

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.023.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. П.Н.ЛЕБЕДЕВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» (ФИАН) ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного от 19.01.2015 № 1.

О присуждении Цыбулёву Петру Григорьевичу, Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Развитие систем регистрации радиоастрономических данных и повышение чувствительности радиотелескопа РАТАН-600» по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия) принята к защите 23 октября 2014 года, протокол № 1412, диссертационным советом Д002.023.01 на базе Федерального бюджетного учреждения науки «Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской Академии наук», 119991, Москва, Ленинский проспект, дом 53, ФИАН, приказ 105/нк от 11.04.2012 г. Минобрнауки России.

Соискатель Цыбулёв Петр Григорьевич, 1967 года рождения, в 1989 году окончил Харьковский государственный университет им. А.М.Горького по специальности «физика», работает старшим научным сотрудником лаборатории радиометров континуума РАТАН-600 Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук» (САО РАН), с 1989 по настоящее время.

Диссертация выполнена в лаборатории радиометров континуума РАТАН-600 Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, академик РАН Парийский Юрий Николаевич, главный научный сотрудник САО РАН, Ответственный ученый по РАТАН-600 от Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Зинченко Игорь Иванович, Российская Федерация, доктор физико-математических наук, заведующий отделом радиоприемной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт прикладной физики РАН», г. Нижний Новгород,
2. Косов Александр Сергеевич, Российская Федерация, доктор технических наук, заведующий лабораторией Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт космических исследований РАН», г. Москва,

дали положительные отзывы и указали, что представленная диссертация удовлетворяет требованиям к докторской диссертации. Поступил и был зачитан дополнительный отзыв --- комиссии диссертационного совета Д002.023.01 ФИАН, в соответствии с п.36 действующего *Положения о присуждении ученых степеней*. Отзыв положительный. В нем отмечено, что представленная диссертация удовлетворяет также требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям.

Ведущая организация Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Горшковым Александром Георгиевичем, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником ГАИШ МГУ, указала, что диссертация полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Соискатель имеет 64 опубликованные работы, из них по теме диссертации опубликовано 64 научных работы общим объёмом 11.5 печатных листов (т.е. 252 страниц в 64 публикациях всего), в том числе: а) 15 статей (7.8 печатных листов, т.е. 172 страницы всего) в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, включенных в Перечень для опубликования основных научных результатов диссертаций (см. п.11-13 действующего *Положения о присуждении*

учёных степеней), б) 40 работ опубликовано в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации (из числа рецензируемых научных изданий, рекомендованных в Перечне, согласно п. 11-13 Положения):

1. Система Сбора Данных и Управления нового поколения для проведения радиоастрономических наблюдений в континууме на радиотелескопе РАТАН-600: разработка, наблюдения, измерения / П.Г. Цыбулев // *Астрофизический бюллетень* – 2011. – Том 66 (1) – С. 118-133
2. Шум вида $1/f$ в радиометре полной мощности / П.Г. Цыбулев, М.В. Дугин, А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский, Д.В. Кратов, Р.Ю. Удовицкий // *Астрофизический бюллетень* – 2014. – Том 69(2) – С. 256-262
3. Противопомеховая активность на радиотелескопе / П.Г. Цыбулев, А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский, М.Г. Мингалиев, Д.В. Кратов // *Астрофизический бюллетень* – 2007. – Том 62(2) – С. 208-217
4. Матричная Радиометрическая Система для РАТАН-600 МАРС-3 / А.Б. Берлин, Ю.Н. Парийский, Н.А. Нижельский, М.Г. Мингалиев, П.Г. Цыбулев, и др. (9 чел.всего) // *Астрофизический бюллетень* – 2012. – Т. 67(3) – С. 354-366
5. Обзор околзенитной области неба на частоте 30 ГГц с 32-элементной матрицей радиометров РАТАН-600 / Ю.Н. Парийский, Н.Н. Бурсов, А.Б. Берлин, М.Г. Мингалиев, Н.А. Нижельский, П.Г. Цыбулев, Т.А. Семенова // *Астрофизический бюллетень* – 2013. – Т. 68(2) – С. 249-256
6. О требованиях к методам «просветления» атмосферы при наземных радиоастрономических наблюдениях фоновых радиоизлучений Вселенной / Т.А. Семенова, Ю.Н. Парийский, П.Г. Цыбулев // *Астрофизический бюллетень* – 2009. – С. 196-204
7. Макромолекулы в Галактике и реликтовое радиоизлучение Вселенной / Ю.Н. Парийский, Н.Н. Бурсов, А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский, А.В.

