

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

УДК 520; 523.3; 523.9; 524
№ госрегистрации 01201169407
Инв. № 7/12

УТВЕРЖДАЮ

Директор САО РАН

Иван-корр. РАН Балага Ю.Ю.



«26» октября 2012 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Проведение поисковых научно-исследовательских работ в области развития методов наблюдений на крупнейших российских телескопах (БТА и РАТАН-600) в центре коллективного пользования научным оборудованием «Специальная астрофизическая обсерватория РАН»»

шифр заявки «2011-5.2-552-002-019»

(заключительный)

четвертый

Этап 4: «Обобщение и оценка результатов выполненных исследований»

(государственный контракт № 16.552.11.7028 от 29 апреля 2011 г.)

Руководитель работ,

зам. директора САО РАН

26 октября 2012 г.

В.В. Власюк

Нижний Архыз

2012

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, директор, д-р физ.-мат. наук, член-корр. РАН		Ю.Ю.Балега (введение, заключение, раздел 2,3,6,7)
Исполнители темы:		
Зам. директора, канд. физ.-мат. наук		В.В.Власюк (введение, заключение, раздел 2,3,6,7)
Зам. директора, докт. физ.-мат. наук		М.Г.Мингалиев (раздел 2,3,6,7)
Руковод. СПб филиала, докт. физ.-мат. наук		В.М. Богод (раздел 2,3,6)
Главный научный сотрудник, докт. физ.-мат. наук		В.Е. Панчук (раздел 2,3,6)
Главный научный сотрудник, докт. физ.-мат. наук, академик		Ю.Н. Парийский (раздел 2,3,6)
Главный научный сотрудник, д-р физ.-мат. наук		В.Л.Афанасьев (раздел 2,3,6)
Вед. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук		В.Г.Хайкин (раздел 2,3,6)
Ведущий научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		А.В.Моисеев (раздел 2,3,6)
Главный инженер		В.С.Рябуха (раздел 2,3,6)
Начальник СЭК БТА		Г.В. Якопов (раздел 2,3,6)
Начальник СЭК РАТАН-600		П.В. Призов (раздел 2,3,6)
Ученый секретарь, канд.физ.-мат. наук		И.П.Костюк (введение, заключение, раздел 4,5)
Зав. отд., докт.физ.-мат. наук		В.В.Леушин (раздел 6)
Зав. отд., докт.физ.-мат. наук		О.К.Сильченко (раздел 6)
Зав. лаб. канд. физ.-мат. наук		Н.А. Нижельский (раздел 2,3,6)
Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		Е.К.Майорова (раздел 6)

Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		Н.В.Борисов (раздел 2,3,6)
Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		Е.В.Малоголовец (раздел 6)
Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		Т.И.Кальтман (раздел 6)
Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		А.Н. Буренков (раздел 6)
Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		Т.А. Фатхуллин (раздел 2)
Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		О.П. Желенкова (раздел 6)
Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		О.Н.Шолухова (раздел 6)
Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		Х.А. Рзаев (раздел 6)
Старший научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		М.В. Юшкин (раздел 2,3)
Старший научный сотрудник, канд. техн. наук		М.В. Якопов (раздел 2,6)
Старший научный сотрудник		П.Г. Цыбулев (раздел 2,3)
Научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		А.А.Смирнова (раздел 2)
Научный сотрудник, канд. физ.-мат.наук		О.Г. Насонова (раздел 2)
Научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		Е.А. Семенко (раздел 2.6)
Научный сотрудник		О.И. Спиридонова (раздел 6)
Научный сотрудник, канд. техн. наук		Э.В. Емельянов (раздел 2)
Научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		А.Ф.Валеев (раздел 6)
Научный сотрудник, канд. физ.-мат. наук		О.А. Меркулова (раздел 6)
Младший научный сотрудник		Ю.А. Лямина (раздел 2)

Ведущий инженер, руководитель группы.		В.И. Жаров (раздел 2,3)
Ведущий инженер		А.Ф.Сосулин (раздел 2)
Ведущий инженер		А.В.Бирюков (раздел 2)
Ст. инженер		Д.Ю.Миленко (раздел 2)
Инженер		Д.Ю.Архипов (раздел 2)
Инженер		А.А. Борисенко (раздел 2)
Инженер		М.А.Притыченко (раздел 2)
Ст.лаборант		Л.Гасанова (раздел 2)
Пом. директора		Е.Ю.Кучаева (раздел 2)
Переводчик		А.А.Зязева (раздел 6)
Аспирант		Д.И. Соловьев (раздел 2)
Аспирант		А.И. Колбин (раздел 2)
Студент КФУ		А.А.Митрофанова (раздел 6)
Студент СПбГУ		В.В.Варивода (раздел 6)
Нормоконтролер		Якопова М.К.

РЕФЕРАТ

Отчет 69 с., 31 рис., 2 табл.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОПТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ, МЕТОДЫ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ.

Объектом исследования являются космические объекты и методы их наблюдений.

Цель работы – Проведение поисковых научно-исследовательских работ в области развития методов наблюдений на крупнейших российских телескопах (БТА и РАТАН-600) САО РАН и получение значимых научных результатов. Также дооснащение имеющегося специализированного оборудования новым научным оборудованием и создание оборудования для контроля рабочих параметров уникальных научных комплексов ЦКП.

В процессе работы проводились исследования и испытания новых методов наблюдений на телескопах ЦКП, разрабатывались рекомендации об использовании полученных результатов, проводилась оценка рыночного потенциала полученных результатов и актуализация перечня услуг. Также в процессе работы выполнялись астрофизические наблюдения астрономических объектов на телескопах ЦКП в оптическом и радио диапазонах, обработка текущих и ранее полученных данных наблюдений и подготовка на их основе публикаций, привлечение аспирантов и студентов к научно-исследовательской работе, оказывались услуги сторонним организациям. В целом в рамках госконтракта были выполнены все поставленные задачи в соответствии с *Техническим заданием и Календарным планом*.

В результате выполнения работ по контракту на четвертом этапе:

По методу эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света сравнивались результаты разработки четырех спектрографов высокого разрешения, предназначенных для оптоволоконного сочетания с телескопами диаметром 0.6-1.2м. Все спектрографы построены по различным схемам скрещенной дисперсии. На основе этого сделан вывод, что целесообразнее для развития этого метода в САО создать специализированный телескоп диаметром 80÷90см, ориентированный исключительно на работу со спектрографом. Такое решение увеличит эффективность спектроскопии звезд в 3-4 раза, что, безусловно, положительно скажется на общей работе ЦКП САО РАН.

По методу панорамной спектроскопии со сканирующим интерферометром Фабри-Перо были завершены испытание нового интерферометра Фабри-Перо в составе нового многорежимного редуктора светосилы SCORPIO-2 и начаты регулярные наблюдения с помощью этого метода на 6-м телескопе САО РАН. Выполнен анализ наблюдательного материала, получены первые научные результаты, оценены дальнейшие перспективы применения этой методики.

По методике контроля качества поверхности главного зеркала БТА были выполнены измерения параметров главного зеркала БТА с использованием разработанной методики контроля качества поверхности крупногабаритных зеркал. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами предыдущих измерений, полученных с использованием старой методики. Методика полностью подготовлена к аттестации параметров формы поверхности главного зеркала в цеховых условиях и после его установки на телескопе.

По методике геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600, были продолжены работы по испытанию и доработке методик геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал.

По методике проведения измерений на двухчастотном криорадиометре высокой чувствительности завершено испытание новых методов, в рамках исследований по данной теме проведены исследования метода приема и обработки сигналов в схеме радиометра с добавлением шума (РДШ) на 2-х криорадиометрах.

В результате выполнения работ по госконтракту в целом были получены следующие результаты.

Подготовлен аналитический обзор и обоснование разработки новых методов астрономических наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН. Проведены патентные исследования. Проведены мероприятия по дооснащению ЦКП спецоборудованием на 15 млн. руб. Разработаны новые методы наблюдений: Метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения, предназначенный для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света, Метод панорамной спектроскопии с использованием интерферометра Фабри-Перо, предназначенный для исследования протяженных объектов в широком спектральном диапазоне, Методика контроля качества поверхности главного зеркала БТА, предназначенная для аттестации параметров его поверхности в цеховых условиях и после установки на телескопе, Методика геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600 с использованием лазерного трекера Leica AT401, Методика проведения измерений на двухчастотном криорадиометре высокой чувствительности (калибровка, измерение плотностей потоков и определение погрешности измерений) для исследования радиоизлучения объектов Вселенной (микроквазары, активные ядра галактик, квазары, радиогалактики и др.). При поддержке Минобрнауки было опубликовано в высокорейтинговых научных журналах 32 статьи, в которых использовались результаты

наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН. В работах по госконтракту участвовал 45 молодых специалистов в течение каждого календарного года. Было представлено к защите и успешно защищены 2 докторские и 4 кандидатских диссертаций, а также 11 дипломных работ, в которых использовались результаты наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН. Благодаря поддержке Минобрнауки в течение календарного года услугами наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН пользовались 26 и 29 сторонних организаций. Привлечены 8.5 млн. руб. собственных средств. Собраны заявки (и проведена их экспертиза) наблюдений на на телескопах ЦКП. Проведены заседания комитета по большим телескопам и распределение на конкурсной основе наблюдательного времени на телескопах ЦКП. Постоянно обновляется информация о работе телескопов ЦКП САО РАН на домашней странице. Поддерживалось издание журнала *Астрофизический бюллетень*, включенный в базу WoS.

Степень внедрения – опубликованы результаты исследований на основе оригинальных наблюдений на телескопах ЦКП; результаты мониторинга Солнца постоянно обновляются на сайте САО РАН (<http://www.sao.ru/hq/sun/>). Результаты проекта используются при проведении наблюдений на крупнейших наземных телескопах страны. Результаты проекта могут использоваться при проведении наблюдений на других наземных телескопах при проведении соответствующей адаптации. Результаты проекта используются для повышения уровня подготовки молодых специалистов в области приборостроения и фундаментальных астрономических исследований.

Модернизация телескопов позволит повысить эффективность наблюдений на телескопах ЦКП – крупнейших наземных телескопах России.

Полученные результаты можно применять для решения актуальных задач в области наблюдательной астрофизики. Проведенные исследование космических объектов и дальнейшая модернизация телескопов ЦКП, несомненно, внесет ощутимый вклад в эту область науки.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		9
1	РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ПРЕДЫДУЩИХ ЭТАПАХ РАБОТ(этапы 1-3)	12
2	ЗАВЕРШЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ НОВЫХ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕЛЕСКОПАХ ЦКП	15
2.1	Метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения	15
2.2	Метод панорамной спектроскопии с использованием интерферометра Фабри-Перо	23
2.3	Методика контроля качества поверхности главного зеркала	29
2.4	Методика геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600	38
2.5	Методика проведения измерений на двухчастотном криорадиометре высокой чувствительности	45
3	РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	50
4	ПРОВЕДЕНИЕ ОЦЕНКИ РЫНОЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.	53
5	АКТУАЛИЗАЦИЯ ПЕРЕЧНЯ УСЛУГ	54
6	ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕЛЕСКОПАХ ЦКП	56
7	ПРОВЕДЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОСНАЩЕНИЮ ЦКП СПЕЦБОРУДОВАНИЕМ	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		68

ВВЕДЕНИЕ

Специальная астрофизическая обсерватория РАН является крупнейшим центром наземной астрономии в России. В радио и оптическом диапазонах обсерватория оснащена телескопами мирового уровня - оптическим с диаметром главного зеркала 6 метров (БТА) и радиотелескопом с диаметром кольцевой антенны 600 метров (РАТАН-600). Она создавалась в 1966 году как центр коллективного пользования под строящиеся крупнейшие (того времени) в мире телескопы и остается таковым (с крупнейшими телескопами в России) и в настоящее время. Все телескопы работают в режиме коллективного пользования с 1976 года (безвозмездно) и оснащены современной навесной аппаратурой. Телескопы и методы наблюдений на них постоянно модернизируются.

Цель выполнения научно-исследовательской работы

1 Проведение поисковых научно-исследовательских работ в области развития методов наблюдений на крупнейших российских телескопах (БТА и РАТАН-600) в ЦКП САО РАН и получение значимых научных результатов.

2 Дооснащение имеющегося специализированного оборудования, имеющегося в центре коллективного пользования научным оборудованием

3 Предоставление научно-исследовательским организациям новых и эффективных методов и средств проведения исследований.

4 Создание оборудования для контроля рабочих параметров уникальных научных комплексов ЦКП.

Содержание работ по контракту на четвертом этапе выполнения госконтракта: Завершение испытаний новых методов наблюдений на телескопах ЦКП. Разработка рекомендаций об использовании полученных результатов. Проведение оценки рыночного потенциала полученных результатов. Актуализация перечня услуг.

Работы, проводимые за счет внебюджетных источников: Проведение исследований на телескопах ЦКП.

В целом в рамках госконтракта были выполнены все поставленные задачи в соответствии с *Техническим заданием* и *Календарным планом*.

В результате выполнения работ по контракту на четвертом этапе:

По методу эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света сравнивались результаты разработки четырех спектрографов высокого разрешения, предназначенных для оптоволоконного сочетания с телескопами диаметром 0.6-1.2м. Все спектрографы построены по различным схемам скрещенной дисперсии. На основе этого сделан вывод, что целесообразнее для развития этого

метода в САО создать специализированный телескоп диаметром 80÷90см, ориентированный исключительно на работу со спектрографом. Такое решение увеличит эффективность спектроскопии звезд в 3-4 раза, что, безусловно, положительно скажется на общей работе ЦКП САО РАН.

По методу панорамной спектроскопии со сканирующим интерферометром Фабри-Перо были завершены испытание нового интерферометра Фабри-Перо в составе нового многорежимного редуктора светосилы SCORPIO-2 и начаты регулярные наблюдения с помощью этого метода на 6-м телескопе САО РАН. Выполнен анализ наблюдательного материала, получены первые научные результаты, оценены дальнейшие перспективы применения этой методики.

По методике контроля качества поверхности главного зеркала БТА были выполнены измерения параметров главного зеркала БТА с использованием разработанной методики контроля качества поверхности крупногабаритных зеркал. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами предыдущих измерений, полученных с использованием старой методики. Методика полностью подготовлена к аттестации параметров формы поверхности главного зеркала в цеховых условиях и после его установки на телескопе.

По методике геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600, были продолжены работы по испытанию и доработке методик геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал.

По методике проведения измерений на двухчастотном криорадиометре высокой чувствительности завершено испытание новых методов, в рамках исследований по данной теме проведены исследования метода приема и обработки сигналов в схеме радиометра с добавлением шума (РДШ) на 2-х криорадиометрах.

В результате выполнения работ по госконтракту в целом были получены следующие результаты.

Подготовлен аналитический обзор и обоснование разработки новых методов астрономических наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН. Проведены патентные исследования. Проведены мероприятия по дооснащению ЦКП спецоборудованием на 15 млн. руб. Разработаны новые методы наблюдений: Метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения, предназначенный для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света, Метод панорамной спектроскопии с использованием интерферометра Фабри-Перо, предназначенный для исследования протяженных объектов в широком спектральном

диапазоне, Методика контроля качества поверхности главного зеркала БТА, предназначенная для аттестации параметров его поверхности в цеховых условиях и после установки на телескопе, Методика геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600 с использованием лазерного трекера Leica AT401, Методика проведения измерений на двухчастотном криорадиометре высокой чувствительности (калибровка, измерение плотностей потоков и определение погрешности измерений) для исследования радиоизлучения объектов Вселенной (микроквезары, активные ядра галактик, квазары, радиогалактики и др.). При поддержке Минобрнауки было опубликовано в высокорейтинговых научных журналах 32 статьи, в которых использовались результаты наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН. В работах по госконтракту участвовал 45 молодых специалистов в течение каждого календарного года. Было представлено к защите и успешно защищены 2 докторские и 4 кандидатских диссертаций, а также 11 дипломных работ, в которых использовались результаты наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН. Благодаря поддержке Минобрнауки в течение календарного года услугами наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН пользовались 26 и 29 сторонних организаций. Привлечены 8.5 млн. руб. собственных средств. Собраны заявки (и проведена их экспертиза) наблюдений на на телескопах ЦКП. Проведены заседания комитета по большим телескопам и распределение на конкурсной основе наблюдательного времени на телескопах ЦКП. Постоянно обновляется информация о работе телескопов ЦКП САО РАН на домашней странице. Поддерживалось издание журнала Астрофизический бюллетень, включенный в базу WoS.

Актуальность работ, проводимых по контракту. В области фундаментальных исследований наблюдательная астрофизика обеспечивает получение новейших знаний о происхождении и эволюции объектов Вселенной. Этот вопрос является самым важным в естествознании. Исследование макромира (Вселенной как целого) позволяют проводить тестирование физических моделей микромира (теория Великого Объединения и др.). Результаты астрофизических исследований, полученных сегодня, составят основу для развития физических наук человечества в XXI веке.

Новизна работы. Результаты научных исследований получены из оригинальных наблюдений на телескопах ЦКП. Создаваемые новые методы наблюдений на телескопах и приемно-измерительная аппаратура являются уникальными.

