



ТЕЛЕСКОПЫ САО РАН

2006 - 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕЛЕСКОПЫ ОБСЕРВАТОРИИ	1
Оптический 6-м телескоп БТА (Большой Телескоп Азимутальный)	1
Оптический телескоп Цейсс-1000	2
Радиотелескоп РАТАН-600	3
ИТОГИ РАБОТЫ ТЕЛЕСКОПОВ САО РАН В 2006 – 2010 гг.	4
Комитет по тематике больших телескопов РАН	4
Итоги наблюдений на 6-м телескопе	6
Итоги наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600	7
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ	8
РЕКОНСТРУКЦИЯ БТА	8
Переполіровка главного зеркала	8
Система активного охлаждения	10
Модернизация автоматизированной системы управления БТА	11
Наблюдения в режиме удаленного доступа	13
МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ	14
Методы сверхбыстрой фотометрии	14
Спектроскопия высокого разрешения	17
Спектроскопия низкого и среднего разрешения	18
Внедрение новых типов светоприемных камер	20
Модернизация ЦЕЙСС-1000	22
ТЕХНИКА И МЕТОДЫ РАДИОАСТРОНОМИИ	23
Высокочувствительный комплекс радиометров континуума	23
Мониторинг помеховой обстановки в дециметровом диапазоне	26
Цифровой спектроанализатор АС-60/2048	27
Многооктавный спектрально-поляризационный комплекс высокого разрешения	28
Новые технологии в разработке радиоэлектронной аппаратуры	29
Повышение проникающей силы и поля зрения РАТАН-600	30
Модернизация антенны	32
ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ И БАЗЫ ДАННЫХ	34
Телекоммуникационные сервисы сети SAONet	34
Архивы наблюдений и астрономические базы данных	38

Телескопы обсерватории

ОПТИЧЕСКИЙ 6-М ТЕЛЕСКОП БТА (Большой Телескоп Азимутальный)



Рис. 1. Слева – башня 6-м телескопа; справа – Большой телескоп альт-азимутальный.

Большой телескоп альт-азимутальный с зеркалом диаметром 6 метров создан в 60-70-х годах Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО) в кооперации с ведущими оптико-механическими предприятиями страны. Главное зеркало БТА, одно из самых крупных стеклянных изделий в мире, изготовлено на Лыткаринском заводе оптического стекла. БТА введен в эксплуатацию в 1976 г. и до середины 90-х годов был крупнейшим оптическим телескопом в мире. Идея использования альт-азимутальной монтировки для оптического телескопа принадлежит советскому конструктору Б.К.Иоаннисиани. Воплощенная в конструкции БТА она открыла путь к созданию современных крупных наземных телескопов с зеркалами 8 и более метров.

При диаметре 6 метров, толщине ~ 0.6 метра и массе 42 тонн зеркало имеет высокую точность рабочей поверхности - ± 0.1 мкм по всей поверхности. При хороших погодных условиях можно получить с его помощью изображения $\sim 0.8''$. Общая длина трубы телескопа, которая представляет собой трубчатую конструкцию, составляет 30 метров. В средней части телескопа находится сферический подшипник, который опирается на масляные подушки, куда под давлением в 70 атмосфер закачивается масло. Тонкая масляная пленка, образующаяся между подшипником и подушками, делает движение телескопа при наведении на небесные объекты бесшумным и плавным, несмотря на то, что его общий вес составляет 850 тонн, а вес подвижной части - 650 тонн. Точность изготовления сферической поверхности подшипника и деталей подушек составляет ~ 10 микрон. Приводы главных осей БТА – высокоточные механизмы, которые под контролем автоматизированной системы управления обеспечивают наведение телескопа по заданным координатам с точностью $2''-3''$. Характерная погрешность сопровождения наблюдаемых объектов составляет $0.2''-0.3''$. Телескоп защищен от атмосферных воздействий полноповоротным куполом, вес которого составляет ~ 1000 тонн. Общая высота башни телескопа – 56 метров, диаметр – 53 метров. Проем купола открывается поднятием забрала, движущегося по сферической поверхности купола мощными электродвигателями. Здание является крупнейшей в мире башней оптического телескопа. Большие габариты сооружения, массивность зеркала создают проблемы с обеспечением локального астроклимата. Часть из этих решается активной системой, охлаждающей подкупольное пространство. Обеспечена полная энергетическая автономность комплекса БТА. Решаются задачи по внедрению современных энергосберегающих технологий.

6-м зеркало собирает в миллион раз больше света, чем человеческий глаз, что позволяет изучать предельно слабые астрономические объекты. Сменное научное оборудование устанавливается в трех фокусах телескопа – первичном, имеющем светосилу 1:4, и двух нэсмитовских фокусах со светосилой 1:30. Комплекс навесного оборудования БТА позволяет решать широкий спектр научных задач в области оптической наземной астрономии – от исследований астрофизических объектов с микросекундным временным разрешением до получения изображений с дифракционным пределом $\sim 0.02''$.

Совершенствование методов наблюдений, модернизация оборудования и узлов телескопа, а также постановка новых исследовательских задач проводятся, в основном, силами сотрудников обсерватории. Основная часть астрономического оборудования оснащена приемниками оптического излучения, изготовленными в САО РАН.

На базе современного телекоммуникационного оборудования и оптоволоконных линий связи реализовано дистанционное управление телескопом и автоматизированным навесным научным оборудованием, дистанционный контроль систем телескопа в режиме реального времени и мониторинг метеоусловий посредством веб-камер, что позволяет проводить более половины наблюдений в удаленном режиме. В

ближайшем будущем все наблюдения на 6-м телескопе будут проводиться в дистанционном режиме.

На 6-метровом телескопе используются 10 методов наблюдений:

- 1) метод получения спектров ярких звездообразных астрономических объектов на ОЗСП (Основной Звездный СПектрограф) БТА в диапазоне длин волн 3300-10000 Å с разрешением $R=\lambda/\Delta\lambda=15000$;
- 2) метод получения спектров протяженных астрономических объектов в диапазоне длин волн 3600-10000 Å и средним спектральным разрешением на многорежимном фокальном редукторе светосилы первичного фокуса БТА SCORPIO;
- 3) метод получения прямых изображений астрономических объектов с широкополосными (или среднеполосными или узкими интерференционными) фильтрами с ПЗС-камерой 2048x2048 элементов на многорежимном фокальном редукторе светосилы первичного фокуса БТА;
- 4) метод одновременного получения 16 спектров астрономических объектов с перемещаемыми щелями 1.2"x18" на поле 2.9'x5.9' на многорежимном фокальном редукторе светосилы первичного фокуса БТА;
- 5) метод получения 2D-спектроскопии со сканирующим интерферометром Фабри-Перо со спектральным разрешением 0.5-2 Å и спектральным диапазоном 8-27 Å на многорежимном фокальном редукторе светосилы первичного фокуса БТА;
- 6) метод получения коэффициента поляризации астрономических объектов с точностью 0.1-0.4% на многорежимном фокальном редукторе светосилы первичного фокуса БТА;
- 7) метод получения изображений с угловым разрешением 0.02" в диапазоне длин волн 5000-8500 Å на цифровом спекл-интерферометре БТА;
- 8) метод измерений интенсивности в четырех широкополосных фотометрических полосах и трех параметров Стокса с временным разрешением до 0.01 мсек на многоканальном панорамном спектрофотополариметре БТА;
- 9) метод получения двумерной спектроскопии протяженных объектов с полем зрения 16x16 разрешаемых элементов в диапазоне длин волн 360-960 нм со средним спектральным разрешением на мультиспектральном спектрографе БТА;
- 10) метод получения спектров астрономических объектов на эшелле-спектрографе НЭС БТА в диапазоне длин волн 3300-10000 Å с разрешением до $R=60000$.

ОПТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП ЦЕЙСС-1000



Рис. 2. Слева – башня метрового телескопа; справа – метровый телескоп Цейсс-1000.

Оптический 1-м телескоп Цейсс-1000 (производитель – «Карл-Цейсс-Йена», Германия) введен в эксплуатацию в 1989 году. Диаметр главного зеркала - 1016 мм. Общий вес монтажки телескопа – 12 тонн. Оптика телескопа позволяет в хорошую погоду регистрировать изображения звездообразных объектов с качеством лучше 1". Предельная звездная величина, полученная в фотометрическую ночь с такими изображениями в фильтре V за 20 минутную экспозицию - около 23.5^m. Двухзеркальная система Ричи-Кретьена реализует в касегреновском фокусе телескопа эквивалентное фокусное расстояние - 13.3 метра, давая диаметр невиньетированного поля - 170 мм или 45'.

В фокусе Кассегрена устанавливается навесное оборудование – фотометрическая система, позволяющая получать снимки астрофизических объектов в стандартных светофильтрах, или светосильный спектрограф для получения спектров умеренного разрешения. В качестве приемника в этих методах используется охлаждаемый до азотных температур (-150 С) твердотельный детектор формата 2048x2048 элементов с квадратным элементом 13.5 мкм. Система куде, используя дополнительные зеркала, обеспечивает передачу света в стационарное термостабилизированное помещение. В фокусе куде установлен эшелле-спектрометр высокого спектрального разрешения, позволяющий получать спектры относительно ярких звезд (5-6 звездной

величины).

Телескоп используется для решения научных задач и отладки нового оборудования и методов наблюдений, применяемых на БТА.

На телескопе Цейсс-1000 используются 3 метода наблюдений:

- 11) метод получения спектров протяженных астрономических объектов в диапазоне длин волн 360-1000 нм и средним спектральным разрешением на спектрографе с длинной щелью;
- 12) метод получения прямых изображений астрономических объектов в широкополосных фильтрах U, B, V, R, I и узких фильтрах с шириной 85 Å с ПЗС-камерой 530x580 элементов;
- 13) метод получения спектров астрономических объектов в диапазоне длин волн 3300-10000 Å с разрешением $R=40000$ на эшелле-спектрометре.

РАДИОТЕЛЕСКОП РАТАН-600 (РадиоТелескоп Академии Наук)

Радиотелескоп РАТАН-600 с диаметром антенны 600 м и комплексом оборудования и систем регистрации введен в эксплуатацию в 1977 г. (рис. 3). Радиотелескоп относится к рефлекторным антеннам, и его конструкция обусловлена инновационным конструкторским решением для достижения высокого углового разрешения и большой собирающей поверхности в одном инструменте. РАТАН-600 - крупнейший по диаметру в мире рефлекторный телескоп. Он является основным в России радиотелескопом, работающим в центральном «окне прозрачности» земной атмосферы в диапазоне длин волн 1-50 см (0.6-30 ГГц). Радиотелескоп включен в Книгу рекордов Гинесса как самый крупный в мире рефлекторный радиотелескоп.

Антенна радиотелескопа состоит из главного зеркала из 895 элементов (размеры элемента - $2 \times 11.4 \text{ м}^2$) и имеет диаметр 576 м. В конструкцию входит плоский отражатель из 124 элемента (размеры элемент - $3 \times 8.5 \text{ м}^2$) и 5 вторичных зеркал, установленных на перемещаемых облучателях. Общая геометрическая площадь антенны $\sim 20000 \text{ м}^2$, эффективная площадь всего кольца - 3500 м^2 . Конструкция РАТАН-600 позволяет проводить одновременные наблюдения по нескольким программам в диапазоне от 1 до 50 см (0.5-30 ГГц). Радиоизлучение исследуемых объектов, сфокусированное многозеркальной системой (главное зеркало+вторичные зеркала), регистрируется многочастотными приемно-измерительными комплексами, установленными на облучателях. Телескоп имеет максимальное разрешение $1.7''$ и точность определения координат $1-10''$. Предел по плотности потока - 0.5 мЯн. Предел по яркостной температуре - 0.050 мК. Время слежения (Юг+Плоский отражатель) в пределах 1-3 часа. Доступная в наблюдениях область неба: $00^{\text{h}} < \text{RA} < 24^{\text{h}}$, $-43^{\circ} < \text{Decl} < 90^{\circ}$.

Совершенствование методов наблюдений, модернизация оборудования и узлов телескопа, а также постановка новых исследовательских задач проводятся, в основном, силами сотрудников обсерватории. Основная часть астрономического оборудования оснащена приемно-измерительными комплексами (радиометры и системы регистрации), изготовленными в САО РАН. Использование современной цифровой техники и средств связи позволяет проводить дистанционные наблюдения.

РАТАН-600 - многопрограммный инструмент коллективного пользования, на котором выполняются программы, как российских, так и зарубежных пользователей. На телескопе проводятся международные наблюдательные программы по наземной поддержке космических проектов (Planck, Радиоастрон).



Рис. 3. Общий вид радиотелескопа с кольцевой антенной переменного профиля диаметром 600 метров РАТАН-600.

На радиотелескопе РАТАН-600 используется 4 метода наблюдений:

- 14) высокочувствительные радиометры в диапазоне 0.6-30 ГГц; радиометры сантиметрового диапазона охлаждаются до 15 К, чувствительность 2.2-20 мК/с^{1/2};
- 15) солнечный спектрально-поляризационный комплекс с частотным разрешением 1% в диапазоне частот 0.75-18 ГГц; одновременный анализ параметров Стокса I и V; многоазимутальные наблюдения в течение $\pm 2^h$ вблизи меридиана с интервалом 4^m, до 60 сканов в день;
- 16) спектральный комплекс в диапазоне 6.2 и 18-21 см с цифровым Фурье-спектрографом с полосой анализа 60 МГц и 2048 спектральными каналами;
- 17) комплекс МАРС-3 (Матричная РадиоМетрическая Система) в диапазоне частот 27-33 ГГц; 16 радиометров (32 входа); измерения интенсивности и поляризации; $f = 30$ ГГц, $\Delta f = 5$ ГГц; 3); чувствительность 5 мК/с^{1/2} на один канал.

Итоги работы телескопов САО РАН в 2006–2010 гг.

Телескопы САО РАН имеют статус инструментов коллективного пользования. Время наблюдений на телескопах распределяет программный комитет по тематике больших телескопов Российской академии наук КТБТ РАН (<http://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/Ktbt/>).

КОМИТЕТ ПО ТЕМАТИКЕ БОЛЬШИХ ТЕЛЕСКОПОВ РАН

КТБТ - экспертный совет, состоящий из ведущих астрономов России и стран СНГ, в задачи которого входит научная и научно-техническая экспертиза заявок на наблюдательное время, поступающих от астрономов России и астрономов других стран на следующие большие телескопы:

- оптический телескоп БТА с диаметром зеркала 6 м (САО РАН);
- радиотелескоп РАТАН-600 с кольцевой антенны диаметром 600 м (САО РАН);
- оптический телескоп Цейсс-2000 на пике Терскол с диаметром зеркала 2 м (Международный центр астрономических и медико-экологических исследований);
- оптический телескоп ЗТШ с диаметром зеркала 2.6 м (Крымская астрофизическая обсерватория, Украина);
- оптический телескоп Цейсс-1000 с диаметром зеркала 1 м (САО РАН),

а также распределение наблюдательного времени по результатам экспертизы и составление расписания наблюдений в соответствии с итогами конкурса заявок.

Состав КТБТ предлагается и утверждается Бюро Отделения физических наук РАН (ОФН РАН) с учетом мнения Научного совета Российской академии наук по астрономии (НСА) на 5 лет. КТБТ собирается дважды в год для проведения экспертизы и конкурса заявок. Расписание наблюдений составляется на следующее календарное полугодие. Квоты выделяемого в ведение КТБТ времени на телескопах Цейсс-2000, ЗТШ, Цейсс-1000 определяются руководителями соответствующих учреждений и рассматриваются КТБТ после соответствующего письменного обращения. При необходимости КТБТ направляет отдельные заявки на внешнюю научную экспертизу.

Руководители обсерваторий, в ведении которых находятся крупные телескопы, организуют техническое рецензирование поступающих заявок до начала работы КТБТ. Техническая экспертиза предполагает оценку выполнимости заявки, наличие необходимого оборудования, соответствие заявляемого времени фазам Луны. Техническую экспертизу осуществляют ответственные за методы наблюдений специалисты обсерваторий, утвержденные соответствующими приказами.

Директором САО РАН по согласованию с председателем КТБТ назначается ученый секретарь КТБТ из числа сотрудников САО РАН. В функции ученого секретаря КТБТ входит:

- сбор поступающих заявок;
- организация технической экспертизы;
- организация заседаний КТБТ и конференций пользователей;
- ведение документации КТБТ;
- составление расписания наблюдений на БТА;
- переписка с заявителями наблюдательного времени, информирование заявителей о результатах конкурса.

Конкурс и выделение наблюдательного времени на оптических телескопах производится по трем категориям в соответствии с фазами Луны: темное время (± 5 ночей от новолуния), полутемное время, светлое время (± 6 ночей от полнолуния). Единицей выделения времени для оптических телескопов является наблюдательная ночь. Для обеспечения технических работ на телескопах выделяются технические и профилактические ночи, количество которых определяется КТБТ по предложению директора обсерватории. Для выполнения срочных программ, изучения новых астрономических явлений КТБТ может выделять резервное время директора

обсерватории.

Для решения особо важных астрономических задач КТБТ может принимать к исполнению на телескопах ключевые программы с высшим приоритетом.

При проведении конкурса заявок КТБТ руководствуется следующими основными принципами:

- научная значимость и актуальность задачи;
- адекватность заявки возможностям телескопов;
- результативность выполнения продолжающихся программ;
- применение или развитие новейших методов и средств наблюдений;
- поддержка молодых ученых;
- поддержка международных и кооперативных программ.

Для анализа хода выполнения наблюдательных программ на больших телескопах КТБТ организует регулярные конференции пользователей.

Состав Комитета по тематике больших телескопов РАН:

- Ю.Н. Гнедин – *председатель КТБТ*, д.ф.-м.н., профессор (ГАО РАН);

Оптическая астрономия:

- Ю.Ю. Балега - д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН (САО РАН);
- Д.А. Варшалович - д.ф.-м.н., академик РАН (ФТИ им. А.Ф. Иоффе);
- В.В. Власюк – к.ф.-м.н., (САО РАН);
- В.А. Гаген-Торн - д.ф.-м.н., профессор (АИ СПбГУ);
- А.В. Засов - д.ф.-м.н., профессор (ГАИШ МГУ);
- Л.С. Любимков – д.ф.-м.н., (Крымская астрофизическая обсерватория, Украина);
- Э.Е. Хачикян - д.ф.-м.н., академик Национальной академии наук Армении (Бюраканская обсерватория, Армения);
- А.М. Черепашук - д.ф.-м.н., академик РАН (ГАИШ МГУ);
- Б.М. Шустов - д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН (ИНАСАН);

Радиоастрономия:

- Ю.Н. Парийский - д.ф.-м.н., академик РАН (САО РАН);
- Р.Д. Дагкесаманский – д.ф.-м.н., (Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН);
- Л.И. Матвеевко – д.ф.-м.н. (ИКИ РАН);
- М.Г. Мингалиев – *исполнительный секретарь подкомитета*, д.ф.-м.н., (САО РАН);
- А.В. Степанов – д.ф.-м.н. (ГАО РАН);
- А.М. Финкельштейн - д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН (ИПА РАН);

Ученый секретарь комитета - И.И. Романюк, д.ф.-м.н. (САО РАН).

Заявки на наблюдательное время больших телескопов САО РАН принимаются в электронном виде с помощью интерактивной формы на русском или английском языке. Программное обеспечение для системы on-line заявок разработано отделом информатики обсерватории (<http://www.sao.ru/request/>). Регистрация заявок открыта с 1 августа по 10 сентября на первое полугодие и с 1 февраля по 1 марта на второе полугодие каждого года. Незарегистрированные заявки Комитетом не рассматриваются. Комитет рассматривает 1 заявку от основного заявителя.

В 2006-2010 гг. было проведено 10 заседаний КТБТ и конференций пользователей. Все мероприятия были организованы и проведены в САО РАН.

Согласно Положению об архиве наблюдательных данных САО РАН (http://www.sao.ru/Doc-k8/Science/arch_regul.html):

- исключительное авторское право пользования данными в течении 2-х лет после наблюдений принадлежит заявителям программы;
- по истечении этого срока данные теряют исключительный статус и предоставляются для использования без ограничений с обязательной ссылкой на источник их получения.

Наблюдения, полученные на телескопах обсерватории, сохраняются в электронных архивах (номера методов даны в соответствии со списком, приведенным выше на стр. 1-3):

- общий архив наблюдательных данных OASIS (1-6, 9, 10, 11-13), Для наблюдательных данных методов SCORPIO (2-6), MPFS (9), ОЗСП (1), НЭС(10), ZMCCD (11), ZMUAGS(12), SEGS (13) реализован веб-доступ в соответствии с резолюцией МАС 2003 года об открытом Интернет-доступе к архивированным наблюдениям, полученным в обсерваториях, которые финансируются их государственного бюджета. Веб-интерфейсы информационно-поисковой системы общего архива

наблюдательных данных OASIS (Observation Archive Search Information System): русскоязычный - <http://oasis.sao.ru/oasis/cgi-bin/fetch?Z&user&ru> и англоязычный - <http://oasis.sao.ru/oasis/cgi-bin/fetch?Z&user&en> (с. 38);

- архив спектральных, фотометрических и интерферометрических данных (2-6, 9). Детальная информация о наблюдательных данных методов 2-6 и 9 имеется по веб-интерфейсу архива ASPID (Archive of Spectral, Photometric and Interferometric Data) – <http://alcor.sao.ru/db/aspid/> (с. 40);
- ODA-R (14-17) – радиоданные (с. 41);
- радионаблюдения Солнца (15) - центр анализа многоволновых наблюдений Солнца PROGNOZ (с. 37); веб-интерфейс системы - <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/>.

ИТОГИ НАБЛЮДЕНИЙ НА 6-М ТЕЛЕСКОПЕ

В 2006 – 2010 гг. оптические телескопы БТА и Цейсс-1000 работали в полном объеме и в основных штатных режимах. Наблюдения проводились в соответствии с программами наблюдений, принятыми КТБТ РАН. На рисунках 4 - 7 приведены результаты наблюдений на БТА в 2006-2010 гг. Архив расписаний наблюдений БТА имеется по адресу – (<http://www.sao.ru/request/schedule/index.html>), а также Цейсс-1000 - <http://www.sao.ru/request/schedule/zindex.html>.

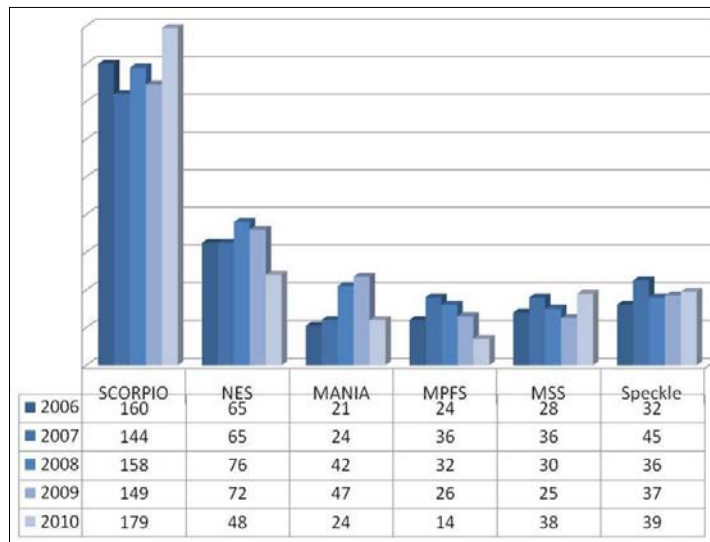


Рис. 4. Распределение календарного времени (сутки) по методам наблюдений на 6-м телескопе в 2006-2010 гг. SCORPIO - многомодовый редуктор в первичном фокусе; NES - эшелле-спектрометр высокого разрешения; MANIA – многомодовый панорамный фотополариметр; MPFS - мультиспектральный спектрограф; MSS - основной звездный спектрограф; Speckle - цифровой спектр-интерферометр.

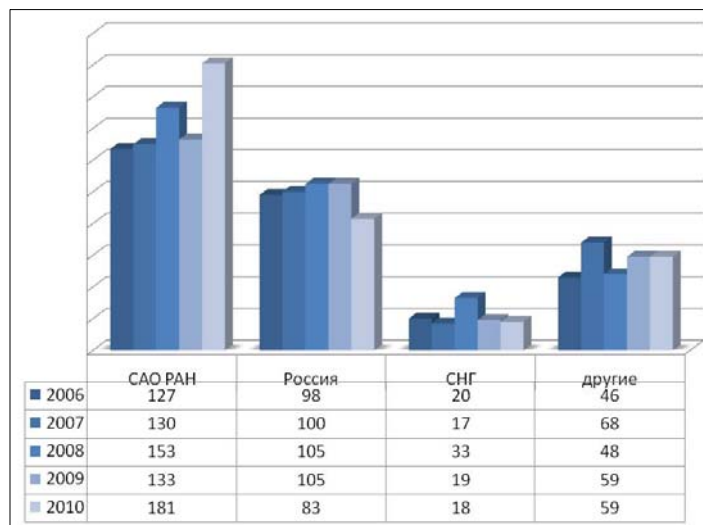


Рис. 5. Распределение календарного времени (сутки) между группами наблюдателей.