Богданцов, П.Г. Цыбулев // *Астрономический журнал* – 2002. – Т. 79(7) – С. 583-588

8. Исследование Юпитера с высоким разрешением на частоте 30 ГГц / Ю.Н. Парийский, Н.Н. Бурсов, А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский, М.Г. Мингалиев, П.Г. Цыбулев и др. (11 чел. всего) // *Письма в Астрономический журнал* – 2000. – Т. 30(4) – С. 315-320
9. Проект РадиоАстрон. Измерения и анализ основных параметров космического телескопа в полете в 2011-2013 гг. / Ю.А. Ковалев, В.И. Васильков, М.В. Попов, ..., П.Г. Цыбулев (11 чел. всего) // *Космические исследования* – 2014. – Т. 52(5) – С. 430-439
10. CMB anizotropy and polarization measurements with RATAN-600 / P. Naselsky, I. Novikov, Y. Parijskij, P. Tsibulev // *International Journal of Modern Physics* – 1999. – Vol.8(5) – P. 581-605

На диссертацию и автореферат поступили 2 отзыва: 1) на автореферат, направленный Институтом прикладной астрономии Российской Академии наук, написанный главным научным сотрудником лаборатории преобразования и регистрации сигналов ИПА РАН, доктором технических наук, профессором Н.Е.Кольцовым, рассмотренный и одобренный на семинаре ИПА РАН, и 2) на диссертацию и автореферат от Ю.А.Ковалева, ведущего научного сотрудника отдела космической радиоастрономии Астрокосмического центра Физического института им. П.Н.Лебедева РАН. Отзывы положительные. В отзыве ИПА РАН имеются **критические замечания** (они цитируются полностью в следующих 5 абзацах).

«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 реферата). 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, флуктуаций уровня собственных шумов приемника и изменений мощности шумов

антенны. В диссертации по техническим наукам следовало бы оценить чувствительность радиометра и точность измерения мощности (шумовой температуры сигнала) с учетом всех видов нестабильностей приемного канала.

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.

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.Цветнов, В.Н.Демин, А.И.Куприянов. Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита. // М.: МАИ. 1999). Представляется излишней и введенная здесь околону научная 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 детектора на ОТД) и по реальным потерям чувствительности радиометра при воздействии радиопомех в реферате не приведено.

На стр. 4 и 5 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

№2431852 от 20.10.11, опубли. 2012, бюлл. 20; Труды ИПА РАН, 2012. № 27, С. 168-177) в диссертации не рассматриваются.

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.» Конец цитаты.

В отзыве Ковалева Ю.А. отмечается, что статья Фальковича и др., 1998, фактически описывает лишь *начальный этап процесса разработки лабораторного макета с имитатором реального приемника*, и ее результаты по степени достоверности не могут рассматриваться как корректная альтернатива убедительным результатам диссертанта, внедренным в штатную работу радиотелескопа РАТАН-600.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследований, высокой компетентностью, профессиональными должностными обязанностями и наличием публикаций оппонентов и сотрудников ведущей организации по вопросам диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

--- разработана и внедрена новая экспериментальная методика многоканальной регистрации и обработки данных в реальном времени и ее программное обеспечение, позволившие выполнить активную помехозащиту дециметровых диапазонов длин волн радиотелескопа РАТАН-600 в период с 1995 по 2010 год на основе использования новых тогда цифровых сигнальных процессоров;

--- разработана и внедрена новая универсальная, прецизионная, встраиваемая в радиометр, сетевая измерительная система, которая использована как базовый блок для построения распределенных сетевых систем регистрации радиоастрономических сигналов;

--- на основе этой измерительной системы разработан аппаратно-программный модуль и в 2013 году успешно закончена полная модернизация систем сбора данных и управления для всех современных радиометров континуума радиотелескопа РАТАН-600: в трех приемных комплексах с 30 радиометрами;

