябре.

Соискатель (отвечает на замечания в Отзыве 2-го оппонента).

Я отвечу на те замечания, которые прозвучали в отзыве официального оппонента Косова А.С.

Замечание 1. «По существу: в отличие от использования приемников с диаграммной модуляцией, можно ожидать заметного влияния погодных условий на чувствительность телескопа — особенно при работе с простейшим приемником полной мощности на длинах волн короче 2 см — из-за флуктуаций шумов атмосферы. В меньшей степени этого можно ожидать для РАТАН-600 (благодаря сравнительно большому раскрытию его антенны), в большей — для малых и средних антенн. Может потребоваться и усложнение простой однорупорной схемы приема на балансную или корреляционную двухрупорную схему.»

Ответ 1. Действительно, мы заменяем на РАТАН-600 радиометр с двухлучевым сканированием диаграммы направленности (ДН) на радиометр полной мощности. Но радиометр с двухлучевым сканированием ДН дает еще один плюс: он «убирает» атмосферу. А как тут быть? Один из вариантов в этом случае — просто 2 радиометра полной мощности. На РАТАН-600 от режима сканирования в каждом приемнике есть пара рупоров. Мы планируем перейти в будущем на пару приемников полной мощности. При этом мы увеличиваем чувствительность радиотелескопа, и также сможем бороться с флуктуациями облачной атмосферы.

Замечание 2. «По оформлению: хорошее впечатление от высокого качества иллюстративного материала несколько портят включение внутрь некоторых рисунков

пояснений на иностранном языке. При этом, представленный под рисунком перевод хоть и улучшает понимание, но иногда сильно увеличивает объем подрисуночной подписи.»

Ответ 2. Данное замечание справедливо, однако включение иностранного текста было вызвано необходимостью публикаций на английском языке и некоторыми техническими трудностями с вставкой русского текста (с потерей качества иллюстрации).

Председатель. Спасибо, переходим к дискуссии.

Секретарь.

Есть еще 3-й отзыв, от комиссии докторской диссертации. В соответствии с пунктом 36 требований Положения о присуждении ученых степеней.

Председатель комиссии докторской диссертации Р.Д.
(Зачитывает положительный Отзыв. Отзыв прилагается. Замечаний в Отзыве нет).

Председатель. Переходим к дискуссии. Кто хочет выступить? Пожалуйста.

Ковалев Ю.Ю. Можно вопрос сначала, к соискателю?

Председатель. Да, можно.

Ковалев Ю.Ю.

Как следует из докторской диссертации и автореферата (это показано хорошо и на рисунке 1 автореферата, и этот спектр в докладе сегодня демонстрировался), собственно принципиальное отличие ожидаемого шума получилось в реализованном «идеальном» радиометре по главной причине: другой реализации квадратичного детектора. От Шоттки к туннельному диоду. Вопрос такой: если использовать радиометр модуляционного типа (не полной мощности, а модуляционный), и в нем использовать квадратичный детектор на основе туннельного диода, можно ли достигнуть результатов, сравнимых с теми что Вы получили? То есть, можно ли значительно улучшить чувствительность, и если нет — то почему?

Соискатель. (Ответ на вопрос).

В модуляционном режиме любой детектор дает один и тот же результат. $1/f$ шум успешно подавляется, и результат один и тот же. Только в режиме полной мощности, на детекторе с туннельным диодом получается теоретический предел.

Ковалев Ю.Ю.

Можно ли услышать об отличии Шоттки диода от туннельного?

Соискатель. (Ответ на вопрос).

Это тема будущих исследований. Мы хотели исследовать применение детектора, построенного на другом принципе, не Шоттки, а на туннельном эффекте. О туннельных детекторах давно известно, что $1/f$ шум в них не обнаружен.

Председатель. Пожалуйста, выступления.

Ларионов М.Г.

Так как мы знаем РАТАН-600 многие десятилетия, то знаем ситуацию не понаслышке. Если бы мне некоторое время назад сказали, что получаются такие результаты, я просто не поверил бы. Поскольку, когда мы занимались приемниками, у нас было твердое убеждение, что нам модуляционного принципа (наблюдений) не миновать. Это просто мнение такое. Я хотел сказать вот о чем. Здесь, ссылаясь на Фальковича, на его приемник, Юрий Андреевич Ковалев сказал, что у нас нет никаких данных по эксплуатации этого приемника на радиотелескопе РТ-70 (в Крыму). Я могу сказать, что с этим приемником у меня были очень длинные «взаимоотношения» и переговоры с одним из его разработчиком И.С.Фальковичем, чтобы он его снял с антенны и доработал. Те параметры, которые были нами получены на радиотелескопе РТ-70, не выдерживали никакой критики. В десятки раз шумы системы превышали заявленные 50 градусов Кельвина. Это тысячи градусов.