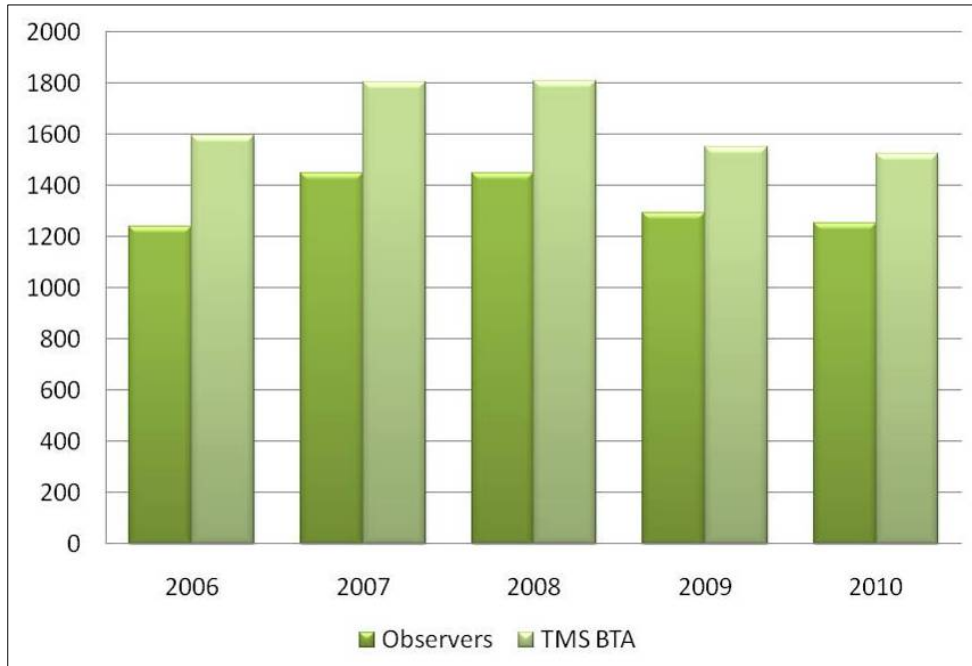


Рис. 6. Количество наблюдательного времени (в часах) 6-м телескопа в 2006-2010 гг. согласно данным службы эксплуатации БТА (TMS BTA) и данным наблюдателей.

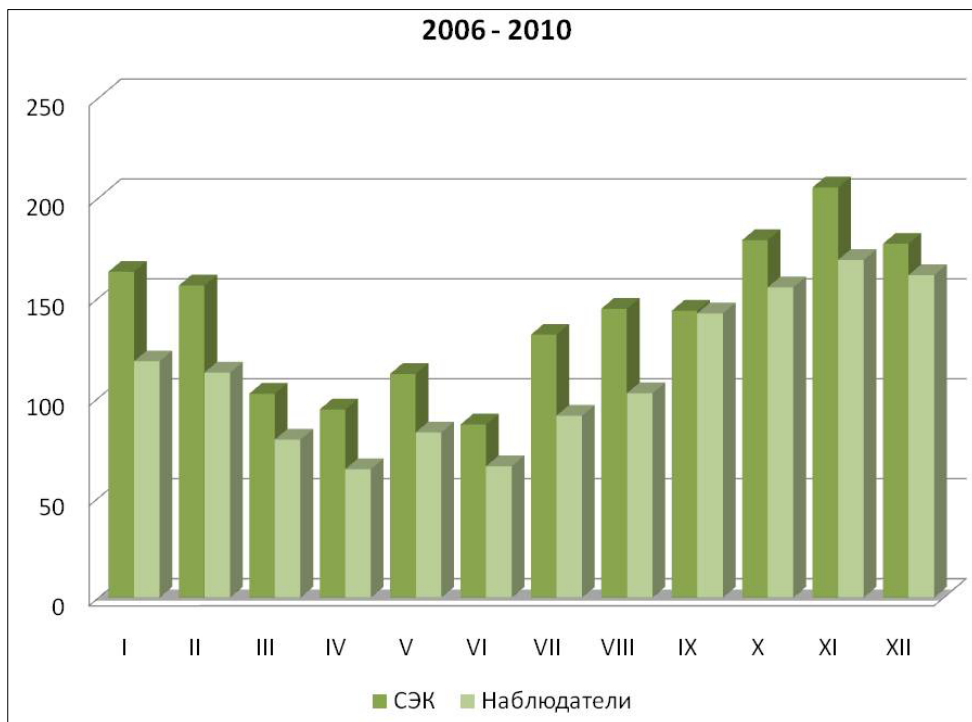


Рис. 7. Распределение наблюдательного времени (в часах) по месяцам (среднее по данным 2006-2010 гг.).

ИТОГИ НАБЛЮДЕНИЙ НА РАДИОТЕЛЕСКОПЕ РАТАН-600

В 2006-2010 гг. радиотелескоп РАТАН-600 работал в основных штатных режимах. В наблюдениях участвовали северный и южный сектора антенны, плоский отражатель и вторичные зеркала: облучатель №1 (континуум), облучатель №2 (радиолинии), облучатель №3 (Солнце). Проводились работы как по поддержанию основных параметров инструмента на уровне проектных, так и по совершенствованию режимов наблюдения и модернизации приемно-измерительной аппаратуры. Итоги работы радиотелескопа приведены на рисунках 8 и 9. Архив расписаний наблюдений РАТАН-600 имеется по адресу – <http://www.sao.ru/ratan/schedule/archive.html>.

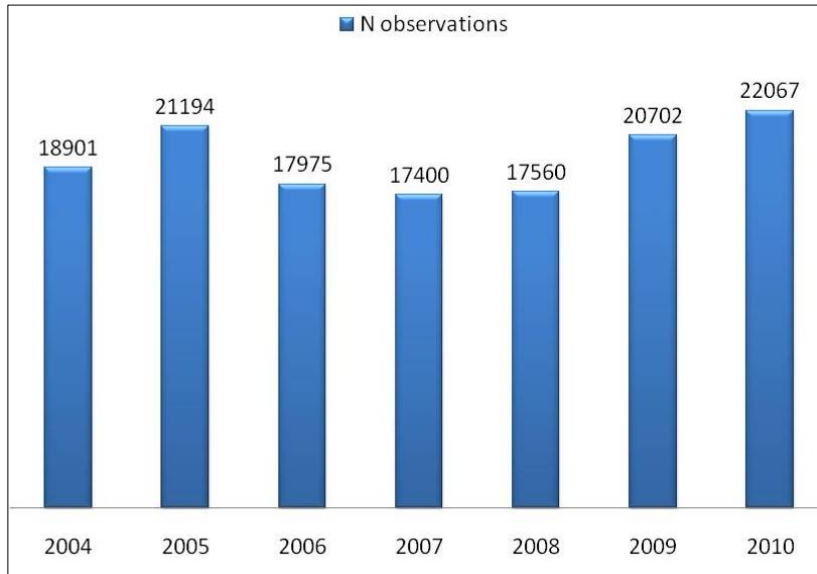


Рис. 8. Общее количество наблюдений, проведенное на РАТАН-600 с 2004 по 2010 гг.

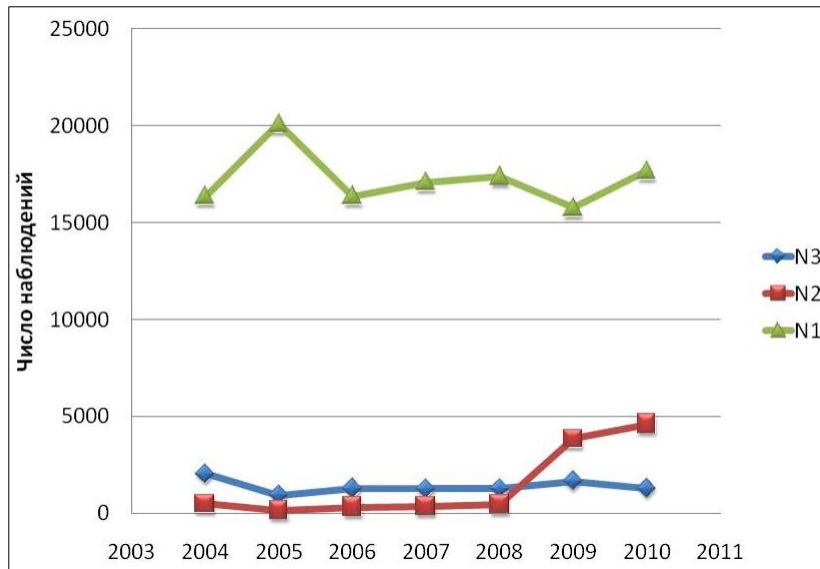


Рис. 9. Количество наблюдений на облучателях N1 (континуум), N2 (радиолинии), N3 (Солнце).

Научно-технические исследования и разработки

РЕКОНСТРУКЦИЯ БТА

ПЕРЕПОЛИРОВКА ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА

Проект реконструкции БТА, который разрабатывался в обсерватории в 2003-2004 гг, предусматривал возможность замены существующего 6-м толстого зеркала на новое тонкое зеркало с диаметром 8 м. Ориентировочная стоимость всего проекта приближалась в 20 миллионам евро, а европейские фирмы-соисполнители проекта (Schott, Германия и SAGEM-REOSC, Франция) начали с начала 2004 г. подготовительные работы к выполнению контрактов. Нехватка средств у РАН стала причиной остановки работ по этому проекту в апреле 2004 г. В качестве альтернативного варианта было решено произвести переполіровку одного из двух имеющихся в САО 6-м зеркал на оборудовании ОАО ЛЗОС. Выполненный в 2004 г. совместный анализ состояния двух зеркал и технического состояния оборудования ЛЗОС позволил выбрать наиболее рациональный вариант работ, включающий в себя реконструкцию крупногабаритных

оптических станков ЛЗОС в 2005-2006 гг., шлифовку и переполіровку имеющегося в обсерватории 6-м зеркала в 2007-2008 гг., его установку в оправу на БТА в 2009 г. Общая стоимость работ согласно контракта, подписанного САО РАН и ОАО «ЛЗОС», составляет 118 млн.руб., а техническое задание к этому контракту предполагает достижение существенного улучшения качества поверхности зеркала (отклонение от расчетной формы не должно превышать 0.2λ на 632.8 нм).



Рис. 10. Вверху - погрузка 6 метрового зеркала для транспортировки. Внизу – транспортировка ГЗ от башины БТА к пос. Нижний Архыз и погрузка ГЗ в Ростове.

Общий план работ по реконструкции БТА, одобренный руководством РАН, включает в себя также реконструкцию 100-тонного крана (работы завершены в 2005 г.), создание системы охлаждения объема и пола подкупольного пространства, обновление парка приемников излучения, включая и ИК-часть спектра, реконструкцию датчиков положения осей телескопа и др. В целом, работы по проекту реконструкции БТА в 2004-2005 гг. шли практически без отклонений от начальных планов. Были разработана конструкторская документация для грузозахватного устройства, обеспечивающего манипуляции с зеркалом, выполнены необходимые прочностные расчеты (по системе разгрузки и зеркалу), определен маршрут доставки зеркала в г. Лыткарино, разработана документация для изготовления компенсатора волнового фронта, обеспечивающего контроль качества рабочей поверхности зеркала. В рамках контракта с ОАО «ЛЗОС» продолжены опытно-конструкторские и подготовительные работы по переполіровке Главного зеркала (ГЗ) БТА. Отремонтирован полировальный станок КУ-168, выполнена его модернизация с переводом на ЧПУ, изготовлен транспортный контейнер и грузозахватные устройства. В мае-июне 2007 г. первое ГЗ было доставлено сухопутным транспортом до г. Ростов-на-Дону, а затем водным транспортом до г. Лыткарино (рис. 10). Специалисты ОАО «ЛЗОС» предложили проводить предварительную и окончательную обработку рабочей оптической поверхности, расположив зеркало на вогнутой чугунной подложке с резинофторопластовыми опорами, положение которых совпадает с разгрузочными отверстиями зеркала. Подложка с зеркалом будет установлена на поворотной платформе стола станка КУ-168, снабженной «лентой» радиальной разгрузки для проведения операций доводки и оптического контроля рабочей поверхности зеркала.

В.В. Власюк.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВУАЗ

Для улучшения качества нанесения отражающих покрытий определены этапы реконструкции вакуумной камеры, которые включают модернизацию установки ВУАЗ и моечного помещения (в соответствии с

современными требованиями по чистоте). Проведены работы по измерению эксплуатационных параметров камеры ВУАЗ. Так средняя скорость натекания воздуха составила 2 мкм рт.ст./сек, что в 10 раз хуже, чем в 1979г. Причина ухудшения - старение уплотняющей резины, механический износ насосов, переработанный ресурс масла. Для получения в камере вакуума 10^{-6} мм рт.ст, необходимого для нанесения качественных покрытий, определен комплекс работ, который включает чистку камеры, замену насосов, а также оснащение ВУАЗ современными средствами контроля и поиска течей. Приобретены 3 крионасоса, которые должны заменить диффузионные насосы, масспектрометр остаточной атмосферы, вакуумметры, резиновые уплотнители. Поскольку выполнять натурные испытания камеры ВУАЗ-6 ресурсоемко, то все технические решения моделировались на специально изготовленном стенде. В результате проведенного на стенде успешного эксперимента давление в камере было снижено с 10^{-2} до 1.7×10^{-6} мм рт.ст. Решено перенести методику на установку ВУАЗ-6.

Г.В. Якопов, А.М. Притыченко.

СИСТЕМА АКТИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОДКУПОЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА И ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА

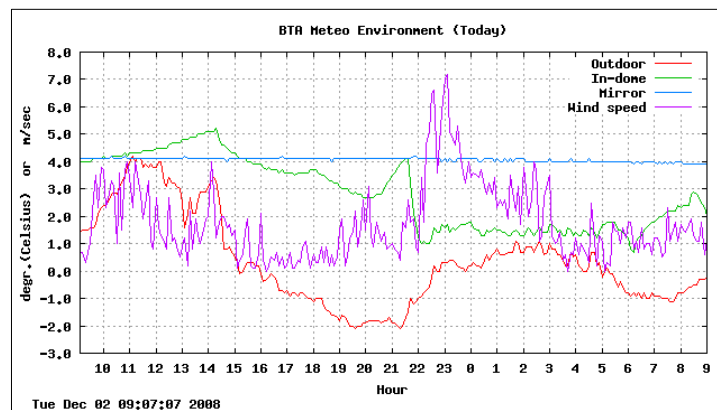


Рис. 11. Температурные графики одного из первых пробных пусков системы охлаждения. Время работы – с 14:00 до 22:00 с остановками, потребляемая мощность – около 100 кВт в максимальной загрузке.

Главное зеркало (ГЗ) БТА обладает существенной тепловой инерцией. Перепад температуры в 5° - 7° приводит к возникновению деформаций ГЗ, проявляющихся в виде аберраций изображений, которые сохраняются в течение 2-3 суток. При скачках температуры более 10° наблюдения на телескопе не проводятся. Важным для эффективного использования телескопа является прогнозирование таких скачков, которые бывают 10-15 раз в год. Начаты работы по системе активного управления температурой, как внутреннего объема башни, так и главного зеркала. Ее работа должна минимизировать потери наблюдательного времени при резких перепадах наружной температуры и улучшить качество изображений, формируемых телескопом. В 2007 году поставлены основные узлы и блоки системы – 3 компрессорные станции мощностью 30 кВт каждая, 10 воздухоохладительных приборов для подкупольного и подпольного пространства башни, системы управления и контроля, выполнены необходимые строительные работы. В 2008 г. установлены основные блоки и температурные датчики, выполнена прокладка и теплоизоляция трубопроводов для подачи хладагента. В ноябре 2008 г. после проведения государственной экспертизы проекта и аттестации система охлаждения была запущена озонобезопасным хладагентом. Результат работы системы во время одного из первых запусков показан на рисунке 11. Упреждение температурных перепадов выполняется системой активного охлаждения подкупольного пространства. Для контроля состояния подкупольного пространства и конструкций телескопа разработана система температурного мониторинга. Она должна обеспечивать систему активного охлаждения информацией о трендах температуры. Контактные датчики установлены на поверхности купола и конструкциях телескопа, а также в подкупольном пространстве башни (рис. 12). Показания датчиков поступают сначала на восьмиканальные микропроцессорные измерители-регуляторы ТРМ 138Р, а затем через конвертеры I-7520R приходят на различные РЕР-контроллеры с общей CAN-шиной. Так температурные датчики на неподвижных частях подкупольного пространства подключены к РЕР-контроллеру релейно-коммутационного хозяйства телескопа, а датчики на подвижной части подключены к другому РЕР-контроллеру, который установлен на куполе. Реализован сбор термоданных по узлу «РЕР Z» и «РЕР DOME», в 24 точках на зеркале, в 8 точках трубы телескопа и в 16 точках на подвижной части купола. Разработана программа, входящая в состав управляющего комплекса БТА, которая обеспечивает взаимодействие по CAN-шине. Система позволяет получить полную картину распределения температур в подкупольном пространстве и реализовать управление узлами системы активного охлаждения башни БТА.

В.В. Власюк, С.И. Синянский, В.С. Шергин, М.А. Кондаков, А.И. Рябуха, Ю.М. Маметьев, А.М. Притыченко.

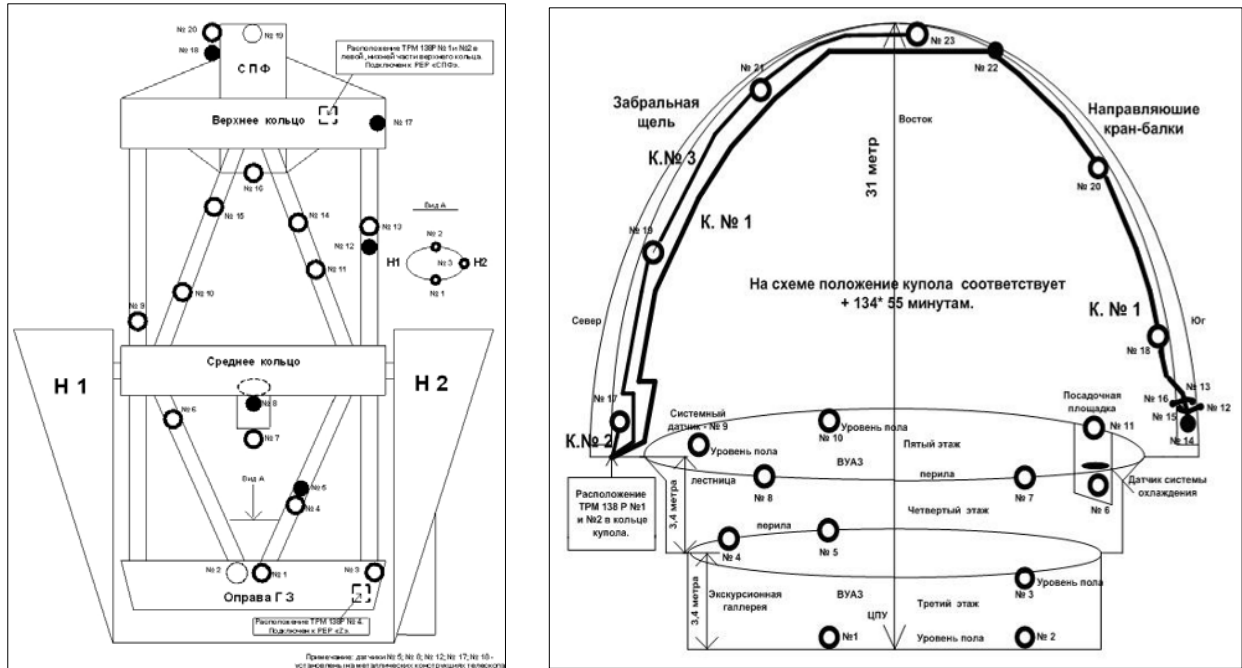


Рис. 12. Слева - расположения температурных датчиков на конструкциях БТА. Справа - схема прокладки кабелей и установки термодатчиков на подвижной и неподвижной частях купола.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БТА

Модернизация АСУ БТА проводится с 2000 г. и включает в себя переход от централизованной системы управления телескопом к системе с распределенной архитектурой. Важным шагом, выполненным в 2001-2003 гг., был перевод приводов осей телескопа на цифровые следящие приводы. Это позволило отказаться от морально устаревших исполнительных устройств и перейти на серийно выпускаемые локальные контроллеры, тем самым повысилась надежность и упростилась эксплуатация телескопа. Программный комплекс управления БТА базируется на распределенной клиент-серверной архитектуре. Главная управляющая программа является сервером, в котором сосредоточены все функции работы с аппаратурой АСУ телескопа и все алгоритмы, требующие реального времени. Все остальные интерфейсные информационные функции, не требующие реального времени, реализуются в виде набора программ-клиентов. Взаимодействие между сервером и клиентскими приложениями осуществляется широковещательной или адресной передачей пакетов по UDP-протоколу. Основой АСУ БТА является обмен данными и командами между главным управляющим компьютером и периферийными контроллерами, к которым подключена вся аппаратура управления (рис. 13). Обмен выполняется через CAN-шину. Программный комплекс постоянно развивается добавлением новых приложений, обеспечивающих диагностику и управление различными системами 6-м телескопа.

Система координатного позиционирования телескопа. Старые датчики положения осей телескопа, которые использовались в системе координатного позиционирования телескопа, не удовлетворяли современным требованиям по точности, температурной стабильности и конструктивному устройству. Они требовали сложной юстировки и технологического обслуживания. Были выбраны датчики нового типа, которые соответствуют требуемым параметрам и удовлетворяют задачам унификации программных и аппаратных средств АСУ БТА. Для замены старых координатных датчиков на главных осях телескопа изготовлена механическая оснастка и проведена замена 23-х разрядных датчиков на азимутальной (А) и зенитной (Z) осях на датчики повышенной разрядности (27-ми разрядный на оси А и 25-ти разрядный на оси Z). Азимутальный (рис. 14) и зенитный контроллерные узлы заменены на новые с аппаратно-протокольной поддержкой координатных датчиков и термоизмерителей (с возможностью расширения до 256 точек измерения на каждый узел). Проведена замена двухступенчатой редукторной отсчетной системы на одноступенчатую с многооборотным датчиком повышенной разрядности. Внедрена двухконтурная система блокировок приводов азимутальной и зенитной оси телескопа, обеспечивающая защиту в крайних зонах в случае отказа любых программно – аппаратных компонент системы. Для контроллерных узлов «PEP-A», «PEP-Z», «PEP-DOME» реализована предварительная модульная версия унифицированного программного обеспечения. Разработан комплект интерфейсных модулей для подключения к контроллерам с SSI-интерфейсом координатных датчиков любой разрядности. Реализованы опции для подключения разнообразных устройств ввода-вывода, в том числе и с интерфейсным управлением (типа RS232/485).

Проводится унификация программного обеспечения контроллерных узлов для автоматической настройки по заданному номеру узла на аппаратный состав контроллера и режим управления.

Блокировки подвижной части купола. Ведутся работы для перевода защитных блокировок подвижной части купола на управление и контроль по радиоканалу управляющего купольного контроллера. Это приведет к сокращению кабельных коммуникаций. Силовые кабели сохранятся только на блочно-тросовой системе выборки кабеля. Еще реализовано автоматическое аварийное закрытие крышек главного зеркала для защиты его поверхности от дождя и тумана.

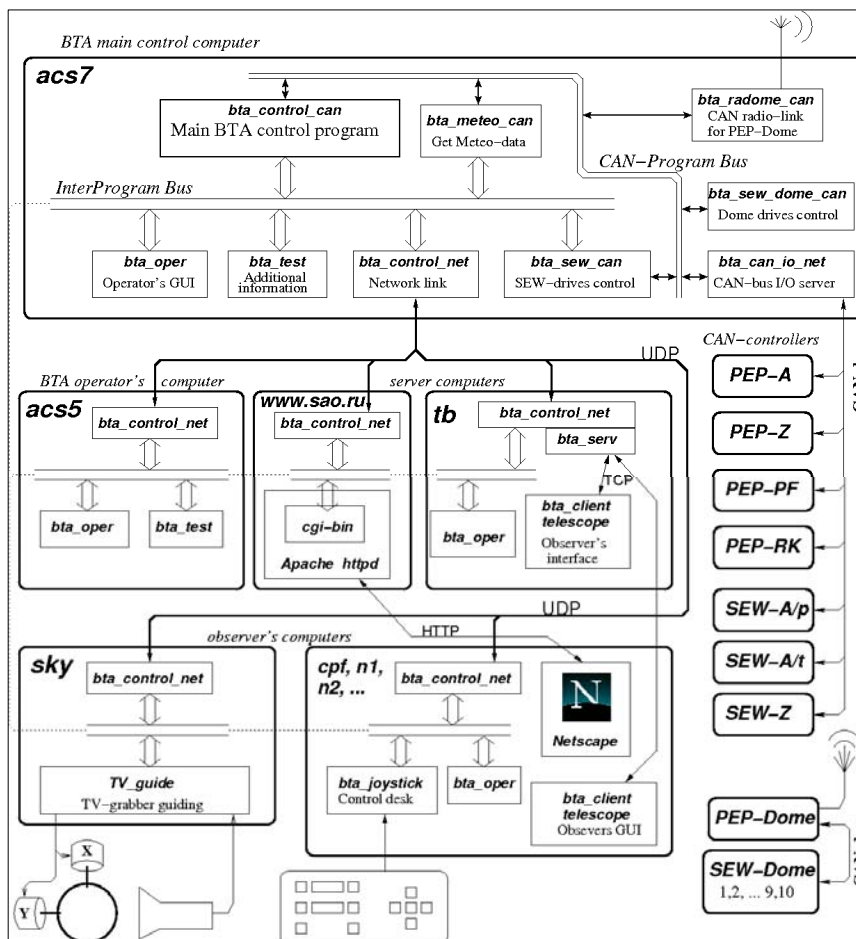


Рис. 13. Схема архитектуры программного комплекса управления БТА.