1 РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ПРЕДЫДУЩИХ ЭТАПАХ РАБОТ (ЭТАПЫ 1-3)

С целью проведения научных исследований на современном уровне в САО РАН постоянно ведется модернизация оптического телескопа БТА, который является крупнейшим астрономическим телескопом России. В рамках данного госконтракта разработаны следующие методы:

- Метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света.
- Метод панорамной спектроскопии умеренного разрешения протяженных объектов в широком диапазоне длин волн с использованием интерферометра Фабри-Перо.
- Методика контроля качества поверхности главного зеркала БТА на базе датчика Шак-Гартмана.
- Методика проведения измерений на двухчастотном криорадиометре высокой чувствительности (калибровка, измерение плотностей потоков и определение погрешности измерений).
- Методика геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600 с использованием лазерного трекера Leica AT401.

Внедрение данных методик и систем позволяет сохранить высокий уровень исследований на телескопах ЦКП и оказывать услуги сторонним организациям.

Во время выполнения предыдущих этапов проделан ряд работ, предварительных, но важных для достижения результатов. В рамках разработки метода эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения был выполнен анализ проблемы создания оптоволоконных спектрографов высокого разрешения для телескопов умеренного и большого диаметров и был выполнен эскизный расчет оптоволоконного эшелле-спектрографа, разработана схема стационарной части оптоволоконного спектрографа. Позже был создан оптоволоконный спектрограф для телескопа умеренного диаметра, который является масштабированной версией спектрографа для телескопа БТА. С опытным образцом был проделан ряд исследований:

- исследованию стабильности положения спектра в зависимости от координат положения телескопа;
- исследованию позиционной стабильности оптико-механической конструкции спектрографа в зависимости от температурного режима его узлов;
- исследованию проникающей способности метода наблюдений.

При разработке метода панорамной спектроскопии с использованием интерферометра Фабри-Перо умеренного разрешения, предназначенным для исследования протяженных объектов в широком спектральном диапазоне, сотрудниками САО были выполнены работы по обоснованию разработки метода наблюдений с подобным прибором и аналитический обзор современной литературы по данному вопросу, выбраны алгоритмы учета влияния аппаратного профиля интерферометра. Исходя из научных задач, которые планируются осуществлять на 6-м телескопе САО РАН был выбран необходимый рабочий порядок интерференции и составлено техническое задание, согласно которому была выполнена разработка программного обеспечения для наблюдения, обработки и анализа данных, полученных на 6-м телескопе САО РАН со сканирующим интерферометром Фабри-Перо. Также выполнена разработка соответствующей методики таких наблюдений, были проведены испытания интерферометра Фабри-Перо в составе нового многорежимного редуктора светосилы SCORPIO-2. В лаборатории проведены измерения основных параметров прибора. Проведены испытания интерферометра на 6-м телескопе САО РАН. В результате работ по первым трем этапам создан опытный образец прибора, отлажена методика наблюдений, проведена обработка и анализ полученного наблюдательного материала.

При выполнении Государственного контракта также предполагалось создать и адаптировать систему контроля качества поверхности главного зеркала БТА. Это позволит выполнить приемку главного зеркала в цеху ЛО и на месте установки телескопа, определить ошибки боковых разгрузок зеркала, контролировать движение воздушных потоков в подкупольном пространстве башни БТА и оптимизировать выбор наблюдательных методик с использованием адаптивных оптических систем. В результате выполнения данных работ предполагалось разработать и изготовить датчик волнового фронта для измерения формы поверхности главного зеркала БТА. Для этого был подготовлен обзор, обоснована разработка методики контроля качества зеркальной поверхности, была выполнена работа по разработке конструкции прибора и проведен расчет параметров его модулей (измерительный модуль, модуль подсветки и согласования апертуры и конвертер числовой апертуры) и расчет по уточнению параметров датчика волнового фронта для адаптации его работы непосредственно на телескопе. В результате был разработан датчик волнового фронта для измерения формы поверхности главного зеркала БТА, проведены его тестовые испытания на 1-м телескопе Цейсс-1000 САО РАН.

При разработке методики геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600 был подготовлен аналитический обзор и обоснование разработки такой методики. На основании многих технических и ценовых характеристик был

проведен анализ по выбору оборудования для проведения работ по юстировке и геометрическому контролю элементов антенны и вторичных зеркал радиотелескопа в пользу лазерного трекера Leica AT401, который был приобретен. Для проведения исследований и апробации новых методов с использованием абсолютного лазерного трекера в полевых условиях, была выполнена доработка программы обработки данных и разработка методик геометрического контроля поверхности отдельных элементов АПП и формирования поверхности главного зеркала.

В рамках работ проводимых по трем этапам госконтракта разрабатывалась методика проведения измерений на двухчастотном криорадиометре высокой чувствительности, он должен обеспечить измерения плотностей потоков в диапазоне частот 22 и 30 ГГц (длины волн 14 и 10 мм) с чувствительность 2-3 мК при времени интегрировании 1 сек и полосами 3-5 ГГц. Его охлаждение должно осуществляться до температуры 15 К с использованием микрокриогенных систем замкнутого цикла. Для чего на первом этапе был подготовлен аналитический обзор, анализ современной научной литературы и обоснование необходимости проведения измерений на двухчастотном криорадиометре. Далее была проведена разработка схемы охлаждаемого входного блока криорадиометра на оба частотных диапазона и методики приема сигнала с диаграммной модуляцией и с внутренней согласованной нагрузкой. В результате проделанных работ на радиотелескопе провели испытания нового метода.

На всех трех этапах проводились наблюдения на телескопах ЦКП, в том числе и для сторонних пользователей. Проводились мероприятия по закупке специального оборудования и материалов, необходимых для создания новых методов.

По итогам проделанных на трёх этапах работ по госконтракту мы имели практически готовые методы наблюдений и исследований на телескопах ЦКП. По завершающему четвертому этапу работы, выполненные согласно *календарному плану*, описаны в следующем разделе.

2 ЗАВЕРШЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ НОВЫХ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕЛЕСКОПАХ ЦКП

2.1 Метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения

На четвертом этапе сравнивались результаты разработки четырех спектрографов высокого разрешения, предназначенных для оптоволоконного сочетания с телескопами диаметром 0.6-1.2м. Все спектрографы построены по различным схемам скрещенной дисперсии. На основе этого сделан вывод, что целесообразнее для развития этого метода в САО создать специализированный телескоп диаметром 80÷90см, ориентированный исключительно на работу со спектрографом. Такое решение увеличит эффективность спектроскопии звезд в 3-4 раза, что безусловно положительно скажется на общей работе ЦКП САО РАН.

Задача создания спектрографа высокого разрешения, имеющего оптоволоконное сочетание с телескопом, уже не является новой (первые попытки предприняты в 1979г. [L.W.Ramsey, D.P.Huenemoerder. Proc. SPIE 627, 282, (1986).]). К настоящему времени работают около двух десятков спектрографов скрещенной дисперсии, имеющих оптоволоконное сочетание с телескопом диаметром 0.5-1.5м. В каждом конкретном случае особенности конструкции определялись, прежде всего, возможностями разработчика и основной научной задачей, сформулированной на момент разработки. Несколько эшелле-спектрографов, используемых ранее как подвесные в фокусе Кассегрена, были адаптированы для оптоволоконного сочетания, но такой наименее затратный путь можно было рассматривать только в качестве первого шага. Затем были созданы конструкции, полностью реализующие преимущества стационарного размещения спектрографа. В конце 90-х были построены первые специализированные телескопы, ориентированные только на работу с оптоволоконными спектрографами высокого разрешения. Характеристики, да и внешний облик таких телескопов существенно отличаются от универсальных инструментов. Итак, менее чем за четверть века, идея оптоволоконного сочетания телескопа и спектрографа утвердилась в практическом арсенале спектроскопистов, доминируя сегодня в методах звездной спектроскопии высокого разрешения. В России (да и в странах СНГ и Восточной Европы) нет ни одного спектрографа высокого разрешения, имеющего оптоволоконную передачу света от телескопа. Понятно, что программа технического оснащения ЦКП должна предусматривать разработку данного метода.

Даже новейшие реализации метода оптоволоконного сочетания спектрографа высокого разрешения с телескопом различаются по степени световой эффективности. На рисунке 1 приводим сравнение опубликованных экспериментальных данных с теоретическими расчетами. Используются данные из [В.Е.Панчук, М.В.Юшкин, М.В.Якопов, *Астрофиз. Бюлл.* 2011, 66, No.3, 382-399].

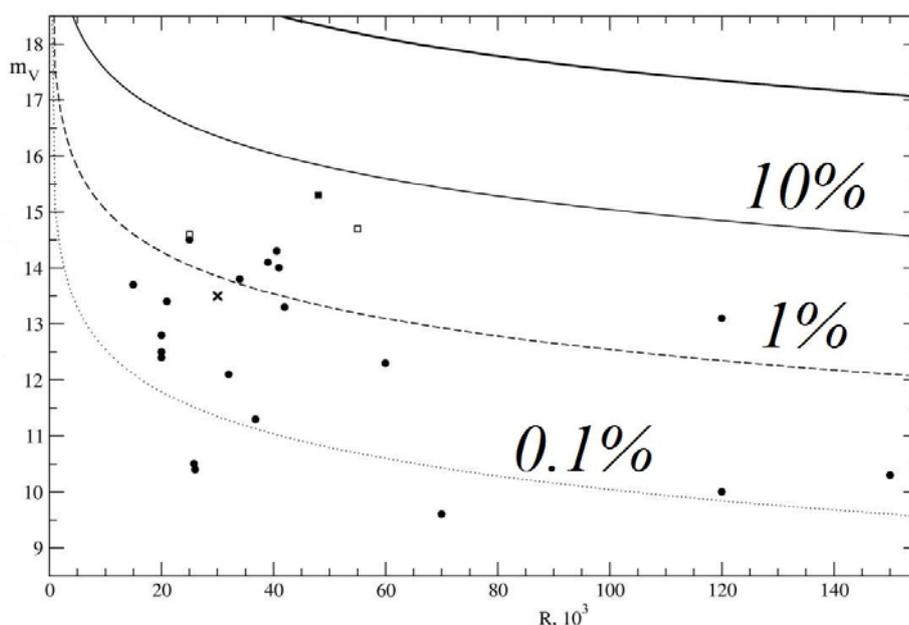


Рисунок 1 - Зависимость звездной величины m_v от величины спектрального разрешения R для оптоволоконных спектрографов, установленных на телескопах с $D < 3$ м. Результаты наблюдений пересчитаны на параметры: $D=1$ м, $t=1$ час, $S/N=10$. Обозначения: точки – данные наблюдений, открытые квадраты – опубликованные оценки, черный квадрат – данные для FEROS, косой крестик – результаты испытаний одного из изготовленных нами оптоволоконных эшелле спектрографов на 1-метровом телескопе САО. Кривыми отмечены результаты вычислений проникающей способности для различных значений квантовой эффективности системы «телескоп – оптоволокно – спектрограф - приемник», сверху вниз: 100%, 10%, 1%, 0.1%.

Испытания различных спектрографов отличаются по всем параметрам: D – диаметр используемого телескопа, R – спектральное разрешение, t – время экспозиции, m – звездная величина, качество изображения, S/N – отношение сигнал/шум. Для сравнения эффективности спектрографов следует уменьшить число свободных параметров. Условимся, что наблюдения выполняются на телескопе $D=1$ м, $t=1$ час, $S/N=10$ на элемент разрешения (FWHM). Тогда критерием, позволяющим сравнивать эффективность разных спектральных систем, является функция звездной величины от спектрального разрешения (рисунок 1). При пересчете освещенностей на единый диаметр ($D=1$ м) мы ограничились спектрографами, установленными на телескопах с $D < 3$ м. Если использовался резатель изображения, то величина спектрального разрешения пересчитывалась на полный диаметр ядра оптоволоконна (например, при двух срезах R следует понизить вдвое). Если в оригинальных публикациях указывалось значение S/N на один пиксель, выполнялся соответствующий пересчет на элемент разрешения. Мы использовали формулу

$$S/N = 3600 N_0 t 10^{-0.4(m_\lambda - m_0)} / [3600 N_0 t 10^{-0.4(m_\lambda - m_0)} + (Wb - 1 N_r)^2 + W^2 t T]^{1/2}, \quad (1)$$

где N_0 – эффективность в $e^- \text{ sec}^{-1} \text{ pix}^{-1}$ для звезды с величиной m_0 , определенной на единицу длины волны, W – ширина спектра в пикселях, N_r – шум считывания в $e^- \text{ pix}^{-1}$, T –

темновой отсчет в $e^{-\rho} \text{ix}^{-1} \text{hr}^{-1}$, t - время экспозиции в часах, b - фактор биннинга в направлении, перпендикулярном дисперсии. Если пренебречь вторым и третьим членами в подкоренном выражении, то

$$S/N = [3600 N_0 t 10^{-0.4(m\lambda - m_0)}]^{1/2}. \quad (2)$$

В расчетах теоретической проницающей способности были приняты следующие параметры: поток от звезды нулевой величины спектрального класса A0, на длине волны 5500 \AA на границе земной атмосферы равен $3.526 \times 10^{-7} \text{ эрг.сек / см}^2 \text{ \AA}$, наблюдения выполняются на зенитном расстоянии $z=45^\circ$, диаметр телескопа $D=1\text{м}$, величина центрального экранирования зеркала составляет 11%, весь собранный телескопом свет попадает в оптическое волокно.

Итак, по данным рисунка 1 делаем вывод, что метод оптоволоконного сочетания спектрографа высокого разрешения с телескопом имеет значительный «технический люфт», иными словами, результаты сильно зависят от технического исполнения. А сам метод – «сфокусировали звезду на торец оптоволокну, а второй торец вставили в щель подходящего спектрографа, и все дела» - может по-прежнему считаться тривиальным.

Поэтому главной задачей нашей работы мы считали отработку нескольких технических решений, как применительно к конкретным телескопам коллективного пользования, так и к реальным возможностям оптико-механического производства. Перечислим вопросы, на которые предстояло получить ответ:

- схема контроля положения изображения точечного объекта на входе в оптическое волокно
- схемы коррекции положения изображения точечного объекта на входе в оптическое волокно (для различных монтаровок телескопа, включая и оффсетное гидирование)
- оптика, согласующая относительное отверстие используемого фокуса телескопа с оптимальной апертурой оптического волокна
- оптика, согласующая относительное отверстие коллиматора спектрографа с апертурой на выходе оптического волокна
- собственно оптимальная схема спектрографа (классическая или «белый зрачок»)
- система управления спектрографом (аппаратная платформа и алгоритмическая составляющая)
- вопросы сборки и юстировки подвесной и стационарной частей спектрографа
- вопросы тестирования отдельных оптических элементов
- вопросы адаптации разработанных конструкций к эксплуатационным условиям (тип используемого телескопа и точность работы системы управления телескопом, квалификация наблюдателей и технического персонала, уровень автоматизации, возможность удаленного управления)

- анализ известных технических решений и соответствующего опыта эксплуатации, сравнение с нашими результатами.

Главной целью, естественно, является создание оптоволоконного эшелле спектрографа БТА, но предварительно мы решили приобрести необходимый опыт на телескопах среднего диаметра. Средний диаметр для стадии НИР привлекателен еще и потому, что проблема широкощельности здесь ослаблена, и не надо тратить большие средства на создание светосильной камеры спектрографа.

Ниже сообщаем о результатах разработки четырех спектрографов высокого разрешения, предназначенных для оптоволоконного сочетания с телескопами диаметром 0.6-1.2м. Все спектрографы построены по различным схемам скрещенной дисперсии.

В таблице 1 приводим основные характеристики разработанных нами оптоволоконных эшелле спектрографов. Приняты следующие обозначения: D – диаметр телескопа (м), a – диаметр ядра оптоволокна (мкм), s – диаметр звездного изображения, перехватываемого оптоволоконном (угл.сек), l – длина оптического волокна (м), Fcoll – фокусное расстояние коллиматора (мм), $\text{tg}\theta_b$ и n (штр/мм) – параметры эшелле, d – диаметр коллимированного пучка (мм), L – длина заштрихованной области эшелле (мм), CD - тип элемента скрещенной дисперсии (P – призма, G – решетка, число штрихов на мм, GP – гризма, Fcam – фокусное расстояние камеры (мм), $R=\lambda/\Delta\lambda$ – спектральное разрешение.

Таблица 1. Основные параметры четырёх оптоволоконных эшелле-спектрографов, разработанных в САО РАН.

№	D	a	s	l	Fcoll	$\text{tg}\theta_b$	n	d	L	CD	Fcam	R
1	1.0	100	4.7	9	365	2	37.5	100	260	2P	365	16000
2	0.6	100	7.8	20	400	2	37.5	100	260	G300	175	13000
3	1.2	150	5.0	20	1000	4	37.5	100	400	G300	200	30000
4	1.0	100	3.3	20	1000	4	37.5	100	400	GP	200	45000

Оптоволоконный спектрограф ЭСПАК. Первой работой, выполненной в САО по оптоволоконному сочетанию телескопа и эшелле спектрографа высокого разрешения, является адаптация Эшелле-Спектрографа АвтоКоллимационного (ЭСПАК), для наблюдений в фокусе Ричи-Кретьена телескопа (D=1.01м, F=13.3м). Первоначально ЭСПАК [В.Г.Клочкова, В.Е.Панчук, В.П.Рядченко. Письма в АЖ, 1991, т.17, с.645-652] использовался в наблюдениях на БТА, как с двумерным счетчиком фотонов, так и с первыми матрицами ПЗС, а затем был заменен более светосильным спектрографом. Оптоволоконный вариант предполагалось использовать на 1-метровом телескопе с матрицей ПЗС небольшого формата (580x520 элементов), поэтому в схеме ЭСПАК эшелле решетка 75 штр/мм была заменена на эшелле 37.5

штр/мм, чтобы согласовать длину спектрального порядка с форматом ПЗС. Схема стационарной части ЭСПАК приведена в обзоре по оптоволоконным эшелле спектрографам [В.Е.Панчук, М.В.Юшкин, М.В.Якопов, Астрофиз. Бюлл. 2011, 66, No.3, 382-399], там же указаны основные параметры оптики спектрографа. Реконструкция ЭСПАК и первые эксперименты с оптическим волокном выполнены одним из авторов, (В.Е.П.). В диапазоне 4000-6900Å регистрировались спектральные порядки от $m=119$ до $m=70$, без перекрытия длин волн соседних порядков. На входе в оптическое волокно относительное отверстие телескопа 1:13 преобразовывалось в 1:4, при этом масштаб на входе в оптоволокно составляет 47.2 угл.сек./мм. Спектрограф испытывался с оптическим волокном, имеющим диаметр ядра 50 и 100 мкм, в первом случае спектральное разрешение ограничивалось aberrациями линзовой камеры, во втором было получено спектральное разрешение $R=16000$ (диаметр монохроматического изображения выходного торца оптоволокна составил 4 пикселя). Изображение звезды диаметром 4.7 угл.сек. использовалось при этом полностью. На рисунке 2 приведена схема стационарной части спектрографа, на рисунке 3 – образец спектра.