Поэтому никакого разговора о выигрыше там нет. Этот приемник вынуждены были снять, он сейчас находится в Харькове. И мы лишились, из-за отсутствия этого приемника, пи-диапазона на РТ-70. То есть: от лабораторных исследований до освоения приемника на антenne лежит достаточно большая дистанция. Я сейчас не вдаюсь в обсуждения, почему такие параметры оказались у этого приемника. Теперь еще одно. Не очень отчетливо прозвучало еще одно достижение, что убирается модулятор. Когда я разговаривал в Санкт-Петербурге в ведущей фирме, которая делает модуляторы, я задал вопрос: а можно ли сделать модулятор с полосой +- 40 процентов от центральной частоты? Мне сказали, что если бы такой модулятор удалось создать, то его создателям присудили бы Нобелевскую премию. Таким образом, то, что убирается модулятор со входа, означает, что мы можем использовать широкую полосу, без того, чтобы модулятор резал входную полосу. Это уже дополнительное преимущество, и если мы вдвое увеличим полосу, то получим в корень из 2-х дополнительный выигрыш по чувствительности. Я полностью присоединяюсь к тем высказываниям, которые были здесьзвучены -- по поводу того, что несмотря на дополнительные сложности, нам нужно рекомендовать эту диссертацию в дальнейшем защищать как докторскую. Она вполне того заслуживает.

Председатель. Еще кто хочет выступить, пожалуйста.

Ковалев Ю.Ю.

У меня будет 2 коротких момента. Первый. Я хочу произнести несколько слов предостережения от чересчур оптимистичного ожидания применения радиометров полной мощности при реальных наблюдениях, тех, которые производятся на радиотелескопе РАТАН-600. По той причине, которая сегодня уже была названа, а именно потому, что никто не отменял погоду. Диссертант в ответе на соответствующий комментарий сказал, что они планируют применять для компенсации низкочастотных шумов за счет погоды радиометры водяного пара, однако мы должны понимать, что это еще должно быть реализовано, и показано....

Реплика из зала.

Нет, говорилось о двух каналах. Как модуляционный, но только без модуляции.

Соискатель.

Пара радиометров имелась в виду, а не водяной пар.

Ковалев Ю.Ю.

А, значит, я не так понял. Надо посмотреть, как это будет работать, но я думаю, что это действительно реально. Реализация этого, как следующий шаг, будет действительно важным делом.

Ковалев Ю.А.

Но есть еще и космические наблюдения. «Миллиметрон», например. Там атмосферы нет.

Ковалев Ю.Ю.

Несомненно, но я говорю про наземные наблюдения. Теперь, что касается диссертации, я не хочу повторять все что было сказано, я полностью поддерживаю и призываю членов диссертационного совета голосовать «за».

Председатель. Еще есть желающие? Я просто от себя хочу сказать, что я тоже целиком поддерживаю защиту эту как докторскую, сделано очень много очень нужного.

Председатель. Пожалуйста, Леонид Иванович

Матвеенко Л.И.

Когда-то по техническим наукам было очень тяжело защищаться, потому что требовалось внедрение. Вот с внедрением, как кто-то сказал сейчас в выступлении, пока обстоит дело не очень хорошо.

Реплики из зала.

Как? Все внедрено! Это про Фальковича говорилось!

Матвеенко Л.И.

Внедрение на РАТАН-600 — это еще не внедрение. Потому что он (диссертант) там вел работу. Вот это может вызвать трудности. Уточните это, я не против диссертанта.

Реплика из зала.

Техника создана и применена.

Ковалев Ю.Ю.

Леонид Иванович, спасибо Вам за предостережение. Я так понимаю, что большинство членов диссертационного совета считает, что проблем с этим нет.

Реплика из зала.

Насчет внедрения и применения. Если говорить об уникальных приборах, то использование их в научных исследованиях есть внедрение. Не тираж, а использование в научных исследованиях.

Ковалев Ю.А.

Есть термин "внедрение в организации", в том числе — "в своей организации".

Матвеенко Л.И.

Это очень важно.

Ковалев Ю.А.

Согласен. Раньше, когда не было таких сложных и объемных годовых отчетов для ВАК, а были короткие квалификационные требования, то, если Вы помните, в них предлагались варианты: «внедрено в своей организации», «внедрено в другой организации».

Председатель. Еще есть желающие выступить? Если нет — диссертанту заключительное слово.

Соискатель

Уважаемые коллеги. Разрешите вас поблагодарить за то, что вы приняли участие в этом заседании. Конечно, много отзывов, утомительно, но так получилось. В заключение хотелось бы сказать. Я проводил работы на РАТАН-600 давно, с моими коллегами и учителями, которых сейчас уже нет, это Петр Александрович Фридман и Александр Борисович Берлин. Я предлагаю почтить их память.

