

Директор ФГБУН «КрАО РАН»

А.Н. Ростопчина-Шаховская

“ 17 ” *капр* 2021 г.

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН» на диссертацию Зотова Максима Борисовича «Приемная система для компактной антенны передвижной РСДБ-станции» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия»

Реализация проекта передвижной РСДБ-станции, несомненно, является важной и актуальной задачей современной наблюдательной радиоастрономии. РСДБ обеспечивает наилучшее угловое разрешение, но для повышения эффективности наблюдений и решения астрометрических задач необходимы наблюдения на радиоинтерферометрах с базами различной конфигурации. В настоящее время развитие РСДБ инструментов напрямую связано с увеличением площади радиотелескопов, повышением чувствительности приемной аппаратуры, расширением полосы принимаемых частот и увеличением количества наблюдаемых радиоисточников. Задачу изменения конфигурации РСДБ-сети позволяет решить передвижная РСДБ-станция.

Создание передвижной РСДБ-станции и включение ее в существующую в России РСДБ-сеть «Квазар-КВО» позволит повысить эффективность ее использования в астрофизике и космической геодезии.

Данные задачи предполагают решение ряда вопросов по созданию, выбору и обеспечению взаимодействия различных систем, таких как: антенная система, система регистрации, приемная система и другие. Решению данных вопросов и посвящена настоящая работа.

В диссертации рассмотрена задача создания высокочувствительной приемной системы для компактного радиотелескопа передвижной РСДБ-станции. Автором проведено исследование возможностей минимизации шумовой температуры системы передвижной РСДБ-станции. Разработаны методики испытаний созданной приемной системы. Исследованы характеристики отдельных блоков и приемной системы в целом. Выполнены радиометрические наблюдения эталонных источников и РСДБ-наблюдения с участием прототипа передвижной РСДБ-станции в составе сети «Квазар-КВО».

Созданная Зотовым М. Б. приемная система обеспечивает значение $SEFD=18000$ Ян для радиотелескопа передвижной РСДБ-станции, что соответствует характеристикам лучших мировых аналогов. Столь высокого уровня характеристик приемной системы позволили добиться применение криогенного охлаждения усилительных каскадов и разделителя поляризаций, а также разработанные облучатель и СВЧ-тракт оригинальной конструкции.

Радиотелескоп РТ-4 передвижной РСДБ-станции, оснащенный разработанной приемной системой, принял участие в успешных РСДБ-наблюдениях. Полученные результаты подтвердили концепцию «мобильного» РСДБ в составе РСДБ-сети «Квазар-КВО». Это позволит дополнительно расширить возможности сети за счет лучшего заполнения UV-плоскости.

Данная диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, одного приложения и списка литературы, включающего 88 наименования. Общий объем диссертации составляет 146 страниц, включая 22 таблицы, и 65 рисунков.

Во введении обосновывается выбор темы, актуальность и цель исследования, его научная новизна и практическая значимость, кратко излагается содержание, перечислены положения, выносимые на защиту, приведены публикации, содержащие основные результаты работы, даны сведения об апробации работы на научных конференциях.

В первой главе проводится обзор приемных систем, применяемых на радиотелескопах РСДБ-сети «Квазар-КВО» и зарубежных передвижных РСДБ-станциях. Обсуждаются основные способы снижения ошибки измерения задержки корреляционного отклика. Приведена оценка возможности включения передвижной РСДБ-станции с антенной малого диаметра в РСДБ-сеть «Квазар-КВО». Обозначены основные требования к разрабатываемой приемной системе.

Вторая глава посвящена разработанной приемной системе. Приведена структура приемной системы, рассмотрены конструктивные особенности составных частей приемной системы. Сделан выбор системы регистрации для радиотелескопа передвижной РСДБ-станции.

Проведен анализ основных источников потерь в тракте приемной системы, предложены способы минимизации шумовой температуры, позволяющие создать высокочувствительную приемную систему. Представлен теоретический расчет вкладов в шумовую температуру приемной системы основных узлов, а также результаты исследования характеристик отдельных узлов приемной системы.

В третьей главе рассматриваются результаты и методики исследования разработанной приемной системы в лабораторных условиях. Проведены исследования шумовой температуры приемной системы, измеренные значения шумовой температуры хорошо соотносятся с теоретическим расчетом.

Рассмотрены исследования нелинейных характеристик криостатируемого блока и всей приемной системы. Приведены результаты

оценки динамического диапазона и устойчивости приемной системы к воздействию помех.

Стоит отдельно отметить оригинальный способ проверки приемной системы в интерферометрическом режиме в лабораторных условиях. Для этого был использован стенд «интерферометра на нулевой базе» включающий: разработанную приемную систему, приемные системы «Квазар-КВО», а также системы регистрации и частотно-временной синхронизации. Данный стенд позволил оценить возможность работы разработанной приемной системы в составе РСДБ-сети «Квазар-КВО», а также получить корреляционный отклик в лабораторных условиях. Полученные результаты показали хорошее совпадение расчетных значений с экспериментальными, полученными на базах, образованных приемными системами комплекса «Квазар-КВО» и созданной приемной системой.