Проведена замена двухступенчатой редукторной отсчетной системы на одноступенчатую с многооборотным датчиком повышенной разрядности. Внедрена двухконтурная система блокировок приводов азимутальной и зенитной оси телескопа, обеспечивающая защиту в крайних зонах в случае отказа любых программно – аппаратных компонент системы. Для контроллерных узлов «PEP-A», «PEP-Z», «PEP-DOME» реализована предварительная модульная версия унифицированного программного обеспечения. Разработан комплект интерфейсных модулей для подключения к контроллерам с SSI-интерфейсом координатных датчиков любой разрядности.

Управление фокусировкой. Модернизирован привод фокусировки, в котором два двигателя заменены на один с современным цифровым управлением. Из-за изменившихся старт-стопных характеристик и люфтов редуктора в управляющей программе проведена подгонка параметров, чтобы обеспечить работу IDL-скрипта системы сбора SCORPIO, определяющего положение фокуса.

Контроль маслопитания. При сезонных и суточных температурных изменениях вязкости масла иногда возникают отказы в гидросистеме телескопа. В маслосистеме БТА установлены и подключены к PEP-контроллеру азимута датчики давления, уровня и температуры масла. Их показания передаются по CAN-шине. Для отслеживания состояния системы маслопитания телескопа реализовано оперативное измерение давления в масляных контурах осей «А» и «Z», уровня масла в баке, температуры масла и охлаждающего реагента. Измеряемые параметры планируется ввести в систему защитных блокировок телескопа. Для обеспечения удаленного контроля за состоянием маслосистемы разработана программа bta_oil_can, которая является частью управляющего комплекса БТА. Она принимает данные приходящие по CAN-шине, обеспечивая скользящий буфер данных за последний час в общей памяти и на диске (mapped file).



Рис. 14. Слева - контроллерный узел привода азимутальной оси, справа - отсчетный блок азимутальной оси.

Раз в полчаса файл сохраняется в оперативном архиве, рассчитанном на 5 суток. На серверах АСУ включен сервис НТТР и реализован веб-интерфейс для удаленного контроля за состоянием маслосистемы.

Пульт коррекции с USB-интерфейсом. Для проведения наблюдений в удаленном режиме разработан новый пульт астронома-наблюдателя для коррекции положения телескопа. Пульт имеет подключение по USB-порту вместо устаревшего game-порта, который отсутствует на современных компьютерах. USB-порт является «интеллектуальным» портом, автоматически определяющим тип подключенного к нему устройства. В новой версии пульта установлен микропроцессор, реализующий протокол взаимодействия с драйвером USB-порта операционной системы.

В.В. Власюк, С.И. Синянский, В.С. Шергин, М.А. Кондаков, А.И. Рябуха, С.В. Драбек, Ю.М. Маметьев, В.Г. Данилов, А.М. Притыченко.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРЫ

Для поддержки наблюдений в режиме удаленного доступа проведена модернизация системы контроля параметров атмосферы на верхней научной площадке (ВНП). Для нее приобретено специализированное оборудование, включающее датчик облачности и осадков, камера обзора неба, камера контроля изображений. Проведены тестовые испытания и оборудование подготовлено к работе на открытом воздухе. Приборы помещены в герметичные контейнеры, разработана защита от гроз. Ведутся работы по изготовлению управляемого влагозащитного бокса для аппаратуры ночного обзора неба. Предусмотрена архивизация всех получаемых метеопараметров в базе данных, которая будет использована для анализа и прогнозирования погодных условий на ВНП. Оборудование установлено на павильоне Цейсс-1000. Управление комплексом выполняется из аппаратной посредством специализированного сервера. Разработана программа для управляющего комплекса БТА, которая периодически обращается к сайту метеослужбы Цейсс-1000 и получает основные метеорологические параметры, необходимые для наблюдений. В случае отказа каких-либо метеодатчиков БТА их значения заменяются полученными с сайта Цейсса-1000. Реализован веб-доступ к метеоданным (<http://w0.sao.ru/tb/tcs/>).

В.В. Комаров, С.В. Драбек, В.С. Шергин.

ПАСПОРТИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАВЕДЕНИЯ БТА

Для контроля точности наведения телескопа на небесные объекты проведена серия позиционных измерений. Полученные поправки использованы для коррекции системы наведения. Телескоп наводится с точностью не хуже 4" при высоких и средних значениях зенитного расстояния (5-45°). Звезды попадают в область, принятую за оптическую ось телескопа, с точностью ~1-2". Измерения впервые проводились в удаленном режиме из аппаратной лабораторного корпуса ННП.

М.В. Якопов, В.С. Шергин, Ю.М. Маметьев.

НАБЛЮДЕНИЯ В РЕЖИМЕ УДАЛЕННОГО ДОСТУПА

Интерферометрические наблюдения звезд на БТА выполняются с 2007 г. из аппаратной в лабораторном корпусе ННП в режиме дистанционного контроля системы регистрации спекл-изображений. Система позволяет записывать до 20 ПЗС-изображений за секунду, однако ограничения передачи данных по оптоволоконным линиям между телескопом и лабораторным корпусом позволяют обеспечить только 50% этого потока.

С ноября 2008 года в САО РАН на БТА для некоторых наблюдательных методик наблюдения проводятся в дистанционном режиме. В лабораторном корпусе ННП в к. 505 оборудована аппаратная для удаленных наблюдений. В ней располагаются рабочие места наблюдателей, сетевое оборудование и средства связи, LCD-панели для контроля метеоусловий и параметров телескопа. Проведение наблюдений в режиме удаленного доступа технически возможно для всех основных приборов, используемых в первичном фокусе БТА, а именно: универсальный спектрограф SCORPIO, панорамный спектрограф MPFS, спекл-интерферометр, комплекс оборудования эксперимента МАНИЯ.

Н.В. Борисов.

ИНТЕРАКТИВНОЕ ЗАПОЛНЕНИЕ ЖУРНАЛОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Внедрена веб-версия журнала наблюдений (<http://tb.sao.ru/BTALogs/>). Разработана схема таблиц и реализована база данных для архивизации журналов наблюдений. База данных располагается на общем файл-сервере БТА. В качестве системы управления используется свободнораспространяемая СУБД PostgreSQL версии 8.3. Программное приложение реализует заполнение протоколов ночи в интерактивном режиме и поиск по дате в архиве журналов наблюдений. Выделены три группы пользователей. Им предоставляются разные привелегии и функции при работе с протоколами ночи:

- 1) *пользователи* — просмотр и поиск журналов наблюдений по дате;
- 2) *ответственные наблюдатели* — регистрация, вход по паролю, просмотр и поиск журналов, заполнение журналов, подпись журнала. Это ограниченная поименным списком группа пользователей;
- 3) *администраторы* - регистрация, вход по паролю, просмотр и поиск журналов, предварительная подготовка текстовых шаблонов протоколов наблюдений, управление информацией о регистрации пользователей: просмотр данных, удаление пользователей, изменение списка ответственных наблюдателей, напоминание пароля.

Т.А. Пляскина, Н.В. Борисов, В.С. Шергин, О.П. Желенкова.

Методы наблюдений

МЕТОДЫ СВЕРХБЫСТРОЙ ФОТОМЕТРИИ

ДВУХТЕЛЕСКОПНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНЗИЕНТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Создан двухтелескопный комплекс TORTOREM для обнаружения и исследования вспыхивающих оптических объектов с высоким временным разрешением. Он включает в себя разработанную в сотрудничестве с филиалом НИИПП и Болонским университетом быструю широкопольную оптическую камеру TORTORA и роботический телескоп REM (диаметр зеркала 60 см), на котором камера смонтирована. Комплекс расположен в Чили (Ла Силла) и позволяет обнаруживать (TORTORA) и детально исследовать (REM, спектроскопия и фотометрия) быстрые оптические транзиенты как по данным с космических гамма и рентгеновских телескопов, так и независимо по результатам мониторинга поля зрения камеры. На данный момент получены верхние пределы на уровне $B=14-16.3^m$ для оптических транзиентов в областях локализации трех гамма-всплесков (GRB 060719, GRB 061202 и GRB 061218) в диапазоне частот 0.01-3.5 Гц через 30 с. – 1 мин. после гамма-событий.

Г. Бескин, С. Карпов, совместно с НИИПП, Болонским университетом и обс. Брера (Милан, Италия).

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР

Изготовлен и введен в эксплуатацию координатно-чувствительный детектор высокого временного разрешения. Принципиально новыми элементами в приемнике является арсенид-галлиевый фотокатод с квантовым выходом 40-48% в диапазоне 4000-8000 Å и 16-электродный анод, позволяющий получать пространственное разрешение порядка 20-30 микрон при диаметре фотокатода 18 мм. Специально подобранная конфигурация двух многоканальных пластин с защитным противоионным покрытием дает высокий коэффициент усиления ($5 \cdot 10^5 - 10^6$) при сравнительно малом рабочем напряжении ~1900 В, что продлевает срок службы фотокатода до 4000 часов. Ионно-защитное покрытие увеличивает коэффициент захвата первичных фотоэлектронов, тем самым увеличивая квантовый выход до пикового значения 38% в районе 5000 Å и ~20-30% в других участках спектра. Неоднородность чувствительности по полю не превышает нескольких процентов. Координатно-чувствительный детектор оснащен набором 16 зарядовых усилителей и аналогово-цифровых преобразователей и сопряжен с системой регистрации «Квантохрон 4-48», определяющей моменты прихода отдельных квантов с точностью 30 нс. Это позволяет кодировать их совместно с координатами и передавать данные в управляющую ЭВМ. Предельный принимаемый без искажения поток составляет 10^5 отсчетов в секунду, суммарное временное разрешение системы ~ 1 мкс. Впервые создан панорамный детектор с высокими квантовой эффективностью (до 35%) и числом элементов

разрешения ($4 \cdot 10^5$), приближающимися к таковым у ПЗС-матриц, но позволяющий регистрировать отдельные кванты с микросекундным временным разрешением.

В.Л. Плехотниченко, Г.М. Бескин, В.Г. деБур, С.В. Карпов совместно с ИФП РАН.

МНОГОМОДОВЫЙ ПАНОРАМНЫЙ ФОТОСПЕКТРОПОЛЯРИМЕТР. Завершено изготовление и проведены испытания в режиме реальных наблюдений многомодового панорамного фотоспектрополяриметра (рис. 15). Прибор введен в режим стандартных наблюдений летом 2008 г. Основная особенность прибора – использование координатно-чувствительных детекторов высокого временного разрешения с арсенид-галлиевым фотокатодом и 16-электродным коллектором. Набор из трех сменных оптических блоков и система удаленного управления оптико-механическими элементами позволяет реализовывать различные наблюдательные моды. МРПП позволяет проводить с временным разрешением ~ 1 мкс однополосную фотометрию, UVVR-фотометрию и спектроскопию низкого спектрального разрешения ($R=10-100$). Каждый из режимов может сопровождаться мгновенным измерением линейной поляризации (трех параметров Стокса). Для реализации настоящей версии прибора используются два координатно-чувствительных детектора с фотокатодом S20 и GaAs.

В.Л. Плехотниченко, Г.М. Бескин, В.Г. деБур, С.В. Карпов, совместно с ИФП РАН (Новосибирск). Астрофизический бюллетень, 64, 322 (2009).

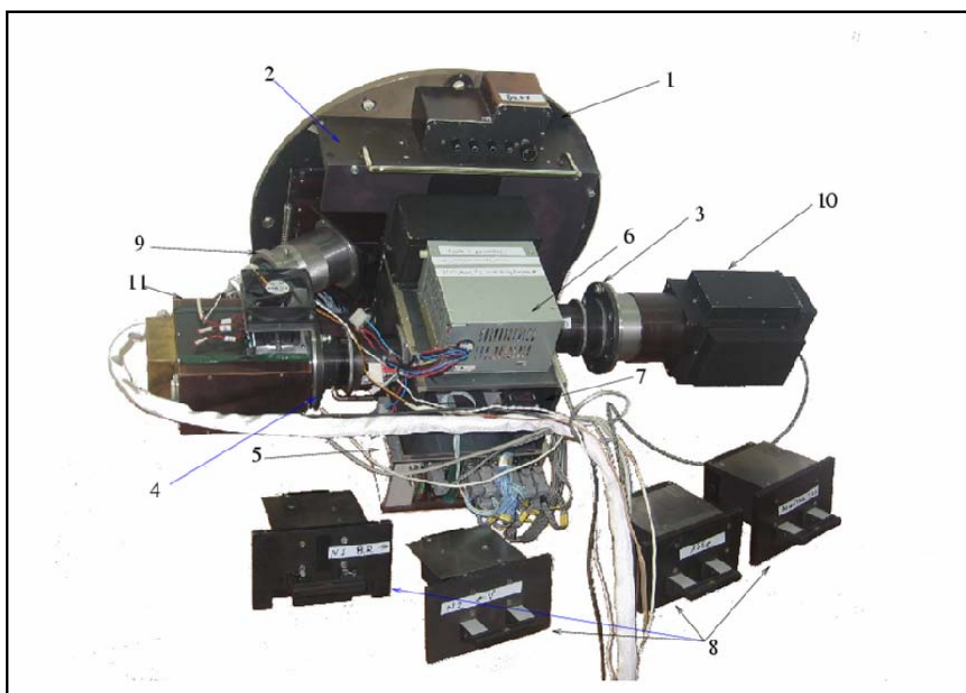


Рис. 15. Общий вид многомодового панорамного фотоспектрополяриметра (МРПП). На рисунке обозначены: 1 – фланец для установки на телескопе; 2 – блок фокальной плоскости; 3 – фланец для установки КЧД-I; 4 – фланец для установки КЧД-II; 5 – блок контроля состояния детекторов и управления подвижными элементами; 6 – источник питания; 7 – оправа для сменных блоков преобразования излучения; 8 – блоки преобразователей излучения; 9 – TV-CCD подсмотр, с возможностью установки длительности экспозиции на матрице и уровней оцифровки видеосигнала; 10 – КЧД-I; 11 – КЧД-II.

МОНИТОРИНГОВЫЕ СИСТЕМЫ ВЫСОКОГО ВРЕМЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Разработаны проекты трех широкопольных мониторинговых систем высокого временного разрешения. Основной задачей этих проектов является создание многообъективного реконфигурируемого телескопа, способного проводить мониторинг больших областей небесной сферы для поиска быстрых оптических транзиентов и осуществлять их фотометрическое, спектральное и поляриметрическое оперативное исследование путем переориентации объективов в направлении обнаруженных событий, спустя короткое время после их регистрации (рис. 16). Создаваемая в настоящее время система Mini-MegaTORTORA состоит из 9 объективов Canon EF85/1.2, снабженных ЭОПом 3-го поколения с арсенид-галлиевым фотокатодом и быстрой ПЗС-камерой Sony. Такая конфигурация позволяет, благодаря относительно высокому квантовому выходу фотокатода (до 30-35% в широком диапазоне длин волн), преодолеть существенный шум считывания ПЗС-матрицы и работать в режиме доминирования шума неба, аналогично более дорогим и масштабным проектам MegaTORTORA и SAINT, ориентированным на использование ПЗС-матриц с внутренним усилением (EM-CCD). Суммарное поле зрения системы в мониторинговом режиме составит около 1000 кв.

градусов при проицании около 12.5^m в фильтре В за 0.13 сек. Для быстрой переориентации в ограниченных пределах ($\pm 15^\circ$) решено снабдить каждый из объективов целостным зеркалом в карданном подвесе, что позволяет осуществлять перенаведение менее чем за 0.3 сек. Каждый канал снабжен набором вводимых в оптический пучок спектральных и поляризационных фильтров. Программное обеспечение комплекса выполняет в реальном времени поиск транзиентных событий на различных временных шкалах (от долей секунды до получаса). Поддерживается собственный каталог доступных для наблюдения небесных объектов, который включает всю собираемую фотометрическую и позиционную информацию, служащую для поиска переменных звезд, астероидов и иных объектов, переменных на относительно больших временных шкалах.

Изготовлены блоки системы мониторинга неба Mini-MegaTORTORA. Этот многоканальный телескоп состоит из 6-ти светосильных объективов Canon EF85f/1.2, снабженных комбинированным детектором из ЭОП с арсенид-галлиевым фотокатодом и TV-CCD Sony на линии с двумя компьютерами, регистрирующим и управляющим (рис. 20). Поле зрения каждого канала составляет около 100 кв. градусов при пространственном разрешении $20''$, предел обнаружения при мониторинге составляет $\sim 12^m$. В исследовательском режиме (после обнаружения вспышки) все каналы с помощью целостатов ориентируются на одно поле, и за 0.13 сек. предел улучшается до 13^m . В настоящее время телескоп отлаживается и испытывается.

Г.М. Бескин, С.В. Карпов, С.Ф. Бондарь (ОАО НИК НПП).

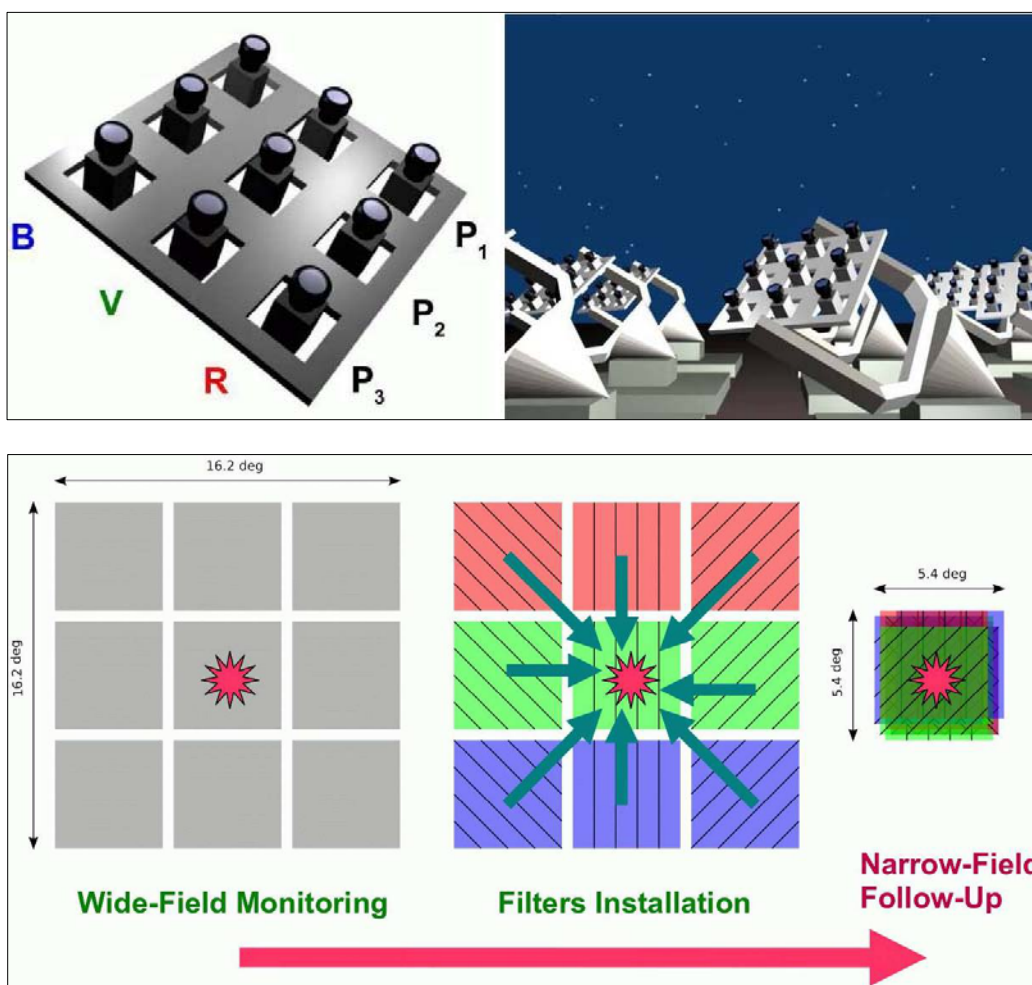


Рис. 16. Широкопольная мониторинговая система MegaTORTORA (Mini – MegaTORTORA). Вверху слева – базовый 3x3 блок системы. Каждый объектив наводится независимо от остальных и оснащен набором сменных цветowych и поляризационных фильтров, вводимых в световой пучок. Вверху справа – вид полной мониторинговой системы, состоящей из множества базовых блоков, размещенных на отдельных экваториальных монтировках. На нижнем рисунке представлены различные режимы функционирования базового блока. Слева – направо: широкопольный мониторинг в белом цвете или в одном из цветowych фильтров; введение в световой пучок цветowych и поляризационных фильтров сразу после обнаружения оптического транзиента; перенаведение всех объективов в поле, содержащее транзиент, для получения одновременной информации в трех фотометрических полосах при трех ориентациях плоскости поляризации (показаны различными направлениями штриховки). Время, необходимое для перехода из одного режима в другой, зависит от аппаратной конфигурации. Ожидается, что оно не будет превосходить 0.3 секунды.

СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

СПЕКТРОГРАФ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ. Нэсмитовский эшелле-спектрограф находится в эксплуатации на БТА с 1998 года. За 11 лет работы спектрографа по двум десяткам научных программ выделено 557 ночей, получено несколько тысяч спектров высокого разрешения ($R=50000\div 80000$), опубликовано более 150 работ в рецензируемых журналах. Оптическая схема спектрографа представлена на рис. 17. Спектрограф снабжен различными предщелевыми устройствами (анализаторами поляризации, йодной ячейкой и т.д.) и резателями изображения. В предщелевой части спектрографа установлена оптико-механическая система, стабилизирующая положение изображения звезды на входной щели спектрографа с точностью $\sim 0.1''$. Оптическая схема спектрографа рассчитана на получение спектров без существенного снижения спектрального разрешения в широком диапазоне длин волн 300–1000 нм. В качестве основного диспергирующего элемента спектрографа используется уникальная мозаика из двух эшелле-решеток. *В.Е. Панчук, В.Г. Клочкова, М.В. Юшкин, И.Д. Найденов. Оптический журнал, 76, 42 (2009).*

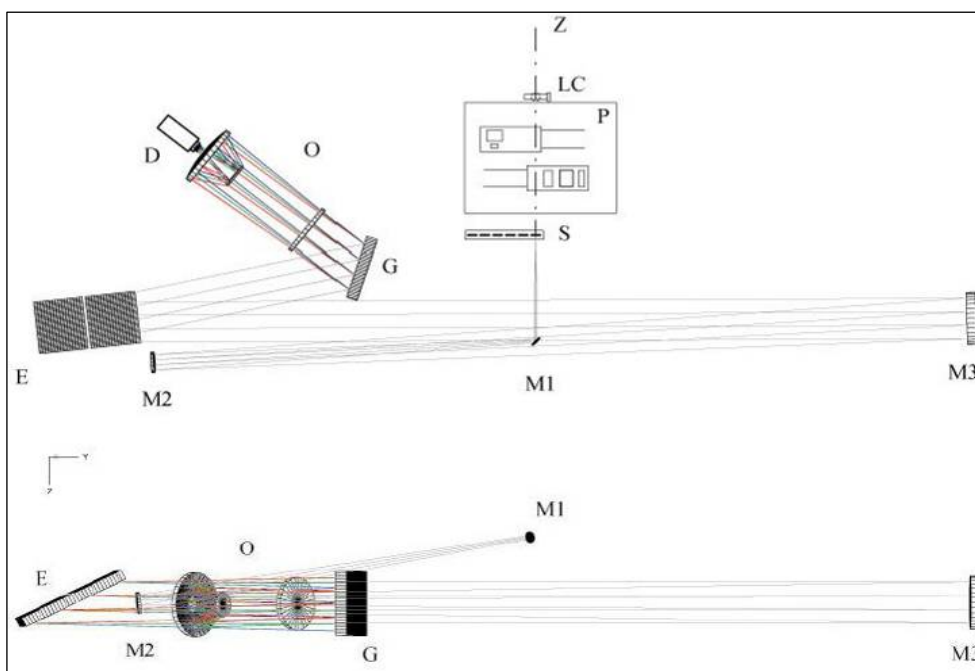


Рис. 17. Оптическая схема НЭС в двух проекциях. *Z* – оптическая ось телескопа в фокусе Нэсмита, *LC* – корректор положения изображения звезды на входной щели спектрографа, *P* – узел предщелевых устройств, *S* – каретка со сменными входными щелями и резателями изображения, *M1* и *M2* – плоские ломающие зеркала коллиматора, *M3* – вогнутое зеркало коллиматора – внеосевой параболоид, *E* – мозаичная эшелле решетка, состоящая из двух частей, *G* – сменные решетки скрещенной дисперсии, *O* – объектив камеры спектрографа системы Шмидт-Кассегрен-Манжен, *D* – светоприемник, матрица ПЗС.