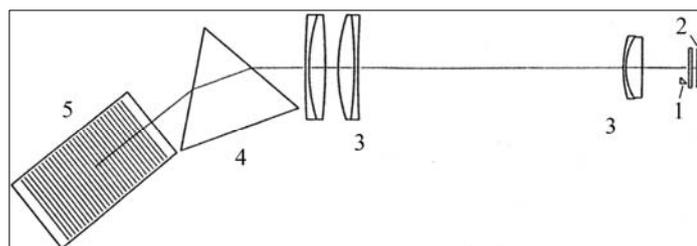


Рисунок 2 - Схема оптоволоконного автоколлимационного эшелле-спектрографа ЭСПАК. Обозначения: 1 – призмочка оптоволоконного входа, 2 – матрица ПЗС, 3 – оптика объектива, 4 – призма скрещенной дисперсии, 5 – эшелле.

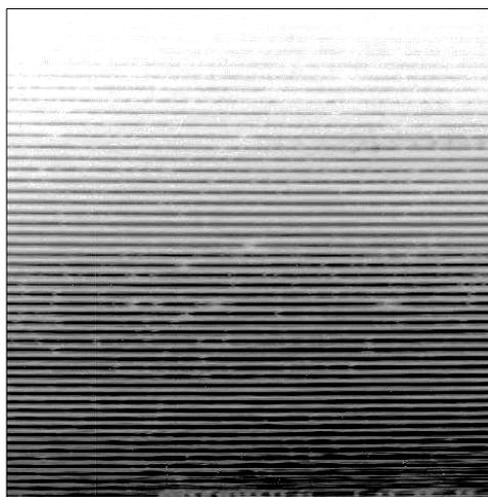


Рисунок 3 - Спектр, полученный на оптоволоконном Эшелле-Спектрографе АвтоКоллимационном (ЭСПАК). Внизу – теллурическая полоса молекулы кислорода ($\lambda \sim 6800\text{Å}$), в центре – триплет магния, выше центра – линия H β .

Оптоволоконный спектрограф с одним коллиматором. Для 60-см телескопа на экваториальной монтировке был разработан и изготовлен спектральный комплекс в составе: а) кассегреновского спектрографа среднего разрешения (испытания проведены в САО), и б) оптоволоконного эшелле спектрографа высокого разрешения (параметры последнего указаны в таблице 1). Использование камеры «ломаный Шмидт» ($F_{cam} = 175\text{мм}$, 1:1.4) позволило применить классическую схему скрещенной дисперсии: коллиматор – эшелле – решетка – камера. Спектральное разрешение составило $R \sim 13000$. На рисунке 4 приведено фото стационарной части спектрографа. Спектры высокого разрешения на этом приборе не были получены ввиду неготовности 60-см телескопа к работе.

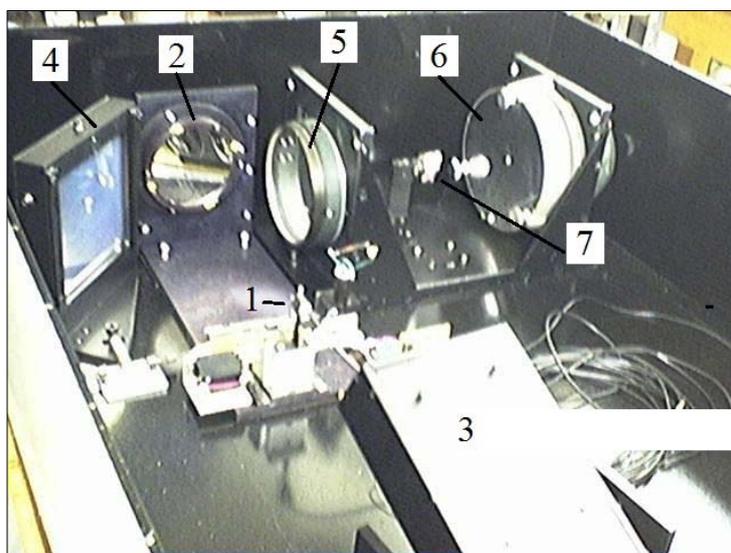


Рисунок 4 - Общий вид стационарной части спектрографа 60-см телескопа. Обозначения: 1 – головка оптоволоконного входа в спектрограф, 2 – зеркало коллиматора, 3 – эшелле, 4 – решетка скрещенной дисперсии, 5 – коррекционная пластина Шмидта, 6 – сферическое зеркало камеры Шмидта, 7 – ломающее плоское зеркало, работающее в сходящемся пучке.

Первый оптоволоконный спектрограф, разработанный по схеме «белый зрачок». Для 120-см альт-азимутального телескопа разработан, изготовлен и испытан эшелле-спектрограф с тройным прохождением оптики коллиматора (схема белого зрачка, $R=30000$). В качестве элемента скрещенной дисперсии используется дифракционная решетка, работающая в первом порядке. Фокусное расстояние камеры 200мм, световой диаметр 110мм. Используется матрица ПЗС форматом 2048x2048 элементов. На весь рабочий диапазон приходится 87 спектральных порядков с абсолютными номерами с 51 по 137. При попытке упаковать все порядки на одном кадре возникают две проблемы:

- малое расстояние между порядками с большими абсолютными номерами
- вторичный спектр камеры.

Смена диапазона осуществляется поворотом элемента скрещенной дисперсии с одновременным изменением угла наклона ПЗС-матрицы относительно камеры спектрографа.

Приемник форматом 2Кх2К позволяет работать без потерь до 9000\AA , на 1 мкм скважность составляет 20\AA при длине порядка 200\AA . Одновременно регистрируемый диапазон длин волн составляет 4000\AA .

Результаты испытаний спектрографа на 1 м телескопе показали, что за 60 минут экспозиции, при изображениях 1.5 угл.сек., от звезды 12.5 звездной величины V на длине волны 550 нм на уровне непрерывного спектра получено значение $S/N=10$. Величина спектрального разрешения составила при этом $R=30000$.

Интерфейс системы управления спектрографом размещен по адресу <http://www.sao.ru/hq/ssl/maks/UFES/manual/manual.html>

Итак, испытания спектрографа, построенного по схеме «белый зрачок», подтвердили правильность основных технических решений. На рисунке 5 приведена схема стационарной части спектрографа, на рисунке 6 – образец спектра.

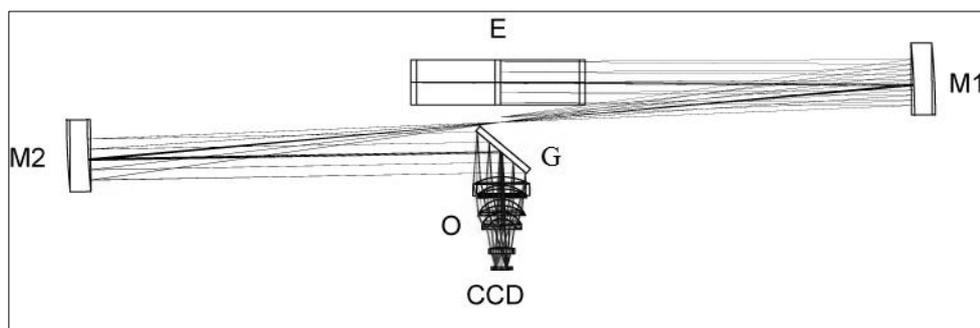


Рисунок 5 - Схема стационарной части оптоволоконного эшелле спектрографа. Обозначения: E – эшелле, M1 – зеркало первого коллиматора, M2 – зеркало второго коллиматора, G – решетка скрещенной дисперсии, O – объектив камеры, CCD – плоскость светоприемника.

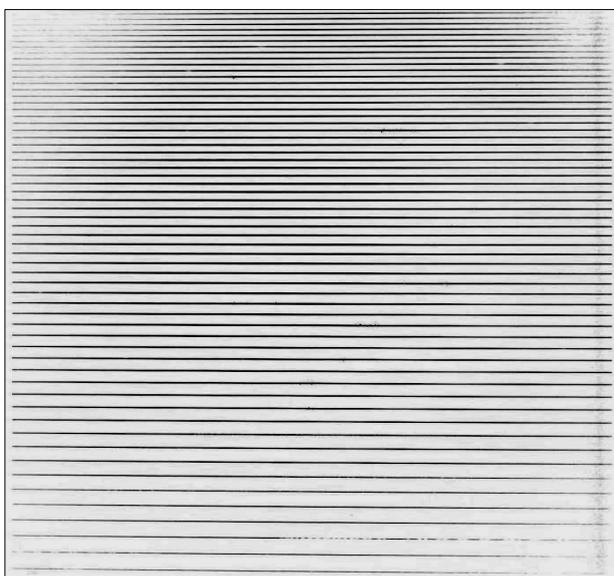


Рисунок 6 - Изображение эшелле спектра горячей звезды, полученное в диапазоне $\lambda\lambda$ $3953\div 7868\text{\AA}$ (порядки $m=125\div 66$). Перекрытие соседних порядков обеспечивается для $\lambda < 6100\text{\AA}$. В правом нижнем углу кадра (в порядке $m=66$) находится ИК-триплет кислорода, в верхней части кадра видны линии бальмеровской серии водорода.

Второй оптоволоконный спектрограф, разработанный по схеме «белый зрачок». Сравнение рисунков 3 и 6 показывает, что ни призма, ни дифракционная решетка не обеспечивают экономичного разведения порядков: в первом случае «слипание» порядков наблюдается в длинноволновой области спектра, во втором – в коротковолновой. Увеличение угловой дисперсии элемента скрещенной дисперсии приводит к потере числа порядков, регистрируемых на одну экспозицию на приемнике фиксированного формата. Поэтому в следующей версии оптоволоконного спектрографа, построенного по схеме «белый зрачок», в качестве элемента скрещенной дисперсии мы применяем гризму – призму с нанесенной на одну из ее граней прозрачной дифракционной решеткой. В этом случае расстояния между спектральными порядками оказываются приблизительно одинаковыми по всему формату изображения эшелле спектра. На рисунке 7 приведена схема стационарной части разрабатываемого спектрографа.

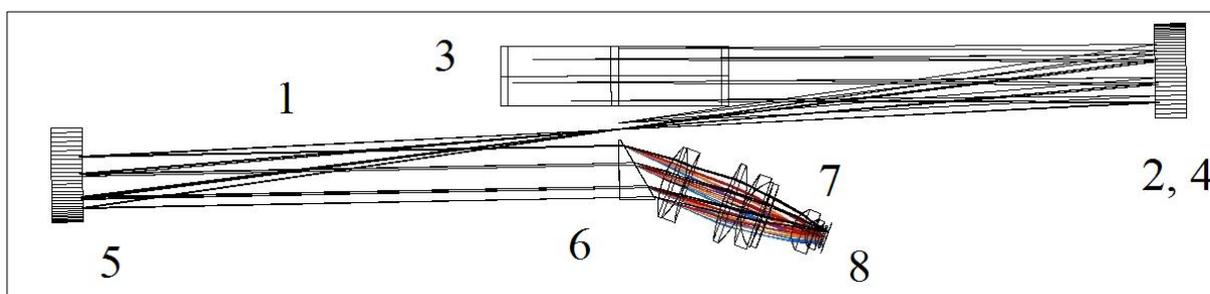


Рисунок 7 - Схема стационарной части оптоволоконного спектрографа для 1-метрового телескопа САО. Обозначения, по ходу лучей: 1 – выход из оптоволоконна, 2 – первое прохождение первого коллиматора, 3 – эшелле (штрихи параллельны плоскости рисунка), 4 - второе прохождение первого коллиматора, 1 – вблизи выхода из оптоволоконна строится промежуточный спектр, порядки которого не разведены, направление дисперсии перпендикулярно плоскости рисунка, 5 – прохождение второго коллиматора, собирающего монохроматические пучки в белый зрачок на призме 6, (на выходе призмы нанесена прозрачная реплика, штрихи которой перпендикулярны плоскости рисунка), 7 – линзовый объектив, 8 – плоскость светоприемника.

От предыдущего, «бюджетного» экземпляра (рисунок 5), данный спектрограф отличается следующим:

а) мы отказались от перестраиваемого узла скрещенной дисперсии, за счет равномерной упаковки порядков на приемнике. Это, безусловно, увеличит позиционную стабильность спектра.

б) мы решились на увеличение стоимости прибора, за счет:

- 1) замены решетки скрещенной дисперсии на гризму
- 2) замены сварной несущей конструкции на оптический стол
- 3) изготовления «помещения в помещении», с температурной стабилизацией
- 4) использования «быстрого» высокочувствительного приемника в схеме автогида

в) время изготовления прибора увеличилось, за счет удвоения числа сложных и дорогих высокотехнологичных элементов (к эшелле R4 добавилась специальная гризма)

г) в подвесной части прибора изменения: для понижения инерционности улучшена схема автогида (за изображением звезды «бегает» не пластина, в которую вклеено оптоволокно, а только оптоволокно).

Выводы и оценка перспектив. Разработан метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения, предназначенный для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света. Этот метод был проверен и совершенствовался путем создания оптоволоконных систем различной конфигурации.

По созданию уже завершенных трех оптоволоконных систем мы пришли к основному выводу: если прибор создается по договорным работам, то невозможно выполнить условия по срокам поставки прибора, включающим разработку документации, госзакупки, изготовление, испытания, и доработку прибора по результатам испытаний. Освоено изготовление и настройка схемы белого зрачка. Проверены новые методы сопровождения объекта. На новой элементной базе отработана технология удаленного управления прибором. Сложился коллектив разработчиков подобных систем. Оценено соотношение затрат оптика/механика/электроника (без ПЗС), – 50%, 34% и 16% от общей стоимости прибора. Половина трудозатрат уходит на электронику и «софт». Принято решение о дальнейшем развитии метода в CAO.

В качестве главной перспективы развития метода в CAO рассматриваем вопрос создания специализированного телескопа диаметром 80÷90см, ориентированного исключительно на работу со спектрографом, схема которого приведена на рисунке 7. Такое решение увеличит эффективность спектроскопии звезд в 3-4 раза (по сравнению с многоцелевым 1-метровым телескопом CAO, используемым сегодня в трех-четыре видах наблюдений).

2.2 Метод панорамной спектроскопии с использованием интерферометра Фабри-Перо

На четвертом этапе было завершено испытание нового интерферометра Фабри-Перо и начаты регулярные наблюдения с помощью этого метода на 6-м телескопе CAO РАН. Выполнен анализ наблюдательного материала, получены первые научные результаты, оценены дальнейшие перспективы применения этой методики.

Установка сканирующего ИФП для выполнения регулярных астрономических наблюдений. Для выполнения наблюдений в первичном фокусе 6-м телескоп сканирующий пьезоэлектрический интерферометр Фабри-Перо (серийный номер ET50FS-1089) устанавливается внутри многорежимного редуктора светосилы SCORPIO-2 на подвижном рычаге узла ввода интерферометра в коллимированный пучок, т. е. туда, где располагается выходной зрачок оптической системы.

Управление сканирование по длинам волн выполняется с помощью специального контролера CS100 фирмы IC Optical Systems Ltd, подсоединенным к разъемам интерферометра при трехметрового гибкого многожильного кабеля. Пьезоэлектрические привода, управляемые от контроллера изменяют величину зазора между двумя отражающими поверхностями эталона. Параллелизм пластин поддерживается за счет конденсаторного микрометра, посылающего в контроллер сигналы обратной связи. Контроллер сканирующего ИФП позволяет эффективно стабилизировать его параметры и обеспечивает управление сканированием. Управление режимами работы контроллера (параллелизм отражающих пластин, изменение расстояния между ними) осуществляется промышленным компьютером (IP-адрес: 192.168.3.33) по последовательному COM-порту (интерфейс RC235).

Управление микропроцессорами спектрографа SCORPIO-2 во время наблюдений со сканирующим интерферометром осуществляется с помощью разработанного нами комплекса программ, написанных на IDL 7.0. Ниже, на рисунке 8 показан общий вид виджет-интерфейса, управляющего процессом сканирования.

Основные параметры используемого интерферометра (число каналов, порядок интерференции) уже занесены в конфигурационный файл, так что оператор-наблюдатель должен только выбрать тип интерферометра, установленного в приборе. При полном сканировании в начале выполняются экспозиции в нечетных каналах интерферометра (channels=1,3,5..), а затем - в четных (channels=2,4,6...) это делается для того, что бы избежать систематических ошибок при оценке изменений атмосферной прозрачности и размера звездных изображений.

