

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Научный совет Отделения физических наук РАН по астрономии
Научный совет РАН по проблеме
«Координатно-временное и навигационное обеспечение»

**Всероссийская радиоастрономическая
конференция**

**Радиотелескопы, аппаратура
и методы радиоастрономии
(ВРК-2022)**

19–23 сентября 2022 г.

Санкт-Петербург

Тезисы докладов

Санкт-Петербург
2022

Сборник содержит расширенные тезисы докладов, представленных на все-российской радиоастрономической конференции «Радиотелескопы, аппаратура и методы радиоастрономии» (ВРК-2022), Санкт-Петербург, 19–23 сентября 2022 г.

Содержание

Каталог малых тел Солнечной системы на сайте Института прикладной астрономии РАН	9
<i>Д. А. Аксим, И. А. Безруков, Ю. С. Бондаренко, А. Г. Водолагина, Н. Б. Железнов, О. М. Кочетова, В. Б. Кузнецов</i>	
О мониторинге солнечной активности современными радиосредствами	10
<i>А. Т. Алтынцев</i>	
Повышение эффективности канала связи в научных экспериментах дальнего космоса	11
<i>М. Н. Андрианов, В. И. Костенко, С. Ф. Лихачёв</i>	
Опыт эксплуатации систем буферизации и передачи данных в течение 2012–2022 гг. Перспективы развития	12
<i>И. А. Безруков, А. И. Сальников, В. В. Васильев, А. В. Вылегжанин</i>	
Амплитудно-фазовые распределения полей рассеяния облучателей зеркальных антенн	13
<i>Ю. И. Белов</i>	
Новый взгляд на спектральную радиометрию солнечной короны	14
<i>В. М. Богод</i>	
Международные радиолокационные наблюдения Венеры на базе обсерватории Светлое в России и станции CLTC-CONAE-NEUQUEN в Аргентине	16
<i>Ю. С. Бондаренко, Д. А. Маршалов, С. Макарчук, Ц. Ван</i>	
О ложных обнаружениях быстрых радиовсплесков на БСА ФИАН	17
<i>Е. А. Брылякова, С. А. Тюльбашев</i>	
Решение МГД задач на кластере АКЦ ФИАН: возможности, мощности, сложности	18
<i>М. А. Булдаков, А. С. Андрианов, А. О. Ляховец, С. В. Чернов</i>	
Радиоастрономические исследования в Крымской астрофизической обсерватории РАН	19
<i>А. Е. Вольвач</i>	
Определение положения антенн Сибирского радиогелиографа по данным наблюдений Солнца	20
<i>М. В. Глоба, С. В. Лесовой, А. В. Губин</i>	

Крупногабаритная трансформируемая антенна для космической обсерватории Миллиметров	21
<i>Е. С. Голубев, А. В. Смирнов, М. Ю. Архипов, В. Н. Пышинов, С. Д. Федорчук, В. И. Халиманович, Ю. А. Оберемок</i>	
Юстировка зеркальной системы антенны большого миллиметрового радиотелескопа при изменении длины волны принимаемого излучения	22
<i>А. Е. Городецкий, В. Г. Курбанов, И. Л. Тарасова</i>	
Многофункциональная цифровая система преобразования сигналов в режиме спектрально-селективного радиометрического модуля	23
<i>С. А. Гренков, Л. В. Федотов</i>	
Измерение параметров макета антенны широкоугольного радиотелескопа метровых волн	24
<i>Р. Д. Дагжесаманский, Б. К. Извеков, А. В. Коваленко</i>	
Быстрый способ проверки точных астрономических калибраторов и шкал плотности потока радиоизлучения	25
<i>А. Н. Ермаков, Ю. А. Ковалев, Ю. Ю. Ковалев, В. А. Согласнов, В. И. Васильков, М. М. Лисаков, Ю. В. Сотникова, Л. Н. Вольвач, П. Г. Цыбулев</i>	
Проект VGOS: достижения и перспективы	26
<i>В. Е. Жаров</i>	
Миллиметровая и субмиллиметровая астрономия: достижения и перспективы	27
<i>И. И. Зинченко</i>	
Приемная система солнечного радиотелескопа РТ-1.8	28
<i>М. Б. Зотов, Ю. В. Векшин, А. С. Лавров, Е. Ю. Хвостов, В. С. Черников, В. К. Чернов</i>	
Унификация трактов преобразования частот для приемных систем радиотелескопа РТ-13	29
<i>М. Б. Зотов, Ю. В. Векшин, А. С. Лавров, Е. Ю. Хвостов, В. С. Черников, В. К. Чернов</i>	
Спектр радиоизлучения остатка сверхновой 74.9+1.2	30
<i>В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева</i>	

Уточнение параметров алгоритма расчёта тропосферной задержки по данным локального радиозондирования атмосферы	31
<i>Г. Н. Ильин, В. Ю. Быков</i>	
О результатах наблюдения солнечного затмения 10.06.2021 г. в обсерватории «Светлое» на радиотелескопах РТ-13 и РТ-32 и радиометре водяного пара	32
<i>Г. Н. Ильин, В. Ю. Быков, Н. Г. Петерова, Н. А. Топчило</i>	
Сеть радиометров водяного пара ИПА РАН	33
<i>Г. Н. Ильин, В. Ю. Быков, А. М. Шишкин, В. Г. Стэмповский, С. Г. Смоленцев</i>	
Дистанционные, оптические и радиолокационные наблюдения за космическим пространством	34
<i>А. В. Ипатов, Л. А. Ведешин</i>	
Блок управления и контроля электропривода РТ-32 на базе программируемых логических контроллеров	35
<i>А. В. Исаенко, А. М. Шишкин, В. Ю. Быков, И. А. Рахимов, В. Г. Стэмповский</i>	
Радиоизлучение пульсароподобных белых карликов	37
<i>Н. Р. Ихсанов</i>	
Реализация алгоритма Multi-scale CLEAN в программном пакете Astro Space Locator	38
<i>Л. Е. Кац</i>	
Сибирский радиогелиограф – солнечный радиотелескоп нового поколения	39
<i>С. В. Лесовой, А. Т. Алтынцев, А. В. Губин, М. В. Глоба, С. А. Анфиногентов, А. А. Кузнецов, О. Ю. Сваровский, М. В. Осипов, Д. А. Сипайлов</i>	
Повышение точности измерения поверхности адаптивных зеркал радиотелескопов субмиллиметрового диапазона	40
<i>А. О. Ляховец</i>	
Результаты моделирования многолучевых диаграмм направленности и поля изображения ESMТ в фокусе Кассегрена на волне 2–3 мм	41
<i>Г. А. Макоев, В. Б. Хайкин</i>	

Модернизация системы преобразования сигналов радиотелескопа РТ-32 обсерватории «Светлое»	43
<i>Д. А. Маршалов, А. С. Бердников, С. А. Гренков, Л. В. Федотов, Ю. С. Шейнман, А. Г. Михайлов, А. Б. Устинов, И. А. Рахимов, А. В. Исаенко</i>	
Учет кабельной задержки радиотелескопов РТ-13 по данным фазовых компараторов	45
<i>В. Ю. Мишин, А. В. Вытнов, А. С. Карпичев, Е. А. Скурихина</i>	
Автоматизированная система контроля положения облучателя радиотелескопа РАТАН-600	46
<i>И. Д. Николаев, А. С. Янжура</i>	
Метод когерентной компенсации помехи с применением дополнительного канала приема для радиотелескопов радиоинтерферометрического комплекса «Квазар-КВО»	47
<i>В. П. Обрученков, Н. П. Борненко</i>	
Особенности формирования диаграммы направленности антенны БСА ФИАН с использованием матрицы Батлера	49
<i>В. В. Орешко</i>	
Радиотелескопы ПРАО АКЦ ФИАН: научные задачи, возможности и перспективы	50
<i>В. В. Орешко</i>	
Поиск радионисточников со значительным изменением координат	51
<i>А. А. Осетрова, О. А. Титов, А. Е. Мельников</i>	
Состояние технических средств ГМЦ ГСВЧ, задействованных в определении ПВЗ по РСДБ измерениям	52
<i>С. Л. Пасынок, С. Ю. Антропов, В. Е. Жаров</i>	
Помехоустойчивый радиометр ДМ диапазона волн для РАТАН-600 с высоким разрешением по частоте и времени	53
<i>А. М. Рупак, М. К. Лебедев, В. М. Богод</i>	
Обобщенный метод треуголки и его применение для построения пульсарной шкалы времени	54
<i>А. Е. Родин, В. А. Фёдорова</i>	
Расчеты затухания радиосигналов в атмосфере по данным радиометра водяного пара	55
<i>С. Б. Розанов, А. С. Завгородний, В. Л. Воронов</i>	

Центр баллистико-навигационного обеспечения космических проектов АКЦ ФИАН	56
<i>А. Г. Рудницкий, П. Р. Запевалин, П. В. Мжельский, Т. А. Сячина, М. А. Щуров</i>	
Выявление радиоизлучения каскадных ливней космических лучей высоких энергий в многолетних непрерывных наблюдениях радиотелескопа метровых волн БСА ФИАН	57
<i>В. А. Самодуров, Р. Д. Дагжесаманский, А. С. Позаненко, А. В. Долгушев, А. Е. Исаев</i>	
Статистика обнаружений импульсных сигналов в площадке со склонениями от +52° до +56° на частоте 111 МГц	58
<i>В. А. Самодуров, С. А. Тюльбашев, М. О. Торопов, А. В. Долгушев, В. В. Орешко, С. В. Логвиненко</i>	
Синтез антенной системы крестообразного радиотелескопа «шахматной» структуры	59
<i>Б. В. Семенов, Н. И. Черных</i>	
Интерактивный каталог измерений блазаров на РАТАН-600	60
<i>Ю. В. Сотникова, М. Г. Мингалиев, Т. В. Муфахаров, Р. Ю. Удовицкий</i>	
Контроль отклонения формы, взаимного положения и ориентации элементов зеркальной системы крупных радиотелескопов методом лазерного сканирования	61
<i>Ю. В. Сотникова, В. В. Петров, В. О. Медяников, В. И. Жаров, Г. Е. Васильев</i>	
Эффект некомпланарности базовых линий для интерферометра SKA-MID	62
<i>В. А. Столяров</i>	
АСУ облучателя тип 3 РАТАН-600	63
<i>А. А. Стороженко, В. М. Богод, М. К. Лебедев, Н. Е. Овчинникова, Хайкин В. Б.</i>	
Современные радиоастрономические корреляторы и тенденции их развития	64
<i>И. Ф. Суркис, В. О. Кен</i>	
Номинальная орбита космической обсерватории Миллиметрон	65
<i>Т. А. Сячина, П. Р. Запевалин, П. В. Мжельский, А. Г. Рудницкий, М. А. Щуров</i>	

Поиск пульсаров в суммированных данных	66
<i>С. А. Тюльбашев, Г. Э. Тюльбашева</i>	
Обнаружение и исследование быстрых радиовсплесков на частоте 111 МГц	67
<i>В. А. Фёдорова, А. Е. Родин</i>	
Результаты и планы комплексного изучения астроклимата горы Курапдаг в Агульском районе Дагестана	68
<i>В. Б. Хайкин, А. Ю. Шиховцев, А. П. Миронов, А. В. Худченко, Е. А. Копылов</i>	
Астрофизические наблюдательные программы ИПА РАН	70
<i>М. А. Харинков, А. Е. Мельников</i>	
Разработка высокочувствительного приемника диапазона 1.1–1.4 мм для обсерватории Миллиметрон и для наземных телескопов	71
<i>А. В. Худченко, И. В. Третьяков, А. М. Барышев, В. П. Кошелец, К. И. Рудаков, Р. Хеспер, Р. А. Черный, М. Ю. Архипов, С. Ф. Лихачев</i>	
Широкополосный криогенный приемный фокальный блок с круговыми поляризациями	72
<i>В. С. Черников, Е. Ю. Хвостов, В. К. Чернов</i>	
Статистические характеристики осажденного водяного пара и оптической толщи в районе расположения Большого телескопа Альт-Азимутального	73
<i>А. Ю. Шиховцев, В. Б. Хайкин, П. Г. Ковадло</i>	

Каталог малых тел Солнечной системы на сайте Института прикладной астрономии РАН

Д. А. Аксим, И. А. Безруков, Ю. С. Бондаренко, А. Г. Водолагина,
Н. Б. Железнов, О. М. Кочетова, В. Б. Кузнецов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

На сайте ИПА РАН представлен Каталог малых тел Солнечной системы [1–2], основанный на оригинальных исследованиях и результатах программной обработки [3].

Информация о наблюдениях малых планет и комет считывается с сайта Международного Центра малых планет и служит основой для уточнения орбит этих тел и прогнозирования их движения вокруг Солнца на протяжении ближайших двадцати лет. Для кометных орбит дополнительно определяются негравитационные ускорения с использованием радиолокационных наблюдений.

По состоянию на июль 2022 г. число нумерованных малых планет в Каталоге составило более 618000, нумерованных — около 600000. Общее число комет превышает 3800. Для хранения и извлечения информационных файлов различных типов (html-, png-, txt-) используется S3-совместимое объектное хранилище, построенное на базе ПО Serp. Информация об объекте представлена на русском и английском языках.

Для удобства сравнения данных Каталога с данными других центров в Каталоге приводятся активные ссылки на сайты Центра малых планет (США), Лаборатории реактивного движения (США) и Пизанского университета (Италия).

Литература

1. Аксим Д. А., Безруков И. А., Бондаренко Ю. С. и др. Каталог нумерованных малых планет на сайте ИПА РАН // Труды ИПА РАН. 2019. Вып. 51. С. 3–12.
2. Аксим Д. А., Безруков И. А., Бондаренко Ю. С. и др. Каталог малых планет на сайте ИПА РАН // Научные труды Института астрономии РАН. 2020. Том 5, Вып. 1. С. 32–35.
3. ИПА РАН [Электронный ресурс]. URL: <http://iaaras.ru/dept/lbss/mpc/> (дата обращения 1.09.2022).

О мониторинге солнечной активности современными радиосредствами

А. Т. Алтынцев

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

Развитие современных технологий связи, навигации, освоения космического пространства и т. д. требует создания системы слежения за состоянием околоземного пространства. Одной из важнейших составляющих контроля и прогноза так называемой космической погоды являются наблюдения активных процессов в атмосфере Солнца, определяющих потоки электромагнитного излучения, плазмы и энергичных частиц в околоземном пространстве.

В докладе обсуждаются задачи и возможности мониторинга потоков радиоизлучения в интересах Службы Солнца: как интегральных потоков на отдельных частотах, используемых как прокси индексы солнечной активности, так и радиокарт с высоким пространственным и спектральным разрешением, используемых для краткосрочного прогноза эруптивных явлений. Рассматривается история, современное состояние наблюдений солнечного радиоизлучения в России и за рубежом. Особо обсуждаются возможности, появляющиеся с созданием современных многоволновых радиогелиографов: Сибирского радиогелиографа (Россия), Mingantu Spectral Radioheliograph (Китай), Frequency Agile Solar Radiotelescope (США).

Повышение эффективности канала связи в научных экспериментах дальнего космоса

М. Н. Андрианов, В. И. Костенко, С. Ф. Лихачёв

АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

Решения научных и прикладных задач, реализуемые с помощью аппаратов ближнего и дальнего космоса (планетная картография, динамический солнечный видеосерфинг, РСДБ Земля — Космос и Космос — Космос), предполагают увеличение полос регистрируемых сигналов до нескольких десятков ГГц с существенным увеличением скорости записи данных на борту КА и их передачи на Землю.

В настоящей работе для повышения скорости передачи рассмотрены спектрально-эффективные методы модуляции сигналов (PM, QAM) и сигналов с ортогональным частотным уплотнением (OFDM). Сделаны оценки их практической эффективности и помехоустойчивости в условиях энергодефицита за время жизни КА. Практическое использование каналов оптического диапазона затруднено ввиду низкого отношения энергии сигнала к энергии планковского шума. В качестве перспективной схемы передачи данных в работе проанализированы возможности использования несущей сигнала в E-диапазоне (71–76 и 81–86 ГГц), где допустима полоса канала до 10 ГГц и при существенном сокращении времени передачи на расстояниях 1.5–2 млн км от Земли реализуется приемлемая для практики вероятность ошибки передачи сигналов ($< 10^{-3}$) со скоростью до 20 Гбит/с.