--- устранены основные источники шума вида $1/f$ в этой измерительной системе и в радиометре полной мощности в целом (f – низкая частота): показано, что применение СВЧ-детекторов на основе туннельных обращенных диодов вместо типового применения в настоящее время детекторов на диодах Шоттки резко снижает шум вида $1/f$ в радиометре полной мощности; впервые в радиоастрономической практике реализована высокая чувствительность радиометра полной мощности, близкая к идеальной теоретической чувствительности на типовых для РАТАН-600 масштабах времени (порядка 10 секунд), а на временах до 100 секунд остается выше, чем у широко используемых в радиоастрономии и на РАТАН-600 приемниках модуляционного типа;

--- доказана перспективность использования этих разработок и новых методов на практике, в том числе в будущих радиоастрономических измерениях с предельно высокой чувствительностью в наземных и космических экспериментах (проект Миллиметрон и др.).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

--- впервые убедительно доказана принципиальная возможность создания радиоастрономического приемника, обладающего максимально возможной теоретической чувствительностью среди всех остальных типов приемника --- возможность, которую ранее обычно считали практически не реализуемой;

--- все новые или известные методы и идеи, заложенные диссертантом в аппаратно-программные разработки, успешно апробированы не только в лабораторных, но и в антенных и радиоастрономических экспериментах, а также внедрением их в практику круглосуточных и круглогодичных измерений по штатным научным программам на радиотелескопе;

--- с применением единого подхода получены имеющие методический интерес основные соотношения, используемые в радиометрии, на основании которых

выполнены теоретические и практические расчеты для основных схем радиометров РАТАН-600; показано их соответствие измеренным величинам.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- впервые разработана и в штатную практику радиоастрономических наблюдений внедрена прецизионная измерительная система, практически не имеющая собственных дрейфов нулевого уровня сигнала, т.е. не имеющая аномального компонента эквивалентного собственного шума вида $1/f$, что позволяет измерять истинную полную мощность СВЧ-сигнала и исследовать источники шума вида $1/f$ в радиометре;
- с ее помощью проведена модернизация 30 радиометров, обеспечивающая получение новых астрофизических результатов;
- благодаря использованию этой системы получены новые данные по шуму вида $1/f$ в радиометре, по источникам этого шума, и, основываясь на анализе этих данных, впервые удалось устранить основной источник такого шума в радиометре; в результате подъем в спектре мощности выходного шума радиометра сместился от 10-100 Гц к частоте 0.1 Гц, что в 100-1000 раз лучше современных типовых значений в радиометрии;
- впервые появилась возможность проводить широкомасштабные радиоастрономические наблюдения с помощью радиометра полной мощности, имеющего практически предельно высокую чувствительность, вместо стандартного подхода, использующего модуляционный радиометр;
- при этом реализованное увеличение чувствительности сопровождается одновременным упрощением схемы и удешевлением конструкции радиометра;
- системы сбора данных и управления радиометрами, построенные на разработанном и внедренном новом оборудовании, с начала 2013 года работают в штатных круглосуточных наблюдениях и показывают высокую точность и долговременную стабильность, а 8 модуляционных радиометров континуума РАТАН-600 переведены в режим радиометра полной мощности и уже более года,

работая в штатном режиме, демонстрируют на практике чувствительность, близкую к идеальной расчетной на указанных временных интервалах;

--- полученные результаты по радиометру полной мощности и прецизионной измерительной системе могут использоваться не только в радиоастрономии, но и в задачах дистанционного пассивного картографирования поверхности Земли, в медицинской радиометрии и других областях, где требуются измерения сигналов с предельной чувствительностью на СВЧ и сигналов с разнообразных датчиков на постоянном токе;

--- перспективны также дальнейший поиск и устранение оставшихся источников нестабильности в радиометре полной мощности на более длинных временных масштабах, что может еще более расширить область практического применения таких радиометров;

--- методика и полученные в Приложениях соотношения могут быть использованы в образовательном процессе.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