По результатам тестовых наблюдений с ИФП в широком спектральном диапазоне рекомендуются следующие длительности экспозиций объекта и калибровок, указанные в таблице 2.

Таблица 2 - Рекомендуемые длительности экспозиций (на один канал) при наблюдениях со сканирующим ИФП ET50FS-1089 на 6-м телескопе САО РАН.

Вид накоплений	Экспозиция (при наблюдениях в области линии H α)	
	Аппаратный биннинг 2x2	Аппаратный биннинг 4x4
Объект (галактика, туманность)	150-250 сек/канал	200-300 сек/канал
Калибровка лампой непрерывного спектра	10 сек/канал	40 сек/канал
Калибровка лампой линейчатого спектра	15 сек/канал	60 сек/канал

При разработке методики наблюдений мы взяли за основу как имевшиеся у нас наработки по эксплуатации сканирующих интерферометров со старым фокальным редуктором

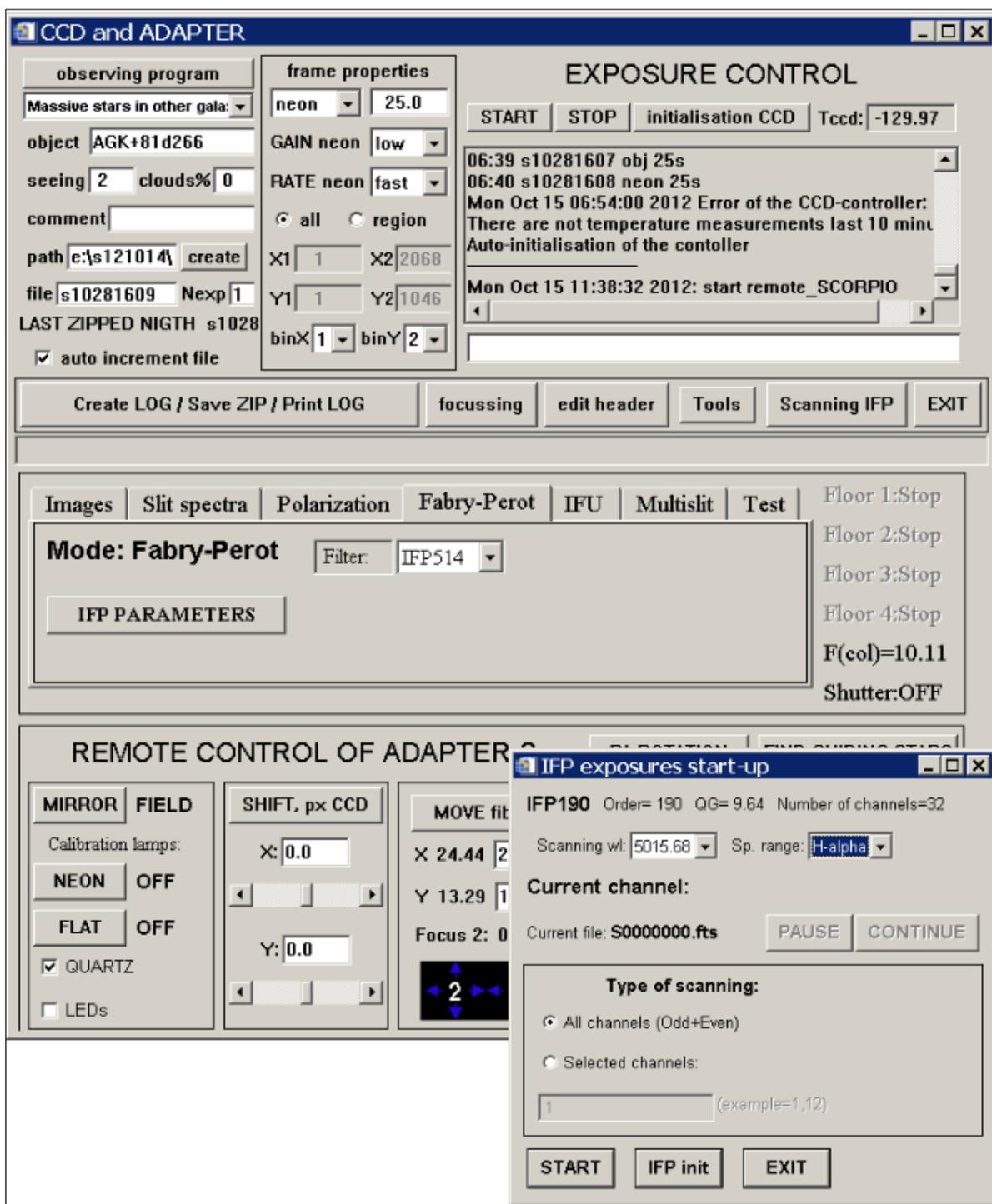


Рисунок 8: Интерфейс программы управления прибором SCORPIO-2 в режиме ИФП. На врезке - интерфейс программы управления сканированием.

так и общие рекомендации, описанные в литературе. Окончательно методика была модифицирована и отлажена в ходе первых наблюдений со спектрографом SCORPIO-2. В результате, мы пришли к выводу, что оптимальной является следующая последовательность наблюдений и калибровок:

Результаты наблюдений астрофизических объектов, требующих сканирования в широком спектральном диапазоне. Активные галактические ядра. Практически общепринятой является та точка зрения, что источником активности ядер галактик Сейферта является аккреция вещества на центральный сверхмассивный объект. В дисках этих галактик содержится достаточно газа, чтобы обеспечить требуемый темп аккреции, однако неясно как именно газ с масштабов в несколько килопарсек попадает на расстояния в десятки парсек от центра, теряя при этом значительную часть углового момента вращения. В литературе предложено несколько условий и механизмов транспортировки газа к центру: наличие перемычки, околядерной спиральной структуры, эксцентричного диска, приливное взаимодействие, динамическое и вязкое трение. Однако совершенно неясно, почему в остальных галактиках эти же механизмы не приводят к появлению активного ядра. Скорее всего, активность - лишь короткий эпизод эволюции ядер галактик, и существует еще некий дополнительный фактор стимулирующий транспортировку газа к центру. Поэтому необходимо понять, как именно происходит перенос углового момента вращающегося газа в каждом конкретном объекте.

Наше исследование со сканирующим интерферометром является важной частью комплексного (спектрального и фотометрического) изучения ряда близких активных (Сейфертовских) галактик на 6-м телескопе САО РАН с основным акцентом на морфологическую структуру и кинематику области центрального килопарсека. Главная задача - понять, какой именно механизм в каждом конкретном объекте стимулирует поступления газа ("топлива") в область активного ядра: центральная перемычка (бар), внутренняя мини-спираль, неосесимметричный диск (lopsided), приливное взаимодействие и т.п. Для этого недостаточно информации извлекаемой из прямых изображений околядерных областей, требуются прямые измерения лучевых скоростей газа и звезд.

Колимированные истечения широко представлены в различных астрофизических объектах, в том числе и в активных галактических ядрах. При этом их размеры (длина радиоджета) сильно различаются - от сотен килопарсек в радиогалактиках, до сотен парсек в Сейфертовских ядрах. Последний случай менее изучен, поскольку требует наблюдений с высоким пространственным разрешением. В дисковых галактиках, к которым относятся и галактики Сейферта, релятивистское истечение (радиоджет) вторгается в плотную межзвездную среду, взаимодействует с ней, порождая косые ударные волны, «кокон» ионизованного вещества, а иногда и Z-образные регулярные структуры, возможно представляющие из себя особый вид волнового узора. Наиболее полную информацию о взаимодействии релятивистского джета с межзвездной средой можно получить анализируя изображения в эмиссионных линиях ионизованного газа и одновременно - измеряя скорость его движения по лучу зрения. Сейчас получены многочисленные изображения джетов в радиодиапазоне, в то

время как необходимая информация детали в оптическом диапазоне (лучевые скорости, состояние ионизации) имеется лишь для отдельных галактик. Остаются нерешенными ряд принципиальных вопросов, касающихся, прежде всего, природы конусов ионизированного вещества вокруг радиоджетов в активных галактиках: являются ли они реальным потоком вещества, или представляют собой газ, подсвечиваемый центральным «прожектором» - активным ядром. Необходимо понять, какой именно механизм ионизации создает наблюдаемую в Сейфертовских галактиках картину свечения газа и запрещенных линий: ионизация активным ядром, ударными волнами, молодыми звездами или комбинация этих механизмов.

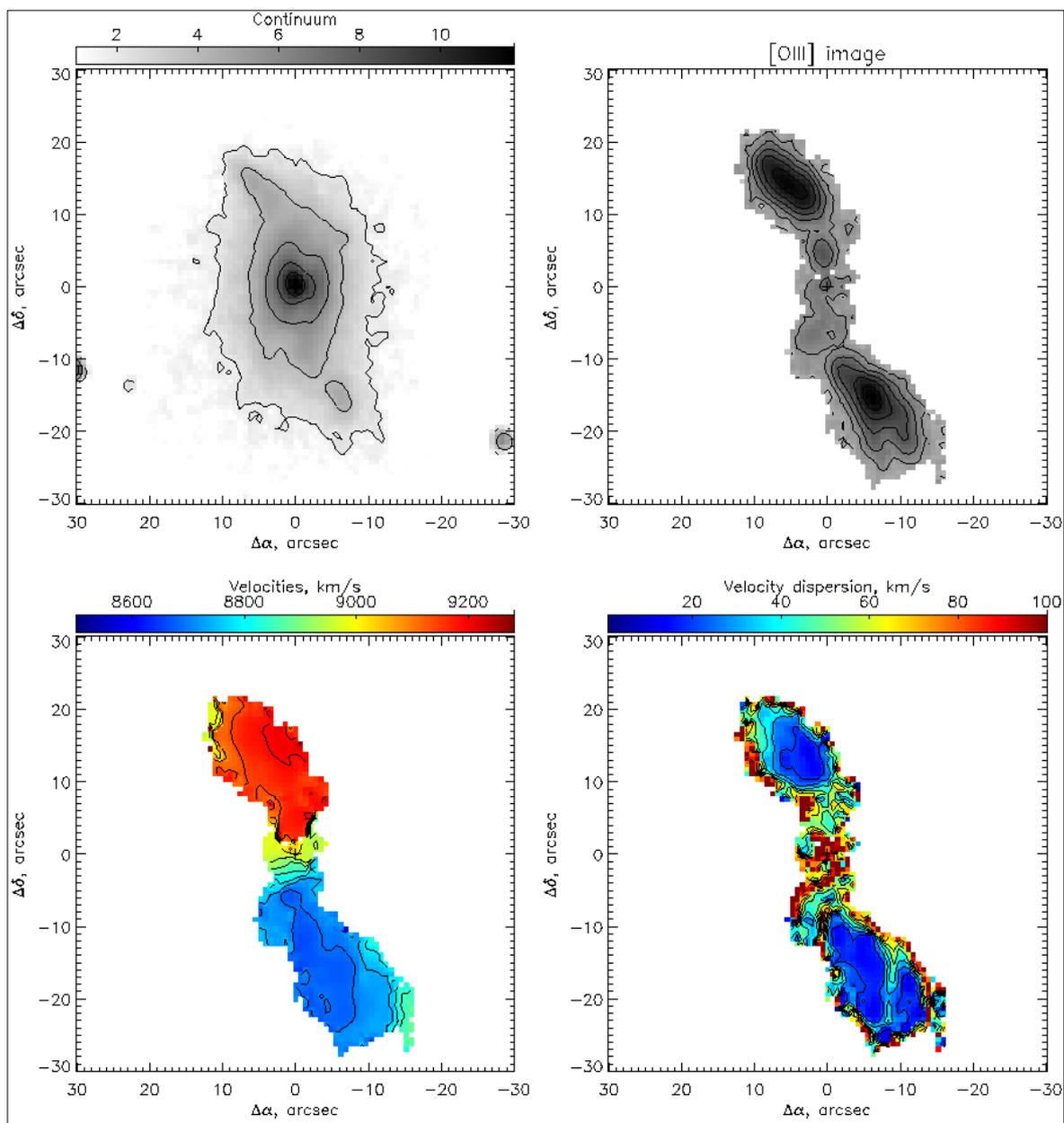


Рисунок 9 - Результаты изучения галактики SDSS J220141.64+115124.3 в линии [OIII]5007 на 6-м телескопе (наблюдения в августе 2012 г.). Верхний ряд — изображения в континууме и в эмиссионной линии. Нижний ряд — поля лучевых скоростей и дисперсии скоростей, построенные с помощью сканирующего ИФП в широком спектральном интервале.

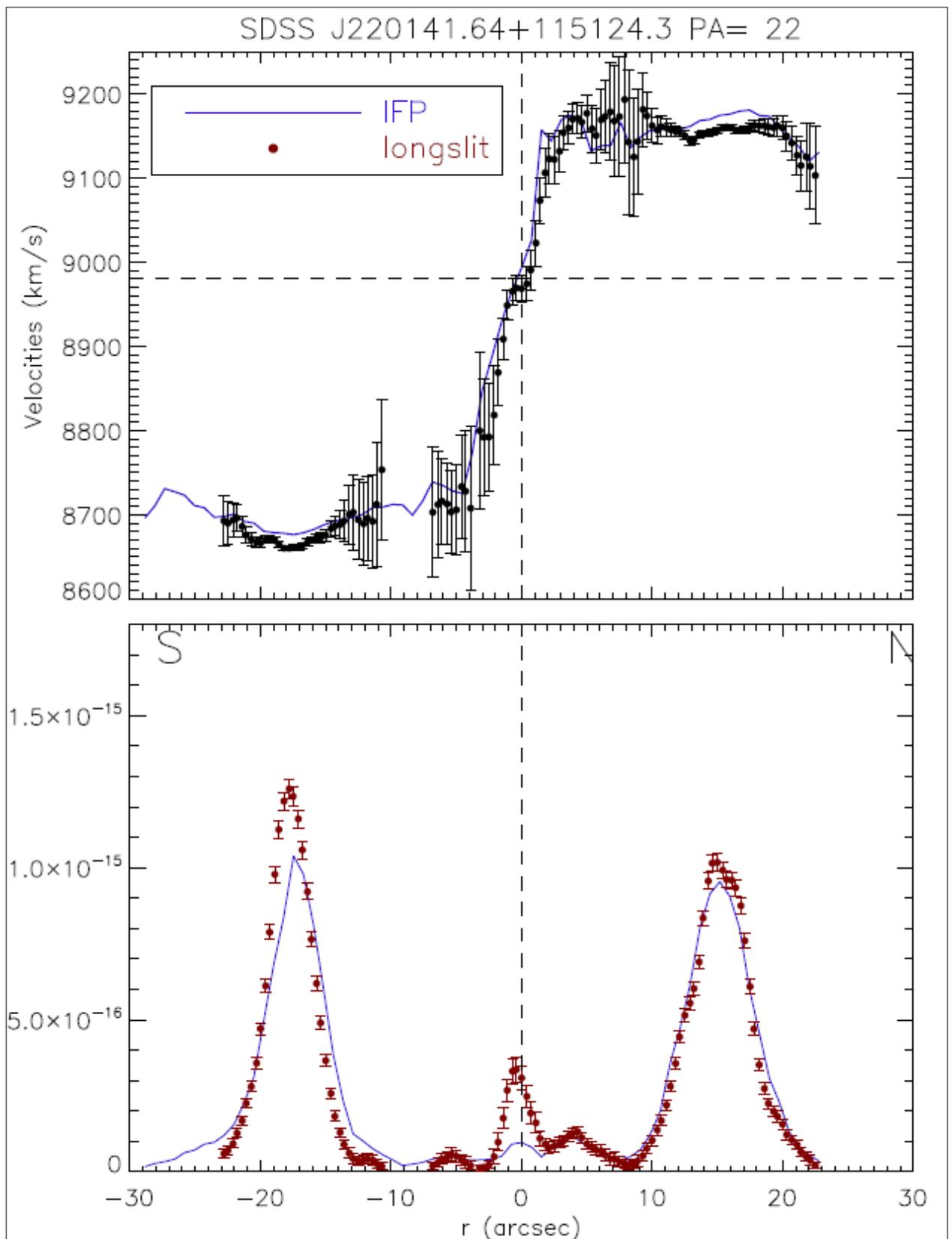


Рисунок 10 - Галактика SDSS J220141.64+115124.3. Сравнение распределений лучевых скоростей (вверху) и поверхностной яркости (внизу) в линии ионизованного кислорода по данным наблюдений на 6-м телескопе со сканирующим ИФП и в режиме спектрографа с длиной щелью. Преимущество наблюдений с интерферометром Фабри-Перо состоит в том, что, в отличие от методов классической спектроскопии, здесь возможно строить такие распределения вдоль любого выбранного направления в кубе спектральных данных.

Поскольку изучаемые объекты характеризуются большим разбросом лучевых скоростей эмиссионных деталей (до 500-1000 км/с), то для исследования поля скоростей необходимо использовать интерферометр, осуществляющий сканирование в большом диапазоне (до 1500 км/с). Именно такой тип наблюдений с новым ИФП был выполнен на 6-м телескопе САОР РАН 22-25 августа 2012 г. Изучались Сейфертовские галактики, родственные объекту Хани Вурверп, в которых газ на больших расстояниях от центра ($r=10-20$ кпк) ионизируется жестким излучением активного ядра.