Опыт эксплуатации систем буферизации и передачи данных в течение 2012–2022 гг. Перспективы развития

И. А. Безруков¹, А. И. Сальников¹, В. В. Васильев¹, А. В. Вылегжанин²

¹ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время в ИПА РАН на РСДБ-комплексе «Квазар-КВО» созданы и успешно эксплуатируются три системы:

- система сбора и передачи данных наблюдений от радиотелескопов РТ-32 (обсерватории «Светлое», «Зеленчукская» и «Бадарь») — 2012 год;
- система буферизации и передачи данных наблюдений для двухэлементного радиоинтерферометра РТ-13 (обсерватории «Бадарь», «Зеленчукская») — середина 2015 г.;
- система записи и передачи данных наблюдений для радиотелескопа РТ-13 из обсерватории «Светлое» — 2020 г.

На базе РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» в России впервые реализована технология проведения радиоинтерферометрических наблюдений в режиме е-РСДБ, близком к режиму реального времени. На основе применения технологии е-РСДБ достигнута высокая оперативность определения всемирного времени с помощью комплекса «Квазар-КВО» в интересах фундаментальных и прикладных исследований ближнего и дальнего космоса, в частности для обеспечения космической навигационной системы ГЛОНАСС. Таким образом, работы, проводимые в ИПА РАН, позволяют обеспечить независимость Российской Федерации от данных Международных служб при определении ПВЗ, повысить точность, надежность и оперативность обеспечения данными о ПВЗ потребителей [1–4].

В докладе представлены результаты работы всех систем буферизации и передачи данных при длительной эксплуатации, наиболее значимые трудности при обслуживании сложной территориально распределенной информационной системой. Приведены варианты развития используемых систем.

Литература

1. Финкельштейн А. М., Ипатов А. В., Скурихина Е. А. и др. Фундаментальное координатно-временное обеспечение системы ГЛОНАСС средствами РСДБ-сети «Квазар-КВО» // Труды ИПА РАН. Вып. 17. 2007. С. 3–23.
2. Финкельштейн А. М., Кайдановский М. Н., Сальников А. Г. и др. Оперативное определение поправок всемирного времени в режиме е-РСДБ // Письма в АЖ. 2011. Т. 37, № 6. С. 470–479.
3. Безруков И. А., Сальников А. И., Яковлев В. А., Вылегжанин А. В. Система буферизации и передачи данных нового поколения // Труды ИПА РАН. 2015. Вып. 32. С. 3–9.
4. Безруков И. А., Сальников А. И., Яковлев В. А., Вылегжанин А. В. Система хранения данных РСДБ-наблюдений // Труды ИПА РАН. Вып. 33. 2015. С. 80–83.

Амплитудно-фазовые распределения полей рассеяния облучателей зеркальных антенн

Ю. И. Белов

НИРФИ ННГУ им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

С целью экспериментального изучения влияния реактивных мод излучения сторонних токов в канале излучающая — приемная антенна выполнены измерения полей рассеяния антенн рупорного типа, которые часто используются в качестве облучателей зеркальных антенн в миллиметровом и сантиметровом диапазонах длин волн [1] Анализ процессов взаимодействия излучающей и приемной антенн выполнен на основе метода разложения электромагнитных полей в ближней зоне рупоров по плоским волнам [2].

Планарное сканирование зондом в установках измерения характеристик антенн в ближней зоне изменяет вклад падающих и рассеянных (излученных) мод в измеряемые S-параметры Векторных Анализаторов Цепей (ВАЦ), что происходит из-за изменения взаимной ориентации исследуемой антенны и антенны-зонда в процессе сканирования, описываемым положением антенны-зонда. Измеряя с помощью ВАЦ параметр $s_{11}(\mathbf{P})$ (коэффициент отражения от входа антенны — зонда), можно получать информацию о токе короткого замыкания, который, в свою очередь, определяет диаграмму рассеяния короткозамкнутой приемной антенны — структурного рассеяния.

Проведенные измерения позволяют численно оценивать вклад рассеянных полей облучателя на контррефлекторах и «черных» дисках сравнительно больших волновых размеров, например на контррефлекторе компактного радиотелескопа ИПА РАН [3].

Литература

1. Белов Ю. И., Варенцов Е. Л., Илларионов И. А. О регистрации полей рассеяния антенн в их ближней зоне // Известия вузов Радиофизика. 2021. Т. LXIV, № 4. С. 287–299.
2. Kerns D. M. Plane-wave scattering-matrix theory of antennas and antenna – antenna interactions. Boulder: National Bureau of Standards. NBS Monograph 162. 1981. 192 p.
3. Зотов М. Б. Приемная система для компактной антенны передвижной РСДБ-станции. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. ИПА РАН. Санкт Петербург, 2021 г.

Новый взгляд на спектральную радиометрию солнечной короны

В. М. Богод

САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Прогресс радиоастрономических исследований ближнего и дальнего космоса очевиден. Очевидны и проблемы, ограничивающие развитие наземной радиоастрономии. Эти ограничения связаны с конструкциями антенных систем, с пределами по чувствительности к слабым деталям, наличием помех, которые в ряде случаев полностью закрывают важные диапазоны частот. В области солнечной радиоастрономии по-прежнему существуют фундаментальные проблемы нагрева короны, проблемы преобразования магнитной энергии в энергию вспышек и др. Возникает необходимость исследования слабых эффектов на фоне мощных сигналов спокойного Солнца и мощных вспышек, которые могут быть существенными для понимания всей картины активного Солнца. Актуальными становятся узкополосные явления, квазипериодические пульсации, явления типа коронального дождя, возникающие при вспышечных процессах и др.

Радиотелескоп РАТАН-600 давно используется для исследования солнечной короны. С его помощью были открыты слабые структуры, такие как радиогрануляция, микровспышки, слабые магнитные поля и др. Становится насущной смена концепции приемной спектральной аппаратуры для детального изучения солнечной короны. В связи с этим начата работа по созданию серии спектральных комплексов нового поколения со сплошным перекрытием всего рабочего диапазона РАТАН-600 1–40 ГГц. Номинальное частотное разрешение, достигаемое в каждом комплексе, ~122 кГц. Оно позволит проводить одновременную регистрацию всех узкополосных излучений, возникающих на высотах от переходной зоны хромосфера — корона до зоны формирования солнечного ветра.

Здесь представлены результаты первых серий наблюдений на Панорамном Спектральном Радиометрическом Комплексе в диапазоне 1–3 ГГц (ПАС 1–3 ГГц) по исследованиям слабоконтрастных корональных структур. В этом комплексе реализованы высокие параметры по спектральному разрешению более 8000 каналов/ГГц и широкому октавному перекрытию частотного диапазона при высоком временном разрешении до 8 мс/спектр и высоком динамическом диапазоне около 90 дБ. Проводятся испытания режима слежения за Солнцем на Южном секторе с перископом и новым спектрометром. Становится доступным мультиобъектный режим наблюдений от мощных вспыхивающих объектов до слабых структур вплоть до радиогрануляционного уровня. Разработаны и внедрены высокоскоростные средства приема и обработки информации с целью разделения полезных сигналов и помеховых сигналов в режиме реального времени. Эти параметры в совокупности с возможностями РАТАН-600 по эффективной площади и широкому частотному перекрытию позволили провести наблюдения слабых корональных структур в диапазоне 1–3 ГГц. В результате были обнаружены новые свойства ко-

рональной плазмы. Попутным результатом этих наблюдений явилась регистрация узкополосного поглощения в частотной полосе 1520 –1660 МГц, вблизи линии поглощения ОН (1612–1720 МГц). Возможные объяснения природы такого поглощения в короне Солнца на стадии обсуждения.

Международные радиолокационные наблюдения Венеры на базе обсерватории Светлое в России и станции CLTC-CONAE-NEUQUEN в Аргентине

Ю. С. Бондаренко¹, Д. А. Маршалов¹, С. Макачук², Ц. Ван³

¹ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²CONAE, г. Буэнос-Айрес, Аргентина

³CLTC-CONAE-NEUQUEN, г. Неукен, Аргентина

Венера, в отличие от других планет земной группы, имеет самую плотную непрозрачную в видимом свете атмосферу, что делает невозможным исследование ее поверхности при помощи оптических телескопов. В этом случае на помощь приходят методы наземной радиолокационной астрономии, позволяющие проводить исследования во время редких сближений Венеры с Землей.

В докладе представлены результаты радиолокационных наблюдений Венеры, организованные Институтом прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН) в сотрудничестве с Национальной комиссией по космической деятельности Аргентины (CONAE). В наблюдениях были задействованы: 35-метровая антенна китайской сети дальней космической связи (CDSN), расположенная на станции CLTC-CONAE-NEUQUEN (CCN) на юго-западе Аргентины, недалеко от города Бахада-дель-Агрио, в провинции Неукен, и 13.2-метровый радиотелескоп (РТ-13) российской РСДБ-сети «Квазар-КВО» в обсерватории «Светлое». Наблюдения проводились 22 января 2022 г., когда Венера приблизилась к Земле на расстояние порядка 44 млн км. В 9:55 UT антенна CCN начала облучать Венеру непрерывным монохромным сигналом мощностью 8 кВт на частоте 7190 МГц (4.2 см), и уже через 5 мин радиотелескоп РТ-13 зарегистрировал первые отраженные от поверхности Венеры эхо-сигналы. Наблюдения завершились в 10:35 UT, когда Венера вышла из зоны видимости обеих антенн. В результате наблюдений были получены спектры мощности эхо-сигналов в левой и правой круговых поляризациях на 40-минутном интервале. Эти спектры позволили оценить период вращения Венеры, свойства радиолокационного рассеяния и степень шероховатости ее поверхности на сантиметровых длинах волн. Ближайшая возможность провести радиолокационные наблюдения Венеры в той же кооперации появится только в августе 2023 г. во время её очередного сближения с Землей, что подчеркивает ценность полученных данных.

О ложных обнаружениях быстрых радиовсплесков на БСА ФИАН

Е. А. Брылякова, С. А. Тюльбашев

ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пушкино, Россия

Быстрые радиовсплески (FRB – Fast Radio Burst) впервые были обнаружены в 2007 г. в архивных данных, полученных в наблюдениях на 64-метровом радиотелескопе Паркса (Австралия) [1]. Быстрые радиовсплески представляют собой короткие вспышки в радиодиапазоне длительностью порядка нескольких миллисекунд и мощностью, во много раз превышающей мощность обычных радиопульсаров.

В данной работе представлена проверка ранее опубликованных быстрых радиовсплесков [2], найденных в мониторинговых данных радиотелескопа БСА (Большая Синфазная Антенна) при помощи алгоритма поиска, основанного на свертке данных с шаблоном рассеянного импульса. Для проверки использовались те же самые 6-канальные данные, в которых были обнаружены FRB, имеющие меры дисперсии 247, 570 и 1767 пк/см³. Дополнительная проверка опубликованных FRB проводилась в 32-канальных данных.

По итогам проверки авторам не удалось подтвердить ни одного опубликованного обнаружения FRB на БСА ФИАН. Однако не исключена возможность обнаружения быстрых радиовсплесков на БСА ФИАН в будущем.

Работа поддержана грантом РФФ 22-12-00236.

Литература

1. Lorimer D. R., Bailes M., McLaughlin M. A. et al. A bright millisecond radio burst of extragalactic origin // *Science*. 2007. Vol. 318, Issue 5851. P. 777.
2. Fedorova V. A., Rodin A. E. Detection of fast radio bursts on the large scanning antenna of the Lebedev Physical Institute // *Astronomy Reports*. 2019. Vol. 63, no. 1. P. 39–48.

Решение МГД задач на кластере АКЦ ФИАН: возможности, мощности, сложности

М. А. Булдаков, А. С. Андрианов, А. О. Ляховец, С. В. Чернов

АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

Одной из основных задач космической обсерватории Миллиметрон, запуск которой планируется на 2029 г., является изучение физики плазмы в сверхсильных гравитационных полях в ближайшей окрестности сверхмассивных черных дыр Sgr A* и M87*, а также наблюдение их теней и фотонных колец [1]. Для интерпретации будущих данных РСДБ-наблюдений в миллиметровом диапазоне телескопов ЕНТ [2] и Миллиметрон необходимы модели изображений черных дыр, основанные на результатах МГД-моделирования аккреционного диска с высоким разрешением. Для решения задач, связанных с вычислительно затратными МГД-расчетами, в АКЦ ФИАН создается новый вычислительный кластер. В работе приводятся результаты тестирования МГД-кодов Iharm [3] и Pluto [4] на процессорах (CPU) и видеокартах (GPU). Тестирование проводилось на двух серверах, вычислительные ресурсы каждого из которых включают в себя 128 процессорных ядер модели AMD EPYC 7H12 и 4 видеокарты модели Tesla V100.

Проведенные тесты показали, что задача оптимизации конфигурации кластера связана со следующими сложностями:

- выход времени расчетов на насыщение при расчетах на CPU при большом числе ядер;
- ограничения памяти и максимального разрешения сетки при расчетах на GPU;
- ограничения скорости сети, которая может быть важна для расчетов с высоким разрешением.

В настоящее время проводится дополнительная работа по оптимизации вычислительных кодов и конфигурации кластера.

Литература

1. Novikov I. D., Likhachev S. F., Shchekinov Yu A. et al. Objectives of the Millimetron Space Observatory science program and technical capabilities of its realization // *Physics Uspekhi*. 2021. Vol. 64. P. 386.
2. Akiyama K., Alberdi A., Alef W., et al. First M87 event horizon telescope results. I. The shadow of the supermassive black hole. 2019. *The Astrophysical Journal Letters* Vol. 875 no. 1.
3. Prather B. S., Wong G. N., Dhruv V., et al. Iharm3D: vectorized general relativistic magnetohydrodynamics // *The Journal of Open Source Software*. 2021, Vol. 6(66). P. 3336. doi: <https://doi.org/10.21105/joss.03336>.
4. Mignone A., Bodo G., Massaglia S., et al. PLUTO: a numerical code for computational astrophysics // *The Astrophysical Journal Supplement Series*. Vol. 170, Iss. 1. P. 228–242.

Радиоастрономические исследования в Крымской астрофизической обсерватории РАН

А. Е. Вольвач

КрАО РАН, от. Симеиз, Россия

С помощью РТ-22 КрАО получен целый ряд первоклассных научных результатов — от исследования АЯГ и объектов Солнечной системы до изучения движения континентов и создания научных программ для космических проектов. С целью исследования литосферных деформаций, причин, их вызывающих, поиск прогностических признаков, готовящихся региональных сейсмических событий природного и техногенного происхождения, геодинамический полигон «Симеиз-Кацивели» был расширен наклономерной и магнитовариационной станциями.

Предложен новый метод определения параметров тесных двойных систем сверхмассивных черных дыр непосредственно из наблюдений в радиодиапазоне на одиночном радиотелескопе. По данным наблюдений, полученным с помощью наземного 22-метрового радиотелескопа РТ-22 в Симеизе, определено, что блазар 3C454.3, расположенный на расстоянии 7.7 млрд световых лет (2.4 млрд пк) может быть самой массивной двойной черной дырой во Вселенной с массой центральной черной дыры равной $2.4 \times 10^{10} M_{\odot}$ и массой компаньона равной $6.8 \times 10^9 M_{\odot}$.

Проведена модернизация аппаратуры и отработаны современные методы наблюдений необходимые для исследований с помощью РТ-22 практически всех известных космических мазеров. Эти нововведения дали возможность начать исследования более слабых источников космического мазерного радиоизлучения в дециметровом, сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн, в том числе и в атмосферах комет. С помощью 22-метрового радиотелескопа РТ-22 в Симеизе в линии водяного пара на частоте 22235 МГц открыт самый мощный галактический киломазер G25.65+1.05, впервые обнаружены вспышки в линиях метанола СНЗОН на частотах 19.967 ГГц и 20.971 ГГц в направлении на массивную область активного звездообразования G358.931-0.030.