--- результаты получены с помощью высокоточных измерительных приборов и телескопов мирового уровня, проведена их калибровка, показана воспроизводимость результатов в различных условиях; теория согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации; исследование базируется на аппаратно-программных разработках, экспериментальном изучении их в лабораторных условиях, при установке на радиотелескоп РАТАН-600, на результатах внедрения и штатном использовании разработок в круглосуточных радиоастрономических измерениях по различным научным программам, включающим измерения калибровочных астрономических объектов; использовано сравнение авторских и «чужих» данных, установлено качественное и количественное совпадение полученных результатов с результатами, представленными в независимых источниках; использованы современные методики сбора и обработки информации;

--- существенный вклад диссертанта в аппаратно-программные разработки в области активной помехозащиты дециметровых диапазонов РАТАН-600 (методика, алгоритмы и программное обеспечение первичной обработки при многоканальном частотно-временного помехоподавлении в реальном времени) позволил более чем на 10 лет продлить наблюдения на радиометрах 13, 31 и 50 см в условиях ухудшающейся помеховой обстановки в окрестности телескопа и сохранить лидирующее положение РАТАН-600 в многочастотных измерениях мгновенных широкодиапазонных спектров радиоизлучения нестационарных галактик и квазаров с активными ядрами и объектов нашей Галактики в диапазонах длин волн от 1.4 до 31 см;

--- результаты работы и развития Системы Сбора Данных и Управления приемниками (ССДиУ) успешно используются в течение более 15 лет для получения новых данных в астрофизических исследованиях на РАТАН-600 --- как с личным участием диссертанта, так и в сотнях других работ с применением его Системы --- по таким направлениям, как исследования микроволнового фона Вселенной, галактических объектов, мгновенных спектров излучения радиогалактик и квазаров, изучение радиоизлучения Солнца и планет Солнечной системы, спектральная наземная поддержка работ с космическим радиотелескопом (КРТ, проект РадиоАстрон с 2011 года) и многим другим;

--- один из программных элементов новой Системы сбора данных и управления был применен диссертантом при оперативной разработке специального комплекса программ «KRTVIZ», предназначенной для сетевой визуализации сигналов по радиометрическим каналам всех приемников КРТ, который был успешно использован в процессе летных испытаний КРТ в 2011-2012 гг.

Личный вклад соискателя состоит в его определяющем участии на всех основных этапах аппаратно-программных разработок и радиоастрономического применения систем регистрации данных и систем активного помехоподавления, включая программное обеспечение и первичную обработку измерений в них; внедрении, текущем сопровождении и модернизации этих разработок; в развитии, разработке (или участии в разработке) средств и методов измерений, участии в

обработке и анализе полученных данных, в обсуждении результатов и подготовки основных публикаций. Основные результаты по прецизионной Системе нового поколения для сбора данных и управления радиометрами РАТАН-600, исследованиям шума вида $1/f$ в радиометре и повышении чувствительности приемника полной мощности и радиотелескопа получены диссертантом самостоятельно. Личный вклад в основные результаты, выносимые на защиту, является определяющим, а результаты были апробированы им в виде устных и стендовых докладов на конференциях.

В диссертации решены проблемы активного помехоподавления, построения малозумящей системы измерения и регистрации радиоастрономических данных, реализации радиометра полной мощности на временах накопления сигнала до (10-100) с. Основные результаты внедрены на крупнейшем отечественном радиотелескопе РАТАН-600 САО РАН.

На заседании 19 января 2015 года, в соответствии с п. 36 действующего *Положения о присуждении ученых степеней*, диссертационный совет принял 2 следующих решения:

- 1) присудить Цыбулёву П. Г. ученую степень кандидата технических наук;
- 2) по результатам отдельного тайного голосования, **возбудить** перед Минобрнауки России Ходатайство о разрешении представить ту же диссертацию к соисканию ученой степени доктора наук по той же специальности и отрасли наук.

При проведении тайного голосования по первому вопросу диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 16 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 16, против присуждения учёной степени 0, недействительных бюллетеней 0.

При проведении тайного голосования по второму вопросу диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 16 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за возбуждение Ходатайства 16, против возбуждения Ходатайства 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета

академик РАН



Н.С. Кардашев

Ученый секретарь

диссертационного совета

21.01.2015 г.

Ю.А. Ковалев