Первые результаты таких наблюдений для галактики SDSS J220141.64+115124.3 представлены на рисунках 9 и 10. Нам удалось в деталях проследить движения газа внутри ионизованных филаментов. Построенные карты лучевых скоростей показывают, что кинематика этих филаментов, прежде всего, определяется приливным взаимодействием — захватом и разрушением карликового спутника, поглощаемого центральной галактикой. Судя по всему, именно это взаимодействие и послужило триггером ее ядерной активности.

2.3 Методика контроля качества поверхности главного зеркала

При выполнении государственного контракта предполагалось создать и адаптировать систему контроля качества поверхности главного зеркала БТА. Это позволит выполнить приемку главного зеркала в цеху ЛО и на месте установки телескопа, определить ошибки боковых разгрузок зеркала, контролировать движение воздушных потоков в подкупольном пространстве башни БТА и оптимизировать выбор наблюдательных методик с использованием адаптивных оптических систем.

В результате выполнения данных работ предполагалось разработать и изготовить датчик волнового фронта для измерения формы поверхности главного зеркала БТА.

На четвертом этапе выполнены измерения параметров главного зеркала БТА с использованием разработанной методики контроля качества поверхности крупногабаритных зеркал. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами предыдущих измерений, полученных с использованием старой методики. Методика полностью подготовлена к аттестации параметров формы поверхности главного зеркала в цеховых условиях и после его установки на телескопе.

Данная методика контроля формы поверхности главного зеркала БТА реализована на основе измерений волнового фронта с помощью датчика волнового фронта (ДВФ) Шака — Гатмана. Волновой фронт раскладывается в ряд по ортонормированным наборам полиномов (различные наборы полиномов Цернике, Лежандра). Возможно также восстановление волнового фронта методом прямого интегрирования.

Измерения представляются в виде двумерных или трехмерных карт, в реальном времени производится оценка размаха, средне квадратичной ошибке (СКО) и фактора Штреля волнового фронта. Далее производится постобработка измеренных данных с возможностью проведения статистического анализа.

На рисунке 11 представлено главное окно программы, которое позволяет вводить необходимые параметры измерений, проводить измерения, контролировать процесс выполнения измерений и производить обработку полученных данных. Оно содержит 4 панели (отмечены цифрами в квадратах).

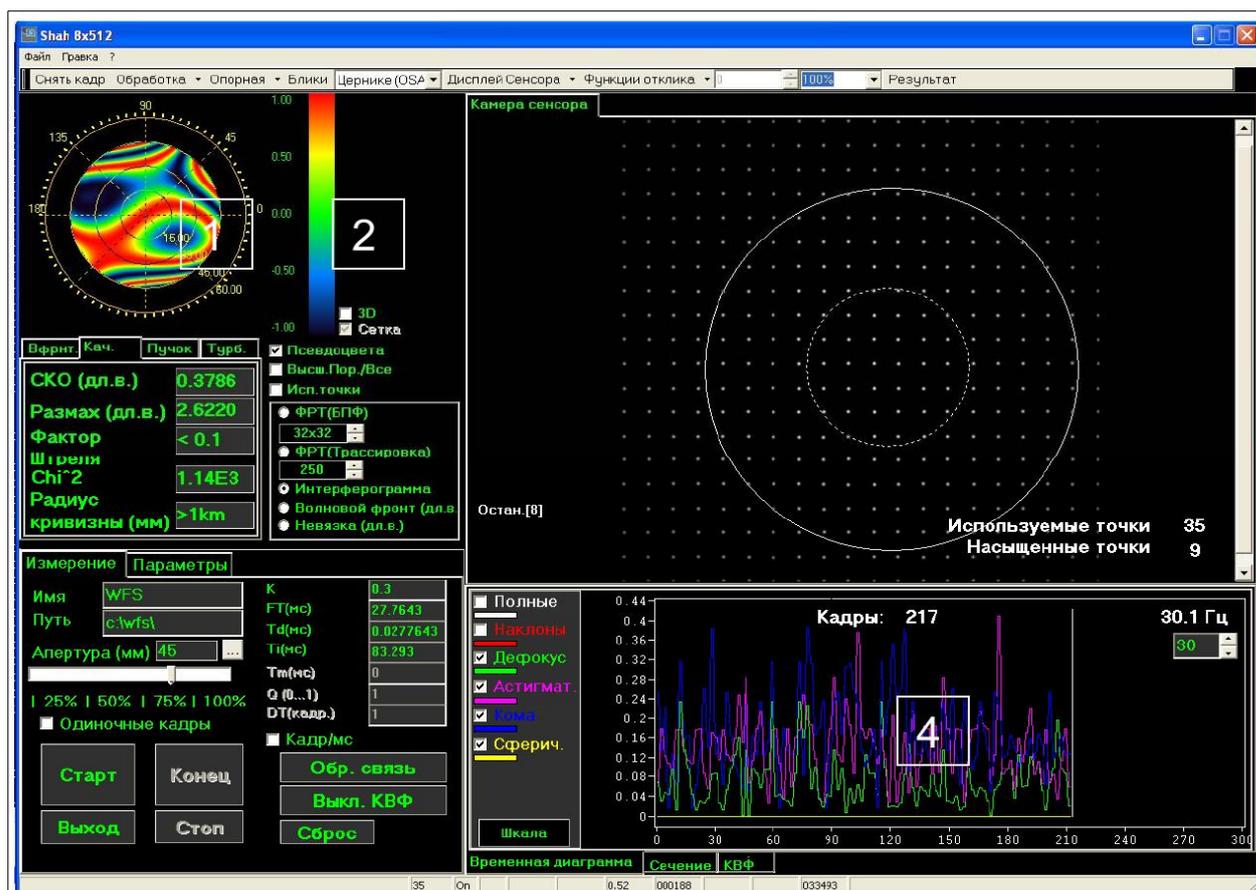


Рисунок 11 - Главное окно программы.

Первая панель - панель волнового фронта:

- вкладка волнового фронта (рисунок 12а) отображает результаты измерений в реальном времени. Она также может быть использована для проверки качества работы системы
- вкладка качества измерений волнового фронта (рисунок 12б) отображает такие количественные характеристики волнового фронта, как среднеквадратичное значение (RMS), размах отклонений от плоскости ($P - V$), фактор Штреля и радиус средней кривизны

- вкладка параметров пучка (рисунок 12в) отображает компоненты наклонов волнового фронта, положение и сечение пучка
- вкладка параметров турбулентности (рисунок 12г) отображает оценки параметров турбулентности в соответствии с Колмогоровской моделью: σ_0 и C_n .

Вфрнт.	Кач.	Пучок	Турб.
СКО (дл.в.)		0.1739	
Размах (дл.в.)		1.0250	
Фактор		0.30	
Штреля			
χ^2		2.19E3	
Радиус			
кривизны (мм)		>1km	

Рисунок 12а - Вкладка волнового фронта

Вфрнт.	Кач.	Пучок	Турб.
Сфера (Д)		0.0002	
Цилиндр (Д)		0.0008	
Ось (град)		66.80	
СКО (дл.в.)		0.1739	
Размах (дл.в.)		1.0250	

Рисунок 12б - Вкладка качества волнового фронта

Вфрнт.	Кач.	Пучок	Турб.
Наклон X(град.)		-4.15"	
Наклон Y(град.)		2.93"	
X центра(мм)		0.838	
Y центра(мм)		0.576	
Макс.рад.(мм)		21.890	
Мин.рад.(мм)		21.710	
Ось (град.)		125.00	

Рисунок 12в - Вкладка параметров пучка

Вфрнт.	Кач.	Пучок	Турб.
Длина пути(м)		300	
<input type="checkbox"/> Сферич./Плоский			
R0 (см)		2.4140	
C_n^2 (м ^{-2/3})		4.274E-016	
Модель			
Колмогорова(%)		100	

Рисунок 12г - Вкладка параметров турбулентности

Вторая панель - панель изображения с камеры. Отображает изображение с камеры датчика волнового фронта и единичный круг разложения Цернике.

Третья панель - панель управления датчика волнового фронта. Вид панели, представленный на рисунке 13, позволяет управлять процессом измерений и изменять параметры датчика волнового фронта.

Четвертая панель - панель графиков. Отображает либо поперечное сечение изображения с камеры датчика волнового фронта, либо график временной зависимости величин

среднеквадратичного отклонения aberrаций, сгруппированных по порядку, что можно увидеть на рисунке 14.

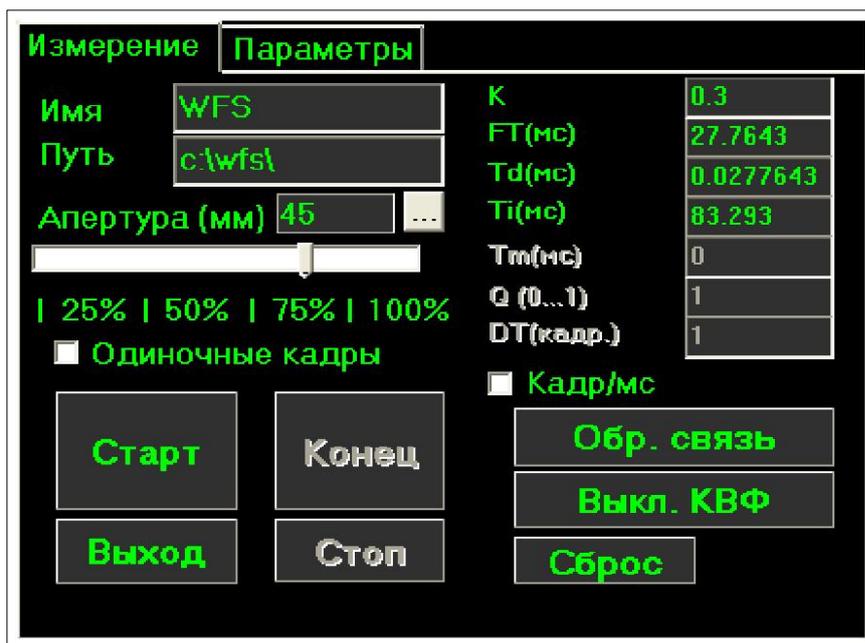


Рисунок 13 - Панель управления датчика волнового фронта

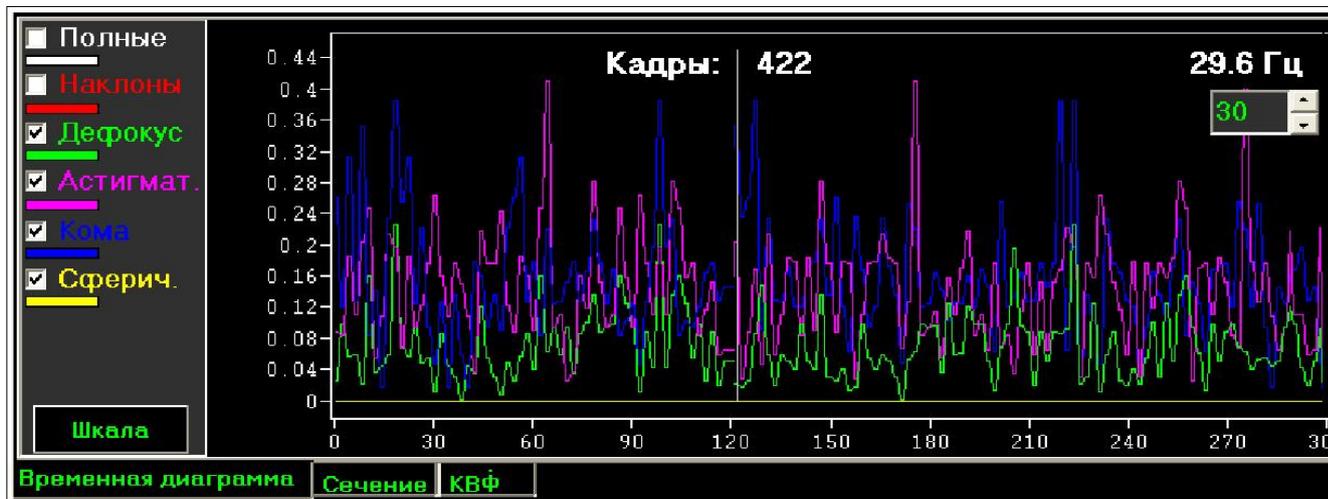


Рисунок 14 - Панель графиков

После проведения измерений, в методике предусмотрена предварительная быстрая обработка полученных данных. Результаты обработки выводятся в отдельном окне, показанном на рисунке 15. Данное окно отображает измеренные aberrации в цифровой и в выбранной графической форме, а также позволяет выбрать временной интервал для усреднения измерений. Управляющие элементы этого окна позволяют также сохранять результаты измерений в файл одного из нескольких форматов. В левой верхней части окна отображается восстановленный волновой фронт, в верхней строке первого квадрата этого отображения обозначены единицы

представления волнового фронта, под ней — единицы сетки пространственных координат плоскости измерения. Также, выбирая опции в окне, можно задать вид представления волнового фронта. Результаты конечной обработки измерений выводятся в окне протокола измерений, который представлен на рисунке 16.

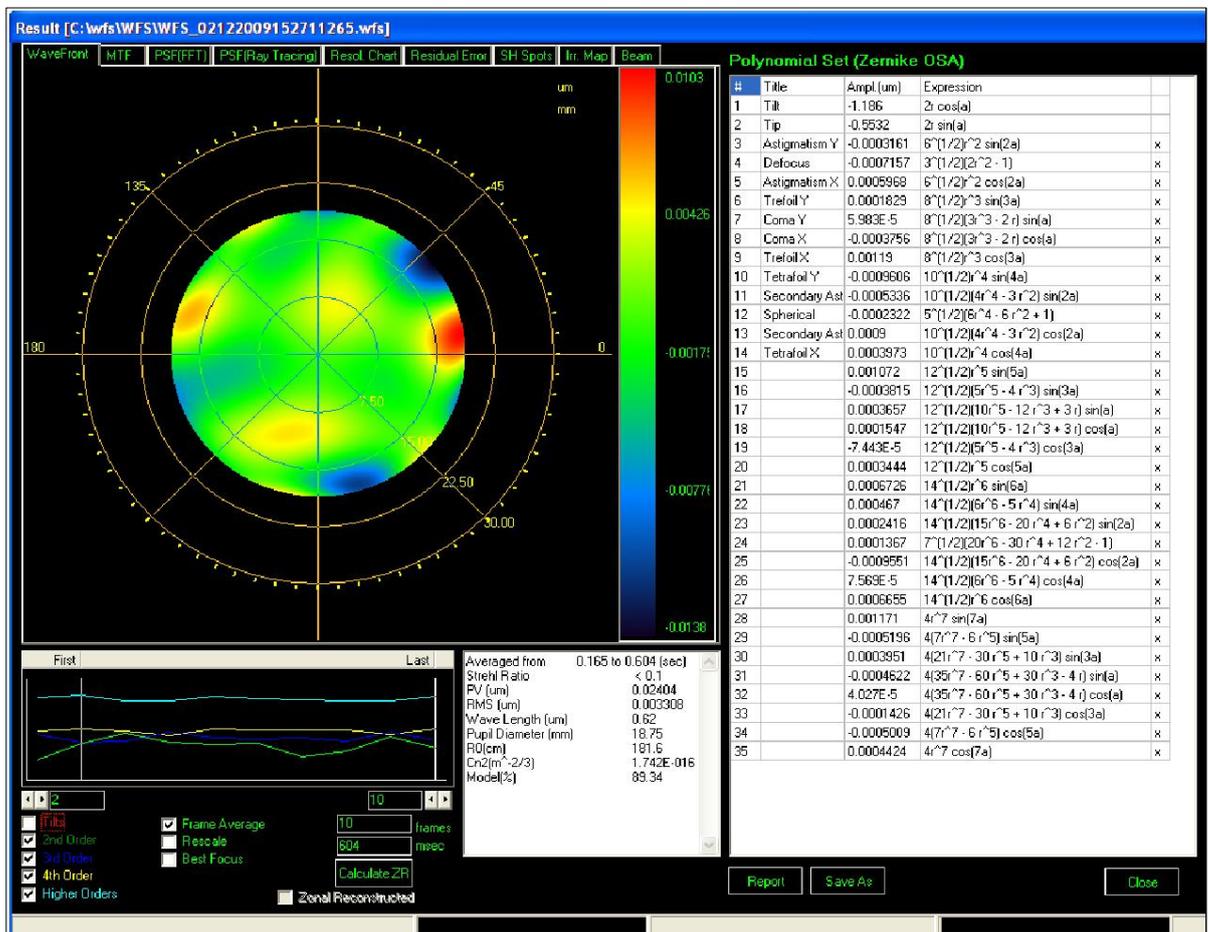


Рисунок 15 - Окно быстрой обработки результатов измерений

Данное окно отображает измеренные aberrации в цифровой и в выбранной графической форме, а также позволяет выбрать временной интервал для усреднения измерений. Управляющие элементы этого окна позволяют также сохранять результаты измерений в файл одного из нескольких форматов. В левой верхней части окна отображается восстановленный волновой фронт, в верхней строке первого квадрата этого отображения обозначены единицы представления волнового фронта, под ней — единицы сетки пространственных координат плоскости измерения. Также, выбирая опции в окне, можно задать вид представления волнового фронта. Результаты конечной обработки измерений выводятся в окне протокола измерений, который представлен на рисунке 16.