Определение положения антенн Сибирского радиогелиографа по данным наблюдений Солнца

М. В. Глоба, С. В. Лесовой, А. В. Губин

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

Вопрос динамического диапазона изображений является критическим для наблюдений Солнца, так как Солнце — сложный и быстро меняющийся объект. Для наблюдения быстрых процессов современные телескопы должны обладать секундным временным разрешением. Большое количество данных накладывает ограничение на время обработки каждого изображения. Искажения видностей, вносимые коэффициентами передачи антенн, которые являются предметом калибровки, должны быть аппаратно минимизированы и должны мало меняться в течение времени наблюдений. Отклонение положения антенн от проектного на величины порядка 2–3 см приводит к фазовому набегу, существенно меняющемуся со временем. Это делает невозможным использование одного результата калибровки даже в течение нескольких минут. Также отклонения антенн приводят к тому, что расстояния между соседними антеннами различаются, и калибровка с использованием избыточности не может считаться корректной.

В докладе представлена методика измерения расстояния между антеннами Сибирского радиогелиографа с использованием наблюдений Солнца. Данный метод позволяет достигать точности измерения расстояний до 1 мм без привлечения дорогостоящего геодезического оборудования. Получены данные, которые будут использоваться для последующей юстировки антенн, что позволит минимизировать изменения фаз в течение дня.

Крупногабаритная трансформируемая антенна для космической обсерватории Миллиметрон

**Е. С. Голубев¹, А. В. Смирнов¹, М. Ю. Архипов¹, В. Н. Пышнов¹,
С. Д. Федорчук¹, В. И. Халиманович², Ю. А. Оберемок²**

¹АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

²АО «ИСС им. академика М. Ф. Решетнева», г. Железногорск, Россия

В настоящее время астрономическое сообщество для предстоящих наблюдений формулирует все более высокие требования к телескопам. С одной стороны, поскольку угловое разрешение пропорционально диаметру главного зеркала, требуются зеркала все большего и большего размера. С другой стороны, для решения многих уникальных научных задач требуются наблюдения в миллиметровом, субмиллиметровом и дальнем инфракрасном диапазонах. Космическая обсерватория Миллиметрон, создание которой ведется Астрокосмическим центром Физического института им. П. Н. Лебедева, — уникальный проект — крупногабаритный трансформируемый 10-метровый космический телескоп с точностью поверхности не менее 10 мкм (СКО), охлаждающийся на орбите до температуры ниже 10 К. Облик обсерватории определяется многими параметрами проектирования, но выбор конструкционного материала главного зеркала является ключевым вопросом с точки зрения достижения высокой точности поверхности, размеростабильности конструкции при глубоком охлаждении, в особенности по отношению к общей массе конструкции. Высокомодульный углепластик обладает превосходными механическими свойствами по сочетанию высокого удельного модуля и низкого коэффициента теплового расширения, поэтому является одним из наиболее перспективных материалов для изготовления крупногабаритного и охлаждаемого космического зеркала.

Представляется текущий статус создания главного зеркала космической обсерватории Миллиметрон. Во-первых, демонстрируются результаты заключительного этапа испытаний полномасштабного конструкторско-технологического макета главного зеркала. Во-вторых, представляются последние достижения в разработке технологии изготовления углепластиковых панелей главного зеркала, получаемых методом репликации. Обсуждаются результаты криовакуумных испытаний опытного образца панели главного зеркала.

Юстировка зеркальной системы антенны большого миллиметрового радиотелескопа при изменении длины волны принимаемого излучения

А. Е. Городецкий¹, В. Г. Курбанов^{1,2}, И. Л. Тарасова¹

¹ИПМАШ РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия

В больших радиотелескопах миллиметрового диапазона основное зеркало и контррефлектор выполняют из отдельных щитов с возможностью их перемещения для восстановления профилей зеркальных поверхностей при весовых деформациях, в процессе наведения на космические источники излучения и их сопровождения [1]. Причем при настройке антенны с помощью управляемых элементов щитов основного зеркала и контррефлектора необходимо соблюдать согласования фаз волн излучения, поступающего на приемник от соседних щитов, чтобы разность хода была кратна длине волны.

В последнее время предлагается подобное изменение положений щитов зеркальной системы осуществлять специальной системой автоматического управления юстировкой [2]. При изменении длины волны принимаемого излучения указанная система автоматического управления юстировкой учитывает не только весовые деформации, но и текущую длину принимаемого излучения. Особенно эффективно подобную юстировку производить при использовании матричных приемников с настраиваемой под длину волны матрицей [3].

Литература

1. Дубаренко В. В., Кучмин А. Ю., Артёменко Ю. Н., Шишлаков В. Ф. Радиотелескопы миллиметрового диапазона с регулируемыми поверхностями зеркал. СПб.: ГУАП, 2019. 239 с. doi: 10.17513/np.368.
2. Городецкий А. Е., Курбанов В. Г., Тарасова И. Л. Патент на изобретение 2694813. Способ формирования отражающих зеркальных поверхностей антенны космического радиотелескопа. 2019.
3. Городецкий А. Е., Курбанов В. Г., Тарасова И. Л. Адаптивная платформа SEMS с матричным приемником для получения радиои изображений в астрономии // Труды Института прикладной астрономии РАН. 2018. Вып. 46. С. 31–36.

Многофункциональная цифровая система преобразования сигналов в режиме спектрально-селективного радиометрического модуля

С. А. Гренков, Л. В. Федотов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время все радиотелескопы комплекса «Квазар-КВО» оснащаются новыми многофункциональными цифровыми системами преобразования сигналов (МСПС) [1]. Работа каждого из 8 каналов МСПС основана на цифровой обработке сигналов в программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС). МСПС способна заменить все оконечное оборудование радиотелескопа и путем перепрограммирования ПЛИС может обеспечить регистрацию сигналов не только в режиме РСДБ, но также при радиометрических и спектральных наблюдениях.

Для радиометрических наблюдений разработана специальная прошивка ПЛИС, реализующая спектрально-селективный метод, который обеспечивает высокую точность измерений даже при наличии помех [2]. Дано описание алгоритма и структура конфигурации ПЛИС для спектрально-селективного радиометра на основе МСПС. Приведены основные параметры спектрально-селективного радиометра на основе МСПС и результаты тестовых наблюдений с его использованием в обсерватории «Светлое».

Литература

1. Маршалов Д. А., Носов Е. В., Федотов Л. В., Шейнман Ю. С. Многофункциональная система преобразования сигналов для радиотелескопа РТ-13 в обсерватории «Светлое» // Труды ИПА РАН. 2021. Вып. 56. С. 39–47.
2. Гренков С. А., Кольцов Н. Е. Спектрально-селективный модуль радиометра с защитой от радиопомех // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2015. Том LVIII, № 7. С. 577–586.

Измерение параметров макета антенны широкоугольного радиотелескопа метровых волн

Р. Д. Дагкесаманский, Б. К. Извеков, А. В. Коваленко

ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пущино, Россия

Развитие научных направлений, связанных с исследованиями природы спорадических всплесков, предъявляет дополнительные требования к радиоастрономической технике — это расширение поля зрения радиотелескопа. В ПРАО АКЦ ФИАН есть положительный опыт создания новой диаграммы направленности БСА ФИАН, который указывает на перспективность создания радиотелескопов метрового диапазона с широким углом зрения на базе многоэлементных антенных решеток. Для отработки основных принципов создания радиотелескопа с многолучевой диаграммой направленности в ПРАО АКЦ ФИАН создан макет широкоугольного радиотелескопа на базе антенных решеток, состоящий из 128 элементов. Каждый элемент представляет собой скрещенные диполи, рабочий диапазон 35–75 МГц. Антенные элементы объединены в модули по 16 штук, таких модулей 8, и они расположены на площади $47 \text{ м} \times 47 \text{ м}$.

В докладе представлены результаты измерений диаграммы направленности и эффективной площади каждого модуля и макета в целом. Измерения проводились с использованием интерферометрических наблюдений источников космического излучения. Ширина луча диаграммы направленности каждого из восьми модулей в рабочем диапазоне частот меняется от 28.2° до 14.4° . Оценки эффективной площади модулей дают значения в пределах 110–130 м². Суммарная эффективная площадь макета в целом составляет около 1000 м² на волнах больше 5 м. Ширина луча макета в пределах рабочего диапазона меняется от 9.4° до 4.8° .

Быстрый способ поверки точных астрономических калибраторов и шкал плотности потока радиоизлучения

А. Н. Ермаков¹, Ю. А. Ковалев¹, Ю. Ю. Ковалев^{1,2}, В. А. Согласнов¹,
В. И. Васильков¹, М. М. Лисаков^{2,1}, Ю. В. Сотникова³, Л. Н. Вольвач⁴,
П. Г. Цыбулев³

¹АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

²MPfR, г. Бонн, Германия

³САО РАН, пос. Нижний Архыз, Россия

⁴КраО РАН, от. Симеиз, Россия

Если в радиоастрономических измерениях используется один калибратор со спектральной плотностью потока F (в ед. Янский), позже скорректированной в F_0 , то поправочный множитель K ко всем откалиброванным значениям равен $K=F_0/F$. Но если калибраторов несколько (как, например, на РАТАН-600 САО РАН или КРТ «РадиоАстрон»), то может возникать проблема перекалибровок.

В докладе предложен простой способ взаимной поверки первичных и вторичных калибраторов для полноповоротных радиотелескопов. Для индикации относительной точности плотностей потоков F_i при такой поверке используется стандартный генератор шумового сигнала, обычно применяющийся для калибровки телескопа. Метод апробирован на калибровках КРТ относительно Краба и Кассиопеи А в диапазонах 6.2, 18 и 92 см в 2015–2018 гг. [1–2] Планируется его использование на РТ-22 КраО РАН для поверки 10–15 вторичных калибраторов РАТАН-600 в диапазоне 22–37 ГГц. При некоторых условиях метод применим на любых полноповоротных наземных радиотелескопах.

Литература

1. Ковалев Ю. А., Васильков В. И., Ермаков А. Н. и др. Проект «РадиоАстрон». Калибровка космического телескопа в полете в диапазонах 6.2, 18 и 92 см в 2015–2018 гг. // Труды ИПА РАН. 2020. Вып. 54. С. 32–39.
2. Ермаков А. Н., Ковалев Ю. А., Васильков В. И.. Автоматизация обработки юстировочных измерений и применение ее к калибровкам космического телескопа Спектр – РадиоАстрон в диапазонах 6.2, 18 и 92 см в 2015–2019 гг. // В сб.: 18-я КМУ Финдамент. и прикладн. космические исследования / ред. А. М. Садовский. 2021. С. 31–45.

Проект VGOS: достижения и перспективы

В. Е. Жаров^{1,2}

¹физфак МГУ, г. Москва, Россия

²ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия

Глобальная РСДБ-система наблюдений (VLBI Global Observation System – VGOS, раньше – VLBI2010) разрабатывается Международной РСДБ-службой (IVS) как геодезическая система РСДБ нового поколения. Проект VLBI-2010 был предложен рабочей группой в 2005 г. и незначительно переработан в 2009 г. [1–2].

За годы выполнения этого проекта можно подвести некоторые итоги. В докладе рассказывается о достижениях при реализации проекта, технологических и техногенных проблемах, результатах наблюдений на радиотелескопах нового поколения.

Литература

1. Niell A., Whitney A., Petrachenko B., et al. VLBI2010: Current and Future Requirements for Geodetic VLBI Systems // 2005 IVS Annual Report. 2006. P. 13–40.

2. Petrochenko B., Niell A., Behrend D., et al. Design aspects of the VLBI2010 system // Progress Report of the IVS VLBI2010 Committee. NASA/TM-2009-214180. 2009.

Миллиметровая и субмиллиметровая астрономия: достижения и перспективы

И. И. Зинченко

ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

Миллиметровая и субмиллиметровая астрономия является важнейшим и часто уникальным источником информации для решения ряда актуальных астрофизических проблем. Многие из них связаны с изучением так называемой «холодной» Вселенной. В основном это межзвёздные газопылевые облака, как в нашей Галактике, так и в далеких объектах. В них происходит процесс звездообразования, многие аспекты которого до сих пор не вполне понятны. Пик их излучения лежит в субмиллиметровом диапазоне. К холодным источникам можно отнести и микроволновый «реликтовый» фон, изучение которого даёт ответы на вопросы космологии. Наряду с изучением холодной Вселенной, миллиметровая и субмиллиметровая астрономия вносит неоценимый вклад и в исследования таких объектов, как активные ядра галактик, которые, судя по всему, представляют собой аккрецирующие сверхмассивные чёрные дыры. Именно в этом диапазоне удается реализовать требуемое сверхвысокое угловое разрешение, а также снизить влияние эффектов рассеяния вдоль луча зрения.

Одним из самых впечатляющих достижений миллиметровой астрономии явились недавно полученные при помощи Телескопа Горизонта Событий (ТГС) изображения «тени» сверхмассивной чёрной дыры (СМЧД) в галактике М87, а также в центре нашей Галактики. ТГС представляет собой глобальную сеть радиотелескопов, работающих в этом диапазоне. В мире активно строятся новые миллиметровые и субмиллиметровые радиотелескопы. При этом в нашей стране вообще нет подобных конкурентоспособных инструментов. В то же время в РФ есть неплохой задел в проведении научных исследований и разработке приёмной аппаратуры. На территории РФ нет площадок, сравнимых по астроклимату в данном диапазоне с лучшими в этом смысле местами на Земле, но есть площадки, где возможны эпизодические наблюдения на волнах до 0.8 мм и, возможно, короче.

Строительство хотя бы одного субмиллиметрового телескопа диаметром 15–20 м позволит значительно повысить уровень проводимых в стране астрофизических исследований и включиться в международные проекты. Обсуждаются возможные задачи и пути создания таких инструментов.

Работа поддержана грантом РФФ 22-22-00809

Приемная система солнечного радиотелескопа РТ-1.8

М. Б. Зотов, Ю. В. Векшин, А. С. Лавров, Е. Ю. Хвостов,
В. С. Черников, В. К. Чернов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Исследования солнечной активности имеют большое значение как для понимания фундаментальных процессов, происходящих в звёздах, так и для анализа околоземного космического пространства и прогнозирования его состояния [1]. Для измерения интенсивности и степени поляризации солнечного излучения на частоте 2.8 ГГц в 2021 г. в ИПА РАН был создан новый радиотелескоп на базе антенны диаметром 1.8 м. Точность наведения и скорость поворота антенной системы РТ-1.8 позволили не только сопровождать Солнце, но и выполнять быстрое сканирование в целях измерения параметров радиотелескопа. Приемная система и система регистрации, разработанные для РТ-1.8, позволяют одновременно регистрировать сигналы двух круговых поляризаций с чувствительностью 0.8 К при времени усреднения 0.1 с [2].

Радиотелескоп РТ-1.8 был установлен в обсерватории «Светлое». По результатам его эксплуатации приемная система была доработана, модернизирована конструкция облучателя и добавлены полосно-пропускающие фильтры. Для обеспечения согласования зеркала с облучателем была доработана конструкция облучающей системы. Для правильной работы поляриметра осуществлена настройка амплитудного баланса. Также была разработана специальная методика измерения эквивалентной шумовой температуры входа приемной системы, которая позволила производить измерения в составе радиотелескопа.

Литература

1. Кузьменко И. В., Михалина Ф. А., Капустин Б. А. Радиотелескоп РТ-2 Уссурийской астрофизической обсерватории: современное состояние и данные наблюдений // Известия вузов. Радиофизика. 2008. Том LI, № 12. С. 1005–1010.
2. Бетень Д. С., Быков В. Ю., Векшин Ю. В и др. Радиотелескоп РТ-1.8 для наблюдений за солнечной активностью // Тезисы докладов девятой всероссийской конференции КВНО-2021. 2021. С. 27.

Унификация трактов преобразования частот для приемных систем радиотелескопа РТ-13

М. Б. Зотов, Ю. В. Векшин, А. С. Лавров, Е. Ю. Хвостов,
В. С. Черников, В. К. Чернов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В ходе развития технологии РСДБ-приема, сформировалось два основных подхода построения радиоастрономических приемных систем. Первый предполагает многодиапазонный прием на частотах 2.2–2.6 ГГц, 7.0–9.5 ГГц и 28–34 ГГц сигналов левой и правой круговой поляризации [1]. Второе направление — использование широкополосных приемных систем (ШПС), концепция которых сформулирована в спецификации VLBI2010. В этом случае облучателем принимаются линейно поляризованные сигналы в полосе частот 3–16 ГГц, из которой выбираются несколько произвольных участков для дальнейшей обработки и регистрации [2].