ПРОТОТИП ОПТОВОЛОКОННОГО СПЕКТРОГРАФА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Разработан и изготовлен спектрограф высокого разрешения (для УрГУ), использующий оптоволоконно, для телескопов диаметром 0.5-2 м. Спектрограф скрещенной дисперсии ориентирован на работу в диапазоне 3800-10000 Å. На матрице ПЗС 2048x2048 элементов (размер пикселя 13.5x13.5мкм) одновременно регистрируется 60 спектральных порядков. На рисунке 18 представлен эшелле-спектр горячей звезды, полученный в диапазоне $\lambda\lambda 3953-7868\text{Å}$ (порядки $m=125-66$). Разведение порядков осуществляется дифракционной решеткой. Спектрограф построен по схеме белого зрачка, что обеспечивает оптимальное распределение интенсивности вдоль спектрального порядка, что важно при применении корреляционных методов обработки сигнала. Диаметр коллимированного пучка составляет 100 мм. В качестве основного диспергирующего элемента используется эшелле-решетка R4. Подвесная часть спектрографа устанавливается в фокусе Кассегрена или в фокусе Нэсмита и содержит: а) согласующую оптику, б) узел калибровки линейчатым и непрерывным спектром, в) систему подмотра поля, г) систему позиционирования положения входа в оптоволоконно и систему гидирования, д) затвор. Управление спектрографом осуществляется в режиме удаленного доступа. При дистанционных наблюдениях помимо ввода-вывода источников калибровки, можно изменять рабочие углы решетки скрещенной дисперсии, положение фокуса камеры и угол наклона плоскости светоприемника к оси камеры. Предусмотрены режимы автоматического гидирования, как по изображению исследуемого объекта, так и по «боковой» звезде (оффсетное гидирование). Автоматическое гидирование в

пределах $\pm 1'$ (по двум координатам) осуществляется быстрым перемещением входного торца оптического волокна. Спектрограф испытан на Цейсс-1000. С оптическим волокном диаметром 150 мкм (4.8" в проекции на небесную сферу) обеспечивается спектральное разрешение $R=30000$. Первые наблюдения показали, что за время экспозиции 1 час на метровом телескопе достигается отношение сигнал/шум $S/N=10$ для звезд 12.5^m .

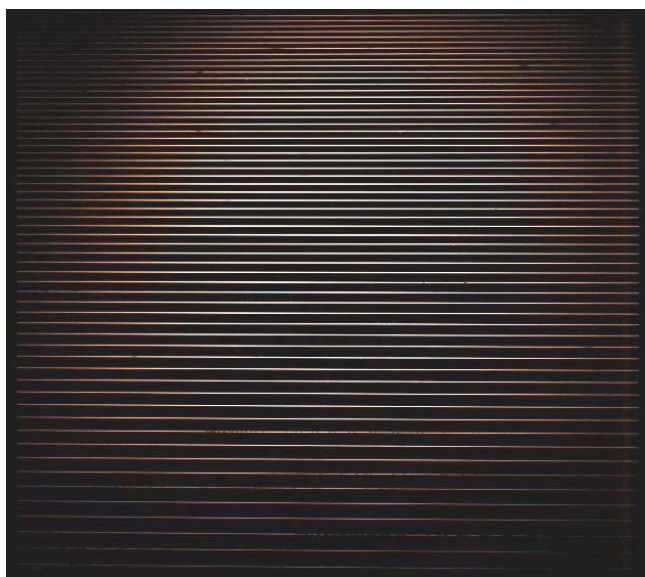


Рис. 18. Изображение спектра горячей звезды, полученное в диапазоне $\lambda\lambda$ 3953-7868 Å (порядки $m=125-66$). Перекрывание соседних порядков обеспечивается для $\lambda < 6100$ Å. В правом нижнем углу кадра (порядок $m=66$) находится ИК-триплет кислорода, в центре справа – резонансный дублет межзвездного натрия, в верхней части кадра – линии бальмеровской серии водорода.

В.Е. Панчук, М.В. Юшкин, М.В. Якопов, Г.В. Якопов, Э.В. Емельянов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЙОДНОЙ АБСОРБЦИОННОЙ ЯЧЕЙКИ

Разработан метод определения лучевых скоростей с применением абсорбционной ячейки, заполненной парами молекулярного йода. Проведены наблюдения с ячейкой, установленной на входе спектрографа (НЭС). Ячейка формирует многочисленные линии спектра сравнения непосредственно на спектре звезды, что позволяет увеличить точность измерения доплеровских смещений на звездных спектрографах БТА более, чем на порядок. Использование ячейки со спектрографом и кросс-корреляционным методом обработки сигнала позволяет исследовать относительно слабые объекты. На кварцевом эшелле-спектрографе НЭС достигается точность измерения доплеровских смещений 20 м/с при внутренней точности метода 2 м/с.

В.Е. Панчук, М.В. Юшкин, В.Г. Клочкова, И.Д. Найденов, М.В. Якопов, Е.И. Перепелицын, Д.С. Насонов (ГАИШ МГУ). Астрофиз. бюлл., 64, 297 (2009).

К ПРОБЛЕМЕ СТАБИЛЬНОСТИ ОПТОВОЛОКОННОГО СПЕКТРОГРАФА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ 6-М ТЕЛЕСКОПА.

Технической базой концепции контролируемого оптоволоконного спектрографа высокого разрешения является возможность использования быстродействующих процессоров и светоприемников, а также прецизионных средств оптического контроля. В частности, в течение ряда лет различными методами исследована температурная и позиционная стабильность спектрографов НЭС и ОЗСП. Показано, что нестабильность положения спектра (максимальный градиент смещения составляет 2 м/час) сегодня определяется не конструктивными особенностями спектрографов, а тепловым режимом вспомогательных помещений башни БТА.

Для повышения точности измерения лучевых скоростей на спектральной аппаратуре БТА рассмотрено влияние различных эффектов нестабильности на ошибку определения лучевой скорости. Проанализированы факторы, ограничивающие точность спектроскопических определений V_r , как в целом, так и для данных конструкций спектрографов, телескопа и башни. Основные ограничения точности определения V_r на звездных спектрографах БТА:

- нестабильное во времени заполнение звездного канала из-за неточного положения плоского зеркала БТА;
- рассогласование звездного и калибровочного каналов из-за различия оптических схем осветителей;
- нестабильность оптико-механических конструкций как результат гидравлических ударов в системе опорно-поворотной части БТА.

Сделан вывод, что на подвижной части телескопа возможно размещение спектрографа высокого разрешения, оснащенного системой позиционного контроля.

В.Г. Клочкова, В.Е. Панчук, М.В. Юшкин, Д.С. Насонов (ГАИШ МГУ). Астрофиз. бюлл., 63, 410 (2008).

СПЕКТРОСКОПИЯ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО РАЗРЕШЕНИЯ

Разработан проект, подготовлены рабочие и сборочные чертежи нового спектрографа SCORPIO. Начато изготовление спектрографа в макетных мастерских обсерватории. Проведены лабораторные исследования новой ПЗС-системы с матрицей с глубоким обеднением EEV42-90 формата 4600x2048 пикселей. Она имеет

небольшой уровень муаровых полос. Редукция позволяет достигнуть фотометрической однородности лучше 0.5 % в ближней ИК-области (0.76-0.93 мкм). Создан комплекс программ для обработки данных 3D-спектроскопии со сканирующим интерферометром Фабри-Перо. Разработанные алгоритмы позволяют удалять следы паразитных бликов на изображениях галактик, оценивать дисперсию скоростей ионизованного газа. Разработан пакет программ в среде IDL для обработки спектрополяриметрических данных SCORPIO.

В.Л. Афанасьев, А.В. Мусеев.

НОВЫЙ СКАНИРУЮЩИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

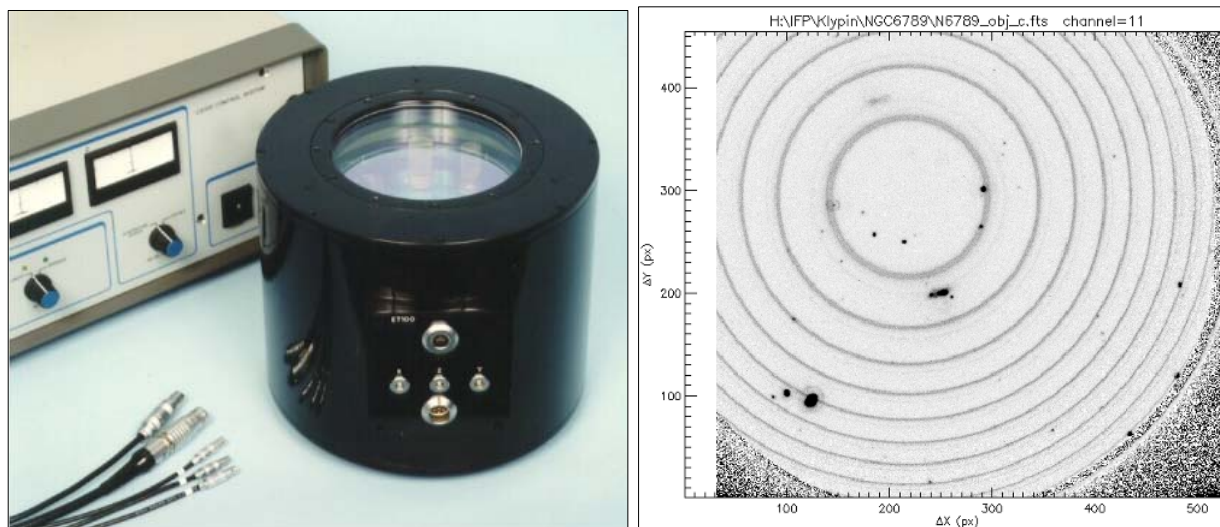


Рис. 19. Слева – сканирующий пьезоэлектрический интерферометр Фабри-Перо. Справа – изображение полученное на SCORPIO с новым интерферометром.

В 2009 г. приобретен сканирующий пьезоэлектрический интерферометр Фабри-Перо, изготовленный фирмой IC Optical Systems Ltd (Великобритания). Покрытие интерферометра оптимизировано для наблюдений в спектральных диапазонах 5000-5600, 6500-7000 и 8500-9000 ÅÅ. Рабочий порядок интерференции - 751 (λ 6563 Å). Лабораторные испытания и наблюдения подтвердили характеристики, заявленные производителем. При наблюдениях с фокальным редуктором SCORPIO интерферометр в области линии H_{α} обеспечивает спектральное разрешение 0.4 Å, что в два раза лучше, чем старый интерферометр (рис. 19).

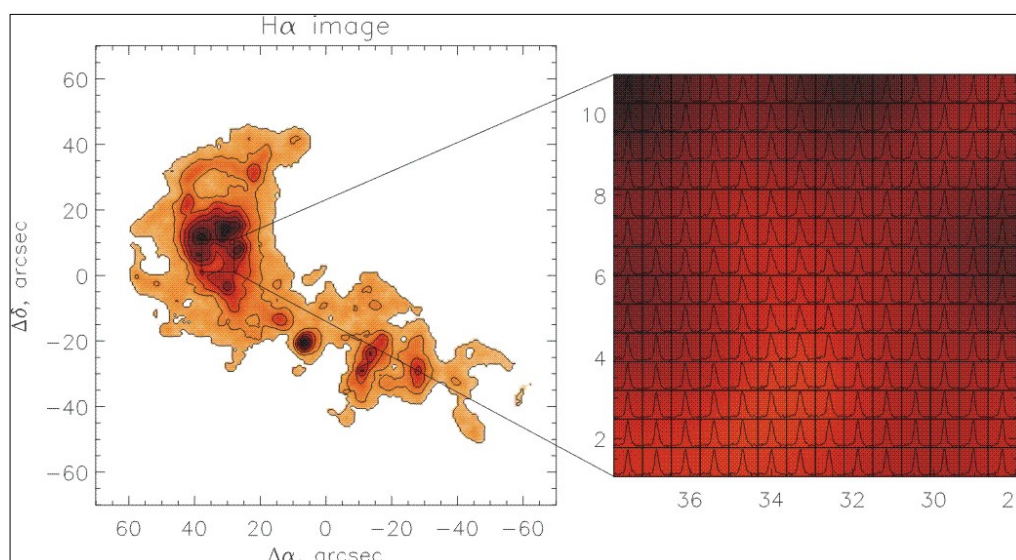


Рис. 20. Ионизованный газ в галактике UGCA 92. Слева — изображение в линии H_{α} построенное по результатам наблюдения (БТА/IFP). Справа показы профили линии H_{α} из выделенной области.

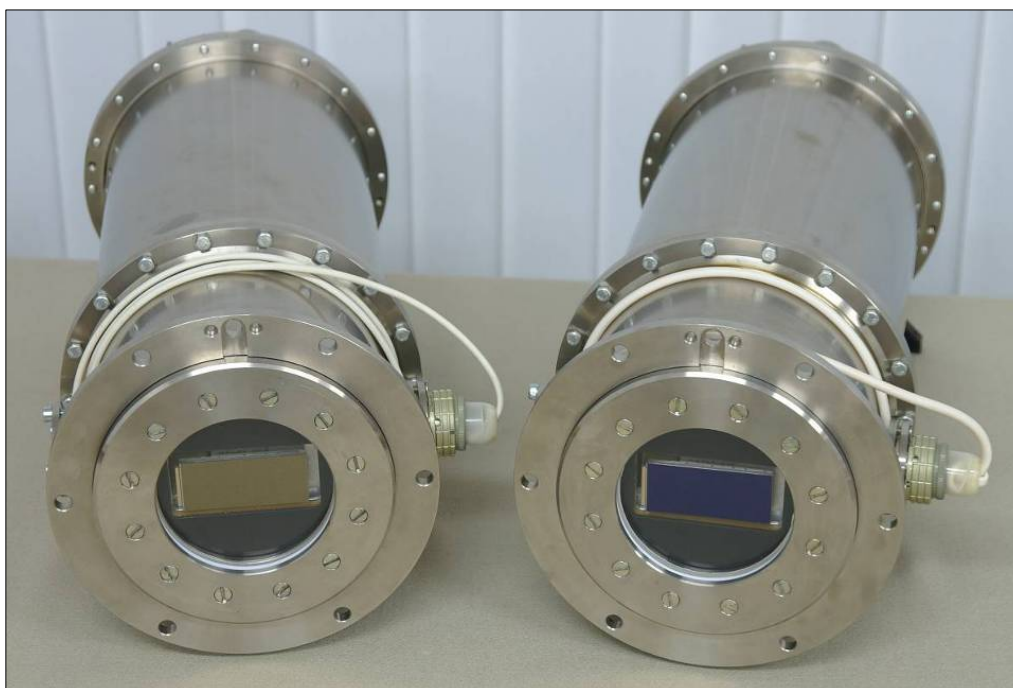
На изображении отсутствуют паразитные («экспоненциальные») блики, ранее создававшие серьезные проблемы при изучении слабых протяженных объектов. Новый интерферометр дает дополнительные возможности для детального изучения внутренней кинематики ионизованного газа, как в галактических

туманностях, так и в более далеких объектах. В качестве примера на рисунке 20 приводятся примеры профилей эмиссионной линии ионизованного газа внутри области в близкой карликовой галактике UGCA 92. Наблюдаемая асимметрия линий связана с истечением газа из области бурного звездообразования.

А.В. Моисеев.

ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТИПОВ СВЕТОПРИЕМНЫХ КАМЕР

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ШИРОКОФОРМАТНЫЕ ПЗС-СИСТЕМЫ. Завершены комплексные испытания двух высокочувствительных ПЗС-систем (рис. 21) на матрицах E2V CCD42-90 (формат 2048x4608, размер пикселя $13.5 \mu\text{m}^2$, шум считывания 4 е при скорости считывания 100 Крпх/с). В одной из систем используется матрица с тонкой подложкой и высокой квантовой эффективностью в коротковолновом диапазоне длин волн, в другой - матрица с такой же топологией, но с толстой высокорезистивной подложкой и с повышенной квантовой эффективностью в длинноволновом диапазоне.



*Рис. 21. В декабре 2007 г. завершена разработка двух ПЗС-систем с чипами EEV-42-90 (2048*4600 pix). Слева - система с back-illuminated «синим» чипом, справа- система на базе deep-depletion «красного» чипа.*

Проведена оценка характеристик и тестирование режимов наблюдений с системой на матрице с толстой подложкой и многомодовым фокальным редуктором SCORPIO. Проведены опытные фотометрические наблюдения на 1-м телескопе с системой на матрице с тонкой подложкой. Проводился мониторинг фотометрических и фотоэлектрических характеристик ПЗС-систем на протяжении 6 месяцев, показавший высокую стабильность систем: нестабильность температуры детекторов не превышала 0.06°C , встроенного нуля (bias) – не более 1 электрона, усиления – не более 0.32%. Новые ПЗС-системы переданы в эксплуатацию.

С.В. Маркелов, В.И. Ардианов, Н.Г. Иващенко, В.А. Мурзин, И.В. Афанасьева, А.Н. Борисенко.

КРИОСИСТЕМА POLYCOLD PSS. Разработана новая система охлаждения замкнутого цикла (Джоуля-Томсона) дроссельного типа Polycold PSS для ПЗС-систем. Ресурс системы составляет 10 лет. Удачно сконструированная для сочленения с криостатом криоголовка имеет малый вес и не выделяет тепла. Компрессор системы может быть вынесен за пределы фокусов телескопа на расстояние до 50 м. Вибрации на холодном фланце имеют низкую пиковую амплитуду $1 \mu\text{m}$ и обусловлены только импульсным расширением газа и передачей вибраций от компрессора по гибкому шлангу. На основе такой камеры был изготовлен комплект ПЗС-системы с матрицей CCD42-40 2048x2048 пикселей для Коуровской обсерватории Уральского государственного университета. Планируется переоснащение ПЗС-систем БТА системами Polycold PSS в качестве надежного средства охлаждения штатных приемников изображения.

Совместно с ИПФ РАН разработана линейка различных типов криостатов с азотным и термоэлектрическим охлаждением ПЗС-приемников, а также с использованием криорефрижераторов замкнутого цикла, что позволяет обеспечить работу больших ПЗС-матриц, импактронов и мозаичных приемников.

С.В. Маркелов, В.И. Ардианов, Н.Г. Иващенко, В.А. Мурзин, И.В. Афанасьева, А.Н. Борисенко, М.А. Притыченко.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ТИПОВ ПЗС-МАТРИЦ. Разработан ПЗС-контроллер нового поколения с высокой фотометрической стабильностью и предельно низким шумом считывания, отличительной особенностью которого является возможность управления высокоскоростными одиночными и мозаичными детекторами видимого и инфракрасного диапазона длин волн. Контроллер построен на основе ПЛИС высокой степени интеграции и связан с удаленным хост-компьютером посредством оптоволоконного интерфейса с производительностью 1.2/2.4 Гбит/с. В нем реализована цифровая обработка видеосигнала, которая в контроллерах прежних поколений выполнялась посредством 16- и 32-разрядных цифровых сигнальных процессоров. С целью реализации на базе ПЛИС разработан алгоритм оптимальной фильтрации реального видеосигнала от шума. Для обеспечения долговременной фотометрической стабильности сигнала разработаны алгоритмы высокоточной цифровой стабилизации канала от детектирования заряда до формирования цифрового изображения. Произведен анализ и разработка архитектуры системы сбора данных с высокой пропускной способностью с использованием оптоволоконных модулей связи GIGASTAR, фрейм-грабберов стандарта Camera Link и серверных промышленных хост-компьютеров с шиной PCI Express. С оптической линией связи 2.4 Гбит/с достигнута скорость 262 МБайт/с при выводе цифровых изображений на дисковый массив RAID-0. На основе разработанного контроллера построен лабораторный образец ПЗС-системы с приемником типа pn-CCD фирмы PnSensor GmbH (Германия) с числом пикселей 264x264 и 8-канальным параллельным выводом видеосигнала, а также для CCD97-00 (E2V Technologies, Великобритания). Достигнуты шум считывания $3.1 e^-$ и скорость считывания до 920 кадр/с. Для данных матриц проведены исследования способов снижения шумов считывания и фотометрической коррекции видеосигналов и отработаны уточненные алгоритмы согласованной фильтрации сигналов из его смеси с шумом и коррекции передаточной характеристики.

В.А. Мурзин, А.Н. Борисенко, Н.Г. Иващенко, В.И. Ардианов, И.В. Афанасьева, М.А. Притыченко, А.А. Борисенко.



Рис. 22. Спекл-интерферометр на базе EMCCD Andor iXon+897.

НОВЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРА

Проведена модернизация спекл-интерферометр для наблюдений в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра. Ранее использовавшаяся камера PhotonMAX512 была заменена на камеру Andor iXon DU-897 (рис. 22). Новый приемник построен на базе матрицы CCD-97. В нем предусмотрена возможность более глубокого охлаждения матрицы за счет использования замкнутой системы жидкостного охлаждения. Это позволяет получить рабочую температуру до -95° , что существенно снижает темновые шумы матрицы. Камера имеет более высокую частоту считывания кадров (до 35 кадров/сек). Шум считывания выходного регистра составляет менее $1e^-$ на всех скоростях считывания (от 1 до 10 МГц). За счет более качественной электроники значительно уменьшилась неравномерность чувствительности по полю в кадре и геометрические искажения. При тех же оптических характеристиках спекл-интерферометра повысить проникающую способность системы, при наблюдениях на 6-метровом телескопе, более чем на 1^m . В оптическую схему спекл-интерферометра добавлены узкополосные интерференционные фильтры с центральными длинами волн/полуширинами пропускания — 700/10, 713/10, 839/8 и 850/8 нм. Данные фильтры используются для получения изображений долгопериодических переменных звезд с высоким пространственным разрешением.

Е.В. Малооголовец, А.Ф. Максимов.

ЭФФЕКТ БЛИЗОСТИ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ТУННЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ

Одним из факторов, ограничивающих параметры детекторов оптического излучения на основе СТП, является эффект близости (влияние подслоя алюминиевой пленки на электрофизические параметры туннельной структуры). В случае СТП-детектора на основе ниобия и алюминия ($Nb/Al-Al_xO_y/Nb$, $Nb/Al-Al_xO_y-Al/Nb$) необходимо учитывать наличие слоев Al на границах туннельного барьера, так как СТП-детектор в этом случае представляет собой сложную структуру типа сверхпроводник - нормальный металл - изолятор - нормальный металл - сверхпроводник (СНИНС). Экспериментальные свойства СНИНС-структур изучены

значительно хуже, чем СИС-структур, особенно при температурах ниже 1 К. В то же время, именно эта температурная область представляет интерес для работы СТП-детекторов, т.к. интервал их рабочих температур находится, как правило, не выше 0,3 К. Были предложены простые методики расчета эффективной критической температуры (КТ) тонкопленочной структуры Nb/Al и величины энергетической щели граничащих пленок. Они дают адекватную оценку вышеуказанных параметров для структур, состоящих из толстого ($d_{Nb}/\xi_{Nb}=5$) сверхпроводника с более высокой КТ ($T_{CNb}=9,25$ К) и тонкого ($d_{Al}/\xi_{Al}=1/3$) – с более низкой КТ ($T_{CAI}=1,18$ К). d и ξ – толщина пленки и длина когерентности, соответственно. Полученные данные лежат в пределах точности численной модели, что обуславливает успешное практическое применение предлагаемой методики для структур Nb/Al в приближении слабого эффекта близости.

Также была предложена схема и изготовлен стенд для калибровки оптического сенсора на основе СТП при температуре 4,2 К при помощи методики накопления данных. Показано, что дробовой и тепловой шумовые токи СТП-сенсора по порядку величины соответствуют входному шумовому потоку СКВИДа – сверхпроводящего квантового интерференционного датчика. Таким образом, калибровка сенсоров на основе СТП может быть осуществлена с использованием низкотемпературного СКВИДа и накопления данных для увеличения отношения сигнал-шум.

Г.В. Якопов, Н.Н. Будник, Т.С. Лебедева и П.Б. Шпилев (Украина).

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЦЕЙСС-1000

МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Проведена модернизация система электропривода главных осей телескопа Цейсс-1000. Спроектированы маршруты прокладки кабелей. Выполнен подбор марок кабелей, протяжка, укладка и жгутование (около 400 м общей длины) силовых электрических кабелей без вывода телескопа из штатной эксплуатации. Проведены испытания и ввод в штатную эксплуатацию обновленного кабельного хозяйства. Без остановки телескопа проведена модернизация схемы управления электроприводами. Для нее выбран единый источник электропитания с переменным напряжением 220 В вместо 3-х фазной сети с напряжением 380 В. Установлен дополнительный понижающий трехфазный трансформатор и выполнен частичный монтаж релейных цепей управления электродвигателями приводов, для чего потребовалась частичная разборка и последующая сборка механических конструкций телескопа. Для управления электродвигателями приводов главных осей телескопа установлены 7 частотных преобразователей фирмы SEW Eurodrive (рис. 23). Выполнена первичная настройка параметров частотных преобразователей для четырех приводов главных осей телескопа и оптимизированы параметры приводов, достигнута необходимая плавность и отсутствие раскочки телескопа при любых режимах движения. Управление электроприводами в штатном режиме телескопа осталось релейным, но уже от напряжения 3 фазы по 220 В. Приступили к настройкам приводов при разных режимах работы телескопа.

С.В. Драбек.