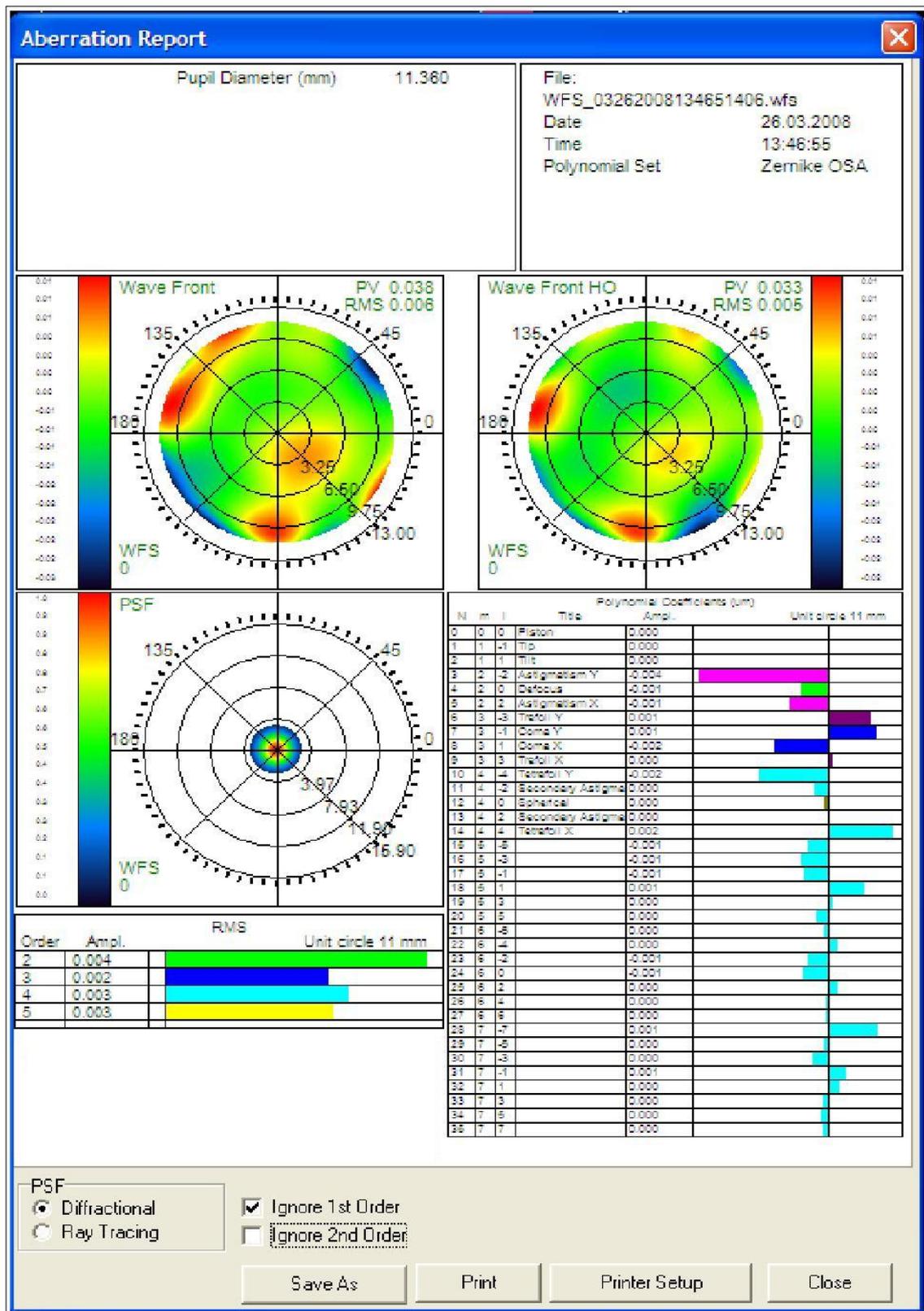


Рисунок 16 - Окно протокола измерений

Измерения качества поверхности главного зеркала БТА с использованием новой методики были проведены 3 сентября 2012 года. Условия измерений:

- хорошая прозрачность
- изображения — 1.5 угловые секунды
- скорость ветра — 1 — 3 метра в секунду
- температура зеркала — 15.1 градуса
- температура подкупольного пространства — 8.5 градусов
- температура атмосферы — 7.6 градусов.

Объект измерений:

- звезда HIP 100453
- звездная величина — 2.23
- координаты (2000.0): A(прямое восхождение) 20h 22m 13.70s
D(склонение) +40° 15' 24.04".

Прибор был установлен на поворотный стол первичного фокуса БТА, отсчет поворота которого составил $\text{PA} = 220$ градусов. В оптический тракт прибора был введен интерференционный фильтр с центральной длиной волны 650 нм и полосой пропускания 100 нм. Было получено 4 ряда измерений по 50 изображений в каждом.

Анализ результатов измерений, полученных с использованием новой методики, проводился совместно с результатами последних измерений с использованием старой методики, которые были проведены в 1995 году.

На рисунках 17, 18 и 19 представлены результаты измерений волнового фронта, выполненные соответственно по новой и старой методике. Отметим, что использование старой методики измерений волнового фронта имеет существенные недостатки, такие как:

- требует для восстановления волнового фронта измерений, выполненных в предфокальной и зафокальной плоскости зрачка
- малое число пятен для восстановления подробной карты волнового фронта.

Эти недостатки, с учетом особенностей montirovki телескопа БТА, приводят к понижению точности проводимых измерений и препятствуют детальному анализу распределения пятен карт волнового фронта. Новая методика лишена этих недостатков.

Как видно из сравнения рисунков 17, 18 и 19 положение пятен карт волнового фронта, полученных в 1995 и 2012 годах, осталось неизменным. Мы видим, что масштабных изменений зеркала за 17 лет его эксплуатации не произошло. Анализ характеристик точности поверхности главного зеркала БТА показывает, что основная его часть 60 — 65 % практически не изменилась и составляет $\lambda/4$. Однако, существенная деградация точности областей пятен, которая в некоторых случаях достигает 2λ .

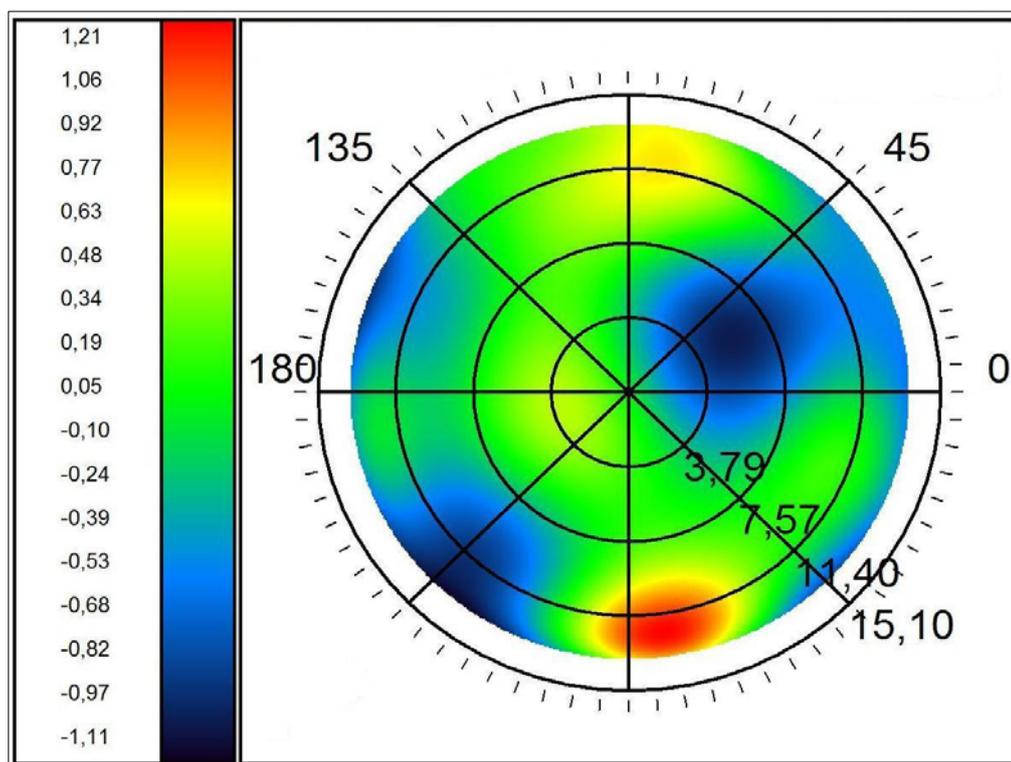


Рисунок 17 - Карта волнового фронта главного зеркала БТА, восстановленная по новой методике

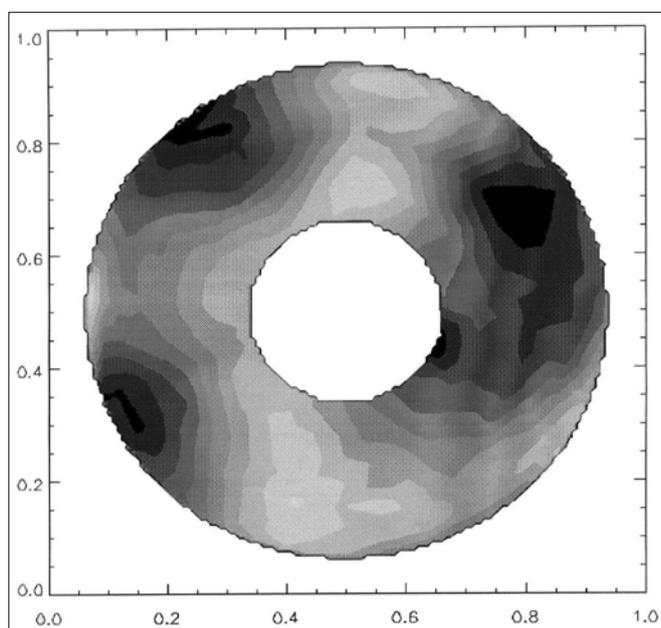


Рисунок 18 – Карта волнового фронта главного зеркала БТА, восстановленная по старой методике в 1995 году

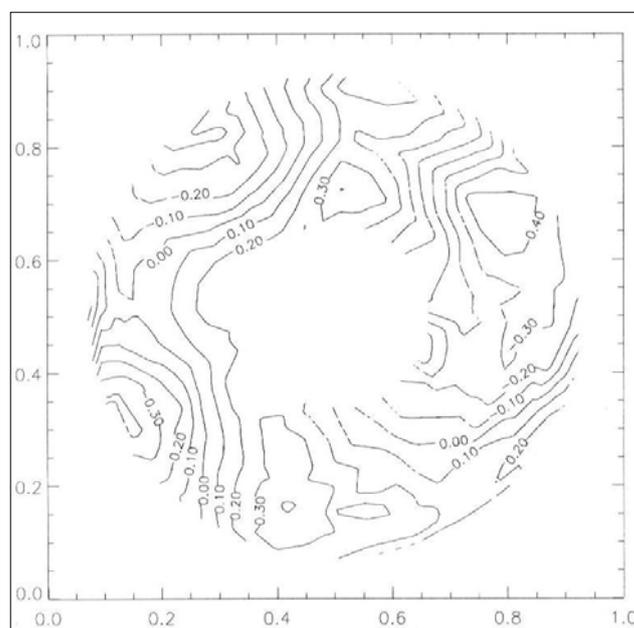


Рисунок 19 - Контурные линии измерений волнового фронта в микронах

Сравнительный анализ функции точки рассеивания, полученный по новой (рисунок 20) и старой (рисунок 21) методике, показывает, что эта характеристика главного зеркала БТА за 17 лет не претерпела изменений.

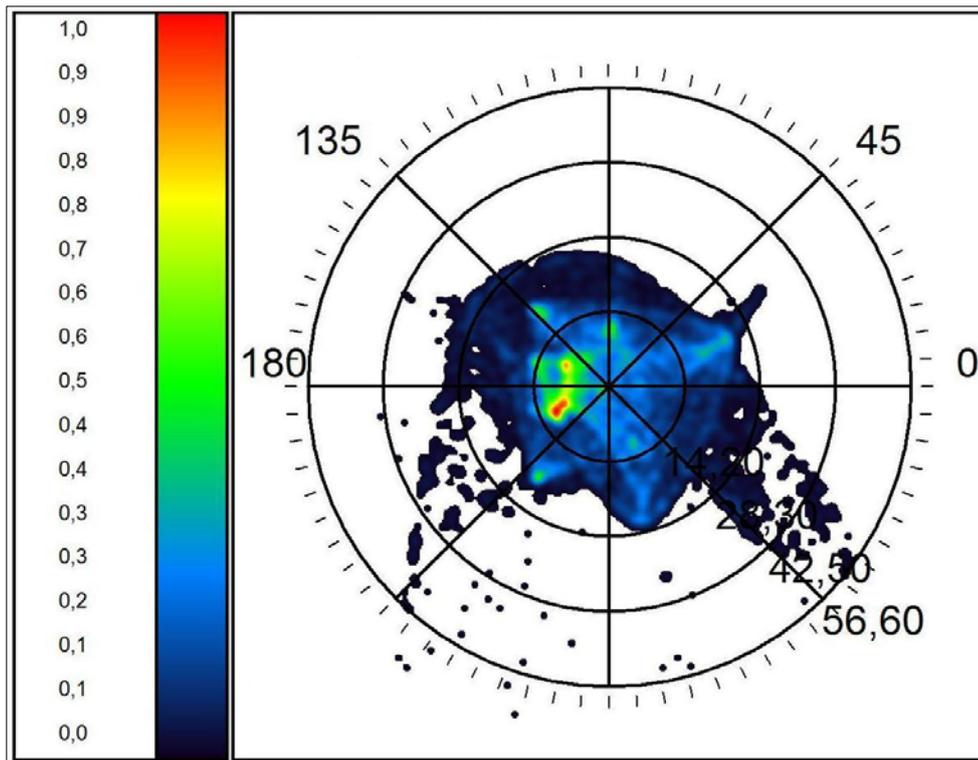


Рисунок 20 - Функция точки рассеивания, полученная методом трассировки лучей. Последняя окружность соответствует 0.5".

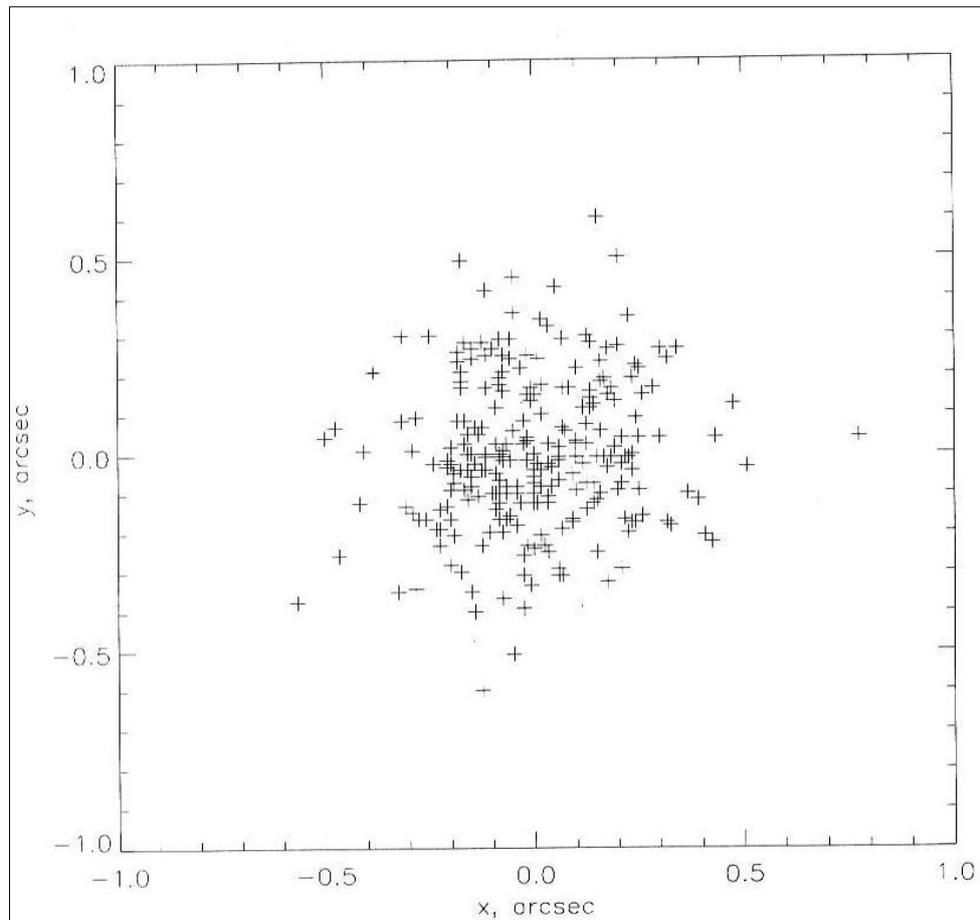


Рисунок 21 - Точка рассеивания, полученная 1995 году с использованием старой методики

Протокол результатов измерений волнового фронта, выполненных 3.09.2012 года, приведен рисунке 22.