Радиотелескопы комплекса Квazar оснащаются приемными системами обоих типов. Эти приемные системы выполнены по схеме супергетеродинного приемника с охлаждаемыми входными облучателем и малошумящими усилителями на входе, а также с разделением на субканалы и последующим одним или двумя частотными преобразованиями. Единство схемы построения позволяет разработать выходные тракты, способные работать в обоих режимах.

Представленная в докладе схема позволяет применить блоки преобразования частот (разработанные для использования в составе ШПС) в трехдиапазонной приемной системе. Это расширит полосу ПЧ трехдиапазонной приемной системы до 2 ГГц и существенным образом упростит дальнейшую эксплуатацию. В докладе представлены результаты разработки макета преобразовательных трактов: его структура, принцип работы и полученные характеристики, измеренные в том числе в составе приемных систем радиотелескопов РТ-13.

Литература

1. Ipatova I., Ipatov A., Mardyshev V. Triband receiving system for the interferometer // VGOS: The New VLBI network. Proc. conf. “IVS 2014 General Meeting” / ed. by D. Behrend, K. D. Baver, K. L. Armstrong. Beijing: Science Press, 2014. P. 118–121.
2. Petrachenko B. Review of VLBI2010 concept and general specifications // IVS VLBI2010 Workshop on Technical Specifications (TecSpec), Bad Kötzing/Wetzell (Germany). 2012.

Спектр радиоизлучения остатка сверхновой 74.9+1.2

В. П. Иванов, А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, Т. С. Андреева

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Остаток сверхновой (ОСН) G74.9 + 1.2 относится к классу F, т. е. принадлежит к числу плерионов. G74.9 + 1.2 представляет собой туманность пульсарного ветра (PWN), внутри которой находится пульсар, обеспечивающий ее активность. Представляет интерес сравнение G74.9 + 1.2 с Крабовидной туманностью. Оба ОСН принадлежат к одному классу объектов, однако находятся на существенно разных стадиях эволюции. Уточнен спектр G74.9 + 1.2 путем приведения опубликованных данных измерений интенсивностей к шкале потоков «искусственная Луна» и исследована динамика его изменений на различных временных шкалах. Спектр ОСН G74.9 + 1.2 представлен двумя степенными участками, определяемыми из соотношения:

$$S = S(f_{0i}) \times \left(\frac{f}{f_{0i}} \right)^{-\alpha_i}$$

где S — плотность потока (Ян), f — частота (МГц), $f_0 = 3500$ МГц, α — спектральный индекс, $i = 1, 2$.

Приводятся данные о параметрах спектра G74.9 + 1.2 и их изменениях во времени.

Уточнение параметров алгоритма расчёта тропосферной задержки по данным локального радиозондирования атмосферы

Г. Н. Ильин, В. Ю. Быков

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Высокоточные измерения тропосферной задержки (ТЗ) радиосигнала средствами дистанционного зондирования атмосферы (радиометр водяного пара, РВП), как известно, требуют привлечения данных о высотных профилях метеопараметров, полученных на ближайших аэрологических станциях. Обработка данных о высотных профилях метеопараметров позволяет получить все необходимые параметры алгоритма расчёта ТЗ и учесть в модели расчёта сезонную изменчивость параметров алгоритма и особенности места расположения средств дистанционного зондирования. Для решения поставленной задачи проведена обработка аэрологических данных за интервал 1–3 года. По результатам обработки данных о высотных профилях метеопараметров определялся требуемый для расчёта ТЗ набор параметров: поглощение в водяном паре, кислороде, средние (взвешенные по поглощению и влажности) температуры атмосферы и др. Большой массив данных позволил построить регрессионные модели ряда параметров алгоритма, более точно (по сравнению с ранее применявшимися моделями) учитывающие их сезонную зависимость.

В докладе приведены результаты моделирования сезонных вариаций поглощения в кислороде, средней температуры атмосферы и других параметров для ряда мест размещения аппаратуры РВП, имеющих резкие климатические отличия — арктический пояс, умеренный и континентальный. Расчёты проводились с помощью специализированного ПО, реализованного на языке Python 3.7. Для метеоусловий обсерваторий РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» приведены результаты сопоставления значений ТЗ, полученных с помощью РВП, средствами РСДБ, ГНСС и ближайших к обсерваториям аэрологических станций.

О результатах наблюдения солнечного затмения 10.06.2021 г. в обсерватории «Светлое» на радиотелескопах РТ-13 и РТ-32 и радиометре водяного пара

Г. Н. Ильин¹, В. Ю. Быков¹, Н. Г. Петерова², Н. А. Топчило³

¹ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

³СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

Приведены результаты комплексных наблюдений солнечного затмения 10.06.2021 г., впервые выполненные в обсерватории «Светлое» с помощью штатного радиометра водяного пара (РВП) совместно с радиотелескопами РТ-13 и РТ-32. Методом сопоставления затменных кривых, полученных на рабочих частотах РВП (20.7 ГГц и 31.4 ГГц), с модельной кривой изменения видимой площади диска Солнца при его покрытии/открытии диском Луны получено высокоточное значение эффективной антенной температуры излучения спокойного Солнца, оказавшееся равным 58.7 ± 2.5 К и 67.1 ± 2.5 К соответственно. На основе измерений в предположении о равномерном распределении радиояркости по диску Солнца получена оценка его яркостной температуры на частотах РВП: $T_v(20.7) = 9060 \pm 380$ К, $T_v(31.4) = 8050 \pm 300$ К, что хорошо согласуется с данными, полученными в разные годы на радиотелескопах разного типа.

Отмечено, что полученные результаты относятся к РВП обсерватории «Светлое», особенность конструкции которого состоит в том, что входящий в его состав первичный облучатель в виде рупорно-линзовой антенны, развернут в горизонтальном направлении. Анализ результатов наблюдений показал необходимость доработки методики калибровки РВП и детального исследования диаграммы направленности антенной системы РВП с целью более точной оценки радиояркостной температуры Солнца. Ближайшую возможность проверки методики калибровки РВП при измерении антенной температуры источника излучения с использованием затменных наблюдений предоставляет затмение 25 октября 2022 г.

Результаты наблюдения солнечного затмения продемонстрировали целесообразность использования РВП в сочетании с параллельными наблюдениями на крупных радиотелескопах.

Сеть радиометров водяного пара ИПА РАН

**Г. Н. Ильин, В. Ю. Быков, А. М. Шишкин,
В. Г. Стэмповский, С. Г. Смоленцев**

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В ИПА РАН интенсивно ведутся работы по совершенствованию аппаратно-программных средств дистанционного зондирования атмосферы (АПС ДЗА) с целью получения в режиме реального времени информации о температурно-влажностных параметрах атмосферы и связанных с ними вариациях во времени поглощения и задержки распространения радиосигнала. Результатом работы стало создание сети АПС ДЗА, размещённых в обсерваториях РСДБ-комплекса «Квазар-КВО». АПС ДЗА обсерваторий состоят из радиометра водяного пара (РВП), температурного профилемера МТР-5 («АТТЕХ», г. Долгопрудный, Московская обл.) и функционального дополнения в виде современных метеостанций для контроля приземных метеопараметров.

Данные АПС ДЗА оперативно передаются в центр анализа и обработки данных ИПА РАН по высокоскоростным линиям связи.

В докладе представлены результаты разработки ряда моделей РВП для применения в различных климатических зонах, включая регион Арктики, приводятся примеры, демонстрирующие результаты измерения ряда параметров атмосферы (влажность, влажностная тропосферная задержка) и их сравнение с данными ГНСС и аэрологических станций.

Обозначены направления дальнейшей работы в части развития сети РВП, совершенствования аппаратных средств, обработки результатов измерений. Обсуждаются направления применения разработанных АПС ДЗА для решения прикладных задач.

Дистанционные, оптические и радиолокационные наблюдения за космическим пространством

А. В. Ипатов¹, Л. А. Ведешин²

¹ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ИКИ РАН, г. Москва, Россия

Оптические и радиолокационные инструменты для дистанционных наблюдений за космическим пространством были разработаны в СССР, США и др. странах в середине прошлого века. В настоящее время в мире существуют две глобальные системы контроля космического пространства: российская и американская SPADATS, которые осуществляют наблюдения за всеми космическими объектами (КО), в том числе за астероидами и кометами, представляющими угрозу человечеству. Российская система контроля космического пространства следит за всеми КО, опираясь на показания системы раннего предупреждения о ракетном нападении, а также данных оптико-электронных средств космического мониторинга ГК Роскосмоса и РАН.

Особенно актуальным это направление стало в последнее десятилетие, в связи с засорением космического пространства фрагментами нефункционирующих космических аппаратов, образовавшимися в результате их разрушения, другими КО, которые влияют на безопасность полётов искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей, орбитальных космических станций и автоматических межпланетных станций. Дальнейшее неконтролируемое засорение космоса, по прогнозам экспертов ООН, к 2050 г. может привести к ограничению использования или временному прекращению запусков КО.

Блок управления и контроля электропривода РТ-32 на базе программируемых логических контроллеров

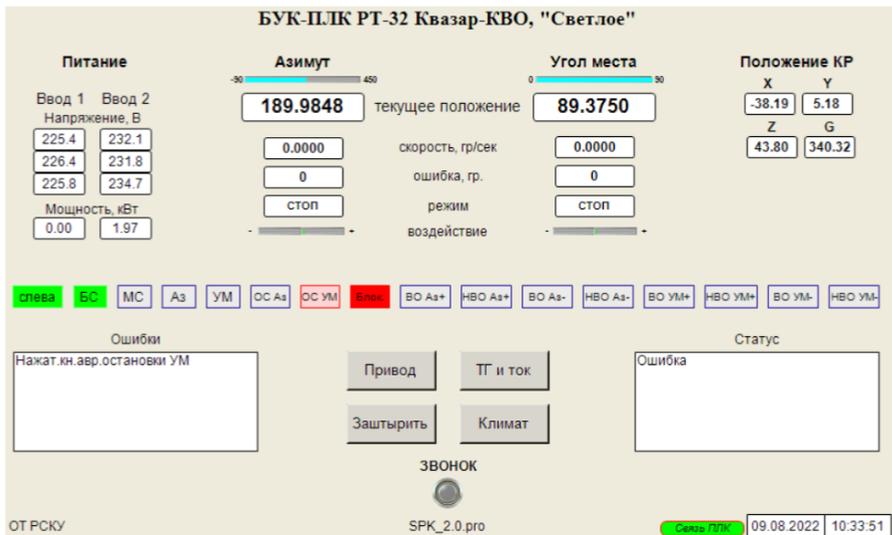
**А. В. Исаенко, А. М. Шишкин, В. Ю. Быков, И. А. Рахимов,
В. Г. Стэмповский**

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Одним из основных инструментов проведения наблюдений комплекса «Квazar-КВО» является полноповоротный прецизионный радиотелескоп с диаметром главного зеркала 32 м (РТ-32). Радиотелескопы оснащены электромеханическими реверсивными приводами постоянного тока, обеспечивающими движение антенны по азимуту и углу места. В результате крупной модернизации системы наведения в 2008 г. установлены рабочая станция контроля и управления на базе промышленного компьютера (РСКУ) и модернизированный блок управления и контроля электропривода (БУК-М) [1]. В 2021 г. обсерватории комплекса «Квazar-КВО» были оснащены системами сбора данных об электроприводе на основе программируемых логических контроллеров (ССД-ПЛК).

В обсерватории «Светлое» разработан и внедрен блок управления и контроля электропривода РТ-32 на базе ПЛК (БУК-ПЛК), который собран на основе ССД-ПЛК. БУК-ПЛК выполнен на элементной базе отечественного производства компании «ОВЕН» (г. Москва). БУК-ПЛК состоит из аппаратно-программных средств контроля, отображения и архивирования данных привода (рисунок). Главным вычислительным ядром является программируемый логический контроллер. Основная задача БУК-ПЛК состоит в управлении распределённой системой электропривода по командам РСКУ, с контролем исправности составных частей на каждом этапе, а также ограничение движения антенны для безопасной работы.

Внедрение БУК-ПЛК в обсерваториях комплекса «Квazar-КВО» позволяет реализовать дополнительные функции безопасности, управления и контроля электропривода, повышает надежность, сокращает время поиска неисправностей и снижает риск возникновения нештатных ситуаций. Кроме того, БУК-ПЛК будет интегрирован в существующий автоматизированный комплекс контроля и управления (АККУ-М) [2] объектов и систем жизнеобеспечения обсерватории «Светлое».



Основное окно БУК-ПЛК

Литература

1. Кайдановский М. Н., Белоусов Н. Ю., Быков В. Ю. и др. Система наведения радиотелескопа RT-32 // Приборы и техника эксперимента. 2012. № 3. С. 63–74.
2. Исаенко А. В. Рахимов И. А., Тарасов В. А. Автоматизированный комплекс контроля и управления объектов и систем жизнеобеспечения обсерватории «Светлое» // Труды ИПА РАН. 2016. Вып. 37. С. 76–85.

Радиоизлучение пульсароподобных белых карликов

Н. Р. Ихсанов^{1,2}

¹ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Пульсароподобные белые карлики составляют наиболее молодой и пока еще немногочисленный подкласс магнитных взрывных переменных [1–2]. В его состав входят два источника, АЕ Водолея и АР Скорпиона [3], и несколько возможных кандидатов. Эти объекты входят в состав тесных двойных систем, в которых их компаньоном является красный карлик. Их излучение носит нестационарный характер и наблюдается почти во всех диапазонах электромагнитного спектра от радио до рентгена. Радиоизлучение этих источников имеет нетепловую природу и по ряду признаков напоминает радиоизлучение галактических микроквazarов и пульсаров, составляющих общую подгруппу с пульсаром в Крабовидной туманности. В своем докладе я суммирую известные на сегодня параметры этих объектов, характеристики и возможные механизмы генерации их излучения, а также цели и перспективы исследования этих источников в радиодиапазоне.

Литература

1. Ikhsanov N. R. The pulsar-like white dwarf in АЕ Aquarii // *Astronomy and Astrophysics*. 1998. Vol. 338. P. 521–526.
2. Ихсанов Н. Р. Бескровная Н. Г. АЕ Водолея как представитель нового подкласса взрывных переменных // *Астрономический журнал*. 2012. Т. 89, № 8. С. 659–673.
3. Marsh T. R., Gänsicke B. T., Hümmelich S., et al. A radio pulsing white dwarf binary star // *Nature*. 2016. Vol. 537. № 7620. P. 374–377.

Реализация алгоритма Multi-scale CLEAN в программном пакете Astro Space Locator

Л. Е. Кац

АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

Для решения задачи восстановления радиоинтерферометрических изображений хорошо известен алгоритм CLEAN [1]. Однако этот метод наиболее эффективен для изображений, состоящих из разреженного набора дельта-образных источников, и существует его обобщение — Multi-scale CLEAN, впервые описанный в работе [2] и усовершенствованный в [3]. В данном методе наблюдаемый объект представляет собой набор не только точечных источников, но и протяженных, у каждого из которых характерный размер выбирается из заданного фиксированного множества — масштабов. В таком подходе получается сохранить скорость работы CLEAN и небольшое количество необходимых вычислительных ресурсов.

Данный доклад посвящен реализации алгоритма Multi-scale CLEAN в программном пакете ASL, условиям сходимости метода, различным существующим способам выбора весовой функции (scale bias) — эвристики, с помощью которой на каждой итерации выбирается масштаб для очередной компоненты.

Литература

1. Högbom, J. A. Aperture synthesis with a non-regular distribution of interferometer baselines // *Astronomy and Astrophysics Supplement*. 1974. Vol. 15. P. 417.
2. Cornwell, T. J. Multiscale CLEAN deconvolution of radio synthesis images // *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*. 2008. Vol. 2. P. 793–801.
3. Offringa, A., Smirnov, O. An optimized algorithm for multi-scale wideband deconvolution of radio astronomical images // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2017. P. 471.