Рис. 23. Слева - щит частотных преобразователей для наведения и грубой коррекции, справа - частотные преобразователи для часового ведения и коррекции обеих осей телескопа.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЦЕЙСС-1000

Программное обеспечение для новой системы управления телескопом основано на архитектуре «сервер-клиент», причем выбранный режим работы телескопа обеспечивается определенным клиентским приложением. Сервер системы управления поддерживает сетевое взаимодействие с клиентскими приложениями, обеспечивающими интерфейс наблюдателей, управление аппаратурой регистрации и другим научным оборудованием, по http-протоколу. Такой подход позволяет реализовать дистанционное управление, включая использование стандартных веб-браузеров в качестве графических интерфейсов, и обеспечить

удаленные наблюдения как основной режим работы телескопа. На сегодняшний день подготовлены инженерные варианты клиентских приложений, с помощью которых можно выполнять некоторые основные операции с телескопом.

В.С. Шергин.

Техника и методы радиоастрономии

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС РАДИОМЕТРОВ КONTИНУУМА

Радиометры сплошного спектра (континуума) РАТАН-600 размещены в двух СВЧ-кабинах вторичных зеркал № 1 и 2. Комплекс состоит из 29 радиометров в диапазоне волн от 1 до 49см. Радиометры поддерживаются в постоянной готовности для круглосуточного использования в наблюдательных программах (см. табл. 1).

Основные направления и результаты работ последних лет в развитии комплекса радиометров континуума РАТАН-600:

- использование сверхширокополосных технологий для входных частей радиометров дм диапазоне (проект «Октава»);
- постановка и проведение комплекса работ по помехозащите с использованием быстродействующих цифровых сигнальных процессоров (ЦСП);
- разработка модульных радиометрических систем («МАРС»);
- разработка и внедрение схемотехнических методов повышения стабильности работы радиометров в наблюдательных программах;
- разработка и внедрение систем сбора данных нового поколения с возможностью высокоскоростной on-line обработки сигналов;
- внедрение современных неохлаждаемых МШУ в качестве альтернативных криогенным в сантиметровом диапазоне волн.

Таблица 1. Параметры радиометров сплошного спектра.

λ - длина волны; f_0 - центральная частота; Δf - полоса частот; ΔT - чувствительность при постоянной времени T_c ; $T_{\text{физ}}$ и $T_{\text{ш}}$ - физическая и шумовая температуры входных усилителей; T_c - общая шумовая температура системы; НЕМТ-транзистор с высокой подвижностью электронов; мод - модуляционная схема; РДШ - радиометр с добавлением шумов; T_a - температура антенны при средних углах возвышения; (*) - ожидаемая чувствительность.

λ см	f_0 ГГц	Δf ГГц	ΔT	Входной усилитель			T_a К	T_c К	схема	примечание
				T_{ϕ} , К	Тип	T_{ω} , К				
Вторичное зеркало №1										
1.0	30.0	4.0	6	310	НЕМТ	180	30	240	мод	МАРС-2(3кан.)
1.4	21.7	2.5	3.5	15	НЕМТ	23	30	77	мод	
2.7	11.2	1.4	3	15	НЕМТ	12	25	65	мод	
3.8	7.9	0.6	4	15	НЕМТ	14	23	62	мод	
6.25	4.8	0.8	2.2	15	НЕМТ	6	22	38	РДШ	ЛКП и ПКП(2кан.)
12	2.42	0.11	20*	310	НЕМТ	70	25	140	РДШ	Система
25	1.22	0.12	20*	310	НЕМТ	70	50	150	РДШ	"ОКТАВА"
49	0.61	-	-	310	НЕМТ	70	70	-	РДШ	В реконструкции
Вторичное зеркало №2										
1.0	30.0	5.0	5	310	НЕМТ	170	30	220	мод	МАРС-3(16кан.)
1.35	22.3	2.5	5.5	310	НЕМТ	92	25	185	мод	"Эридан"
2.65	11.3	0.8	5	310	НЕМТ	24	25	100	мод	в стадии
6.25	4.8	0.8	3.5	310	НЕМТ	17	23	60	мод	монтажа

МАТРИЧНАЯ РАДИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МАРС-3. Разработка матричной системы велась на новой элементной базе. МАРС-3 состоит из 16-ти независимых радиометров и включает 32 входных рупора с шагом 20 мм. Каждая пара рупоров подключена на вход усилительного модуля с помощью ППГ-модулятора (рис. 24, слева). Система обладает следующими возможностями для проведения наблюдений:

- прием сигнала 16-ю независимыми радиометрами с реализацией расчётной чувствительности в режиме диаграммной модуляции;

- наблюдения 32-мя независимыми радиометрами при делении времени наблюдения каждого радиометра на два (синтезированный режим полной мощности);
- возможность поворота анализатора линейной поляризации во входных трактах каждого радиометра на угол $\pm 45^\circ$, что позволяет измерять параметры Стокса I, Q, U.

Использование МАРС-3 в режиме прохождения радиоисточников через неподвижную диаграмму антенны позволяет в 4 раза повысить чувствительность радиотелескопа по сравнению с одноканальным радиометром и в 16 раз сократить время наблюдений при накоплении сигнала от слабых объектов (рис. 24, справа). Настоящая фокальная матрица по числу элементов не имеет аналогов в радиоастрономии. Она является основой исследования слабых фоновых излучений Вселенной на РАТАН-600 и других объектов со спектром излучения близким к «чернотельному», а именно, планет и спутников, активных ядер галактик, эффекта Сюняева-Зельдовича.

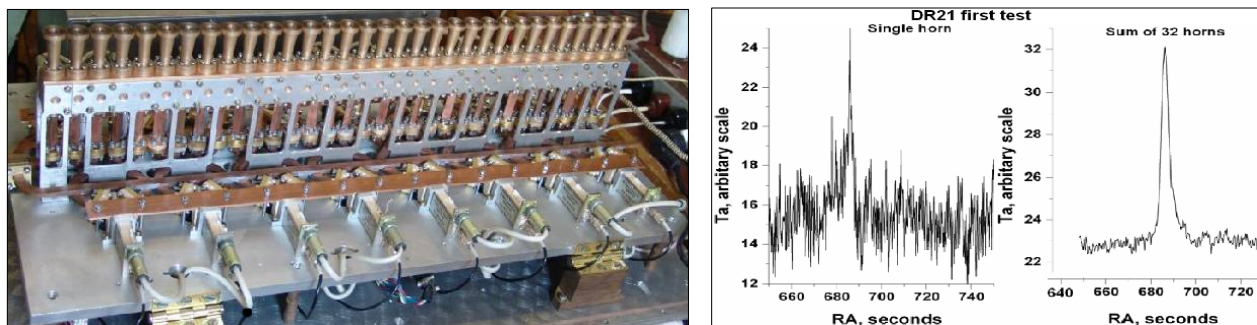


Рис. 24. Слева - СВЧ часть системы МАРС-3. Входные тракты, модуляторы и радиометрические модули смонтированы на общей термостатируемой плите. Справа - первые наблюдения с системой МАРС-3 радиоисточника DR21. Записи с одного входа системы МАРС-3 и просуммированные данные с 16 и 32 входов.

МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА СБОРА И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ В КОНТИНУУМЕ. Для системы МАРС-3 разработана новая система сбора данных и управления для наблюдений в континууме ER-DAS (Embedded Radiometric Data Acquisition System). Система разработана как «строительный блок» для создания распределенных сетевых измерительных радиометрических комплексов (рис. 25). Система ER-DAS опробована в течение 150-дневного наблюдательного цикла, проведенного в автоматическом режиме. Она показала высокую надежность и полное соответствие поставленным требованиям. Система состоит из двух гальванически изолированных подсистем: прецизионной аналоговой измерительной подсистемы с цепями нормирования сигналов и АЦП и подсистемы цифровой обработки сигналов (ЦОС) с коммуникационным и ЦОС-микропроцессорами. Такая архитектура определяется необходимостью встраивания аналоговой подсистемы в радиометр для измерения сигналов непосредственно на его выходе. Применение современных прецизионных усилителей постоянного тока (УПТ), работающих по схеме непрерывной автокалибровки нуля, позволило получить измерительную систему (ИС) с высокой стабильностью нулевого уровня. При этом отпадает необходимость в постоянных калибровках, и ИС не вносит в измеряемый сигнал шум со спектром вида $1/f$. Подсистема ЦОС обрабатывает потоки данных от АЦП по алгоритму, определяемому схемой радиометра, и передает результат по сети. Радиометр с такой ИС становится интеллектуальным сетевым радиометром с функцией обработки сигнала и обмена информацией.

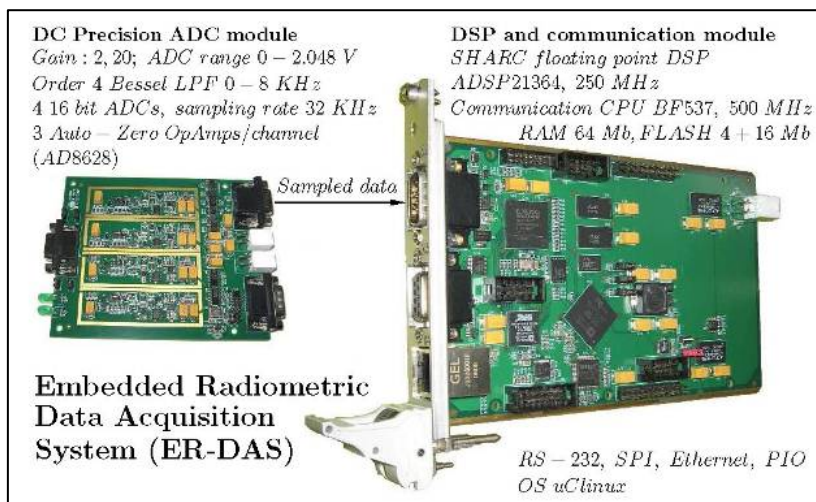


Рис. 25. Модули системы сбора данных и управления для прецизионных наблюдений в континууме ER-DAS.

Коммуникационный процессор работает под управлением ОС uClinux, которая вместе с ПО для процессора ЦОС хранится в энергонезависимой памяти и автоматически загружается при подаче питающего напряжения. Алгоритм обработки сигналов модуляционных радиометров в ER-DAS Radiometric Digital Lock-In (RDL) производит синхронное детектирование модулированного сигнала радиометра, цифровую фильтрацию и децимацию сигналов и, если необходимо, подавление импульсных помех. При этом при работе радиометра впервые возможны два режима измерения одновременно - режим модуляционного радиометра и режим радиометра полной мощности. ИС может применяться не только в радиометрии, но и в любых задачах прецизионного измерения сигналов датчиками с полосой от 0 до 8 КГц в диапазоне напряжений от 0 до 1.024 В. Алгоритмы ЦОС могут быть любыми и соответствовать поставленной задаче. Система демонстрирует высокую стабильность и точность измерений с предельно низким уровнем собственных шумов.

РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНЫХ ОБЛУЧАТЕЛЕЙ С ЕДИНЫМ ФАЗОВЫМ ЦЕНТРОМ ДЛЯ МАЛОШУМЯЩИХ РАДИОМЕТРОВ

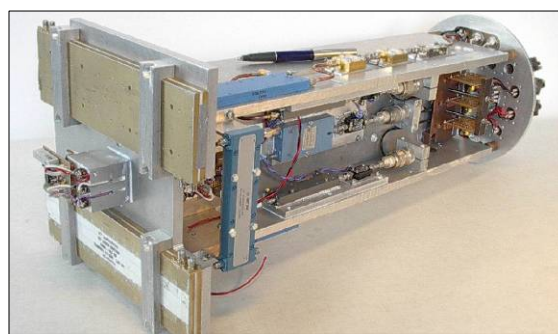


Рис. 26. Слева - фокальная линия вторичного зеркала № 1 с первичными облучателями радиометров на волны от 1.0 до 49 см, крайний справа- облучатель типа Eleven.Справа - входной сверхширокополосный блок дециметровых радиометров нового поколения.

В проекте «Октава» реализован новый подход к построению схемы радиометров сплошного спектра на основе сверхширокополосной частотно-независимой антенны-облучателя типа Eleven (рис. 26, слева), разработанной в Швеции, и сверхширокополосного входного приемно-усилительного блока. При использовании антенны Eleven в качестве первичного облучателя на РАТАН-600 выполнен переход от *совмещенного* первичного облучателя к *широкополосному*. Последнее обстоятельство снимает ограничения на выбор рабочей частоты парциального радиометрического канала, позволяет уходить на незагруженные помехами участки диапазона. Это позволит реализовать в перспективе вариант предельно полного анализа всего доступного дециметрового диапазона на РАТАН-600 и расширить возможности исследования пульсаров и режима многочастотного слежения.

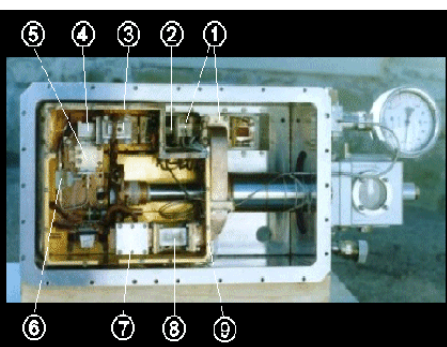


Рис. 27. Слева - входные кристаты радиометров 1,4 (слева) и 2,7 см. На обеих волнах наряду с двухлучевым приёмом реализован однолучевой режим работы с внутренней охлаждаемой нагрузкой в качестве эквивалента. Справа - компрессорная установка одной из четырёх микрокриогенных систем, охлаждающих входные части радиометров до 15 К.

Основные характеристики антенны Eleven:

- прием двух линейно-поляризованных компонент сигнала (регистрация параметров Стокса I, U и Q одновременно);
- поляризационная развязка порядка 20 дБ;
- стабильная диаграмма направленности в полосе более декады;

- низкий уровень шумовой температуры;
- независимое от частоты положение фазового центра.

Для эффективного применения Eleven разработан широкополосный входной двухканальной (для двух поляризаций) малошумящий усилительный блок (рис. 26, справа). Частотно-селективные радиометрические каналы к выходу блока подключаются через помехозащитные фильтры. Используется модифицированная радиометрическая схема РДШ (радиометр с добавлением шума). Добавочный модулированный шумовой сигнал от общего генератора шума вводится на вход первого усилителя. Синхронное изменение коэффициента передачи и точная балансировка реализуются во входной части каждого парциального частотного канала независимо. Входные каскады радиометров охлаждаются до 15 К при помощи трех микрокриогенных систем замкнутого цикла (рис. 27).

РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ЭРИДАН» ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ.

Для мониторинга электромагнитных помех в рабочих диапазонах радиотелескопа на облучателе № 5 введен в строй неохлаждаемый вариант трехчастотного (4.8, 11.2 и 21.7 ГГц) радиометрического комплекса «Эридан» (рис. 28, слева), в котором вместо $\lambda 1.0$ см установлен радиометр диапазона $\lambda 1.38$ см для контрастного наблюдения в максимуме излучения атмосферы (водяного пара). Для повышения чувствительности радиометра в НПО «Микран» (Томск) разработаны входные широкополосные малошумящие усилители диапазонов 4.8, 11.2 ГГц (или 2.7 см) и 21.7 ГГц (или 1.38 см). НЕМТ-усилители изготовлены на современной элементной базе (рис. 28, справа). Шумовые температуры усилителей без охлаждения составляют 17, 28 и 92°К соответственно, коэффициент усиления 30-35 дБ. Эти параметры делают их весьма перспективными для применения в приемной аппаратуре радиотелескопа. Ожидаемая чувствительность для усилителей с антенной составляют 4.5, 5 и 7 мК на 4.8, 11.2 и 21.7 ГГц соответственно при постоянной времени 1 сек., что позволит значительно расширить диапазон возможных астрофизических задач.

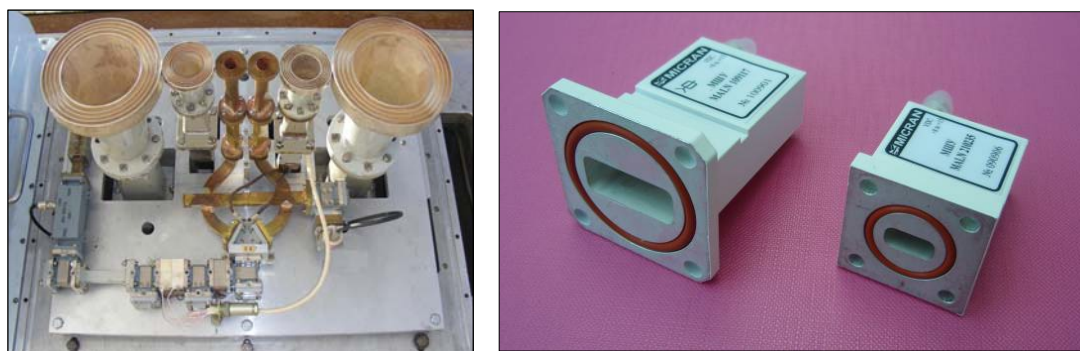


Рис. 28. Слева - трехчастотный радиометрический комплекс «Эридан» (4.8, 11.2 и 21.7 ГГц); справа - входные сверхмалошумящие усилители диапазонов 11.2 (слева) и 21.7 ГГц (справа) НПО «Микран» (Томск), разработанные для РАТАН-600.

Н.А. Нижельский, А.Б. Берлин, М.Г. Мингалиев, П.Г. Цыбулев, Д.В. Кратов, Р.Ю. Удовицкий, Б.И. Карабаев, Ю.Н. Коновалов.

МОНИТОРИНГ ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

В последнее время помеховая обстановка на РАТАН-600 стабильно ухудшается, однако современными техническими средствами можно отслеживать и анализировать помеховую ситуацию в сантиметровом и дециметровом диапазонах даже при достаточно слабом уровне мешающего сигнала. Создан и внедрен в штатную эксплуатацию аппаратно-программный комплекс для исследования помеховой обстановки. Он предназначен для обнаружения помех, которые регистрируются при наблюдениях на высокочувствительных радиометрах сплошного спектра на $\lambda\lambda 49$, 31 и 13 см. Для анализа полученных измерений разработано программное обеспечение. Тестовые измерения, полученные системой, приведены на рис. 29 (справа). Комплекс используется в двух режимах. В *первом режиме* выполняется круговое горизонтальное сканирование с помощью двухметровой параболической антенны, смонтированной на крыше кабины облучателя, и получение азимутального распределения источников помех. Далее СВЧ-сигнал подается на дополнительный широкополосный усилитель, затем на вход сканирующего приёмника ESMS-диапазона 20-3000 МГц фирмы Rohde&Schwarz (рис. 29, слева). При круговом обзоре по перекрывающимся азимутам обнаружены направления, соответствующие максимальным уровням внешнего сигнала, которые являются помехами для радиотелескопа. Самый мощный источник помех регистрируется в направлении станции Зеленчукской (помехи от телевидения, сотовой связи и радио-Ethernet). Со стороны БТА присутствуют помехи от радиочастотного канала на 2.4 ГГц и от сотовой связи. Радиочастотный канал регистрируется со стороны Кумыша. Эпизодически появляется помеха, идущая в двух направлениях, которую не удалось соотнести с реальными объектами. Это излучение не носит постоянного характера по времени и по частоте.

Помеха регистрируется в диапазоне до 500МГц, где РАТАН-600 не имеет радиометров континуума, и поэтому ее постоянный мониторинг не ведется.

Второй режим работы комплекса - измерения помех, попавших непосредственно на вход радиометров. Измерения производятся по такой же схеме, как и в первом случае, только вместо параболической мобильной антенны используются радиотелескоп. В этом случае измеряется и оценивается уровень влияния всех мешающих сигналов, которые непосредственно поступают на входы радиометров в реальных наблюдениях, но в этом случае мы не можем определить направления излучения помех. В связи с этим используются оба метода, что позволяет оперативно обнаруживать помеху и принимать решения по помехозащите соответствующего диапазона.

А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский, П.Г. Цыбулев.

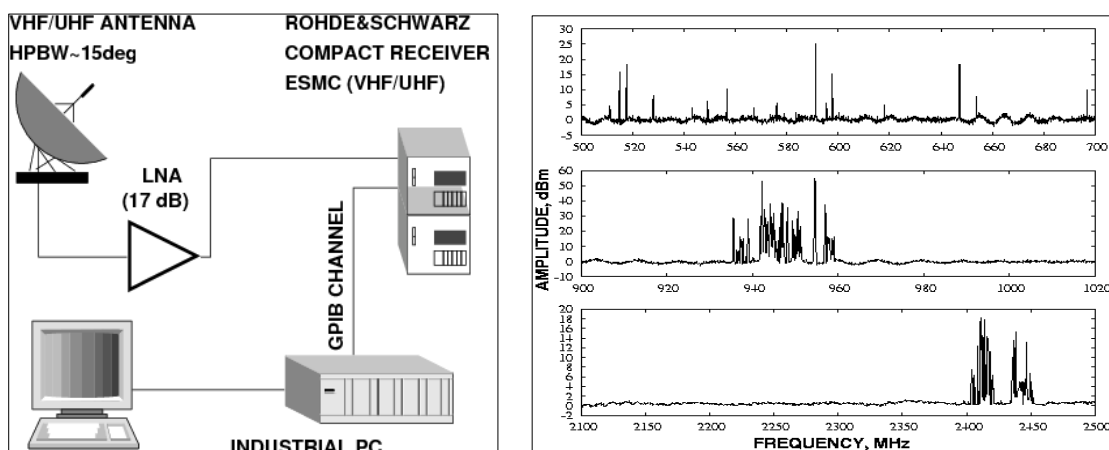


Рис. 29. Слева - блок-схема измерительного комплекса для изучения помеховой обстановки на РАТАН-600; справа - тестовые измерения помех в дециметровом диапазоне.

ЦИФРОВОЙ СПЕКТРОАНАЛИЗАТОР АС-60/2048

Разработан и изготовлен новый спектрограф на 2048 спектральных канала с полосой анализа 60 МГц (рис. 30, слева). Прибор предназначен для регистрации спектров сигнала в режиме реального времени. Получение информации о сигнале в пространстве «время-частота-мощность» позволяет проводить анализ сигналов, быстро меняющихся во времени. Регистрация широкополосного сигнала, разделенного на большое количество узкополосных участков, позволяет исключить искажения, вносимые стабильными по частоте помехами, такими как помехи от гетеродинов, колец ФАПЧ, комбинационными помехами от радио и телевизионных станций, помехами от радиолокаторов. В простейшем случае чистка от помех такого типа производится удалением при анализе подозрительных участков спектра. Наличие в регистрируемом сигнале информации о моменте записи позволяет исключить кратковременные широкополосные помехи искрового типа (помехи от работы двигателей, грозовые помехи).

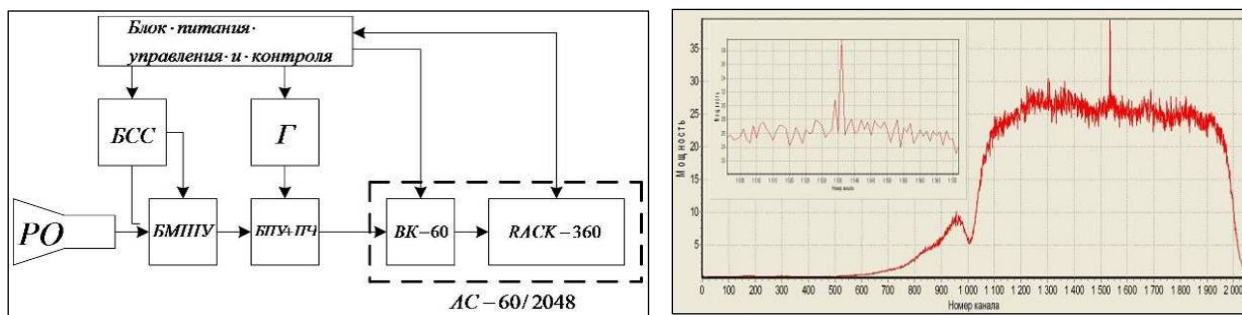


Рис. 30. Слева - блок-схема приемного устройства для спектральных исследований на РАТАН-600. Обозначения: РО – рупорный облучатель, БСС – блок служебных сигналов, БМШУ – блок малошумящего усилителя, Г – стабильный гетеродин, БПУ+ПЧ – блок преобразовательного устройства и предварительный усилитель промежуточной частоты, ВК-60 – видеоконвертор для преобразования к нулевой частоте, РАСК-360 – промышленный компьютер со встроенной процессорной платой Фурье спектроанализатора, АС-60/2048 – спектроанализатор в комплексе. Справа - пример записи гармонического сигнала.

Основные параметры анализатора спектра АС 60/2048:

- полоса регистрируемого сигнала - 60 МГц;

- способ формирования спектра – БПФ с накоплением без пропусков по времени;
- число спектральных каналов – 2048;
- минимальное временное разрешение - 34.13 мкс;
- минимальное временное разрешение в режиме записи на диск - 1024 мкс;
- Максимальное время аппаратного накопления спектра - 2 236. 9621(3) мс.

Анализатор работает в комплекте с видеоконвертером типа ВК-60, который обеспечивает преобразование с входной частоты 15030 МГц до 0 – 60 МГц на выходе и сопряжение по мощностям. Проведено лабораторное тестирование АС 60/2048, которое показало соответствие полученных параметров техническому заданию. Новый спектроанализатор установлен и внедрен в спектральный комплекс облучателя № 2. АС 60/2048 может работать совместно с любым приемным устройством комплекса параллельно с существующим фильтровым спектроанализатором. На базе промышленного компьютера RACK-360 модернизирована система сбора и управление спектральным комплексом. Разработан программный комплекс регистрации и обработки данных в 2048 каналах Фурье-анализатора. Проведен пробный цикл наблюдений на $\lambda 6.2$ см. Прибор внедрен в плановые спектральные исследования на облучателе № 2. Применение АС 60/2048 позволяет существенно повысить предельную чувствительность при наблюдениях в спектре и континууме (рис. 30, справа). АС-60/2048 можно использовать для наблюдений пульсаров, радиотранзиентных источников и других, быстро меняющихся во времени процессов, а также для отделения полезного радиоастрономических сигналов от помех.