Председатель. Спасибо. Теперь можно переходить к голосованию. Нужно избрать счетную комиссию. (Предлагается состав счетной комиссии. Счетная комиссия утверждается в предложенном составе.)

Секретарь.

У нас 2 вопроса -- о присуждении степени кандидата наук и о возбуждении Ходатайства перед Минобрнауки РФ о разрешении ту же кандидатскую диссертацию представить к защите как докторскую. Эта ситуация предусмотрена действующими Положениями. Необходимые условия для этого у нас выполнены. Теперь речь идет о раздельном тайном голосовании по этим вопросам. (Зачитываются и обсуждаются пункт 36 действующего Положения о присуждении ученых степеней, принятого Постановлением Правительства РФ, от 24 сентября 2013 г. № 842, и пункт 36 действующего Положения о совете по защите диссертаций, утвержденного приказом Минобрнауки, от 13 января 2014 г., № 7. Принимается решение, что раздельное тайное голосование нужно проводить раздельными бюллетенями и раздельными протоколами счетной комиссии -- аналогично практике проведения выборов в различные органы государственной власти в один день.)

Реплика из зала.

Надо второй раз защищаться?

Секретарь.

Да, но диссертанту не нужно ничего переделывать. Мы должны сегодня проголосовать: направлять ходатайство о разрешении представить эту диссертацию как докторскую, или не направлять?

Председатель. Бюллетени и бланки протоколов есть? Есть. Начинаем голосовать. (Объявляется перерыв на проведение тайного голосования.)

Председатель (после перерыва). Слово председателю счетной комиссии.

Председатель счетной комиссии. Зачитывает протокол счетной комиссии по вопросу о присуждении ученой степени кандидата технических наук Цыбулеву Петру Григорьевичу.

Результаты голосования.

Состав совета — 21

Присутствовало — 16

Роздано бюллетеней — 16

Осталось нерозданных бюллетеней — 5

Оказалось в урне бюллетеней — 16

За — 16

Против — нет

Недействительных бюллетеней — нет

Примечание 1: Реально на заседании присутствовало не 16, а 17 членов диссертационного совета (согласно явочному листу и списку в начале стенограммы). Но один кратковременно отсутствовал на заседании (выходил из зала во время доклада на несколько минут для срочного телефонного разговора). Поэтому ему не выдавались бюллетени, в тайном голосовании он не участвовал и при определении кворума не учитывался (в соответствии с требованиями абзаца 2 пункта 44 действующего Положения о совете по защите диссертаций, утвержденного Минобрнауки РФ от 13 января 2014 г. № 7).

Председатель: Прошу проголосовать. Кто за утверждение протокола счетной комиссии? Кто против? Нет Кто воздержался? Нет. Протокол счетной комиссии утверждается единогласно. Таким образом, совет принял положительное решение по вопросу о присуждении ученой степени кандидата технических наук Цыбулеву Петру Григорьевичу. (апплодисменты). Слово -- председателю счетной комиссии по второму вопросу.

Председатель счетной комиссии. Зачитывает протокол счетной комиссии по вопросу о направлении ходатайства в Министерство образования и науки России о разрешении представить кандидатскую диссертацию Цыбулева Петра Григорьевича к соисканию ученой степени доктора технических наук.

Результаты голосования.

Состав совета — 21

Присутствовало — 16

Роздано бюллетеней — 16

Осталось нерозданных бюллетеней — 5

Оказалось в урне бюллетеней — 16

За — 16

Против — нет

Недействительных бюллетеней — нет

Примечание 2: См. Примечание 1 к голосованию по первому вопросу.

Председатель. Кто за утверждения этого протокола? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Протокол счетной комиссии утверждается единогласно. Таким образом, совет принял положительное решение о возбуждении перед Минобрнауки России ходатайства о разрешении представить ту же диссертацию Цыбулева Петра Григорьевича к соисканию ученой степени доктора технических наук (аплодисменты).

Председатель. Приступаем к обсуждению Проекта Заключения совета. Текст Проекта у членов совета имеется. Есть ли замечания, дополнения? (Текст обсуждается и редактируется). Кто за то, чтобы принять отредактированный текст Заключения ? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Принимается единогласно. (Текст Заключения объявляется соискателю).

Председатель. Теперь приступаем к обсуждению Проекта Ходатайства. Текст Проекта у членов совета имеется. Есть ли замечания, дополнения? (Текст обсуждается и редактируется). Кто за то, чтобы принять отредактированный текст Ходатайства ? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Принимается единогласно. На этом заседание объявляется закрытым.

Председатель диссертационного совета
академик РАН



Н.С. Кардашев

Ученый секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.



Ю.А. Ковалев

/26 января 2015 г./