Сибирский радиогелиограф – солнечный радиотелескоп нового поколения

С. В. Лесовой¹, А. Т. Алтынцев¹, А. В. Губин¹, М. В. Глоба¹,
С. А. Анфиногентов¹, А. А. Кузнецов¹, О. Ю. Сваровский²,
М. В. Осипов², Д. А. Сипайлов²

¹ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

²НПФ Микран, г. Томск, Россия

Современные задачи наблюдательной солнечной радиоастрономии сформулированы во многих работах [1]. Они сводятся с точки зрения наблюдений к получению спектров радиоизлучения в каждой точке солнечного диска с высоким пространственным разрешением (до нескольких угловых секунд), с высоким временным разрешением (до 1 с), с широким динамическим диапазоном входного сигнала (не менее 30 дБ). Для наблюдения слабоконтрастных событий во время вспышек, например корональных выбросов массы, необходим высокий динамический диапазон изображения, обусловленный высокой точностью калибровки антенных коэффициентов передачи. Соединение всех этих требований в одном инструменте является непростой технической задачей. В данном докладе представлено описание Сибирского радиогелиографа (СРГ) и приведены результаты тестовых наблюдений, показывающие, что СРГ удовлетворяет современным требованиям наблюдательной радиоастрономии.

СРГ состоит из трех Т-образных антенных решеток, работающих в диапазонах 3–6, 6–12 и 12–24 ГГц. Функционально СРГ соответствует прототипу радиогелиографа, созданного в ИСЗФ и подробно описанного в [2–3]. Текущее состояние СРГ отражено в [4]. В докладе приводятся примеры наблюдения выбросов корональной массы и примеры измерения корональных магнитных полей гирорезонансных источников микроволнового излучения.

Литература

1. Gary D. E., Fleishman G. D., Nita G. M. Magnetography of solar flaring loops with microwave imaging spectropolarimetry // *Solar Physics*. 2013. Т. 288. С. 549–565. doi:10.1007/s11207-013-0299-3.
2. Lesovoi S. V., Altyntsev A. T., Ivanov E. F., Gubin A. V. The multifrequency Siberian radioheliograph // *Solar Physics*. 2012. Vol. 280. P. 651–661. doi: 10.1007/s11207-012-0008-7.
3. Lesovoi S. V., Altyntsev A. T., Ivanov E. F., Gubin A. V. A 96-antenna radioheliograph // *Research in Astronomy and Astrophysics*. 2014. Т. 14, Вып. 7. С. 864–868. doi:10.1088/1674-4527/14/7/008.
4. Алтынцев А. Т., Лесовой С. В., Глоба М. В. и др. // *Солнечно-земная физика*. 2020. Т. 6, Вып. 2. С. 30–40. doi:10.12737/stp-62202003.

Повышение точности измерения поверхности адаптивных зеркал радиотелескопов субмиллиметрового диапазона

А. О. Ляховец

АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

Для радиотелескопов субмиллиметрового диапазона необходима точность поверхности зеркала порядка единиц микрон. Такую же точность должны обеспечивать алгоритмы и механизмы адаптации. Следовательно, встает задача измерения поверхности зеркала с точностью лучшей в несколько раз.

В работе описан метод повышения точности измерения поверхности, реализованный в разработанном в АКЦ ФИАН комплексе программ AstroMagick. Метод основан на уменьшении случайных погрешностей измерений путем осреднения нескольких измерений поверхности. Метод используется при изготовлении матриц и панелей главного зеркала космической обсерватории Миллиметрон [1–4], а также при обработке алгоритмов адаптации оптической системы Миллиметрон [4].

Приведены результаты обработки по описанному методу реальных измерений поверхностей матриц и панелей на контрольно-измерительной машине и результаты обработки моделированных измерений.

Литература

1. Кардашёв Н. С. Андреев В. В., Буякас В. И. и др. Проект «Миллиметрон» // Труды ФИАН. 2000. Т. 228. С. 112.
2. Smirnov A. V., Baryshev A. M., Pilipenko S. V., et al. Space mission Millimetron for terahertz astronomy // Proc. SPIE. Space Telescopes and Instrumentation 2012: Optical, Infrared and Millimeter Wave. 2012. Vol. 8442. P. 1456–1464. doi: 10.1117/12.927184.
3. Golubev E. S. Kotsur E. K., Arkhipov M. Yu., et al. Primary mirror panels of the Millimetron Space Observatory // Proc. SPIE. Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation IV. 2020. Vol. 11451. P. 135–147. doi: 10.1117/12.2562838.
4. Lyakhovets A. O. Andrianov A. S., Arkhipov M. Yu., et al. AstroMagick: software for controlling and adapting the surface of the main mirror of the Millimetron space observatory // Proc. VAK-2021 conf. Astronomy at the Epoch of Multimessenger Studies. 2021. doi: 10.51194/VAK2021.2022.1.1.013.

Результаты моделирования многолучевых диаграмм направленности и поля изображения ESMT в фокусе Кассегрена на волне 2–3 мм

Г. А. Макоев, В. Б. Хайкин

САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Оптимальные диапазоны работы Eurasian SubMM Telescopes (ESMT) [1] в РФ и Узбекистане — 100–350 ГГц, на Тибете — 100–1500 ГГц, а достижимое поле зрения составляет $10' \times 10'$. Как показало механическое и тепловое моделирование, выполненное EIE Group, диаметр антенны ALMA для проекта ESMT можно увеличить до 15 м, применив масштабирование конструкции, но, чтобы увеличить диаметр антенны до 21 м, требуется оптимизация оптической схемы и ферменного каркаса телескопа [2]. Для реализации широкого поля зрения $10' \times 10'$ предложено применить многоволновые (многоцветные) KID матрицы предельной чувствительности с числом пикселей 104 [3]. Выполненное оптическое моделирование показало, что с третичной оптикой в составе двух/трех асферических зеркал достижимо число Штреля 0.6/0.9 на длине волны 0.86 мм на краю поля зрения $10' \times 10'$ [1]. Коэффициент увеличения $m = 3$ такой антенной системы является оптимальным для согласования поля изображения с максимальным физическим размером матрицы KID камеры 125×125 мм и снижения в нем aberrаций, включая кривизну поля изображения (КПИ). Это дает дифракционное изображение точечного источника, расположенного в дальней зоне телескопа с радиусом диска Эйри $r = 3.1$ мм на волне 0.86 мм [1]. Для волн короче 0.86 мм предложено применить более сложную оптическую систему с двумя асферическими зеркалами и корректирующей линзой из полимерного материала (полиметилпентен, ZEONEX и т. п.) или монокристаллического высокоомного кремния с полимерным просветляющим покрытием [1].

Цель данной работы — получить многолучевые двумерные ДН ESMT в диапазоне 2–3 мм и размер поля изображения в схеме Кассегрена с вторичным зеркалом $d = 1.8$ м и $m = 10$, что позволит оценить возможности использования малоформатных матриц в фокусе Кассегрена ESMT для антенных измерений и калибровочных наблюдений. Методом прямого интегрирования апертурного поля (IAF) с помощью быстрого алгоритма двумерного численного интегрирования в среде Matlab построены трехмерные и двумерные многолучевые ДН ESMT в поле зрения $10' \times 10'$, которому соответствует размер поля изображения в фокусе Кассегрена 250×250 мм, что в 2 раза превышает максимально достижимый размер KID матрицы. При этом все полевые aberrации незначительны кроме КПИ, что требует искривления приемной матрицы данного и большего размера. Размер поля изображения с допустимой КПИ в фокусе Кассегрена ESMT на волне 2–3 мм составляет ± 75 –100 мм, что позволяет разместить плоскую приемную матрицу 7×7 элементов в волноводном исполнении с шагом 25 мм на волне 2 мм

и 5×5 элементов с шагом 40 мм на волне 3 мм. Использование широкоформатных матриц с числом элементов 102 и более на волне 0.86 мм и короче требует применения 2-зеркальной асферической третичной оптики с линзой для оптического согласования поля изображения с физическим размером матрицы, исправления КПИ, коматической, астигматизма и других видов аберраций.

Литература

1. Хайкин В. Б., Шиховцев А. Ю., Шмагин В. Е. и др. О проекте евразийских суб-миллиметровых телескопов (ESMT) и возможности применения адаптивной оптики для улучшения качества субмм изображений. Журнал радиоэлектроники. 2022. № 7. doi: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.7.9>.
2. Marchiori G., Rampini F., Tordi M., et al. Towards the Eurasian submillimeter telescope (ESMT): telescope concept outline and first results // Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Proc. of the All-Russian Conf. held 21–25 September 2020, Nizhny Arkhyz. 2020. P. 378–383.
3. Duan R., Li Z., Zhang L., et al. KID based sub-millimeter instrument for Eurasian Sub-Millimeter Telescopes // Proc. All-Russian Conf. “Terrestrial astronomy in Russia. XXI century”, Nizhny Arkhyz. 2020. P. 384–389. doi: [10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_384](https://doi.org/10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_384).

Модернизация системы преобразования сигналов радиотелескопа РТ-32 обсерватории «Светлое»

**Д. А. Маршалов, А. С. Бердников, С. А. Гренков, Л. В. Федотов,
Ю. С. Шейнман, А. Г. Михайлов, А. Б. Устинов, И. А. Рахимов,
А. В. Исаенко**

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

С 2011 г. по настоящее время на 32-метровых радиотелескопах (РТ-32) радионтерферометрического комплекса «Квазар-КВО» успешно эксплуатируются отечественные системы преобразования сигналов P1002M [1]. За счет применения цифровой обработки сигналов на видеочастотах (до 32 МГц) система позволила заметно сократить инструментальные потери, возникающие при преобразовании сигналов [2]. Развитие элементной базы и методов обработки сигналов позволили создать более совершенную многофункциональную систему преобразования сигналов (МСПС), выполняющую обработку сигналов в диапазоне промежуточных частот (до 2 ГГц) в цифровом виде [3]. МСПС построена по модульному принципу, имеет широкие возможности по переконфигурации режимов работы за счет используемых в своем составе программируемых логических интегральных схем, а конструктивное исполнение системы обеспечивает ее размещение на подвижной части антенны. С 2020 г. опытный образец МСПС штатно эксплуатируется на 13-метровом радиотелескопе обсерватории «Светлое» комплекса «Квазар-КВО» [4–5].

В текущем году начаты работы по модернизации системы преобразования сигналов радиотелескопа РТ-32 обсерватории «Светлое». Для размещения на антенне РТ-32 потребовалась незначительная модификация аппаратных и расширение программных средств МСПС, а также сопряжение с другими системами и комплексами. В работе представлены сделанные в системе изменения и текущие результаты.

Литература

1. Маршалов Д. А., Носов Е. В., Федотов Л. В. Системы преобразования сигналов радионтерферометрического комплекса «Квазар-КВО» // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. 2014. № 4(56). С. 81–87.
2. Федотов Л. В., Носов Е. В., Бердников А. С. и др. Эффективность замены аналоговых систем преобразования сигналов на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО» системой P1002M с цифровой обработкой сигналов // Труды ИПА РАН. 2012. Вып. 23. С. 218–223.
3. Nosov E., Marshalov D., Fedotov L., Sheynman Y. Multifunctional digital backend for quasar VLBI network // Journal of Instrumentation. 2021. Vol. 16. no 5. P. P05003. doi: 10.1088/1748-0221/16/05/P05003.

4. Бондаренко Ю. С., Маршалов Д. А., Носов Е. В., Федотов Л. В. Практика применения многофункциональной системы преобразования сигналов на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО» // Труды ИПА РАН. 2021. Вып. 57. С. 3–9. doi: 10.32876/AplAstron.57.3-9.

5. Маршалов Д. А., Носов Е. В., Федотов Л. В., Шейнман Ю. С. Многофункциональная система преобразования сигналов для радиотелескопа РТ-13 в обсерватории «Светлое» // Труды ИПА РАН. 2021. Вып. 56. С. 39–47. doi: 10.32876/AplAstron.56.39-47.

Учет кабельной задержки радиотелескопов РТ-13 по данным фазовых компараторов

В. Ю. Мишин, А. В. Вытнов, А. С. Карпичев, Е. А. Скурихина

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Высокая точность, необходимая для аблюдений VGOS требует учета кабельной задержки [1]. Доклад посвящен определению кабельной задержки по данным фазовых компараторов в составе системы контроля синхронизации радиотелескопов РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» [2].

В докладе проводится анализ данных фазовых компараторов VCH-315 на месячном интервале времени. Выполнены оценка стабильности измерений, влияние температуры окружающей среды и температуры внутри кабины телескопов РТ-13 на кабельную задержку.

Приведено влияние кабельной задержки радиотелескопов «Бадары» и «Зеленчукская» на результаты астрометрических часовых и суточных сессий РСДБ-наблюдений.

Литература

1. P. García-Carreño, J. González-García, Patino-Esteban M., et al. New ca-ble delay measurement system for VGOS stations // Sensors. 2022. Vol. 22, Iss. 6. doi: 10.3390/s22062308.
2. Вытнов А. В., Иванов Д. В., Махнач А. А., Карпичев А. С., Царук А. А. Система контроля синхронизации радиотелескопов РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» // Труды Института прикладной астрономии РАН. 2018. Вып. 47. С. 12–22.

Автоматизированная система контроля положения облучателя радиотелескопа РАТАН-600

И. Д. Николаев, А. С. Янжура

ООО «Промгеодезия», г. Санкт-Петербург, Россия

Радиоастрономический телескоп академии наук РАТАН-600 является одним из крупнейших функционирующих в мире радиотелескопов. На нем проводятся наблюдения за объектами Солнечной системы, исследования квазаров и радиогалактик, радиоизлучения Солнца и др. Главное зеркало радиотелескопа диаметром 576 м состоит из пластин, которые отражают полученный сигнал на один из контррефлекторов, установленных на передвижных кабинах. Для реализации программы наблюдений кабину с контррефлектором необходимо позиционировать путем перемещения по рельсовому пути несколько раз в течение всего сеанса наблюдений. Для замены способа позиционирования кабины «вручную» с помощью землемерной ленты была разработана автоматизированная система позиционирования облучателя фотограмметрическим методом. Система прошла испытания на уровне макета и была испытана на облучателе № 2 радиотелескопа РАТАН-600 в апреле 2021 г.

В докладе приводится описание структуры системы позиционирования, подробно рассматривается математический аппарат и суть фотограмметрического метода позиционирования. Приводятся результаты испытаний и анализ достигнутой точности позиционирования.

Литература

1. Stanke G., Zedler L., Zorn L., et al. Sub-pixel accuracy by optical measurement of large automobile components // IECON '98. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 1998. doi: 10.1109/IECON.1998.724107.
2. Trujillo-Pino A., Krissian K., Alemán-Flores M. Accurate subpixel edge location based on partial area effect // Image and Vision Computing. 2013. Vol. 31, Iss. 1. P. 72–90. doi: 10.3390/s22062308.

Метод когерентной компенсации помехи с применением дополнительного канала приема для радиотелескопов радиоинтерферометрического комплекса «Квazar-KBO»

В. П. Обрученков¹, Н. П. Борненко²

¹ВКА им. А.Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

² 1-й Государственный испытательный космодром МО РФ, г. Норильск, Россия

В настоящее время развитие сотовой связи и расширение жилого массива вблизи обсерватории «Светлое» в Ленинградской области оказывает существенное влияние на сеансы наблюдений [1]. Качество данных наблюдений определяется отношением сигнал/шум, а оно, в свою очередь, зависит от уровня мешающих сигналов и помех, попадающих в полосы приема антенны радиотелескопа. В связи с данными обстоятельствами сохранение помеховой обстановки на приемлемом уровне для работы радиоэлектронных систем радиотелескопов — задача, которая актуальная на сегодняшний день и будет актуальна в будущем.

Для решения данной проблемы рассматривается один из методов адаптивной фильтрации — когерентная компенсация помехи с применением дополнительного канала приема (ККП) [2] для совместного использования с радиотелескопами радиоинтерферометрического комплекса «Квazar-KBO».

С помощью средств компьютерного моделирования [3] было установлено, что применение алгоритма ККП с преобразованием Гильберта может повысить помехоустойчивость радиотелескопов РТ-32 в несколько раз. Для работы системы ККП с радиотелескопами РТ-32 радиоинтерферометрического комплекса «Квazar-KBO» предлагается:

- внедрить дополнительный канал для приема помехи: при этом коэффициент усиления основного лепестка диаграммы направленности антенны (ДНА) дополнительного канала должен быть в несколько раз выше коэффициента усиления боковых лепестков ДНА основного канала, а амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики приемных комплексов дополнительного и основного каналов — как можно более идентичны друг другу;

- модифицировать цифровую систему преобразования сигналов Р1002М: внедрить модуль обработки сигналов алгоритмом ККП на основе ПЛИС с 2 парами входов для основного и дополнительного каналов либо модифицировать цифровой видеоконвертор Р1205М входами дополнительного канала и внедрением в структуру ПЛИС алгоритма ККП;

- изменить технологию проведения сеансов наблюдений: до проведения сеансов сканировать местность на определение местоположения помеховых сигналов, выбирать из их числа самый вредный, ориентировать антенну дополнительного канала на помеху.