В четвертой главе диссертации представлены результаты РСДБ-наблюдений прототипа передвижной РСДБ-станции в составе РСДБ-сети «Квазар-КВО». Рассмотрен вклад шумов приемной системы в шумовую температуру системы прототипа передвижной РСДБ-станции.

По результатам измерений шумовая температура разработанной приемной системы составила 36–37 К. Значение *SEFD* для радиотелескопа, оснащенного этой приемной системой, составляет 16000–18000 Ян. Приведено сравнение с зарубежными передвижными РСДБ-станциями, показывающее хороший уровень характеристик разработанной приемной системы.

В проведении РСДБ-наблюдений с участием прототипа передвижной РСДБ-станции были задействованы радиотелескопы сети «Квазар-КВО». На корреляторе RASFX были получены корреляционные отклики при наблюдениях источников передвижной РСДБ-станцией совместно с обсерваториями «Зеленчукская» и «Бадары».

В заключении диссертации автором сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна диссертации определяется следующими оригинальными результатами.

1. Создана приемная система для прототипа передвижной РСДБ-станции характеристики, которой соответствуют лучших мировых аналогов.

2. Проведены успешные РСДБ-наблюдения с использованием компактной антенны прототипа передвижной РСДБ-станции, оснащенной разработанной приемной системой.

3. По результатам РСДБ-наблюдений с участием прототипа передвижной станции в составе сети «Квазар-КВО» получены трехмерные координаты передвижной станции с ошибкой порядка одного сантиметра.

4. Разработан ряд методик исследования рабочих характеристик созданной приемной системы.

В качестве наиболее важных результатов, полученных диссертантом, следует отметить:

- Уникальность конструкции приемной системы позволившую осуществить криогенное охлаждение входных каскадов усиления. В разработанной приемной системе использован охлаждаемый волноводный разделитель поляризаций, обеспечивающий минимизацию потерь во входном тракте.
- Конструкцию облучателя и СВЧ-трака для антенной системы РТ-4 обеспечивающие прием сигналов от радиоисточников в заданной полосе частот.
- Оригинальная конструкция подвеса приемной аппаратуры, обеспечивающая минимальную длину входных трактов и использование микрокриогенной системы замкнутого цикла Джиффорда-МакМагона.

- Успешный опыт эксплуатации приемной системы на антенне РТ-4 в обсерватории «Светлое».

Полученные М. Б. Зотовым результаты имеют важное научное и прикладное значение. Они могут найти применение в радиоастрономических исследованиях в научных организациях нашей страны и за рубежом.

Хочется также отметить хорошее оформление диссертации.

В качестве недостатков работы необходимо отметить следующие:

1. Стр. 41–48 почему при выборе антенной системы не рассматриваются офсетные антенные системы?

2. Стр. 54 при перечислении задач разработки радиотелескопа РТ-4 не указано, откуда взять для разрабатываемой системы ЦСУР, СПШС и СЧВС. На стр. 71 упомянут выбор СПШС, преобразующей сигналы в цифровые потоки, однако не ясно куда дальше идут эти потоки на РТ-4?

3. На стр. 82 отмечено, что разрабатываемая структура конструкции должна выполнять функции отвода тепла. Однако, ранее ничего не сказано о тепловых режимах блоков.

Сделанные замечания никоим образом не снижают научное и практическое значение рецензируемой работы и не влияют на достоверность полученных результатов.

В целом, диссертация М. Б. Зотова представляет собой многолетнее научное исследование. Основные его результаты опубликованы в 15 работах. Результаты исследований неоднократно докладывались на российских и международных научных конференциях. Автореферат соответствует основным положениям диссертации.

Диссертация М. Б. Зотова «Приемная система для компактной антенны передвижной РСДБ-станции» является законченной научно-исследовательской работой, содержащей решение важной научно-технической проблемы прикладной радиоастрономии и имеющей большое значение для успешного решения задач астрофизики. Она отвечает всем

требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Зотов М. Б. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук. по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия»

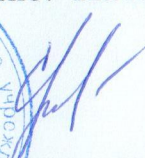
Отзыв обсужден на заседании отдела радиоастрономии и геодинамики ФГБУН «КрАО РАН». Протокол от 17 декабря 2021 года.

Заведующий отделом радиоастрономии и геодинамики ФГБУН «КрАО РАН», доктор физико-математических наук

 А.Е. Вольвач

Подпись А.Е. Вольвача заверяю. Начальник отдела кадров ФГБУН «КрАО РАН»



 А.С. Семенова