А.П. Венгер, В.К. Дубрович, И.В. Госачинский, С.В. Логвиненко (АКЦ ФИАН РАН), Г.Н. Ильин (ИПА РАН), А.С. Морозов (ОАО «НИИ Изотерм»).

МНОГООКТАВНЫЙ СПЕКТРАЛЬНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Проведена модернизация многоволнового комплекса для исследования солнечного радиоизлучения. Вдвое расширен частотный диапазон, который сейчас включает частоты с 0.75 ГГц по 18 ГГц. Завершено многополосное перекрытие частотного диапазона радиотелескопа введенным в строй комплексом с параллельным анализом спектра с 224 каналами регистрации поляризованного излучения и 112 частотными каналами, частотное разрешение которого составляет $\sim 1\%$ (рис. 31). В сочетании с большой эффективной площадью радиотелескопа эта аппаратура предоставляет новые возможности для исследования тонкой спектральной и поляризационной структуры радиоизлучения на уровнях нижней и средней короны в зарождающихся активных областях. Наблюдения Солнца проходят автоматическую обработку и выставляются в Интернете на сайте <http://www.spbf.sao.ru/prognoz/> через 4 минуты после проведения наблюдений.

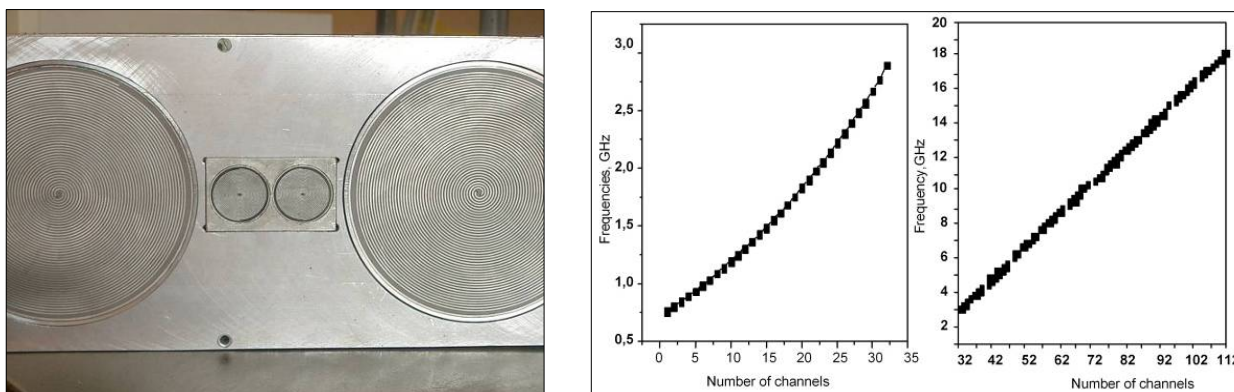


Рис. 31. Справа - совмещенный спиральный облучатель на две круговые поляризации во многооктавном диапазоне частот. Слева - размещение частотных каналов, перекрывающих многооктавный диапазон частот от 0.75 до 18.0 ГГц.

Система автоматизированной многоканальной регистрации. Создана система сбора данных для многочастотных наблюдений Солнца, в которой по всем частотным каналам реализован режим регистрации полной мощности по двум круговым поляризациям одновременно. Программное управление наблюдением обеспечивает полную автоматизацию процесса регистрации, анализ и управление усилением по каждому каналу в зависимости от величины входного сигнала, реализацию режима непрерывной калибровки, привязку к сигналам службы точного времени; запись метеорологической информации, управление колпаком входного рупора и др. Программа обработки многоволновых наблюдений Солнца и опорных радиоисточников Workscan дополнена функциями коррекции инструментальных погрешностей и представления данных.

В.М. Богод, С.В. Балдин, А.А. Перваков, С.Х. Тохчукова.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАЗРАБОТКЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Внедрение передовых технологий крайне актуально при разработке и изготовлении радиоэлектронной аппаратуры в небольших сериях для радиотелескопа РАТАН-600. В 2009г. приобретена современная установка (рис. 32) для производства печатных плат LPKF фирмы Laser&Electronics (Германия). Это прецизионное оборудование открывает новые возможности как для макетирования самых различных СВЧ-модулей, так и для производства и отладки печатных плат в НЧ-части радиометров. В условиях быстро меняющейся электромагнитной обстановки на РАТАН-600 большое значение приобретает оперативность разработки и внедрения средств активной помехозащиты рабочих диапазонов радиотелескопа.



Рис. 32. Комплект оборудования LDKF для производства печатных плат.

С помощью установки освоены технологии изготовления СВЧ-фильтров на полосковых линиях, развязывающих устройств СВЧ, направленных ответвителей, делителей мощности, детекторов на все радиометрические полосы и других устройств, основанных на технологии микрополосковых линий. Ниже мы представим примеры реализаций с помощью новых технологий элементов РЭА и их характеристики. Изготовлен делитель мощности на 4 канала. В процессе моделирования для него (рис. 33) оптимизированы затухание сигнала в полосе 1.1-1.3 ГГц на уровне 6.5 дБ, а также добиться одинакового уровня сигнала на каждом из четырёх выходов. Делитель выполнен на фторопласте ФФ-4 с диэлектрической проницаемостью 2. Медная фольга после фрезерования на оборудовании LDKF и запайки СВЧ резисторов номиналом 100 Ом, покрыта слоем лака.

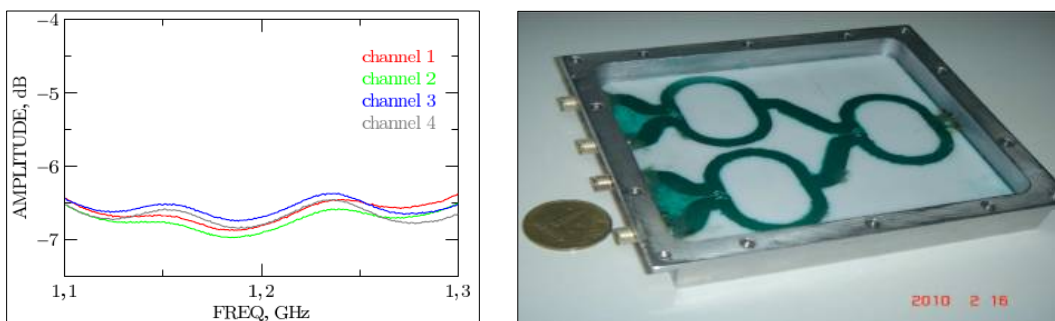


Рис. 33. Слева - результат испытаний изготовленного делителя мощности на ZVK Rohde&Schwarz. Рабочая частота 1.1-1.3ГГц. Справа - СВЧ делитель мощности. Рабочая частота 1.1-1.3ГГц.

Комплект оборудования LDKF открывает новые возможности в изготовлении фильтров по микрополосковой технологии. Технические возможности освоенного оборудования позволяют производить изготовление и монтаж также многослойных печатных плат (до 8 слоев). Это позволяет оперативно разрабатывать и внедрять современные системы управления радиометрическими комплексами, системы помехозащиты приемной аппаратуры, а также сделать более компактными и надежными.

М.Г. Мингалиев, А.Б. Берлин, Н.А. Нижельский, П.Г. Цыбулев, Д.В. Кратов, Р.Ю. Удовицкий.

АППАРАТНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Исследованы возможности гетероструктурных квантово-туннельных детекторных диодов, позволяющих существенно снизить коэффициент усиления приемного тракта и фликкер-шум, а также повысить стабильность радиометра. Для исследования спектров мощности шумовых дорожек радиометров в режиме полной мощности и в режиме модуляции изготовлены полосковые схемы импедансного согласования диодов в диапазоне 50-60 ГГц и 75-105 ГГц. Достигнута высокая чувствительность детекторных диодов (не хуже 15 мВ/микроВт на λ5 мм и 10 мВ/микроВт на λ3 мм) и снижен коэффициент усиления МШУ с 55 до 35 дБ. При использовании для атмосферных задач InP МШУ чипов λ3 мм и GaAs МШУ чипов λ5 мм диапазонов получена шумовая температура приемника 350 и 400 К, соответственно. Снижение МШУ является одним из

главных путей повышения стабильности, надежности и снижения стоимости многоэлементной приемной решетки миллиметрового диапазона.

Оптимизированы и исследованы характеристики эффективных широкополосных компактных рупоров с диэлектрическим стержнем (ДСР) и сплайно-профильных (СПР) диапазона 30 ГГц-40 ГГц. По сравнению с псевдоскалярным рупором у ДСР достигается 2-х кратное уменьшение размера и расширение полосы с 20% до 40%, а у оптимизированного СПР уменьшается размер на 30%-40% при увеличении полосы с 15% до 45%-50% в сравнении с гофрированным рупором. ДСР и СПР могут успешно применяться в плотноупакованных решетках $\lambda 8$ мм диапазона.

Разработан компактный эффективный рупор $\lambda 8$ мм диапазона для решеток во вторичном фокусе. Измерены его характеристики и проведены пробные наблюдения Солнца и Луны на РАТАН-600. Показана высокая антенная эффективность рупора и полное соответствие измеренных характеристик расчетным. Разработан вариант компактного гладкостенного сплайно-профильного рупора $\lambda 8$ мм для решеточных применений в третичном фокусе с аппаратурной эффективностью более 98%.

Проведены методические наблюдения Солнца, Луны, дискретных источников и атмосферы на $\lambda 8.5$ мм на облучателях № 1, № 2 и № 3. Наблюдения показали высокую чувствительность приемников решетки на уровне $4.5-5 \text{ мК}\cdot\text{с}^{1/2}$. Корреляция сигнала в 3-х лучах составляет не менее 95%. Высокая корреляция атмосферных флуктуаций на $\lambda 8.5$ мм и других волнах (1 см, 1.38 см, 2.7 см) позволяет использовать приемники данного типа для чистки многочастотных записей от атмосферных помех. При достигнутой частоте подъема спектра аномального шума (0.2 Гц -0.3 Гц) и малого времени прохождения дискретного источника (~ 0.5 сек) режим полной мощности можно использовать для наблюдения дискретных источников на РАТАН-600.

В октябре 2008 г проведены наблюдения атмосферы и Луны на облучателе № 5 на $\lambda 8$ мм в режиме модуляции входного тракта однолучевого решеточного приемника. Корреляция по вариациям атмосферы на $\lambda 8$ мм и $\lambda 1$ см (МАРС-3) в условиях облачной атмосферы составила более 95%. Измерена долговременная стабильность приемника в режиме модуляции в условиях ясной атмосферы. Минимальные суточные тренды антенной температуры, включая медленные изменения температуры атмосферы ясного неба вблизи зенита, не превышали 0.3°К . Наблюдение Луны на однолучевом приемнике $\lambda 8$ мм совместно с многолучевыми системами МАРС-3 и МАРС-2 на $\lambda 1$ см показало наличие в антенной системе значительных аберраций, вызванных как состоянием поверхности облучателя, так и недостаточно точной привязкой приемников к фокальной линии облучателя. Полученные результаты подтверждают, что волна 8 мм может быть рабочим диапазоном радиотелескопа.

В.Б. Хайкин, Ч. Гране (CSIRO, Австралия), ИРЭ (Харьков, Украина), ГНИЦ «Айсберг» (Киев) и ИФМ РАН (Нижний Новгород).

ПОВЫШЕНИЕ ПРОНИЦАЮЩЕЙ СИЛЫ И ПОЛЯ ЗРЕНИЯ РАТАН-600

Рост чувствительности приемно-измерительных комплексов РАТАН-600 и исследование фоновых излучений неба и слабых радиисточников, для которых необходима реализация предельных параметров радиотелескопа, потребовали поиска эффективных методов подавления мешающих шумов и более глубокого учета инструментальных эффектов. Значительный прогресс в уточнении диаграммы радиотелескопа до уровней ~ 20 дБ позволил существенно продвинуться по этим направлениям.

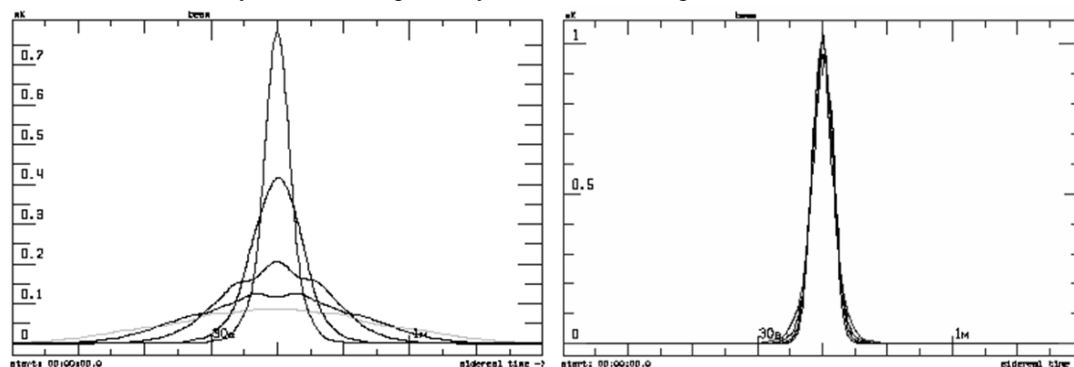


Рис. 34. Определение параметров источников, удаленных от оси диаграммы по склонению: слева – форма кривых прохождения радиисточников через диаграмму РАТАН-600 на разных расстояниях по склонению от ее оси, справа – приведение данных к варианту осевого прохождения с учетом новой теории дифракционного рассеяния в инструменте.

Дифракционное рассеяние в инструменте в радиоастрономии является аналогом отклика на точечный источник (PSF), но в отличие от оптики оно, как правило, стабильно и может учитываться с высокой

точностью при редукации данных. Особенность дифракционного рассеяния радиотелескопа приводит к ненулевой чувствительности РАТАН-600 в широкой области неба, которая на высоких углах места (высота RZF-обзора) почти на два порядка больше, чем поле зрения радиотелескопа по уровню половинной мощности (HPBW). Знание диаграммы позволяет, как регистрировать достаточно сильные источники далеко от оси диаграммы, так и алгоритмами обработки значительно снижать шум от них, мешающий оценивать параметры источников, находящихся на оси диаграммы. Последнее легко реализовать из-за сильной зависимости формы антенного отклика и расстояния источника от оси диаграммы по склонению. На рисунке 34 приводятся примеры, поясняющие методику. Этот метод позволяет исследовать достаточно сильные источники на расстояниях в 10 раз больших, чем размер диаграммы по склонению по уровню HPBW. Практическая важность метода – значительная экономия времени проведения обзора заданной области неба (расстояния между сечениями может быть меньше HPBW). Метод активно используется при обработке данных обзоров RZF и ХОЛОД. Предельно глубокие исследования фоновых излучений неба на РАТАН-600 используются для выделения популяции слабых радиоисточников. Простые алгоритмы типа MEXICAN HAT позволяют устранить не только мешающие фоновые излучения, но и шум удаленных от оси дискретных радиоисточников, который доминирует почти на всех рабочих волнах РАТАН-600. Выделение этим алгоритмом только источников, проходящих через центр диаграммы направленности, ослабляет на порядок шум от внеосевых источников.

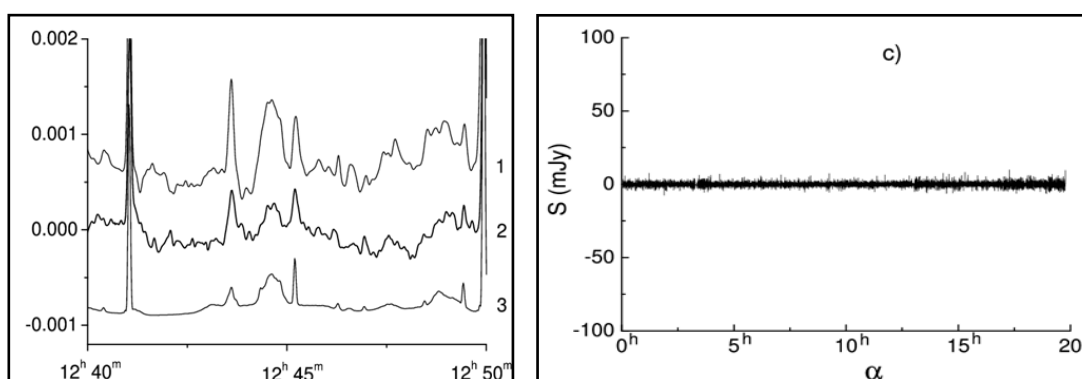


Рис. 34. Слева - примеры модельных 10-ти минутных сканов неба на волне 7.6 см, полученных на основе NVSS-изображений на волне 21см (1), на основе NVSS-каталога (3) и реальные осредненные записи RZF-обзора на волне 7.6 см (2). Сканы нормированы к уровню сигнала от источника 3C84. По оси абсцисс – прямое восхождение, по оси ординат – относительные единицы. Шум на модельных записях без чистки от источников близок к 20 мЯн. Справа - шум на выходе радиотелескопа после удаления шумов «дециметрового» неба. Дисперсия шума здесь около 1 мЯн, (т.е. в 20 раз меньше, чем на неочищенной записи). В остаточный шум входят погрешности чистки от NVSS-неба, просачивание атмосферного шума, шум от популяции радиоисточников, не попавших в NVSS-обзор, и шум радиометра, который здесь доминирует.

Параметры осевых источников определяются точнее из-за улучшения отношения сигнал/шум. Значительное уточнение структуры дифракционного рассеяния позволяет моделировать эксперименты, сглаживая известное из других обзоров радионебо (наиболее глубокие сведения сейчас имеются на дециметровых волнах) с диаграммой радиотелескопа и экстраполируя спектры источников (или фоновых излучений) на диапазон РАТАН-600. Это упрощает селекцию объектов. Обнаруженная на РАТАН-600 высокая корреляция между «дециметровым» и «сантиметровым» небом дает возможность очищать карты сантиметрового диапазона от известных источников. Это повышает проникающую силу РАТАН-600 в несколько раз, оставляя только новые популяции сантиметрового диапазона, объекты с аномальными или с меняющимися со временем спектрами (рис. 34, слева). Результат вычитания «дециметрового неба» из реальных наблюдений в сантиметровом диапазоне на РАТАН-600 приведен на рисунке 34 (справа). При осреднении кривых прохождения большого числа радиоисточников с известными координатами можно оценить средние параметры выбранной группы радиоисточников (и, следовательно, их средний спектральный индекс и средний угловой размер). Шум фоновых источников, в этом случае, оказывается независимым и усредняется как корень из числа усредняемых объектов. Появление каталогов NVSS, FIRST позволяет начать такие исследования. Для примера показан результат выделения самой слабой (десятки тысяч) популяции NVSS объектов, попавших в поле зрения RZF обзора (рис. 35). Здесь шум фоновых источников снижен более чем на 2 порядка, и остается только белый шум радиометра. Этим методом достигнута рекордная для РАТАН-600 чувствительность - около 10 мК по антенной температуре, что соответствует 28 микроЯн. Были впервые исследованы спектральные свойства предельно слабой популяции NVSS и FIRST каталогов.

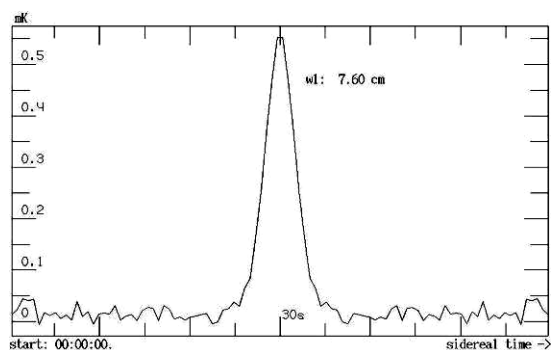


Рис. 35. Полное подавление шума фоновых источников в программах по исследованию статистических свойств слабых радиоисточников (метод «фамильного портрета» или «Stack Imaging»).

Е.К. Майорова, Н.Н. Бурсов, М.Л. Хабибуллина, Т.А. Семенова, Н.С. Соболева, А.В. Темирова.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ И ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ АНТЕННЫ

По данным обзоров 1980-1999 гг. проведены исследования диаграмма направленности (ДН) антенны на $\lambda 7.6$ см. Обзоры проводились на северном секторе на склонении эксперимента «Холод» ($\delta \sim 5^\circ$). Для исследования ДН использовались две (в обзоре 1980 г. – три) выборки источников, отличающиеся количеством объектов и их яркостью. Использовались источники NVSS-каталога в основном с крутыми спектрами, у которых есть данные по плотностям потока на нескольких частотах. Проведено сравнение экспериментальных диаграмм с расчетными.

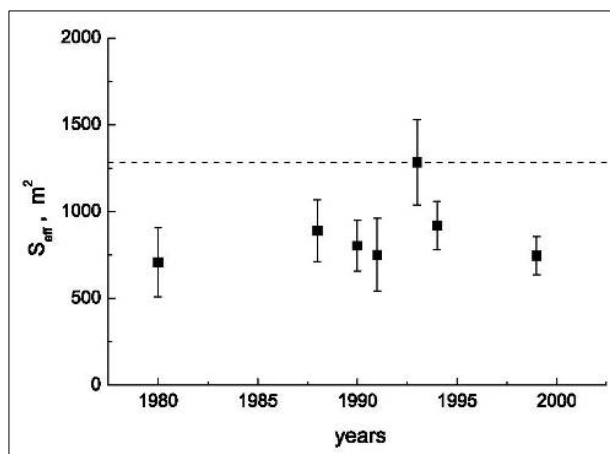


Рис. 36. Эффективные площади S_{eff} РАТАН-600, полученные из обзоров 1980-1999 гг. Пунктирной линией показано значение расчетной эффективной площади антенны для $H=51^\circ$ ($\delta \sim 5^\circ$).

Среднеквадратичная ошибка отклонения экспериментальных точек от расчетных составила по всем годам $(0.19-0.23) \pm 0.02$. Вертикальная ДН в обзоре 1980 г. сдвинута относительно центрального горизонтального сечения на $\sim 1'$. Диаграммы, полученные по другим годам, симметричны в пределах ошибок измерений. Эффективная площадь радиотелескопа также оказалась достаточно стабильной в период проведения обзоров. Средняя эффективная площадь по всем годам за исключением 1993 г. составила $803 \pm 88 \text{ m}^2$. Сравнение эффективных площадей, полученных в один и тот же год (1999 г.), но в разных обзорах, показало, что экспериментальные значения S_{eff} на разных углах места повторяют ход расчетной зависимости $S_{eff} = f(H)$ на $\lambda 7.6$ см с точностью до коэффициента, учитывающего потери в антенне (рис. 36). Оценки эффективных площадей за 1999 г. проводились по обзорам полос неба на склонениях $\delta \sim 5^\circ$ (RCR-обзор) и $\delta \sim 41^\circ 31'$ (RZF-обзор).

Е.К. Майорова.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АНТЕННЫ

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАТАН-600. Проводится модернизация отражающей поверхности антенны. На западном секторе проведены работы по ремонту механических приводов 303-487 элементов антенны, их электрической части и схем автоматики по трем координатам. Приступили к переоснащению приводной техники вторичных облучателей и созданию систем автоматизированного управления позиционированием облучателей. Внедрены в эксплуатацию новые приводы главного движения облучателей № 1 и № 2, укомплектованные оборудованием SEW-Eurodrive. Разработана архитектура АСУ IV для пяти типов облучателей. Основными компонентами архитектуры являются оборудование на базе программируемых контроллеров KONTRON и WAGO, приводной техникой SEW-Eurodrive, релейного оборудования OMRON, электротехнических компонентов Schneider Electric и LEGRAND, а также сетевого протокола СIP (Common Industrial Protocol) для систем реального времени с распределенными вычислительными и исполнительными ресурсами. На базе программируемого логического

контроллера (ПЛК) KONTRON создан стенд для разработки программного обеспечения и проведения испытаний элементов системы управления приводами облучателей. Приступили к разработке программного обеспечения для работы по протоколу СIP в ОС Linux. Продолжена разработка программного обеспечения для синхронизации распределенных систем реального времени и модернизации службы точного времени с использованием СIP.

Проведен анализ оборудования и программного обеспечения для создания надежных, не создающих радиопомех вычислительных сетей, обеспечивающих работу облучателей. Завершены работы по созданию локальной вычислительной сети комплекса автоматизации радиотелескопа на оптоволоконном оборудовании. Сеть обеспечивает работу подсистем реального времени радиотелескопа, используемых в наблюдениях. Она состоит из 22-х узлов, распределенных по основным объектам радиотелескопа (лабораторный корпус, узлы управления антенной, узлы центра круга и облучатели). Завершены работы по комплектации, развертыванию и конфигурированию оборудования серверного комплекса РАТАН-600, включающего в свой состав восемь серверов разного назначения (старый и новый серверы управления антенной, сервер сбора данных, старый и новый серверы банка наблюдательных данных, web-сервер, windows-сервер, сервер резервирования).