Для реализации системы синхронизации и алгоритма ККП предлагается использовать технологию ПЛИС с системами на кристаллах для проведения необходимой переконфигурации работы системы ККП.

Использование данного метода может уменьшить необходимость взаимодействия с радиочастотными службами для проведения мероприятий ограничительного характера на параметры радиоэлектронных средств постановщиков помех на территории, примыкающей к радиотелескопам РСДБ-комплекса «Квазар-КВО».

Литература

1. Андреева Т. С., Исаенко А. В., Царук А. А. и др. Помеховая обстановка в обсерватории «Светлое» // Труды ИПА РАН. 2019. Вып. 48. С. 3–9.
2. Борненко Н. П., Бянкин А. А., Обрученков В. П. Метод когерентной компенсации помехи с применением дополнительного канала приема в радиотелеметрических наземных приемно-регистрирующих станциях // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы — модели, анализ и управление. № 4/1. 2021. С. 65–72.
3. Борненко Н. П., Бянкин А. А., Обрученков В. П. Программный комплекс моделирования радиолиний информационно-телеметрических систем. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (RU2021613338).

Особенности формирования диаграммы направленности антенны БСА ФИАН с использованием матриц Батлера

В. В. Орешко

ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пущино, Россия

В работе рассмотрены вопросы формирования диаграммы направленности фазированной антенной решетки радиотелескопа БСА ФИАН с использованием матриц Батлера 16×16 . Показана частотная зависимость положения лучей в пространстве. Приведены примеры моделирования диаграммы направленности в зависимости от частоты и экспериментальное подтверждение модельных расчетов по наблюдениям отдельных источников. Рассмотрена зависимость амплитуды гармоник основного луча антенны от первого этажа фазирования, амплитуда гармоник может достигать 10 % от основного луча, превышая уровень боковых лепестков. Показано влияние положения электрической оси антенны на гармоники главного луча, формируемого на первом этаже фазирования антенны, а также на диаграмму направленности антенны в целом. Приведены примеры регистрации мощных радиоастрономических источников в кратных гармониках главного луча. Учет особенностей диаграммы направленности фазированной антенной решетки радиотелескопа БСА ФИАН, формируемой с использованием матриц Батлера 16×16 , является критически необходимым при поиске пульсаров и транзиентов, при отождествлении слабых источников.

Литература

1. Орешко В. В., Латышев Г. А., Алексеев И. А. и др. Новая многолучевая диаграмма направленности радиотелескопа БСА ФИАН // Труды ИПА РАН. 2012. Вып. 24. С. 80–86.
2. Воскресенский Д. И., Гостюхин В. Л. и др. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток). М.: Радио и связь, 1981. 432 С.

Радиотелескопы ПРАО АКЦ ФИАН: научные задачи, возможности и перспективы

В. В. Орешко

ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пушкино, Россия

В составе Пушинской радиоастрономической обсерватории имени В.В. Виткевича АКЦ ФИАН три радиотелескопа: РТ-22, ДКР-1000 и БСА. В настоящее время эффективно работающими являются радиотелескопы РТ-22 и БСА. Радиотелескоп ДКР-1000 неисправен, стоимость его ремонта и модернизации сопоставима со стоимостью создания нового радиотелескопа метрового диапазона длин волн.

Полноповоротный радиотелескоп РТ-22 с диаметром рефлектора 22 м используется в основном для спектральной радиоастрономии. Исследование областей звездообразования по наблюдениям атомарных и молекулярных радиолиний является главной научной задачей при работе на РТ-22. Спектральные приемные комплексы радиотелескопа работают в диапазонах 36, 22 и 0.4 ГГц. Ряды наблюдений для мазеров в линии водяного пара являются одними из наиболее длинных рядов наблюдений радиоастрономических источников для мировой практики. В перспективе планируется оснащение радиотелескопа спектральным приемным комплексом диапазона 6.7 ГГц. Рассматривается вопрос о наблюдении источников с использованием радиометров полной мощности в сантиметровом диапазоне радиоволн.

Радиотелескоп БСА работает в диапазоне 109–112 МГц, является пассажным инструментом, антенна радиотелескопа представляет собой фазированную антенную решетку из 16384 диполей. Радиотелескоп дает возможность продвигаться в таких научных направлениях, как исследования пульсаров, межзвездной и межпланетной плазмы. В настоящее время функционируют две независимые диаграммообразующие системы радиотелескопа БСА: управляемая 16-лучевая, с переключением лучей в секторе склонений источников от -12 до $+87$ градусов, и многолучевая (128 лучей), перекрывающая сектор склонений от -9 до $+55$ градусов. Многолучевая диаграмма работает непрерывно, обеспечивая круглосуточный мониторинг неба, что позволяет использовать данные наблюдений для исследования динамики межпланетной плазмы, поиска новых пульсаров, радиовсплесков и других нестационарных событий.

Поиск радиисточников со значительным изменением координат

А. А. Осетрова¹, О. А. Титов², А. Е. Мельников³

¹СПБГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

²Geoscience Australia, Canberra, Australia

³ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

В работе проанализированы временные ряды координат радиисточников, вычисленные из РСДБ-наблюдений в 1993–2021 гг., в том числе с использованием данных, полученных по программе Ru-A, с участием радиотелескопов РСДБ-комплекса «Квазар-КВО».

Стабильность координат внегалактических радиисточников (в пределах 2 мс дуги) позволяет использовать их как реперные точки в каталоге ICRF. При этом точность определения координат 303 «опорных» объектов каталога ICRF3 составляет 30 мкс дуги.

Недавно были обнаружены радиисточники, чьи координаты изменяются гораздо сильнее (20–130 мс) на интервале времени от 3 до 30 лет [1]. Наблюдение таких источников приведет к существенной потере точности геодезических параметров и даже невозможности обработки эксперимента.

По результатам анализа РСДБ-наблюдений за 1993–2021 гг. нами было выделено три типа нестабильности радиисточников:

1. значительное собственное движение,
2. резкий разрыв в координатах («ступенька»)
3. «отскакивающая» первая или последняя точка.

По результатам анализа наблюдений обнаружены 56 радиисточников, которые показывают различные типы астрометрической нестабильности. Использование этих объектов для некоторых экспериментов, например, для определения поправок к всемирному времени (UT1-UTC) может привести к значительному ухудшению полученных результатов.

Литература

1. Titov O., Frey S., Melnikov A., et.al. Unprecedented change in the position of four radio sources // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2022. Vol. 512, Iss. 1. P. 874–883.

Состояние технических средств ГМЦ ГСВЧ, задействованных в определении ПВЗ по РСДБ измерениям

С. Л. Пасынок¹, С. Ю. Антропов¹, В. Е. Жаров²

¹ФГУП «ВНИИФТРИ», г. п. Менделеево, Московская обл., Россия

²ГАИШ МГУ, г. Москва, Россия

Согласно Постановлениям Правительства РФ № 225 и № 323 Главный метрологический центр Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) помимо прочего осуществляет оперативную деятельность по формированию и распространению официальных данных о ПВЗ. Последние формируются как результат совместной обработки данных о ПВЗ различных видов измерения (РСДБ, СЛД, ГНСС), полученных в Российских центрах обработки и анализа данных (ЦОАД), в том числе значения ПВЗ, определённые в ГМЦ ГСВЧ по данным РСДБ-измерений.

В состав технических средств ГМЦ ГСВЧ входят: программный коррелятор ГМЦ ГСВЧ, разработанный в ИПА РАН и созданный совместными усилиями ИПА РАН и ГМЦ ГСВЧ [1]; отечественный программный комплекс «Ариадна» [2] и зарубежный пакет OCCAM [3], адаптированные в ГМЦ ГСВЧ к условиям оперативной службы [4], а также средства вычислительной техники. В настоящее время эти средства используются в ГМЦ ГСВЧ для оперативной обработки результатов РСДБ-измерений с целью определения ПВЗ.

Литература

1. Суркис И. Ф., Журавов Д. В., Зимовский В. Ф. и др. Программные корреляторы на графических процессорных устройствах. Результаты обработки РСДБ-наблюдений радиотелескопов РТ-13 // Труды ИПА РАН. 2017. Вып. 43. С. 129–139.
2. Жаров В. Е. Основы радиоастрометрии. М.: Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011. С. 208–224.
3. Titov O., Tesmer V., Böhm J. OCCAM Version 5.0 Software, User Guide, AUSLIG Technical Report 7. AUSLIG, Canberra, 2001.
4. Zharov V., Pasynok S. SAI-VNF VLBI Analysis Center in 2019–2020 // Astrometry IVS 2019–2020 Annual Report, NASA/TP–20210021389, October 2021. P. 258–259.

Помехоустойчивый радиометр ДМ диапазона волн для РАТАН-600 с высоким разрешением по частоте и времени

А. М. Рипак, М. К. Лебедев, В. М. Богод

САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Накопленный в процессе работы на РАТАН-600 опыт борьбы с помехами [1] оказался мало применим при работе на радиотелескопе в диапазоне дециметровых волн (0.75–3 ГГц) из-за ухудшения помеховой обстановки, которое привело к практически полному прекращению наблюдений Солнца. Поэтому задача принимать и выделять очищенный от помех радиоастрономический сигнал является чрезвычайно актуальной.

Авторами предложена система подавления помех на РАТАН-600, основанная на методе частотно-временного подавления помех, выполненного на современной аппаратной базе. Применяется метод цифровой обработки сигналов в широкой полосе частот (не менее 2 ГГц) с высоким разрешением в частотной и временной областях, дополненный исследованием статистических характеристик принимаемых сигналов в реальном времени с целью выделения помеховых составляющих и их адаптивной фильтрации. В мировой практике такие решения существуют и применяются, в частности на радиотелескопе KSRBL (KoreanSolarRadioBurstLocator) в Республике Корея [2]. ВВ практике использования российских радиоастрономических инструментов методы ЦОС успешно применяются в обсерваториях комплекса «Квazar-КВО» (ИПА РАН) для исключения влияния радиопомех [3–4].

Литература

1. Цыбулев П. Г., Берлин А. Б., Нижельский Н. А. и др. Противопомеховая активность на радиотелескопе РАТАН-600 // *Астрофизический бюллетень*. 2007. Т. 62, № 2. С. 208–217.
2. Dou Y., Gary D., Liu Z., et al. The korean solar radio burst locator (KSRBL) // *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*. 2009. Vol. 121, no. 879. P. 512–526.
3. Кольцов Н. Е., Гренков С. А., Федотов Л. В. Спектрально-селективные радиометры с полосами пропускания до 1 ГГц // *Приборы и техника эксперимента*. 2013. Вып. 5. С. 66–71.
4. Гренков С. А., Кольцов Н. Е., Рахимов И. А. Эффективность работы радиометра со спектрально-селективным модулем при воздействии помех. // *Труды ИПА РАН*. Вып. 29. 2014. С. 21–27.

Обобщенный метод треуголки и его применение для построения пульсарной шкалы времени

А. Е. Родин, В. А. Фёдорова

ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пушкино, Россия

На основе попарного сравнения хода индивидуальных пульсарных шкал времени разработан метод для составления рейтинга пульсаров, которые используются для построения групповой пульсарной шкалы (обобщенный метод треуголки). Метод применен к наблюдательным данным хронометрирования пульсаров из американского проекта NANOGrav. Ход построенной групповой пульсарной шкалы в пределах погрешности $\sigma_{\text{ept}} = 0.077$ мкс совпадает с ходом шкалы TT(BIPM2017), относительная нестабильность на интервале 12 лет $\sigma_z = (1.0 \pm 0.9) \cdot 10^{-16}$. На основе величины относительной нестабильности получен верхний предел на относительную плотность энергии стохастического гравитационно-волнового фона, возникшего в ранней Вселенной, на уровне $\Omega_g h^2 = 10^{-13}$ на частоте 2.6×10^{-10} Гц. Верхний предел амплитуды вариаций переменного гравитационного потенциала оценивается величиной $\Psi_c \sim 10^{-16}$ на той же частоте.

Литература

1. Родин А. Е. Обобщенный метод треуголки и его применение для построения групповой пульсарной шкалы времени // Письма в астрономический журнал. 2022. Т. 48, № 6. С. 422–429.

Расчеты затухания радиосигналов в атмосфере по данным радиометра водяного пара

С. Б. Розанов^{1,2}, А. С. Завгородний¹, В. Л. Воронов¹

¹ФГУП «ВНИИФТРИ», г. п. Менделеево, Московская обл., Россия

²ФИАН, г. Москва, Россия

Радиометры водяного пара (РВП), разработанные в ИПА РАН [1], измеряют яркостную температуру неба на частотах 20.7 и 31.4 ГГц и определяют оптические толщины атмосферы на этих частотах, а также интегральные значения влагосодержания атмосферы и водозаписа облаков.

В работе представлены первые результаты расчетов затухания радиосигналов в атмосфере и ее яркостной температуры, полученные по данным РВП, установленного в ФГУП «ВНИИФТРИ» в 2019 г. Расчеты выполнены на основе модели Либе [2–3]. Используются вертикальные профили температуры и давления из стандартной модели атмосферы CIRA-86 и приземные значения метеопараметров РВП. Вертикальный профиль относительной влажности воздуха подбирался так, чтобы полное влагосодержание атмосферы соответствовало значению, определенному в РВП. Средняя высота облачного слоя оценивалась по данным радиозондирования в г. Долгопрудном Московской области (21 км от ФГУП «ВНИИФТРИ») [4].

Для лета 2020 г. рассчитанные затухания и яркостная температура атмосферы на частотах РВП хорошо совпадают с данными прибора. Такая методика расчета будет использована для определения затухания сигналов ГЛОНАСС в атмосфере.

Литература

1. Абсолютный радиометр водяного пара. Руководство по эксплуатации ИЕЛГ 416100.001 РЭ. С.-Петербург: ИПА РАН, 2015.
2. Liebe H. J. MPM — an atmospheric millimeter-wave propagation model // Int. J. IR and MM Waves. 1989. Vol. 10, no. 6. P. 631–650.
3. Liebe H. J., Hufford G. A., Cotton M. G. Propagation modeling of moist air and suspended water/ice particles at frequencies below 1000 GHz // AGARD 2nd Specialists Meeting of the Electromagnetic Wave Propagation Panel. Palma de Mallorca, Spain, 17–20 May 1993. P. 3.1–3.10.
4. The University of Wyoming, Department of Atmospheric Science [Электронный ресурс]. URL: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.

Центр баллистико-навигационного обеспечения космических проектов АКЦ ФИАН

**А. Г. Рудницкий¹, П. Р. Запевалин¹, П. В. Мжельский^{1,2},
Т. А. Сячина¹, М. А. Щуров¹**

¹АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

²НПО им. С. А. Лавочкина, г. Москва, Россия

В Астрокосмическом Центре Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук ведутся работы по созданию единого универсального программно-вычислительного центра баллистико-навигационного обеспечения космических проектов. В перечень задач центра входят расчеты, связанные с проектной баллистикой и высокоточным восстановлением орбит; программная реализация модели задержки для проведения корреляционной обработки данных наблюдений радиоинтерферометров со сверхдлинной базой (РСДБ), в том числе и наземно-космических; универсальный программный комплекс для планирования наземных и наземно-космических РСДБ-наблюдений.

Центр баллистико-навигационного обеспечения космических проектов будет осуществлять баллистическое сопровождение, планирование наблюдений и предоставление необходимой информации для обработки данных космической обсерватории Миллиметрон. При этом в перспективе функционал центра позволит осуществлять поддержку и любых других космических обсерваторий. На данный момент полностью разработана часть программно-вычислительного комплекса, относящаяся к проектной баллистике. С его помощью уже выполнены работы по расчетам номинальной орбиты космической обсерватории Миллиметрон [1]. Активно ведутся работы по созданию новой высокоточной модели задержки для корреляционной обработки РСДБ-наблюдений, разрабатывается программно-вычислительный модуль для максимально точного восстановления орбит космических аппаратов, что обусловлено требованиями при переходе к измерениям на более высоких частотах.