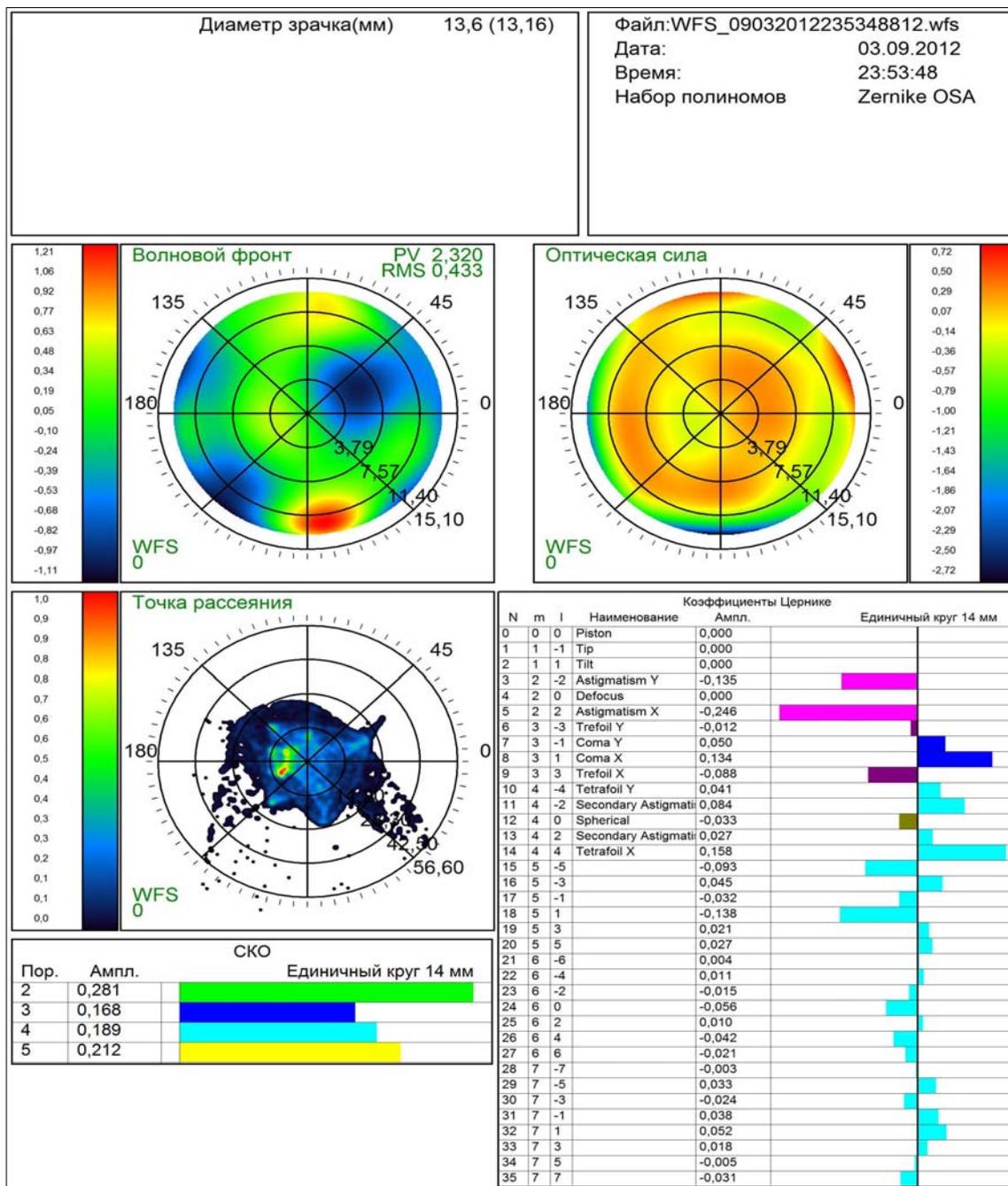


Рисунок 22 - Протокол результатов измерений волнового фронта.

2.4 Методика геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600

На четвертом этапе продолжены работы по испытанию и доработке методик геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а

так же поверхности и положения вторичных зеркал. Ранее, было проведено опробование методики измерения отражающей поверхности облучателя или любого щита. Работы заключались в измерении части поверхности щита с целью доработки методики, сравнение с составленной САД моделью отражающей поверхности щита и выявления ошибок при составлении САД модели, оценки сходимости результатов и изготовления дополнительной оснастки. Работы по доработке методики продолжены после изготовления необходимых приспособлений для установки 1.5 дюймового отражателя ССР и корректировки САД модели щита с учетом кривизны отражающей поверхности щита. Для установки 1.5 дюймового отражателя ССР на отражающую поверхность щита было решено использовать держатель рефлектора 1.5 дюйма с поправкой 25 мм. Держатель позволяет более плотно и точно установить отражатель на поверхность щита, что позволяет проводить измерения в автоматическом режиме при задержке отражателя на точке более 2 секунд (время задается оператором). Без использования держателя целесообразнее проводить измерения только отдельных точек, так как работа с вышки не позволяет сразу плотно установить отражатель на поверхность и в автоматическом режиме часть измерений, виду небольших колебаний порядка 0.025 мм просто не проводится. Допуск в 0.025 мм так же устанавливается оператором и может изменяться для некоторых измерений, соответственно с потерей точности. Что касается радиуса кривизны САД модели щита, было решено разработать модель поверхности в виде вырезки из кругового цилиндра с радиусом 315 метров. Проведенные ранее, по старой методике с использованием измерительной визирной трубы ППС-11 измерения показали, что большинство щитов имеют различный радиус. При работах по переобшивке поверхности щитов была рассчитана оптимальная кривизна поверхности отдельного элемента и дальнейшая корректировка проводилась с учетом этой кривизны. Существующая ранее методика позволяла провести корректировку и получить поверхность с оптимальным радиусом равным от 315 до 345 метров [А.Г. Белевитин, Ю.К. Зверев. Геодезические работы при строительстве и юстировке радиотелескопа РАТАН-600. Изв. ГАО в Пулкове., №188, с. 114 (1972)]. Измерения с использованием лазерного трекера Leica AT401 отдельных элементов подтвердили различие радиусов кривизны поверхности отдельных щитов. Первичная оценка показала, что некоторые элементы имеют поверхность с радиусом кривизны больше рассчитанной. Например, поверхность щита №262 имеет радиус кривизны 356 метров и среднюю квадратическую ошибку 0.64 мм. Такое различие объясняется постепенным раскручиванием регулировочных винтов вследствие нагрева щита в дневное время, а также вибраций, возникающих при движении щита. Обнаруженные при измерениях отклонения, вызванные эффектом «старения» поверхности устранялись корректировкой и закреплением регулировочных винтов. Затем проводились контрольные измерения, для определения полученного радиуса кривизны и

оценки средней квадратической ошибки отражающей поверхности. Как показала практика это наиболее точная методика определения средней квадратической ошибки отражающей поверхности элемента. Обработка проводилась в программном комплексе Spatial Analyzer двумя способами. Первый способ, как было сказано выше это сравнение с некоторой построенной моделью щита, определение взаимосвязей, ориентировка, получение фактических отклонений и составление «карты» поверхности. Второй способ это использование одной из возможностей программы Spatial Analyzer строить простейшие геометрические фигуры. В данном случае по измеренному облаку точек строится цилиндр, точнее вырезка из цилиндра и далее проводятся сравнение измеренной поверхности с цилиндром. В Spatial Analyzer проводится построение группы векторов к поверхности и на основе данных группы векторов могут быть построены графики, по которым можно оценить состояние поверхности, сохранить график в формате JPEG или создать отчет, включающий графическое окно.

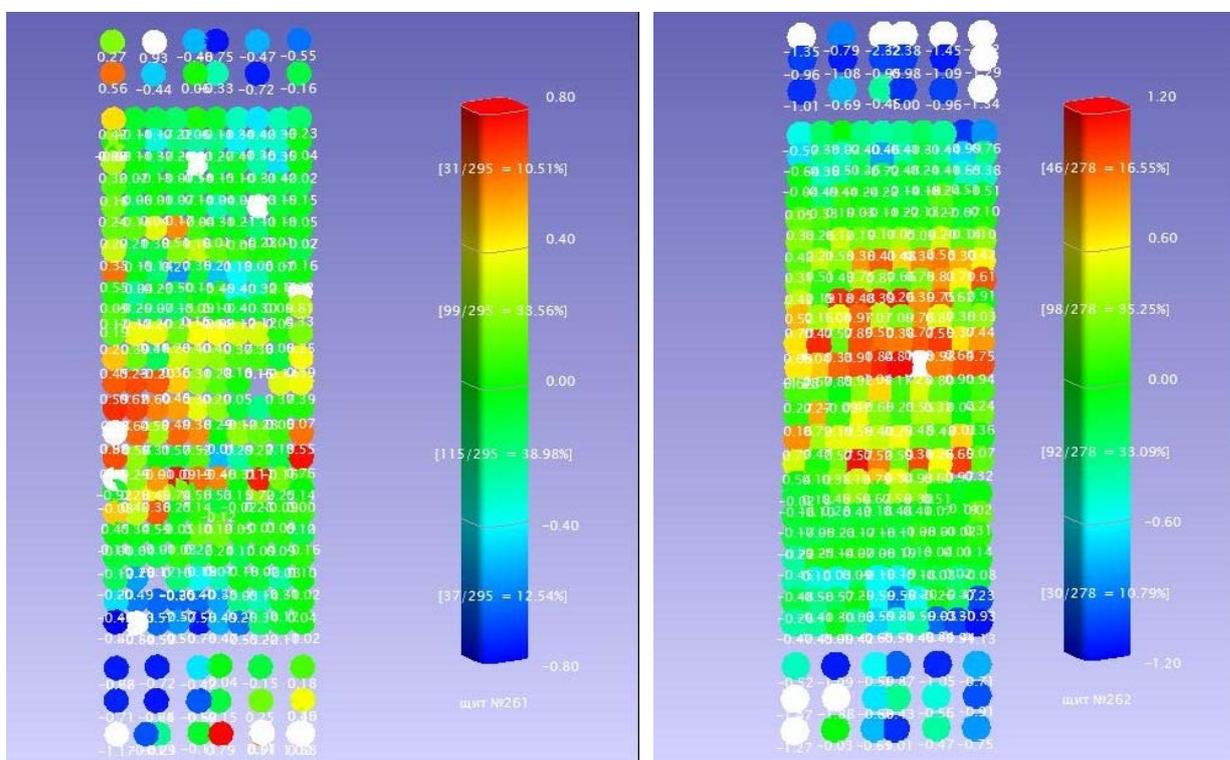


Рисунок 23 – Оценка состояния отражающей поверхности элементов Южного сектора

На рисунке 23 показано построение «карты» поверхности различными способами. Из неудобств, при работе по второму способу следует отметить необходимость введения фиксированного радиуса кривизны, так как программа не может определить радиус измеренного облака точек и построить цилиндр, ввиду большого радиуса кривизны и недостаточного количества измеренных точек. Возможности Spatial Analyzer позволяют так же проводить корректировку отражающей поверхности в режиме реального времени с

использованием окна наблюдения Watch Windows – динамического сравнения с загруженной CAD моделью. Возможно устанавливать различные режимы окна наблюдения – отображение реальных данных полученных с прибора, сравнение расстояний от точек измеряемых прибором до заданных точек и установка полей допуска, показывающих изменением цвета фона когда точка окажется в пределах поля допуска. Интервал обновления данных в окне просмотра задается оператором. Эта функция очень удобна и позволяет проводить корректировку поверхности без необходимости проводить контрольные измерения.

При работах по данной методике с отражающей поверхностью элементов плоского отражателя (рисунок 24) CAD модель поверхности не составлялась, и сравнение отражающей поверхности элемента Плоского отражателя проводилось с плоскостью. Вследствие большего размера поверхности щита плоского отражателя проведены работы только по опробованию методики для оценки точности и времени. Полное исследование отражающей поверхности щитов Плоского отражателя по новой методике не проводилось ввиду отсутствия антенного времени. Отработку методики с элементами Плоского отражателя решено провести после составления модели щита с фиксированным проектным расстоянием до плоскости представительных площадок. Все измерения по отработке методики проведены только с элементами главного зеркала.



Рисунок 24 - Предварительная оценка состояния отражающей поверхности элемента плоского отражателя

Для завершения испытаний методики геометрического контроля поверхности вторичных зеркал радиотелескопа проведены пробные измерения отражающей поверхности вторичного зеркала №2. При обработке была использована САД модель, составленная для зеркала №5 с обязательной доработкой. Доработка необходима, прежде всего, из-за различия фокусного расстояния облучателей. Кроме того выяснилось, что вторичное зеркало №2 имеет наклон и разворот. Для устранения наклона необходимо создать САД модель, привязанную к пунктам опорной сети или проводить горизонтирование прибора, для создания системы координат и уже в ней ориентировать поверхность вторичного зеркала. Для устранения разворота вторичного зеркала, прежде всего, необходимо выяснить состояние регулировочных винтов вторичного зеркала и после этого дорабатывать методику по ориентированию вторичного зеркала №2 относительно меридиана.

Из работ по геометрическому контролю поверхности главного зеркала РАТАН-600 была проведена полная геодезическая юстировка с использованием тахеометра Zeiss Rec Elta 2 и лазерного трекера Leica AT401. Использование старых методов юстировки необходимо на этапе доработки методики и для взаимного контроля полученных результатов. При этом юстировка с использованием лазерного трекера Leica AT401 проходит существенно быстрее, так как нет необходимости расчета отклонений элементов главного зеркала от проектного значения и последующего ввода поправок в положение щита. Все измерения обрабатываются программой Spatial Analyzer и юстировка проходит в режиме реального времени – все данные видны на экране и щит устанавливается в проектное значение в полуавтоматическом режиме. Существует возможность установки щита и в автоматическом режиме. Для этого необходимо дополнительно использование сетевых коммутаторов, для подключения компьютера в локальную сеть. Но даже юстировка в полуавтоматическом режиме показала высокую точность и скорость проведения работ. Дополнительным плюсом является использование только части антенны, что позволяет проводить юстировку отдельных элементов главного зеркала, не останавливая наблюдений. Проведение юстировки группы элементов так же возможно, но в некоторых случаях создаются помехи для наблюдений при установке щитов на места нулей.

Привязка осуществляется к знакам опорной геодезической сети, имеющим головку с втулкой для принудительного центрирования. Измерения по новой методике показали, что прибор лучше всего устанавливать не на знак, а на штатив примерно в створе знаков.

При установке прибора на знак возникает необходимость задействовать и щит, находящийся над знаком, поднять по углу или отвести по радиусу, что далеко не всегда возможно, особенно при проведении юстировки в процессе наблюдений. Установка на штатив позволяет использовать любые, видимые в данный момент знаки опорной геодезической сети радиотелескопа. Для проведения работ с использованием лазерного трекера Leica AT401 не

пришлось изготавливать дополнительной оснастки, втулка для принудительного центрирования имеет размер 1 дюйм и 1.5 дюймовый отражатель CCR точно ложится на втулку и не требует дополнительных приспособлений для центрирования. Возможно так же использование и уже имеющейся оснастки для принудительного центрирования.

Для проведения испытания данной методики были проведены предварительные исследования по оценке точности измерений в ночное и дневное время в пасмурную погоду при отсутствии прямого солнечного освещения. Были измерены линии до нескольких знаков опорной сети. Исследования показали различие в измерениях в пределах 0,15 мм. которые связаны не с точностью самого прибора, а с неточностями центрировки и установки отражателя. по результатам проведенных работ решено было проводить измерения и в дневное время, но только в пасмурную погоду. После полной юстировки Южного сектора была проведена радиотехническая юстировка для устранения отклонений вызванных неточным положением представительных площадок. Для дальнейшей доработки методики необходимо предусмотреть юстировку положения щита не от представительных площадок, а от отражающей поверхности щита.

Далее были проведены работы по методике повышения точности отражающей поверхности, в частности по определению кинематических характеристик щитов. Для отработки методики были выбраны радиальные винты и проведены измерения в различных режимах работы щитов Северного сектора (рисунок 25). Наиболее удобным оказался режим управления щитами в автоматике. Измерения проводились различными модулями программы Spatial Analyzer, на различные отражатели, в разные погодные условия. В результате доработана методика измерения «кинематических» поправок щита, ввод которых в счет антенны существенно повышает точность установки отдельных щитов. Методика позволяет проводить измерения группы из 5 элементов на 0,5 дюймовые отражатели, установленные на поверхности щита как можно ближе к центру щита. Прибор устанавливается на штатив на расстоянии 10-12 метров от щитов и осуществляется поиск отражателей с помощью встроенной камеры обзора. Затем щиты переставляются в автоматическом режиме на заранее рассчитанный отсчет, проводится серия измерений, в Spatial Analyzer рассчитываются перемещения по трем координатам, сравниваются с проектными значениями и рассчитываются «кинематические» поправки. Измерения отражателей так же проводятся в автоматическом режиме, благодаря функции PowerLock прибор находит отражатели даже при перемещении щита, что резко увеличивает скорость измерений. Каждая серия измерений записывается в отдельную группу точек. Группы точек в дальнейшем можно сравнивать между собой, проводить вычисления, анализ, импортировать в текстовый файл или создавать шаблон отчета в формате pdf, doc, excel.