Г. Жеканис, П. Берлизев, Магомедов, В.М. Гурин, П.Г. Цыбулев.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЭЛЕМЕНТОВ АНТЕННЫ. Проведены работы по исследованию и юстировке поверхности вторичного зеркала облучателя № 5. Работы выполнены в 3 этапа: измерение всей поверхности вторичного зеркала, грубое исправление, второе измерение, окончательная корректировка отдельных точек и составление «карты» всей поверхности (рис. 37). После контрольных измерений средняя квадратическая ошибка поверхности снизилась от 1.0 мм до 0.5 мм. Перед АК-юстировкой южного сектора проведена привязка группы щитов южного сектора и юстировка плоского отражателя. Полученные расхождения некоторых щитов плоского отражателя с предыдущей юстировкой решено проверить контролем планового положения плоского отражателя. Постоянно обновляются кинематические поправки в угол места плоского отражателя.

После капитального ремонта облучателя № 3 проведена проверка поверхности вторичного зеркала и последующее исправление с использованием комбинированного струнно-оптического метода. Прямоугольные координаты опорных точек измерялись электронным тахеометром и корректировка поверхности контролировалась при помощи оптического микрометра. В результате получена средняя квадратическая ошибка поверхности 0.2 мм. Проведена проверка положения фокальной линии на облучателе № 3 после снятия и установки каретки. Положение каретки и положение рупоров осталось практически неизменным ($\pm 0.2 - \pm 0.3$ мм).

Проведены выборочные измерения отдельных щитов антенны. Среднеквадратичные отклонения (СКО) поверхности щитов для южного сектора составили 0.67 мм вместо проектного 0.24 мм. Обнаруженные ухудшения СКО поверхности (± 0.3 мм) отдельных щитов северного сектора исправлены юстировкой и закреплением части регулировочных винтов.

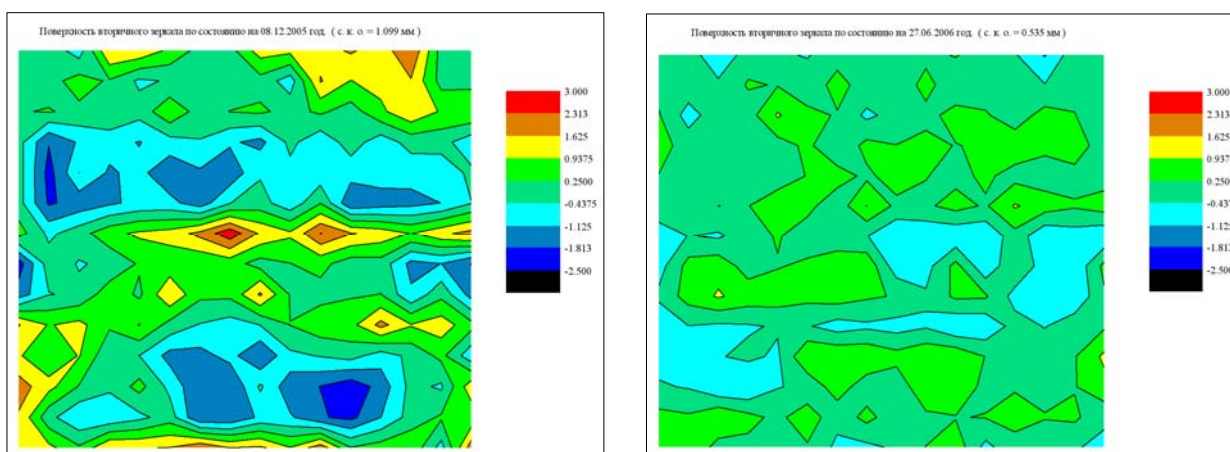


Рис. 37. Поверхность вторичного зеркала облучателя до и после корректировки.

Оценка состояния регулировочных винтов на элементах северного сектора показала, что температурные деформации и вибрация, возникающая при перемещении щита, существенно влияют на сокращение эффективной площади антенны. Проведена полная калибровка угломестных винтов северного сектора. Полученные поправки введены в расчет антенны. Расхождение с предыдущей калибровкой составило ± 2 деления точного сельсина на углах наклона $42^\circ - 44^\circ$. На некоторых щитах это связано с ошибкой установки шкал отсчетно-установочного устройства (ОУУ) на больших углах наклона. Обнаружены большие разности

хода угломестных винтов в прямом и обратном направлении ($\sim 1'$ или 2 деления точного сельсина). В результате суммарная ошибка установки шита по углу места на некоторых элементах составила ± 4 деления точного сельсина. Для устранения этих ошибок необходима замена шкал ОУУ и выборочная замена угломестных винтов с люфтами $> 1'$. По новым более точным (10") пузырьковым уровням проведено исследование стабильности и точности установок вторичного зеркала облучателя № 2. Стабильность установок составила $\pm 20''$ при контроле в течение суток. Отклонения вторичного зеркала от вертикального положения к плоскости горизонта составило не более $\pm 10''$ продольного наклона и $\pm 15''$ поперечного наклона. Проведена проверка высотного положения рельсов северного радиального пути. Сравнение с предыдущими измерениями показало стабильность положения рельсов. Высокоточным нивелиром DiNi 12 исследовано движение облучателя № 1 по северным радиальным рельсам и поведение рельса под нагрузкой. Максимальные отклонения составили ± 2 мм.

Совместно со специалистами ЗАО «Бум Техно» выполнены работы по юстировке поверхности облучателя № 5 и исследована точность отражающих поверхностей облучателей №№ 1, 2 и 3.

В.И. Жаров, С.Я. Голосова, В.Ф. Миленко, Е.К. Хилькова.

Проведены поисковые исследования точности установок отражательных элементов (ОЭ) радиотелескопа для освоения миллиметрового диапазона волн и улучшения параметров РАТАН-600. Эти изыскания показали, что при замене приводов на современные достигается высокая точность и стабильность установок ОЭ до СКО 0.02 мм, а скорость их перемещения увеличивается в 6-10 раз. В сочетании с цифровым управлением ОЭ такие характеристики могут обеспечить высококачественную работу РАТАН-600 не только в сантиметровом, но и в миллиметровом диапазоне с реализацией точного сопровождения объектов. Благодаря применению режима плавного безударного регулирования скорости (рис. 44), многократно возросли надежность и ресурс и на порядок уменьшились энергозатраты.

В.М. Богод, В.С. Рябуха, В.Б. Хайкин, М.К. Лебедев, А.А. Стороженко, Ю.В. Рябуха, С.В. Шлензин, П.В. Призов, В.А. Капранов, Е.К. Майорова.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ И БАЗЫ ДАННЫХ

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕРВИСЫ СЕТИ SAONET

В настоящее время в обсерватории внедрены и эксплуатируются 20 локальных компьютерных сетей. Самые большие по количеству сетевых элементов сегменты сети - ННП, ВНП, РАТАН, администрация, домашняя сеть. Самый удаленный сегмент сети - Санкт-Петербургский филиал САО РАН. В SAONet работает порядка 240 зарегистрированных пользователей. В состав телекоммуникационной сети САО РАН входят более 730 сетевых элемента, включая общие серверы и серверы лабораторий. Поддерживаются серверы обсерватории в Черкесске и Москве. В архитектуре SAONet (рис. 38) используются маршрутизаторы и коммутаторы фирмы Cisco, которые обеспечивают производительность межсерверного соединения до 1 Гбит/с. Использование этого оборудования позволило интегрировать разрозненные участки локальных сетей в единое многосвязное адресное пространство. Создан кластер на базе основных серверов обсерватории путем объединения их через высокоскоростной (48 Гбит/с) коммутатор. Выполнено внедрение мультимедийных средств маршрутизации в основные информационные каналы сети SAONet. На базе Cisco-маршрутизаторов реализовано квотирование потоков данных посредством выделения различной ширины полосы каналов для промежуточных кэш-серверов. Для защиты от несанкционированного доступа к информационным и техническим ресурсам обсерватории разработана многоуровневая система доступа со сквозной идентификацией пользователей, ролевым разделением сервисных функций, прав доступа и квотированием информационного канала. Проведена конфигурация программного обеспечения маршрутизаторов и средств мониторинга состояния каналов связи и качества сигнала оборудования радиосвязи. Совмещена передача телефонии и данных по гибриднему каналу связи САО-Черкесск с использованием комбинирования средств ISDN и IP-Phone.

В настоящее время широкий набор телекоммуникационных сервисов SAONet предоставляет исследователям возможность оперативно обмениваться данными на разном уровне от ftp-соединений до широковещательной веб-трансляции мероприятий, проводимых в обсерватории, включая и дистанционные наблюдения.

ВЕБ-ТРАНСЛЯЦИИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ. 29 марта 2006 года на Северном Кавказе проходила полоса полного солнечного затмения (ПСЗ). В обсерватории (окрестности БТА и пос. Нижний Архыз) проводились его визуальные наблюдения. Совместно со Ставропольским государственным университетом, администрацией Ставропольского края и города Георгиевска и при сетевой поддержке ОАО «Южная телекоммуникационная компания» была организована и проведена прямая веб-трансляция ПСЗ из города Георгиевска и Горной астрономической станции (ГАС ГАО) Пулковской обсерватории около Кисловодска. Для организации трансляция были подготовлены обзорная AXIS-камера и веб-камера, установленная на солнечном телескопе (Георгиевск), две веб-камеры (обзорная и наблюдательная) на площадке ГАС ГАО и два

видеосервера, осуществлявших захват, накопление и передачу изображений в САО РАН. В неделю затмения поступило более 1 млн. запросов к сайту обсерватории.

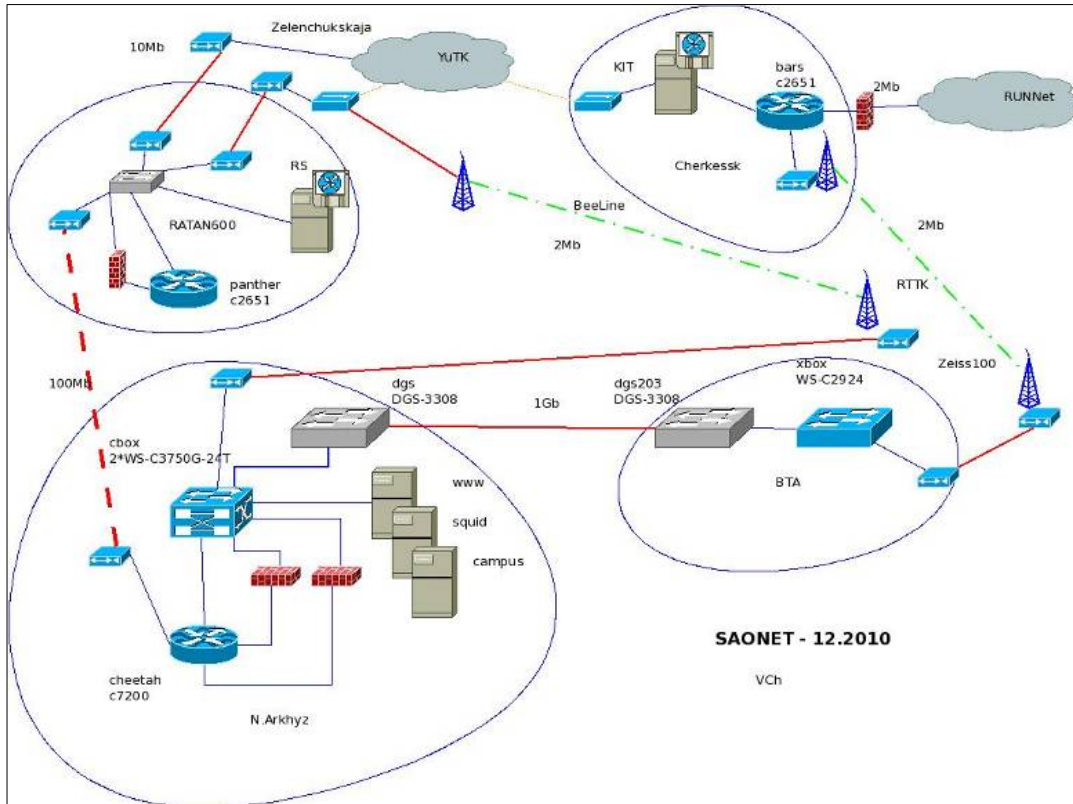


Рис. 38. Многосвязное подключение SAONet-Internet со скоростями до 10 Mbps.

Первого августа 2008 г. была организована еще одна интернет-трансляция полного солнечного затмения уже широкоэмитательными (multicast) средствами, позволяющими практически неограниченное распределенное тиражирование информационного потока от одного источника. Трансляция была проведена совместно с Сибирской государственной геодезической академией (СГГА), Российским научно-исследовательским институтом развития общественных сетей (РОСНИИРОС), а также при поддержке фирмы PENTAR, компании «Magistral Telekom», НИВЦ МГУ, Томского и Ставропольского государственных университетов. СГГА предоставила наблюдательную площадку в Новосибирске. Партнером по организации и реализации трансляции был РОСНИИРОС. Базовый сервер находился в Москве. При наблюдениях затмения использовался двоянный телескоп для одновременной передачи изображений Солнца в узком фильтре H_{α} и прямых снимков. Он был оснащен цифровыми видеокамерами, подключенными к ноутбуку. Для трансляции были организованы три канала. Один канал использовался для показа Солнца в фильтре H_{α} , что позволило транслировать всю картину затмения от первого контакта до последнего касания, второй – без фильтра, для демонстрации полной фазы затмения, и третий канал использовался для наблюдения панорамы окрестностей Новосибирска. При трансляции панорамы в полосе затмения использовался специализированный видеосервер. На него передавалась по локальной сети информация, кодировались потоки и записывались в файлы архива. Трансляция осуществлялась через web-сайт <http://main.sao.ru/eclipse-2008/>.

В.В. Витковский, В.Н. Черненко, В.С. Шергин, А.С. Марухно, Т.А. Пляскина, Н.В. Дмитриев, Н.А. Калинина, В.В. Комаров, Е.И. Кайсина.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА

В обсерватории разработаны и действуют телевизионные системы для мониторинга погодных условий, контроля состояния телескопов, а также охранные системы. На сайте обсерватории <http://www.sao.ru> имеется ряд разделов, отображающих работу телевизионных систем в режиме реального времени.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ КОМПЛЕКС БТА И ЦЕЙСС-1000. Разработана и введена в эксплуатацию открытая в Интернет телевизионная система визуального мониторинга оптических телескопов обсерватории, позволяющая операторам и наблюдателям отслеживать в удаленном режиме состояние и работу основных систем телескопа, а также наведение, управление и астроклиматические условия. Ведутся работы по развитию и модернизации телевизионного комплекса, проводится замена устаревших ТВ-подсмотров на камеры с современной элементной базой. Проведены работы по выбору типов фотоприемников и оптимизации

параметров телевизионных подсмотров. Сделана оценка по оптимальному времени накопления при управлении параметрами телеподзора в реальном времени, которая с учетом инерционности системы управления телескопа составляет для БТА ~2/3 сек. Проведены тестовые исследования последних разработок как отечественных, так и зарубежных производителей ТВ-камер с высокочувствительными малоформатными ПЗС-матрицами. Сравнительное тестирование целого ряда ТВ-камер показало, что для наведения телескопа и отождествления наблюдаемой области по звездам до 17^m-19^m можно использовать высокочувствительные малоформатные ПЗС-матрицы. Разработано программное управление ТВ-устройствами, которое позволяет расширить динамический диапазон подсмотров в 6–8 раз (на 2^m–2.5^m). На базе унифицированного ТВ-подзора разработаны и внедрены в эксплуатацию автоматизированные широкоугольные ТВ-системы для дистанционного мониторинга состояния облачности в темное время суток: обзорная камера с углом раскрыва 180°, обзорная камера с углом раскрыва 140° и камера «Панорама 10/55» с переменным углом раскрыва 10°–55°. На сайте обсерватории реализован веб-доступ в реальном времени к камерам телевизионного комплекса (рис. 39, слева). У веб-интерфейса камер имеется функция наложения на получаемые кадры сетки экваториальной системы координат, конфигурации созвездий и положения ярких звезд (рис. 39, справа). Реализована схема многосерверного варианта работы ТВ-комплекса, позволяющая обеспечивать круглосуточную работу до 12 ТВ-камер. Сервисные программы цифровой обработки видеозображений перенесены на специализированный видеосервер БТА с возможностью цифровой обработки до 8-ми видеоканалов. ТВ-камеры мониторинга подкупольного пространства БТА и панорамного обзора неба подключены к видеосерверу через дополнительный коммутатор. Обзорные ТВ-камеры телескопов БТА и Цейсс-1000 были переведены на высоконадежные Axis-серверы.

В.В. Комаров, В.С. Шергин, А.Ф. Фоменко.

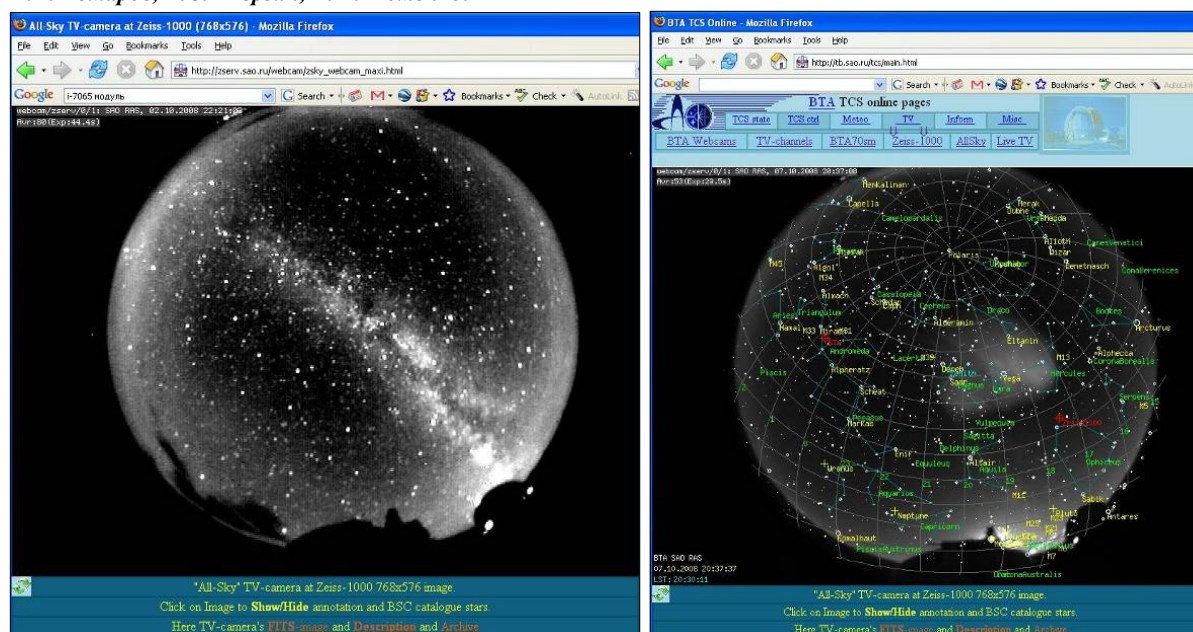


Рис. 39. Слева – изображение, полученное телевизионной камерой «AllSky», справа – изображение с наложенной сеткой небесных координат, созвездиями и названиями объектов.

ВЕБ-СТРАНИЦА «БТА-ONLINE» ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕЛЕСКОПА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ. Для удобного доступа к информации об оптических телескопах постоянно развивается веб-страница «БТА-online» (рис. 40). В разработках используются Perl, Python и JavaScript-сценарии, причем поддерживается совместимость с версиями распространенных браузеров. Реализован веб-интерфейс оперативного управления БТА, позволяющий корректировать положение, управлять поворотным столом и фокусировкой телескопа (рис. 40, слева). Имеется управляемый таймер обновления для отображения потока данных от веб-камер и ТВ-каналов, а также камер гидов и обзорных камер «все небо» с возможностью наложения оверлея с сеткой RA/Dec, созвездиями и звездами из каталогов USNO-A2 и 2MASS, положением Луны и планет, текущим положением БТА. Имеется интерфейс для графического представления метеоданных с возможностью просмотра архивных температурных данных за предыдущие годы.

В.С. Шергин.

КОНТРОЛЬ НАВЕДЕНИЯ ТЕЛЕСКОПОВ С ПОМОЩЬЮ ГИДОВ БТА И ЦЕЙСС-1000. Для ТВ-камер гидов БТА и Цейсс-1000, которые используются в дистанционных наблюдениях для контроля наведения, разработаны алгоритмы автоматического определения сдвига поля зрения гидов при заданном угле поворота. Координаты опорной точки кадра гида БТА определяются системой управления телескопом, а для гида Цейсс-1000 вычисляется наиболее вероятное положение телескопа на основе периодического

считывания служебных файлов системы управления Цейсс-1000. Метод определения сдвига координат изображения – корреляционный. Список объектов для модельного изображения поля формируется по каталогам Tycho-2 и USNO-A2, при этом яркие звезды выбираются из каталога Tycho, а более слабые из USNO. Учитываются собственные движения у тех объектов, для которых они известны. Программно выполняется сравнения кадров камеры гида и модельного изображения поля зрения, построенного по выборке объектов из каталогов. Разработан индивидуальный алгоритм чистки изображения для ТВ-камеры Цейсса-1000, который удаляется фон и «горячие» пиксели. Файлы с уточненной координатной привязкой, которая записана в WCS-параметрах, отображаются в веб-интерфейсе и записываются в оперативный архив.

В.С. Шергин, В.Н. Черненко.

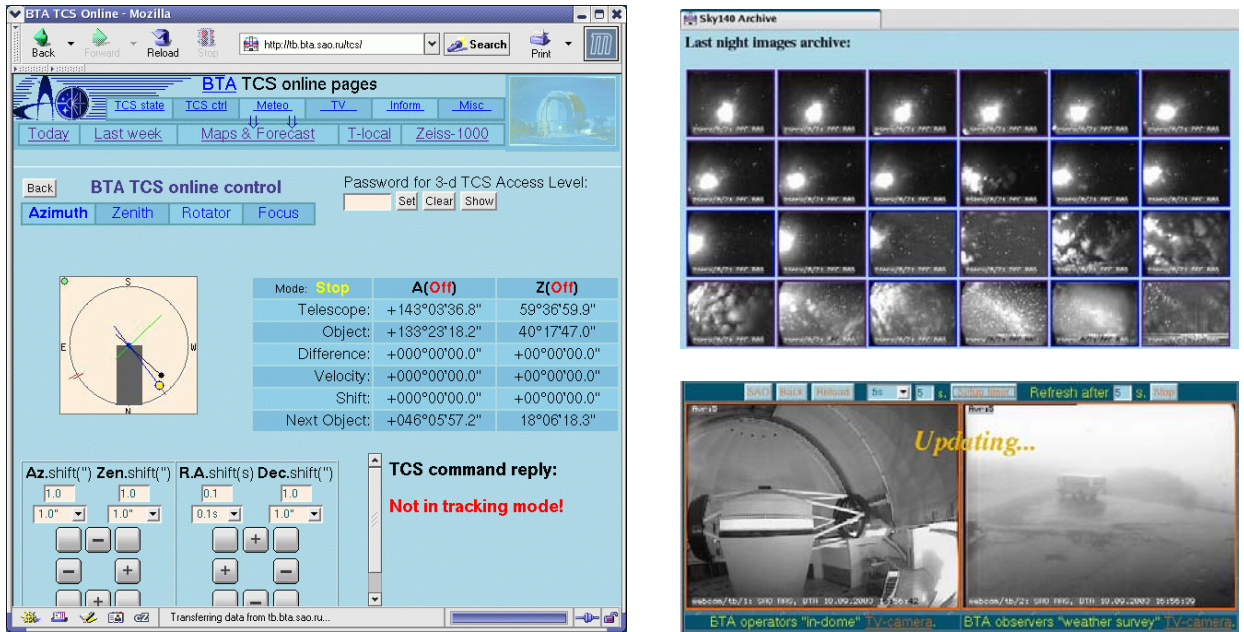


Рис. 40. Интерфейсы веб-страницы «BTA-online». Слева – положение и наведение телескопа; справа – live-камеры.

ЦЕНТР СОЛНЕЧНЫХ ПРОГНОЗОВ И АНАЛИЗА МНОГОВОЛНОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА

Создан центр анализа многоволновых наблюдений Солнца PROGNOZ (<http://www.spbf.sao.ru/prognoz/>), которым выполняется автоматический сбор и обработка наблюдательных данных спектрографа на облучателе №3, а также радиогелиографов ССРТ (Россия) и Нобеяма (Япония), магнитографа MDI (SOHO). Реализовано разнообразное отображение данных для анализа и сопоставления результатов многоволновых наблюдений. С помощью программного обеспечения центра выполняются модельные расчеты физических параметров активных областей.