В докладе представлена информация о текущих результатах реализации алгоритмов и программных решений в рамках создания центра баллистико-навигационного обеспечения космических проектов.

Литература

1. Rudnitskiy A. G., Mzhelskiy P. V., Shchurov M. A., et al. Analysis of orbital configurations for Millimetron space observatory // *Acta Astronautica*. 2022. Vol. 196. P. 29–41.

Выявление радиоизлучения каскадных ливней космических лучей высоких энергий в многолетних непрерывных наблюдениях радиотелескопа метровых волн БСА ФИАН

В. А. Самодуров^{1,2}, Р. Д. Дагкесаманский², А. С. Позаненко^{3,1},
А. В. Долгушев⁴, А. Е. Исаев²

¹НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия

²ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пуццино, Россия

³ИКИ РАН, г. Москва, Россия

⁴ООО «Яндекс», г. Москва, Россия

Одной из фундаментальной проблем астрофизики является исследование источников и механизмов образования космических лучей высоких и сверхвысоких энергий [1]. Предполагается, что первичные космические лучи в энергетическом диапазоне 1016–1019 эВ порождаются как галактическими, так и (на более высоких энергиях) – внегалактическими источниками [2]. Один из способов регистрации космических лучей высокой энергии — фиксация излучения, порождаемого ШАЛ (Широкими Атмосферными Ливнями) от проникновения частиц космических лучей в атмосферу Земли.

Известно [3], что максимум излучения от ШАЛ приходится на частоты от 100 до 110 МГц, на которых работает БСА ФИАН. В работе изложена методика и результаты анализа сотен тысяч импульсных сигналов с нулевой дисперсионной задержкой сразу во многих лучах диаграммы БСА для 2012–2020 гг. Проведен анализ таких сигналов и разделение их на различные фракции. Анализ данных показал, что весьма существенная часть этих данных (до десятков процентов от всего массива), по-видимому, генерируется именно ШАВ.

Литература

1. Гинзбург В. Л. Происхождение космических лучей // Успехи физических наук. 1957. Т. 62, № 2. С. 37–98.
2. Урысон А. В. Космические лучи сверхвысоких энергий: возможное происхождение и спектр // ЖЭТФ. 1998. Т. 113, № 1. С. 12–20.
3. Казарина Ю. А. Исследование структуры радиоизлучения каскадного ливня от космических лучей высоких энергий в Тункинском эксперименте. Диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м.н. Иркутский государственный университет. 2015. 104 с.

Статистика обнаружений импульсных сигналов в площадке со склонениями от $+52^\circ$ до $+56^\circ$ на частоте 111 МГц

В. А. Самодуров^{1,2}, С. А. Тюльбашев², М. О. Торопов³, А. В. Долгушев⁴,
В. В. Орешко², С. В. Логвиненко²

¹НИУ ВШЭ, г. Москва, Россия

²ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пушино, Россия

³ООО ТЭК Информ, г. Москва, Россия

⁴ООО «Яндекс», г. Москва, Россия

Отработана методика обработки и проведен поиск импульсных сигналов в новой площадке, включенной с октября 2021 г. в мониторинговую программу по поиску пульсаров и транзиентов на радиотелескопе БСА ФИАН на новой аппаратно-приемной стойке, регистрирующей данные с околоризитных 32 лучей. Ранее на стойке (запущена в декабре 2020 г.) регистрировались только данные с 24 лучей в диапазоне от $+42^\circ$ до $+52^\circ$ по склонениям [1]. Добавление в эту стойку регистраторов для последних 8 из 128 лучей многолучевой диаграммы БСА после ее отладки (с 20.10.2021) позволила включить в наш регулярный обзор наиболее чувствительную часть данных вблизи зенита.

Обработка данных, записанных за несколько месяцев в 6 и 32 частотных каналах с общей полосой 2.5 МГц, показала, что в среднем в каждом из нескольких дополнительно подключенных 8 стационарных лучей наблюдается несколько импульсов в час, имеющих явно космическое, а не помеховое происхождение. Они видны в одном или двух соседних лучах и имеют выраженный дисперсионный сдвиг, т. е. регистрируются сначала на высокой, а потом на низкой частотах, что является признаком прохождения сигнала через межзвездную среду. Большая часть детектированных импульсов принадлежит трем известным пульсарам: J0332+5434, J1509+5531, J2022+5154.

Было также обнаружено более 10 импульсов, принадлежащих вероятному кандидату в новый вращающийся радиотранзиент (RRAT).

Литература

1. Самодуров В. А., Тюльбашев С. А., Торопов М. О., Логвиненко С. В. Статистика обнаружений импульсных сигналов в площадке со склонениями от $+52^\circ$ до $+56^\circ$ на частоте 111 МГц // *Астрономический журнал*. 2022. Т. 99, № 4. С. 334–341.

Синтез антенной системы крестообразного радиотелескопа «шахматной» структуры

Б. В. Семенов^{1,2}, Н. И. Черных²

¹Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²Институт математики и механики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Представлены результаты синтеза 600-метрового крестообразного радиотелескопа (РТ) на базе 81 полноповоротной 15-метровой параболической антенны. Предложена «шахматная» структура расположения антенн в плечах РТ, что позволяет получить лучшие характеристики по сравнению с вариантами РТ, описанными в [1–2]. Найдено оптимальное расположение антенн в РТ, обеспечивающее в 3-кратном диапазоне частот сектор обзора РТ в верхнем полупространстве до $\pm 50^\circ$ без взаимного затенения соседних антенн при возможности электронного сканирования лучом РТ в пределах 5 ширины луча и подавлении дифракционных боковых лепестков до -20 дБ.

С использованием предложенного метода [3] исследованы статистические характеристики диаграммы направленности РТ с учетом возможных ошибок управления, возбуждения и юстировки антенн в составе антенного полотна, реально допустимых на практике. Сформулированы требования к погрешностям юстировки и возбуждения отдельных антенн, исходя из требуемых вероятностных характеристик диаграммы направленности РТ.

Литература

1. Семенов Б. В., Плещев В. М., Черных Н. И. Синтез антенной системы радиотелескопа на базе квази-эквидистантной линейной антенной решетки // Тезисы докл. ВРК-2014, г. Пушино, ПРАО АКЦ ФИАН. С. 68–69.
2. Гусевский В. И., Семенов Б. В., Плещев В. М. Построение антенных полей большой протяженности // Антенны. 2016. № 3 (223). С. 3–9.
3. Семенов Б. В., Черных Н. И. Численное статистическое моделирование характеристик протяженных антенных полей // Труды конф. «Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики» (АПВПМ-2019). Новосибирск: ИВМиМГ СОРАН, 2019. С. 58.

Интерактивный каталог измерений блазаров на RATAN-600

Ю. В. Сотникова¹, М. Г. Мингалиев^{1,2,3}, Т. В. Муфакхаров^{1,2,3}, Р. Ю. Удовицкий¹

¹САО РАН, пос. Нижний Архыз, Россия

²Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

³Шанхайская астрономическая обсерватория, г. Шанхай, Китай

В работе представлен интерактивный каталог многочастотных (1.1–22.3 ГГц) измерений блазаров на RATAN-600: «RATAN-600 multi-frequency catalogue of blazars» [1–4]. Каталог доступен на сайте [5] содержит все типы блазаров в соответствии с классификацией каталога BZCAT [6] и включает измерения более 1700 объектов. В каталоге представлены радиоспектры и кривые блеска блазаров, полученные на RATAN-600 в 2004–2022 гг., доступны для экспорта измерения в радиоконтинууме из баз данных CATS и NED. Предоставлен доступ и статистика основных параметров блазаров: координаты, красное смещение, тип блазара, оптическая величина и радиосветимость. Интерактивно рассчитываются и доступны для экспорта оценки радиосветимостей, спектральных индексов и индексов переменности, производится индикация объектов с переменностью спектральной плотности потока 200 % и выше на частоте 11 ГГц. Каталог систематически пополняется новыми измерениями и является эффективным инструментом для изучения статистических свойств больших выборок блазаров и для исследования радиосвойств отдельных объектов.

Литература

1. Mufakharov T., Sotnikova Y., et al. The RATAN-600 multi-frequency catalogue of blazars // *Astrophysical Bulletin*. 2022 (in prep.).
2. Mingaliev M., Sotnikova Yu., Udovitskiy R. Yu., et al. RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lacertae objects // *Astronomy and Astrophysics*. 2014. Vol. 572. 4 p. doi: 10.1051/0004-6361/201424437.
3. Сотникова Ю., Удовицкий Р., Муфакхаров Т. и др. Государственная регистрация базы данных “RATAN-600 multi-frequency data for blazars, edition 1.3”, Свидетельство №2021621910 от 09.09.2021.
4. Сотникова Ю., Муфакхаров Т., Удовицкий Р. и др. Международная заявка на изобретение «Способ формирования каталога измерений параметров радиоизлучения блазаров». Заявка PCT/RU2021/000473 от 29.10.2021.
5. <https://www.sao.ru/blcat/>.
6. Massaro E., Giommi P., Leto C., et al. Roma-BZCAT: a multifrequency catalogue of blazars // *Astronomy and Astrophysics*. 2009. Vol. 495, Iss. 2. P. 691–696.

Контроль отклонения формы, взаимного положения и ориентации элементов зеркальной системы крупных радиотелескопов методом лазерного сканирования

**Ю. В. Сотникова¹, В. В. Петров², В. О. Медяников²,
В. И. Жаров¹, Г. Е. Васильев²**

¹САО РАН, пос. Нижний Архыз, Россия

²ООО «Промгеодезия», г. Санкт-Петербург, Россия

В докладе рассмотрены методы и оборудование для высокоточного лазерного сканирования элементов зеркальной системы крупных радиотелескопов для определения их соответствия проектной форме, взаимного положения и ориентации.

Высокие значения коэффициента использования поверхности антенных систем напрямую зависят от соответствия отражающей поверхности теоретически обоснованной форме и положению элементов зеркальных систем. Своевременный контроль и юстировка формы и положения отражающих поверхностей напрямую влияют на эффективность работы радиотелескопа. Необходимая точность контроля зависит от частоты принимаемого сигнала и достигает десятых долей миллиметра. Для больших антенных систем, с апертурой десятки и даже сотни метров, проведение измерений с такой точностью является сложной задачей.

Современное высокоточное измерительное оборудование, а также применение новых методик наблюдений с последующей обработкой полученных результатов, позволяет достигать необходимой точности определения отклонений формы и взаимного положения элементов зеркальной системы — до десятых долей миллиметра. К такому оборудованию относится сканирующий абсолютный лазерный трекер Leica ATS600. Этот прибор определяет пространственные полярные координаты — горизонтальные углы, вертикальные углы и наклонные расстояния до точек на исследуемой поверхности в безотражательном режиме. По результатам измерений вычисляют пространственные прямоугольные координаты (X_p , Y_p , Z_p) определяемых точек в системе координат прибора непосредственно на поверхности элементов зеркальной системы радиотелескопа. Затем их перевычисляют в прямоугольную систему координат главного зеркала. На основании полученных данных вычисляют параметры положения и ориентации элементов ЗС.

Высокая скорость и возможность измерения координат точек на поверхности щитов в безотражательном режиме (непосредственно по поверхности) дают возможность работать при различных ориентациях зеркальной системы по углу места. А современные аппаратно-вычислительные комплексы позволяют собирать, обрабатывать и анализировать получаемые данные о форме щитов главного зеркала в режиме реального времени.

Благодаря разработанной методике и специализированной измерительной оснастке данное оборудование показало высокую эффективность при проведении работ по контролю формы главного зеркала крупных антенных комплексов — РА-ТАН-600, П2500, ТНА1500, РТФ32.

Эффект некомпланарности базовых линий для интерферометра SKA-MID

В. А. Столяров

САО РАН, пос. Нижний Архыз, Россия
Кавендишевская лаборатория, Кембриджский университет,
г. Кембридж, Великобритания
КФУ, г. Казань, Россия

Широкоугольные радиоинтерферометры, такие как JVLA, MeerKAT и строящийся SKA, подвержены влиянию абберраций различной природы [1]. Одним из эффектов, вызывающих абберрации, является некомпланарность длинных базовых линий, возникающая из-за кривизны земной поверхности и приводящая к возникновению ненулевой координаты w .

Для компенсации этих абберраций разработаны несколько методов, таких как w -projection, w -snapshots, w -stacking, w -towers и их варианты [1–3]

В докладе кратко рассматриваются основные алгоритмы, используемые для построения широкоугольных изображений, и демонстрируется их работа на модельных данных SKA-MID.

Литература

1. Cornwell T. J., Voronkov M. A., Humphreys B. Wide field imaging for the Square Kilometre Array // Image Reconstruction from Incomplete Data VII. Proceedings of the SPIE. 2012. Vol. 8500. Article id. 85000L. 12 p.
2. Offringa A. R. McKinley B., Hurley-Walker N., et al. WSCLEAN: an implementation of a fast, generic wide-field imager for radio astronomy // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2014. Vol. 444, Iss. 1. P. 606–619.
3. Xie Y.-F, Wang F. Deng H., et al. WS-Snapshot: an effective algorithm for wide-field and large-scale imaging // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2022. Vol. 515, Iss. 2, P. 1973–1981. doi: <https://doi.org/10.1093/mnras/stac1843>.

АСУ облучателя тип 3 РАТАН-600

**А. А. Стороженко, В. М. Богод, М. К. Лебедев,
Н. Е. Овчинникова, В. Б. Хайкин**

САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Радиотелескоп РАТАН-600 работает в режиме пассажного инструмента. Ежедневно проводится пять наблюдений Солнца в азимутах от $+24^\circ$ до -24° через 12° . Одним из перспективных направлений развития методик наблюдения на РАТАН-600 является внедрение новых режимов сопровождения облучателем и кареткой объекта наблюдения. Такой комплексный режим позволяет реализовывать изучение динамических характеристик активного Солнца, значительно повысить чувствительность спектральных наблюдений стабильных структур. В настоящее время временной интервал азимутальных наблюдений расширен до 10 мин.

В 2019–2021 г. был разработан проект, создана новая АСУ облучателя и проведена модернизация устаревшего электротехнического оборудования Облучателя типа 3. Основная цель такой модернизации заключается в достижении длительных интервалов слежения до 1–4 ч.

В настоящей работе рассматривается структура АСУ движением Облучателя типа 3, рассмотрены новые возможности для реализации режимов сопровождения, ранее недоступные на радиотелескопе РАТАН-600 [1].

Литература

1. Storozhenko A., Lebedev M., Ovchinnikova N., et al. The tracking mode for the RATAN-600 Southern sector with the periscope // Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Proceedings of the All-Russian Conference. 2020. P. 407–408. doi: 10.26119/978-5-6045062-0-2_2020_407.

Современные радиоастрономические корреляторы и тенденции их развития

И. Ф. Суркис, В. О. Кен

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Развитие радиоастрономии выдвигает новые требования к методам и средствам обработки данных, регистрируемых радиотелескопами. За последнее десятилетие программные корреляторы позволили значительно расширить возможности проведения РСДБ-сеансов. Несмотря на их невысокую энергоэффективность, решения на процессорах общего назначения [1] и графических ускорителях [2–3] дают разработчикам практически неограниченный выбор в сфере создания методов обработки для любого наблюдательного инструмента, позволяя ставить новые задачи в области астрофизики и космической геодезии. Невзирая на большую трудоемкость в разработке, по-прежнему развиваются и аппаратные корреляторы с использованием программируемых логических интегральных схем [4].

В докладе представлен обзор современного состояния, возможностей и проблем текущих и будущих разработок в области корреляции данных программными и аппаратными средствами.

Литература

1. Keimpema A., Kettens M. M., Pogrebenko, S. V., et al. The SFXC software correlator for very long baseline interferometry: algorithms and implementation // *Exp. Astron.* 2015. Vol. 39. P. 259–279.
2. Chris Broekema P., Jan David Mol J., Nijboer R., et al. Cobalt: A GPU-based correlator and beamformer for LOFAR. *Astronomy and computing.* 2018. Vol. 23. P. 180–192.
3. Суркис И. Ф., Зимовский В. Ф., Кен В. О. и др. Радиointерферометрический коррелятор на графических процессорах // *Приборы и техника эксперимента.* 2018. Вып. 6. С. 8–16.
4. Gunst A., Szomoru A., Schoonderbeek G., et al. The application of UniBoard as a beamformer for APERTIF // *Exp. Astron.* 2014. Vol. 37. P. 55–67.