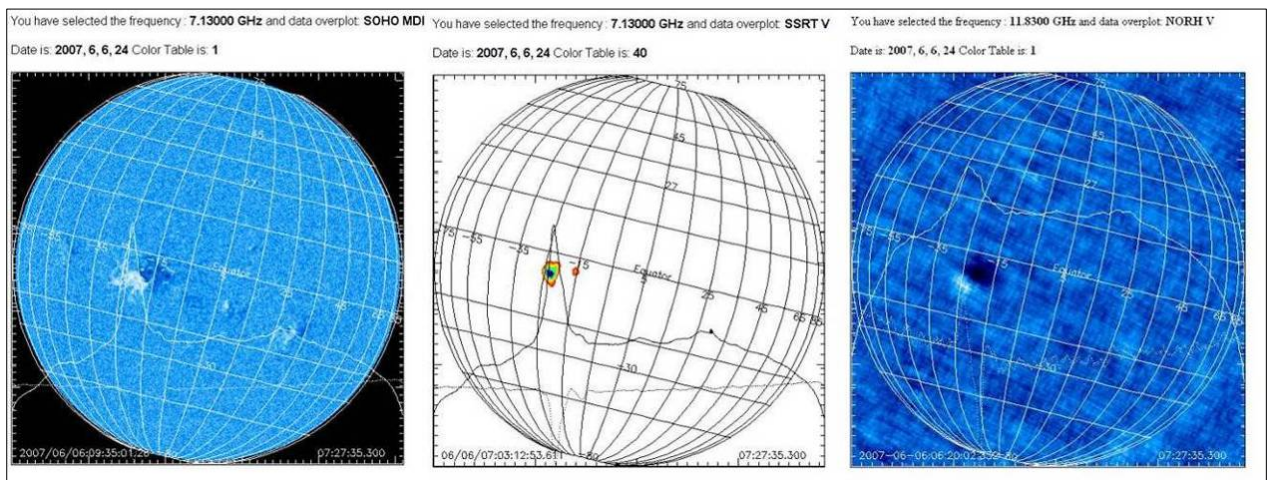


Рис. 41. Наложение скана (РАТАН-600) на выбранной частоте на двумерное изображение Солнца, полученное на других инструментах.

Они включают дипольную аппроксимацию магнитного поля для пятен и петельных структур на корональных высотах, расчеты характеристик радиоизлучения отдельных радиоисточников (температуры, плотности излучения и магнитного поля). Обработка данных и моделирование проводится в on-line режиме. В систему PROGNOZ добавлены новые функции:

- реализован режим удаленного доступа (рис. 42, слева) СПбФ САО РАН – РАТАН-600 и интерактивная подготовка данных для наблюдательного цикла для кругового/плоского отражателя с расчетом эфемерид;
- автоматизированы наблюдения в многоазимутальном режиме с возможностью оперативной коррекции высоты и разработана обработка многоазимутальных данных, которая включает вычитание спокойного Солнца для наблюдений с выносом и укороченными записями, а также приложения для графического/табличного представления временных рядов T_a и др. (рис. 42, справа);
- выполнена предварительная обработка наблюдений 2000-2005 гг. с конвертированием данных в формат системы PROGNOZ;
- реализованы интерактивные регулярные радионаблюдения Солнца с сопоставлением результатов с данными других наземных и спутниковых обсерваторий для решения задач диагностики солнечной плазмы и прогноза солнечной активности (рис. 41).

С.Х. Тохчукова, Т.И. Кальтман, В.М. Богод, В.И. Гараимов, С.В. Балдин, Е.В. Модин.

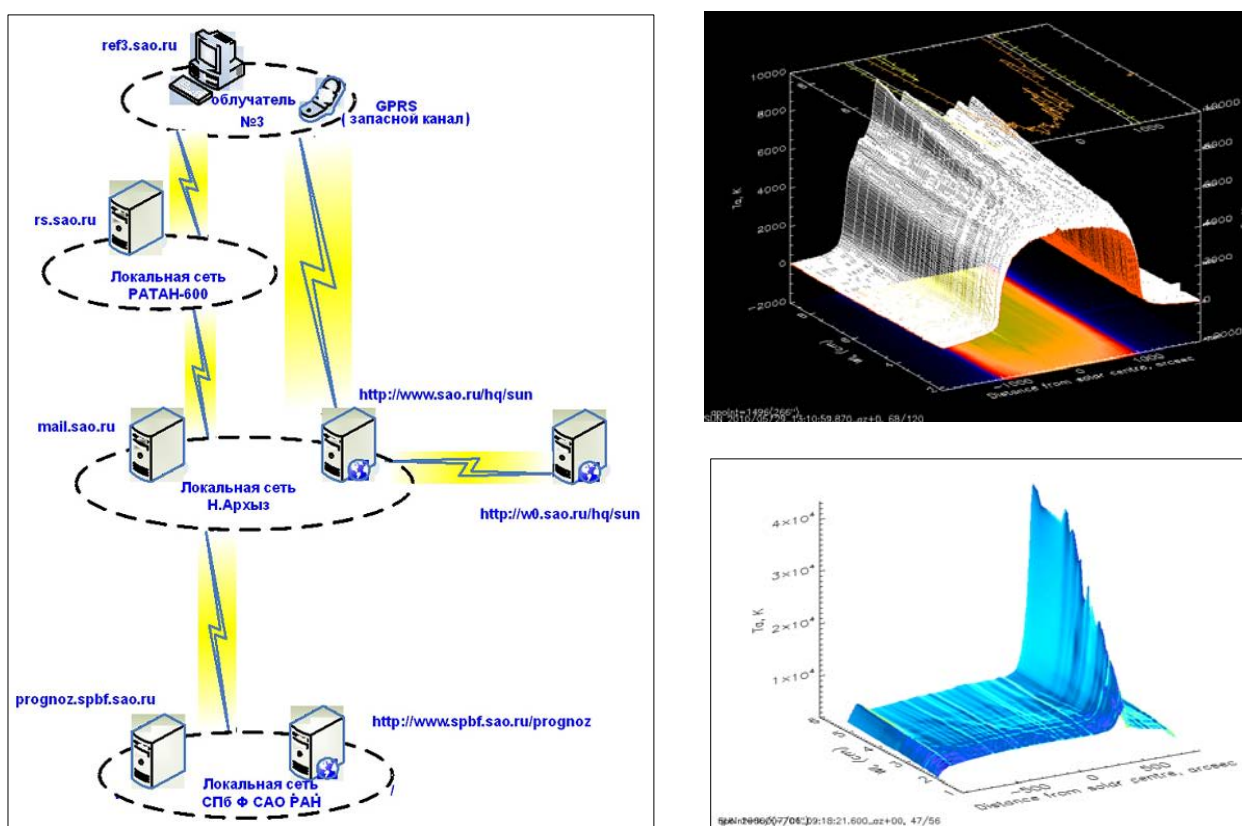


Рис. 42. Слева - схема передачи данных с облучателя №3 на сервер в СПбФ САО РАН; справа- радиоспектры Солнца в 3-D формате. Вверху - спектр Солнца со слабой активностью; внизу - то же , со вспышечной активной областью.

АРХИВЫ НАБЛЮДЕНИЙ И АСТРОНОМИЧЕСКИЕ БАЗЫ ДАННЫХ

ОБЩИЙ АРХИВ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ. Реализован открытый веб-доступ к наблюдательным данным общего архива обсерватории в соответствии с резолюцией Генеральной Ассамблеи МАС о доступе к архивам наблюдений 2003г. Запросы к данным реализуются с помощью информационно-поисковой системы (ИПС), которая размещена на специализированном сервере. Открытый веб-доступ к наблюдательным данным общего архива обсерватории реализован в трехзвенной архитектуре «клиент»-«сервер приложений»-«сервер БД» программными приложениями на Perl с помощью интерфейсов CGI и DBI/DBD. Каждый файл с наблюдениями описывается в таблицах базы данных набором из более, чем 60 параметров. Они используются для динамического формирования веб-интерфейса (рис. 43, слева), установления соответствия параметров FITS-заголовка и атрибутов таблиц ИПС (рис. 43, справа), идентификации файлов, определения типа файла и т.п.

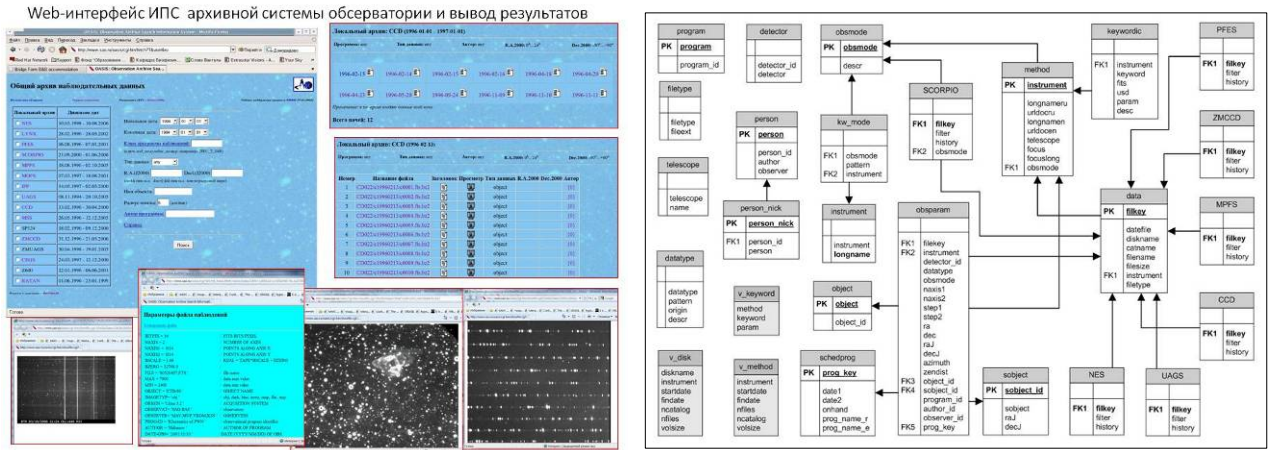


Рис. 43. Слева - веб-интерфейс информационно-поисковой системы общего архива наблюдательных данных. Справа - схема таблиц ИПС.

Часть таблиц схемы базы данных являются справочниками (словарями) и содержат информацию, собранную при анализе данных локальных архивов. Она позволяет интегрировать разнородные данные в одной ИПС. Другая часть таблиц содержит параметры, описывающие каждый наблюдательный файл, включенный в архив. Таблицы пополняются по мере поступления оптических дисков с новыми данными. В архиве нет жестких ограничений на формат файлов, поэтому добавление новых локальных архивов не вызывает трудностей при соблюдении достаточно простых правил. Архивная система состоит из хранилища цифровых данных и информационно-поисковой системы (ИПС) на базе СУБД PostgreSQL 8.4.5 с веб-интерфейсом и сетевым доступом к наблюдательным данным и поддерживает 16 цифровых коллекций. Хранилище данных включает область временного хранения, расположенную на файл-сервере БТА, и область постоянного хранения. Область постоянного хранения располагается на CD/DVD-дисках, жестком диске выделенного архивного сервера и USB-диске большой емкости. Для обеспечения сохранности данных при возникающих дефектах на носителях или сбоях оборудования имеются несколько копий данных — 2 полные копии на CD/DVD-дисках, две копии архива на винчестере. Одна реплицирует оптические диски (A0), другая копия (A1), несколько по структуре каталогов модифицированная, собственно используется ИПС. Вся архивная система занимает ~620ГБ на выделенном сервере. В настоящее время все цифровые носители и устройства чтения-записи данных нельзя отнести к устройствам длительного хранения, поэтому для обеспечения сохранности цифровых данных на долгий срок необходимо планировать периодическое переписывание информации.

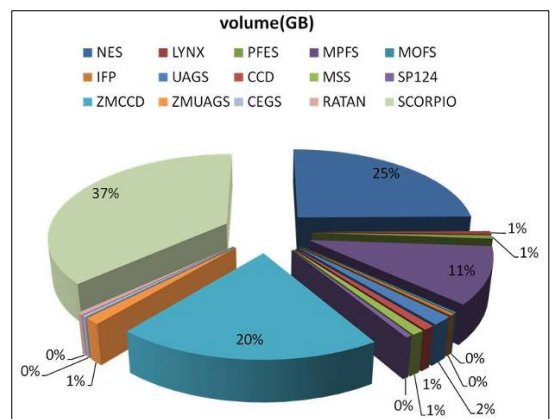
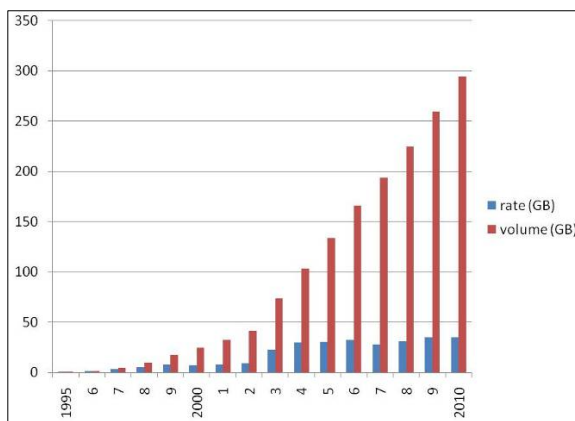


Рис. 44. Слева – общий объем и темп прироста данных общего архива наблюдений. Справа – объем данных в локальных архивах на 30.04.2011.

Копии архива A0 и A1 поддерживаются также и для процедуры переписывания при смене носителей. Вариант архивных данных (A1) повторен на USB-диске с добавлением дампа таблиц ИПС и программ. Он является резервной копией для восстановления информационной системы при аварийных ситуациях на сервере и/или переносе системы на другую платформу. Для проведения модернизации ИПС поддерживаются две схемы базы данных — тестовая и рабочая. Разработки ведутся на тестовой схеме. После ее проверки ИПС переключается на обновленную версию БД. Оригинальная копия A0 и наличие тестовой схемы позволяют

выполнять модернизацию ИПС даже на уровне таблиц. Объем наблюдательных данных ~300ГБ (рис. 44). Всего файлов 367759. Наблюдательные данные составляют 81%, журналы наблюдений - 1%, вспомогательные файлы - 5%, файлы без категории - 13%. По данным ИПС в проведении наблюдений на оптических телескопах принимало участие 255 наблюдателей, выполнено 1227 программ, наблюдалось около 4000 целей. Количество записей в базе данных ~700000. Выполнен переход архивной системы на новую аппаратно-программную платформу Intel i7 ОС Fedora 12 с включением в систему резервного копирования.

О.П. Желенкова, В.В. Витковский, Т.А. Пляскина, Г.А. Малькова, В.Н. Черников.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ КАТАЛОГОВ CATS. Система поддержки астрофизических каталогов CATS (astrophysical CAT Support system) разработана для оперативного доступа к информации, необходимой при наблюдениях на радиотелескопе РАТАН-600, а также для интерпретации результатов наблюдений. База данных CATS реализована как браузер каталогов. При внесении нового каталога в систему добавляются директория с тем же именем. В нее помещается описание каталога и программы для работы с ним. В базу данных описаний каталогов заносятся краткие характеристики набора данных, имена программ и файл описания. База данных описаний каталогов *cats_descr* содержит следующую информацию о каждом каталоге: имя каталога, совпадающее с именем директории UNIX, тип каталога, диапазон длин волн, предельные потоки и величины, область покрытия каталога, имена локальных программ для функций *select* и *match*, имя файла с описанием каталога, число записей в каталоге, размер диаграммы направленности радиотелескопа или угловое разрешение, калибровочный параметр (если имеется) для перевода плотностей потока в согласованную шкалу потоков, а также ссылка на соответствующую публикацию. Параметры из файла описаний используются в программах, которые обрабатывают входные данные.

В CATS реализованы следующие функции:

- выборка объектов из одного или нескольких каталогов по экваториальным или галактическим координатам, плотностям потока, спектральным индексам, частоте, имени и (для ряда каталогов) типам объектов;
- поиск информации для объектов по одному или нескольким каталогам по заданным координатам (в круге, эллипсе или боксе ошибок);
- массовая кросс-идентификация каталогов;
- получение краткого описания каждого каталога или полного списка каталогов в интересующей области неба;
- построение радиоспектров выбранных источников.

Разработаны следующие моды on-line доступа к данным CATS:

- диалоговая мода реализуется с помощью набора скриптов на *shell* и обеспечивает работу пользователей с программами CATS, включая и работу по протоколам TCP/IP и NFS в локальной сети;
- http-доступ (<http://cats.sao.ru>);
- ftp-доступ (<ftp://cats.sao.ru>) позволяет пользователю получать как описания каталогов CATS, так и сами каталоги;
- e-mail-доступ позволяет пользователю посылать фоновые (batch) запросы. Запрос отправляется электронным письмом, результат отправляется пользователю также по электронной почте.

CATS пополняется несколькими путями: добавляются авторские копии, таблицы из препринтов *astro-ph* и электронных журналов, из архива каталогов CDS, а также осуществлялся ручной набор данных оригинального каталога, если он отсутствует в электронном виде. CATS также содержит каталоги остатков сверхновых в Галактике, компилятивные таблицы объектов, отобранных по спектральному индексу, переменности или свойствам активных галактических ядер, а также каталоги источников, полученные кросс-идентификацией каталогов внутри самой системы CATS продолжит расширяться и сейчас содержит более 500 каталогов различных диапазонов длин волн.

О.В. Верходанов, С.А. Трушкин, В.Н. Черников.

АРХИВ СПЕКТРАЛЬНЫХ, ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ И ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ASPID. Архив ASPID (Archive of Spectral, Photometric and Interferometric Data) предназначен для архивизации и оперативного доступа к данным, полученным на БТА методами IFP, UAGS, MPFS, MOFS и SCORPIO (рис. 45, слева). Программное обеспечение архива состоит из двух частей:

- WINDOWS-приложения, реализованного в среде BDE, предназначенного для создания архива ночи наблюдений, редактирования FITS-заголовков, поиска записей;
- UNIX-приложения, реализованного в среде PostgreSQL и PLEINPOT, предназначенного для оперативного веб-доступа к архиву.

Функциональные возможности системы:

- создание базы данных ночи наблюдений, редактирование базы данных и FITS-заголовков записей,

- создание локальных баз данных по различным признакам (объект, автор программы и др.);
- многопараметрический поиск в архиве (по дате наблюдений, по имени или координатам объекта, автору и названию программы, прибору и светоприемнику и т.д.);
- быстрый просмотр данных – изображений, FITS-заголовков и журнала наблюдений за ночь;
- формирования журнала наблюдений и протокола поиска, для последующей печати;
- веб-интерфейс управления ASPID – добавление/уничтожение записей, редактирование таблиц соответствия параметров (рис. 48, справа).

Архив включает в себя данные, полученные на БТА методами, поддерживаемыми Лаборатория спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов с 31.12.1989 по 01.06.2010 гг. Общий объем данных 176 Gb (265 CD-ROM), общее количество записанных изображений 121371.

В.Л. Афанасьев, С.Н. Додонов, И. Чилингарян.

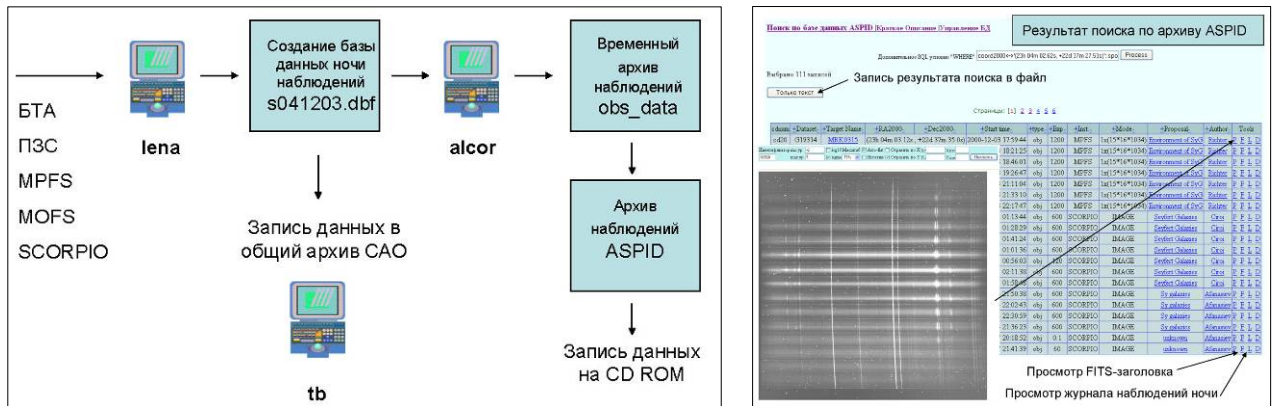


Рис. 45. Слева – запись наблюдений в архив ASPID. Справа – результат выборки из архива.

В ASPID хранится одна из крупнейших в мире коллекций 3D-спектроскопических наблюдений галактических и внегалактических источников. На основе этой коллекции разработан прототип архива разнородных «science-ready» данных ASPID-SR, где мы попытались реализовать все возможности характеристической модели данных IVOA. Она обеспечивает полное и самосогласованное описание набора данных и является важной составляющей интероперабельности программных средств и информационных систем. Характеристическая модель данных IVOA – одна из наиболее обобщенных моделей данных, которая помещает набор данных в пространство физических параметров. Мы применили эту модель к описанию трехмерных наборов данных. К каждому набору данных приводится два детализированных уровня характеристических метаданных (опорное значение и границы): для области покрытия, разрешения, а также точностные характеристики координатных, временных, спектральных данных и данных по потокам. Запросы выполняются к каждому элементу метаданным, что является особенно важным при эффективном научном использовании сложной информационной системы. Доступ к ASPID-SR архиву реализован через http-интерфейс, поддерживаемый PHP, на сайте <http://alcor.sao.ru/php/aspid-sr/> (рис. 49, справа). Обеспечен прямой доступ к наборам данных и связь «сырых» и обработанных данных. Реализован набор интерфейсов IVOA - SIAP/SSAP, HTTP-запрос характеристических метаданных, а также веб-сервис для ADQL/x.

И. Чилингарян, В.Л. Афанасьев, Ф. Боннарель, С.Н. Додонов, М. Луис, И. Золотухин.

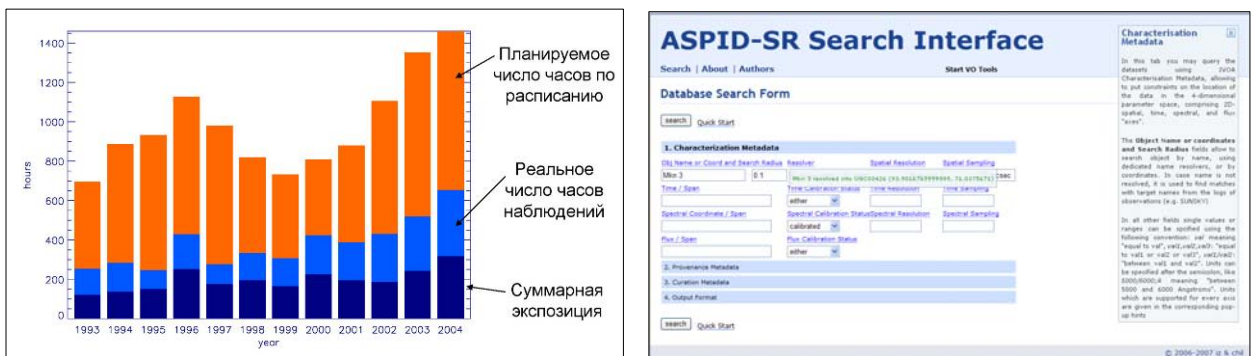


Рис. 46. Слева - число часов наблюдений и суммарная экспозиция объектов за год по данным ASPID. Справа – веб-интерфейс ASPID-SR.

АРХИВ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ODA-R. Основная архивная база интегрированного Банка данных ODA-R (Observational Data Archive – Radioastronomical) представляет собой совокупность архивных

файлов, содержащих цифровые экспериментальные массивы. Регулярное формирование и поддержка ODA-R проводятся с 1989 г. Сначала архив поддерживал наблюдательные данные, полученные радиометрами континуума облучателя N1. В соответствии с концепцией построения интегрированной информационной системы радиотелескопа основная архивная база была горизонтально фрагментирована по разделам системы, каждый из которых относился к отдельному типу наблюдательных радиоданных. При этом большая часть основной базы была вынесена в центральный Rг-раздел Банка ODA-R, включающий данные радиометров континуума облучателей N 1 и 6. Rг-раздел системы содержит результаты порядка 250000 наблюдений. Одной из главных задач ODA-R является получение в режиме «on-line» различных типов экспериментальных данных от систем сбора телескопа РАТАН-600. На системах сбора реализованы автоматизированные конвейеры передачи данных наблюдений, которые затем помещаются в разделы ODA-R. Разделы Банка данных представляют собой стандартизированные архивные базы, которые поддерживаются едиными для каждой системы подсистемами управления. Стандартизация и согласованность постоянно расширяющихся архивных баз определяется выбором правил межсистемного обмена информацией между Банком данных и системами сбора. Нами выбран путь, связанный с введением строгих соглашений о межсистемном обмене наборов локальных (для каждого типа данных) и общих (для любых типов) стандартов. Стандарты приняты в 3 областях:

- интерпретация данных (конфигурации);
- идентификация данных (именование);
- представление данных (форматы).

Все стандарты формализованы и введены в централизованные описания Банка ODA-R. На этой основе осуществляется полноценный многосторонний контроль входных информационных потоков, что обеспечивает высокую степень стандартизации архивных баз и корректности, хранимой в них информации. Этим обеспечивается возможность различных вариантов многопараметрического поиска, удовлетворяющих потребности астрономов в этой области. Введение стандартов межсистемного взаимодействия позволяет проводить ту или иную предварительную фильтрацию новых данных до их непосредственной архивизации. Роль этого фактора чрезвычайно важна, особенно на фоне интенсивного роста объемов разнородной экспериментальной информации.

В.К. Кононов, М.Г. Мингалиев, П. Цыбулев.