Номинальная орбита космической обсерватории Миллиметрон

Т. А. Сячина¹, П. Р. Запевалин¹, П. В. Мжельский^{1,2},
А. Г. Рудницкий¹, М. А. Щуров¹

¹АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

²НПО им. С. А. Лавочкина, г. Москва, Россия

Космическая обсерватория Миллиметрон — десятиметровый раскрываемый и охлаждаемый космический телескоп миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Особенностью обсерватории является работа телескопа в двух режимах: одиночного телескопа и наземно-космического. В процессе подготовки миссии одним из наиболее важных вопросов становится выбор оптимальной номинальной орбиты для космического аппарата, которая бы удовлетворяла одновременно как всем техническим требованиям и ограничениям, так и в полной мере позволила бы решить все поставленные научные задачи.

В докладе представлена номинальная орбита для обсерватории Миллиметрон, которая была получена в лаборатории баллистико-навигационного обеспечения космических проектов АКЦ ФИАН. В результате комплексного анализа и оптимизации параметров было показано, что эта орбита полностью удовлетворяет научным и техническим требованиям миссии [1–3].

Следует отметить, что Миллиметрон станет первым наземно-космическим интерферометром, который будет выполнять наблюдения в окрестностях точки Лагранжа L2 системы «Солнце — Земля» на расстоянии 1.5 млн км от Земли.

Литература

1. Andrianov A. S., Baryshev A. M., Falcke H., et al. Simulations of M87 and Sgr A* imaging with the Millimetron Space Observatory on near-Earth orbit // MNRAS. 2021. Vol. 500. P. 4866–4877.
2. Likhachev S. F., Rudnitskiy A. G., Shchurov M. A., et al. High-resolution imaging of a black hole shadow with Millimetron orbit around Lagrange point L2 // MNRAS. 2022. Vol. 511. P. 668–682.
3. Rudnitskiy A. G., Mzhelskiy P. V., Shchurov M. A., et al. Analysis of orbital configurations for Millimetron space observatory // Acta Astronautica. 2022. Vol. 196. P. 29–41.

Поиск пульсаров в суммированных данных

С. А. Тюльбашев¹, Г. Э. Тюльбашева²

¹ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пущино, Россия

²ИМПБ РАН, г. Пущино, Россия

Разработана методика поиска объектов с периодическим излучением по наблюдениям на радиотелескопе БСА (Большая синфазная антенна). Чувствительность телескопа определяется формулой радиометрического выигрыша. Увеличить чувствительность за счёт параметров антенны невозможно, т.к. нельзя изменить эффективную площадь телескопа, температуру системы, полосу наблюдений. Однако, с августа 2014 г. на БСА проводится ежедневный круглосуточный обзор в 96 лучах, фиксированных по направлению на небе, и перекрывающих склонения $-9^\circ < \delta < +42^\circ$. Это даёт возможность увеличения чувствительности за счёт использования ежедневно повторяющихся наблюдений. Лучшим способом увеличить чувствительность является сложение сигнала в фазе (тайминг), но для поиска пульсаров он не подходит, т.к. для него нужно знать период и производную периода пульсара с высокой точностью. Поэтому для повышения чувствительности используется сложение спектров мощности и периодограмм, получаемых для любого выбранного на небе направления. При таком сложении теряется фаза сигнала, но некогерентное сложение увеличивает конечную чувствительность в корень из числа складываемых спектров и периодограмм.

Разработанная программа визуализации позволяет одновременно выводить на экран тысячи спектров мощности. Проведено тестирование этой программы на площадке на небе по данным за период август 2014 г. – декабрь 2019 г. [1]. Результаты обсуждаются.

Работа поддержана грантом РФФ 22-12-00236.

Литература

1. Тюльбашев С. А., Тюльбашева Г. Э. Поиск пульсаров в площадке с координатами $3h < \alpha < 4h + 21^\circ < \delta < +42^\circ$ // послано в *Астрономический Журнал*. 2022.

Обнаружение и исследование быстрых радиовсплесков на частоте 111 МГц

В. А. Фёдорова, А. Е. Родин

ПРАО АКЦ ФИАН, г. Пущино, Россия

В работе проведен сравнительный анализ наблюдательных характеристик быстрых радиовсплесков на частотах 111 и 1400 МГц [1–3]. Построены распределения по мере дисперсии радиовсплесков. Показано, что на обеих частотах они описываются логнормальным распределением с параметрами $\mu = 6.2$, $\sigma = 0.7$. Также построена зависимость $t_{sc}(DM)$ величины рассеяния от меры дисперсии на 111 МГц и 1400 МГц. Показано, что эта зависимость принципиально отличается от зависимости для пульсаров. Сравнительный анализ взаимосвязи рассеяния импульсов от меры дисперсии на 1400 МГц и 111 МГц показал, что $t_{sc}(DM)$ для обеих частот имеет вид $t_{sc}(DM) \sim DM^k$, где $k = 0.49 \pm 0.18$ и $k = 0.43 \pm 0.15$ для частот 111 МГц и 1400 МГц соответственно. Полученная зависимость объясняется в рамках предположения о внегалактическом возникновении быстрых радиовсплесков и пренебрежимо малом вкладе межгалактического вещества в их рассеяние. Из зависимости $t_{sc}(DM)$ получена суммарная оценка вклада в DM вещества гало нашей и родительской галактики $DM_{halo} + DM_{host}/(1+z) \approx 60$ пк/см³. На основе зависимости $\text{Log } N - \text{Log } S$ выведен средний спектральный индекс радиовсплесков $\alpha = -0.63 \pm 0.20$ при условии, что статистические свойства этих выборок на 111 МГц и 1400 МГц одинаковы.

Литература

1. Фёдорова В. А., Родин А. Е. Сравнительный анализ наблюдательных свойств быстрых радиовсплесков на частотах 111 и 1400 МГц // *Астрономический журнал*. 2021. Т. 98, № 10. С. 804–833.
2. Фёдорова В. А., Родин А. Е. Обнаружение быстрых радиовсплесков на радиотелескопе БСА ФИАН // *Астрономический журнал*. 2019. Т. 96, № 1. С. 41–50.
3. Фёдорова В. А., Родин А. Е. Поиск быстрых радиовсплесков в направлении галактик М31 и М33 // *Астрономический журнал*. 2019. Т. 96, № 11. С. 883–897.

Результаты и планы комплексного изучения астроклимата горы Курапдаг в Агульском районе Дагестана

В. Б. Хайкин¹, А. Ю. Шиховцев², А. П. Мионов³,
А. В. Худченко^{4,5}, Е. А. Копылов⁶

¹САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

³ГАИШ, г. Москва, Россия

⁴АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

⁵ИРЭ РАН, г. Москва, Россия

⁶ИНАСАН, г. Москва, Россия

В настоящей работе продолжено изучение астроклимата возможных мест размещения Eurasian SubMM Telescopes (ESMT) [1] в РФ с использованием данных Европейского центра среднесрочного прогноза погоды ReAnalysis (ERA-5) и геодезических станций ГНСС. Понятие астроклимата включает в себя статистику атмосферной прозрачности, облачности, влагосодержания атмосферы, скорости ветра, показателей оптической турбулентности, в том числе высотного профиля оптической турбулентности (ВПОТ) и астрономической видимости. Для достижения высокой чувствительности субмиллиметрового телескопа выбором подходящего места также необходимо минимизировать радиояркостную температуру атмосферы и ее вариации.

В работе приводится статистика интегрального влагосодержания атмосферы (PWV) по данным реанализа и ГНСС-метода в одном из астроклиматически перспективных мест РФ — на горе Курапдаг (3724 м) в Агульском районе Дагестана — в сравнении с местами расположения существующих обсерваторий (КраО, ССО в пос. Монды, «Пик Терскол», КГО в Кисловодске, обсерватория «Зеленчукская»). Также по данным реанализа для указанных мест приводится статистика доли покрытия неба облаками, скорости ветра и продолжительности солнечного сияния за 2018–2019 гг.

Для измерения ВПОТ и астрономической видимости планируется использовать малый оптический телескоп диаметром 302 мм с датчиком Шака-Гартмана [2]. Для измерения радиояркостной температуры атмосферы, контроля эффективной физической температуры атмосферы и их вариаций планируется применить компактные радиометрические модули прямого усиления, разработанные ранее для исследования атмосферы, дистанционного зондирования Земли и радиовидения на длинах волн 1.35 см, 8 мм, 5.5 мм, 3 мм [3] и разрабатываемый радиометрический модуль прямого усиления на длине волны 2 мм. Для их калибровки будут использованы два абсолютно черных тела (АЧТ): одно — с водородным охлаждением в лабораторных условиях при температурах 15 К/283 К, другое — с электронным охлаждением при температурах 283 К/323 К в лабораторных и полевых условиях. Приводятся характеристики компактных радиометрических

модулей для измерения характеристик атмосферы и криогенной установки с АЧТ ИРЭ РАН для их калибровки.

Литература

1. Khaikin V., Lebedev M., Shmagin V., et al. On the Eurasian submillimeter telescopes project (ESMT) // Proceed. of 7th All-Russian Microwave Conference (RMC), Moscow. 2020. P. 47–51.
2. Потанин С. А., Корнилов М. В., Саввин А. Д. и др. Комплекс для исследования параметров атмосферы на основе датчика Шака – Гартмана // *Астрофизический бюллетень*. 2022. Т. 77, № 2. С. 241–249.
3. Хайкин В. Б., Радзиховский В. Н., Кузьмин С. Е., Закамов В. Р. Компактные высокочувствительные радиометрические модули миллиметрового диапазона для решения различных прикладных задач // Сб. IX Всероссийского семинара по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн. Нижний Новгород. 2013. С. 106–108.

Астрофизические наблюдательные программы ИПА РАН

М. А. Харинов, А. Е. Мельников

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Представлен обзор астрофизических наблюдательных программ, которые проводились на радиотелескопах ИПА РАН в течение последних четырёх лет 2019–2022 гг. Приводятся проекты, в которых наиболее активно было использовано антенное время как в режиме РСДБ, так и в режиме одиночного телескопа. Упоминается сотрудничество ИПА РАН с Европейской РСДБ-сетью. Описано участие ИПА в международном проекте PRECISE по поиску и локализации повторяющихся быстрых радиовсплесков. Представлены результаты исследования солнечного ветра с помощью метода Доплера и РСДБ, по программе Шанхайской астрономической обсерватории. Также упоминаются наблюдения, проводимые в сотрудничестве с отечественными институтами: многочастотный мониторинг активных ядер галактик, наблюдения остатков сверхновых и исследования космических мазерных источников.

Разработка высокочувствительного приемника диапазона 1.1–1.4 мм для обсерватории Миллиметрон и для наземных телескопов

**А. В. Худченко¹, И. В. Третьяков¹, А. М. Барышев², В. П. Кошелец^{1,3},
К. И. Рудаков⁴, Р. Хеспер², Р. А. Черный¹, М. Ю. Архипов¹, С. Ф. Лихачев¹**

¹АКЦ ФИАН, г. Москва, Россия

²Университет Гронингена, г. Гронинген, Нидерланды

³ИРЭ РАН, г. Москва, Россия

⁴ИКИН, г. Ляйден, Нидерланды

Актуальность диапазона 1.1–1.4 мм для проведения астрофизических исследований подтверждена рядом успешных научных работ, посвященных детальному изучению химического состава и физических свойств межзвездной среды, и даже распределения материи вблизи горизонта событий черных дыр.

Для развития отечественной радиоастрономии миллиметрового диапазона крайне важно иметь возможность создавать высокочувствительные приемники высокого разрешения. Мировая практика показывает, что для диапазона 0.3–3 мм такими приборами являются гетеродинные приемники на основе смесителей с туннельным переходом сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (СИС). В АКЦ ФИАН в сотрудничестве с ИРЭ РАН ведется разработка СИС-приемника диапазона 1.1–1.4 мм [1] для дальнейшего использования этой технологии как для наземных телескопов, так и на борту обсерватории Миллиметрон. Для минимизации вклада атмосферы в системную шумовую температуру гетеродинный приемник должен иметь разделенные боковые полосы. Данное требование также распространяется на бортовой приемник обсерватории Миллиметрон для улучшения качества итоговой корреляции. В докладе представлены детали работы по СИС-смесителю с разделением полос и последние результаты.

Литература

1. Rudakov K. I., Khudchenko A. V., Filippenko L. V., et al. THz range low-noise SIS receivers for space and ground-based radio astronomy // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, no. 21. P. 10087.

Широкополосный криогенный приемный фокальный блок с круговыми поляризациями

В. С. Черников, Е. Ю. Хвостов, В. К. Чернов

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

С целью повышения чувствительности радиометра за счет синтеза полосы и увеличения радиометрического выигрыша в ИПА РАН была разработана широкополосная приемная система, работающая на двух ортогональных линейных поляризациях в диапазоне 3–16 ГГц [1]. Однако, при наблюдениях на линейных поляризациях возникают сложности учета параллактических углов, что приводит к высокой ошибке определения ПВЗ. Помимо этого, при наблюдениях спонтанно поляризованных источников одновременная регистрация двух поляризационных компонент требует наличия канала передачи данных с пропускной способностью вдвое большей.

Для устранения этого недостатка широкополосной приемной системы предложено модернизировать ее для приема излучения с круговыми поляризациями. Для этого был разработан криогенный сверхширокополосный квадратурный мост [2]. Устройство было интегрировано в широкополосный криогенный приемный фокальный блок (ШКПФБ) между выходом облучателя и входом малошумящих усилителей.

В работе представлены этапы модернизации квадратурного моста и результаты измерений его характеристик при температурах около 300 К и 10 К. Приведены технические решения по уменьшению вносимых и обратных потерь в коаксиально-полосковых переходах и уменьшению неравномерности переходных характеристик [2]. Также в работе приведены результаты измерений характеристик ШКПФБ с круговыми поляризациями и описана методика оценки шумовой температуры моста.

Литература

1. Евстигнеев А. А., Векшин Ю. В., Евстигнеева О. Г. и др. Широкополосная приемная система для РТ-13 обсерватории «Светлое» // Труды ИПА РАН. 2018. Вып. 46. С. 50–56.
2. Черников В. С., Хвостов Е. Ю., Чернов В. К. Охлаждаемый сверхширокополосный квадратурный направленный ответвитель // Труды ИПА РАН. 2022. Вып. 60. С. 44–48.

Статистические характеристики осажденного водяного пара и оптической толщи в районе расположения Большого телескопа Альт-Азимутального

А. Ю. Шиховцев¹, В. Б. Хайкин², П. Г. Коваadlo¹

¹ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

²САО РАН, пос. Нижний Архыз, Россия

В работе приводятся результаты оценки пространственных распределений осажденного водяного пара в регионе расположения Большого телескопа Альт-Азимутального. Оценка статистических характеристик осажденного водяного пара выполнена по данным реанализа Era-5 с учетом привязки к данным измерений GNSS-станций [1]. Данные реанализа являются ассимилированными данными измерений, выполненных на станциях радиозондирования атмосферы, спутников, других инструментов, и широко используются для характеристики атмосферы. С применением модели MPM Liebe, хорошо описывающей спектры поглощения (по крайней мере для частот ниже 400 ГГц), для отдельных сайтов (включая «Пик Терскол») оценена оптическая толщина атмосферы для разных частот. Полученные данные могут быть использованы в выборе места под крупный миллиметровый телескоп наземного базирования [2].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-72-00049.

Литература

1. Шиховцев А. Ю. Статистический анализ содержания водяного пара на Северном Кавказе и в Крыму // Оптика атмосферы и океана. 2022. Т. 35, № 1. С. 67–73.
2. Balega Y., Bubnov G., Glyavin M., et al. Atmospheric propagation studies and development of new instrumentation for astronomy, radar, and telecommunication applications in the subterahertz frequency range // Appl. Sci. 2022. Vol. 12. P. 5670. doi: 10.3390/app12115670.