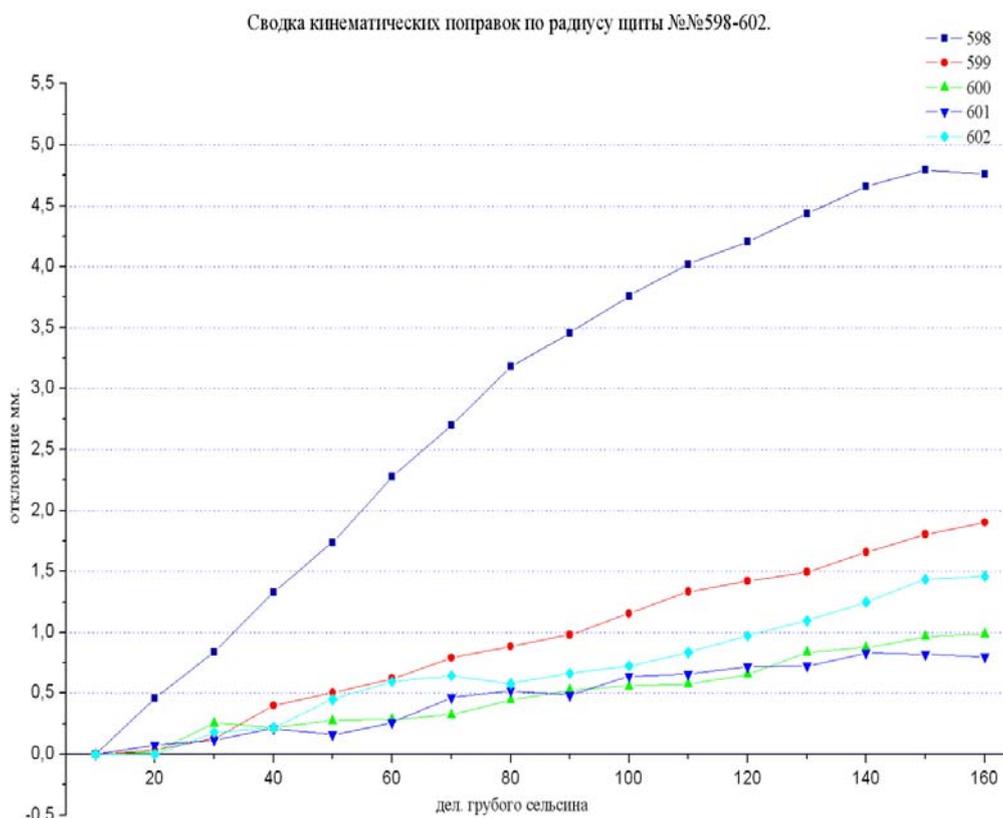


Рисунок 25 - Сводка кинематических поправок группы щитов Северного сектора

Для контроля методики проведены контрольные измерения кинематических поправок старыми методами – модернизированной трубой измерительной визирной ППС-11 и прибором вертикального проектирования PZL фирмы Carl Zeiss (рисунок 26). Сравнение результатов показало полное совпадение полученных данных, и решено в дальнейшем использовать новую методику с лазерным трекером Leica AT401 в качестве средства измерения, которая значительно ускоряет и облегчает процесс измерения.

Сравнение различных методик не только показало полное совпадение полученных данных, но и позволило оценить изменение кинематических поправок с течением времени. На графике показаны незначительные изменения в течение года, связанные с износом гайки. Поэтому оперативность получения кинематических поправок лазерным трекером Leica AT401 имеет большое значение при интенсивной эксплуатации антенны.

Исследование кинематических поправок по радиусу шпиг №711.

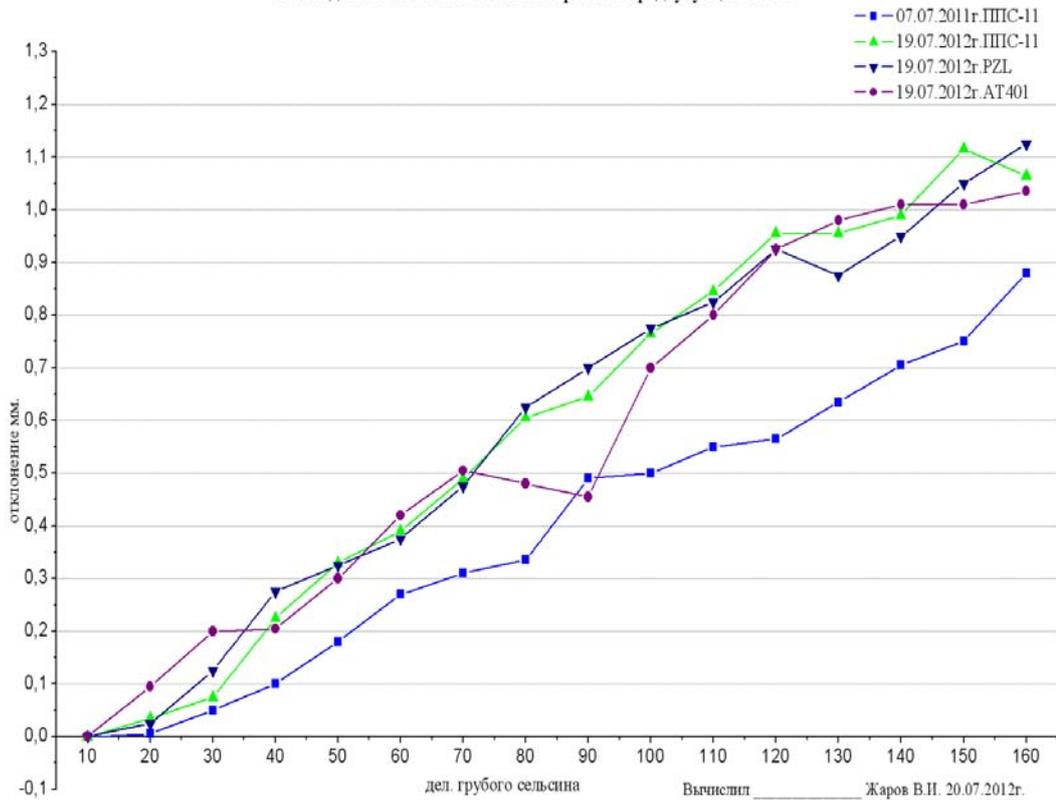


Рисунок 26 - Сравнение кинематических поправок измеренных различными методами

2.5 Методика проведения измерений на двухчастотном криорadiометре высокой чувствительности

На четвертом этапе на радиотелескопе РАТАН-600 завершено испытание новых методов в рамках исследований по данной теме, проведены исследования метода приема и обработки сигналов в схеме радиометра с добавлением шума (РДШ) на 2-х криорadiометрах.

Радиометр Дике с программной балансировкой и с внутренней согласованной нагрузкой.

В дополнение к исследованиям, описанным ранее, проведены исследования метода приема и обработки сигналов в схеме радиометра с добавлением шума (РДШ) на 2-х криорadiометрах РАТАН-600 на волну 6.2 см. Данная схема радиометра с точки зрения обработки сигнала является аналогом радиометра Дике, в котором вместо согласованной нагрузки установлен источник шума. Частично (на 90%) балансировка такого радиометра выполняется аппаратно, с помощью синхронно подключаемого аттенюатора (модулятора коэффициента передачи радиометра) с постоянным коэффициентом передачи. Остальные 10-15% разбаланса в данной методике устраняются программно, в пост обработке данных.

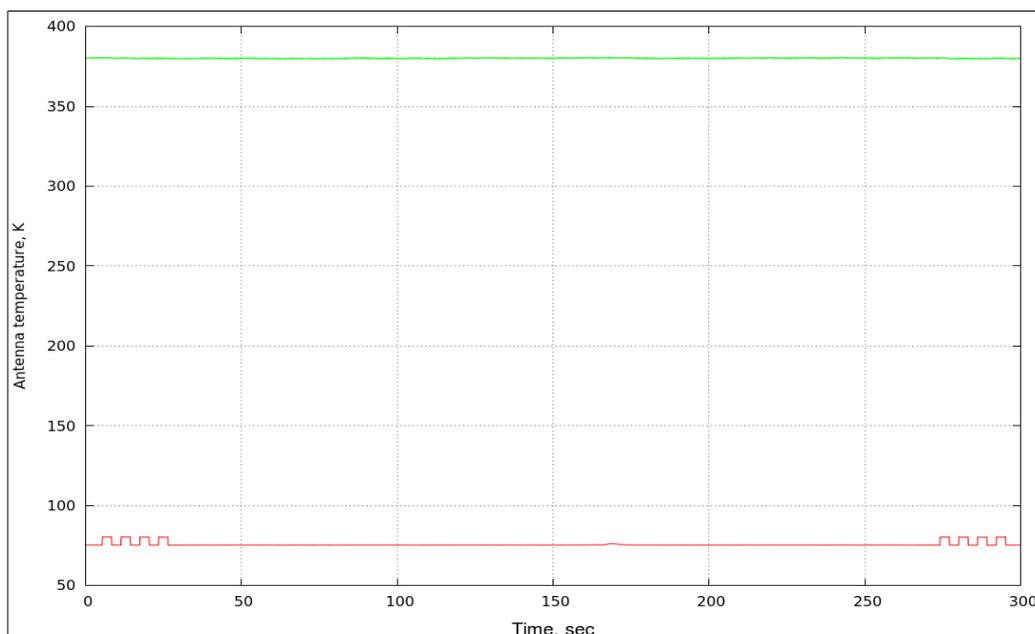


Рисунок 27 - Запись прохождения радиоисточника 1743-03 через неподвижную диаграмму направленности РАТАН-600 одним из радиометров континуума РАТАН-600 на волну 6.2 см. Исходные записи 2-х полупериодов модуляции. Красная кривая — сигнал в полупериод «Антенна», зеленая — сигнал в полупериод «Эквивалент» (когда на вход радиометра подается большой шумовой сигнал и одновременно уменьшается усиление на -13 дБ).

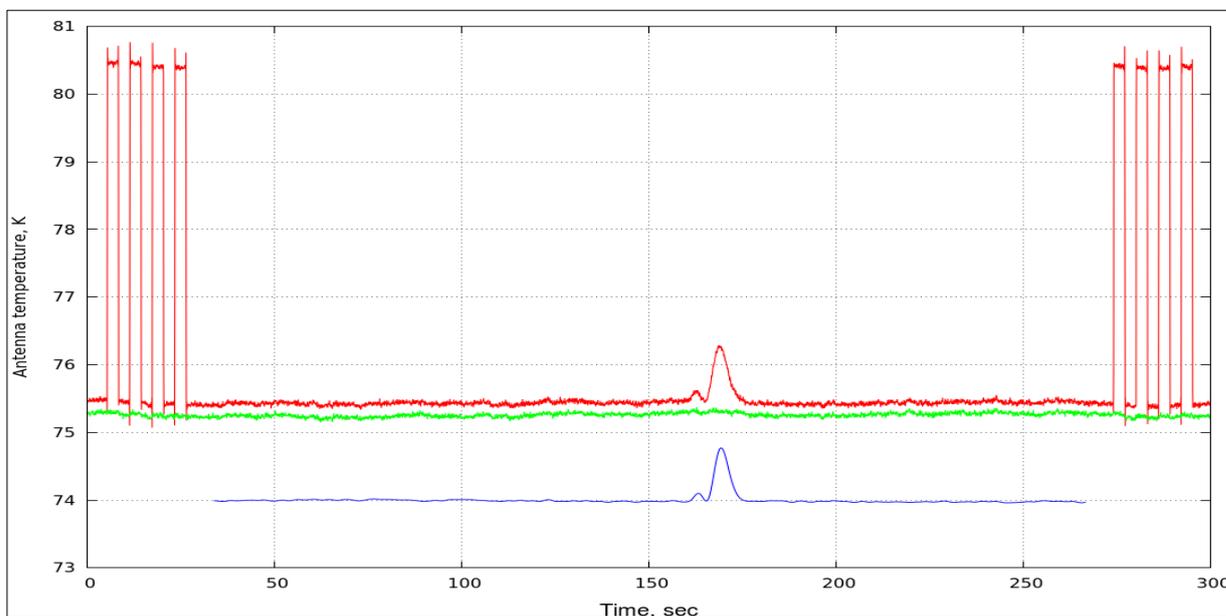


Рисунок 28 - Красная кривая — как на рисунке 24, соответствует полупериоду «Антенна», зеленая кривая — это результат программной балансировки сигнала в полупериоде «Эквивалент» («сбалансированный эквивалент»). Синяя кривая — это разность: «Антенна минус сбалансированный Эквивалент». Дополнительно — к данной разности применена процедура НЧ фильтрации для увеличения отношения сигнал/шум. Это и есть результат работы метода.

Работа метода программной балансировки РДШ показана на рисунках 27 и 28. Рисунок 27 - это исходные данные, рисунок 28 - это результат постобработки. Как видно из полученных

результатов, процедура балансировки, которая ранее на данных радиометрах производилась аппаратно специальным дополнительным радиотехническим оборудованием, теперь производится программно. Соответствующее оборудование балансировки удалено из конструкции радиометра без каких либо потерь качества наблюдательного материала.

Улучшены эксплуатационные характеристики радиометров и качество получаемых данных за счет уменьшения количества оборудования, которое может потенциально быть источником нестабильностей, и замена этого оборудования программными алгоритмами, неподверженными влиянию внешних факторов (параметры окружающей среды, вибрации и пр.).

Программная балансировка радиометра, построенного по схеме РДШ, была реализована, исследована и применена в качестве штатной методики на 2-х охлаждаемых радиометрах на волну 6.2 см на облучателе номер 1 РАТАН-600. В настоящее время этот приемный комплекс работает круглосуточно по штатному наблюдательному расписанию уже с новой методикой обработки сигнала.

Новый, 2-х частотный криокомплекс диапазонов 20 ГГц и 30 ГГц подготовлен для работы в режиме «радиометр Дике с программной балансировкой и внутренней согласованной и охлаждаемой нагрузкой».

Необходимо отметить, что программная балансировка осуществима на практике при условии точной регистрации постоянной составляющей сигналов. Это условие соблюдено на РАТАН-600 введением в штатную эксплуатацию нсистем сбора данных и управления нового поколения — ER-DAS (Embedded Radiometric Data Acquisition System). Особенностью данных систем является отсутствие у них дрейфов нуля, что дает возможность измерить и использовать в дальнейшем значение малого постоянного смещения нуля. Если это значение известно и устранено программно, тогда операция программной балансировки, состоящая в нахождении отношения двух уровней сигнала, становится корректной операцией.

Техническое задание на разработку двухчастотного радиометрического комплекса. В ходе выполнения исследований по теме были окончательно уточнены и согласованы детали схем радиометров. Как уже упоминалось, при выборе режима работы остановились на схеме двухчастотного криогенного радиометра, построенного по модуляционной схеме, но с охлаждаемой согласованной нагрузкой и двумя каналами усиления (рисунок 29 и 30). Для криостатирования входных частей радиометра было принято решение отказаться от дорогой и сложной в эксплуатации системы водородного уровня охлаждения модели СТИ-350 в пользу системы азотного уровня (70К) охлаждения Cryotiger фирмы IGG Polycold Systems Inc., уже успешно применяющейся в CAO РАН в течение нескольких для охлаждения ПЗС матриц в оптике.

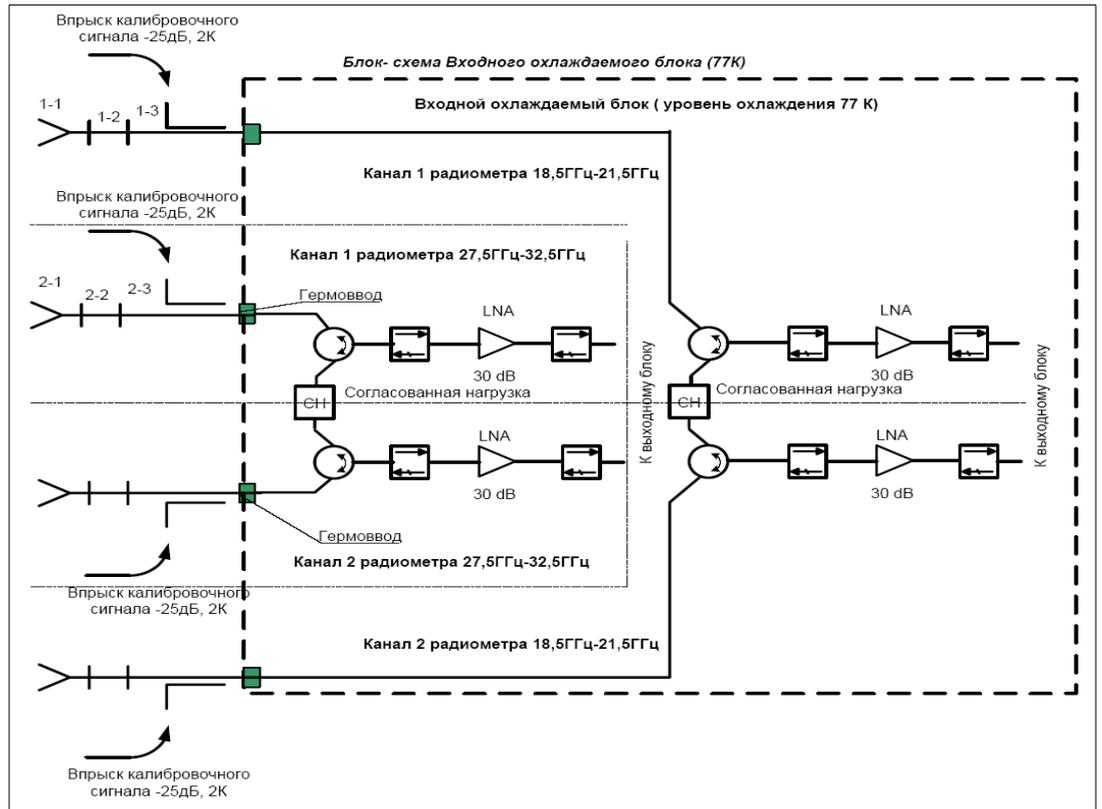


Рисунок 29 - Блок-схема входных частей двухчастотного блока (1-1,2-1 – Первичные облучатели с переходами с круглого на прямоугольное сечение волновода, 1-2,2-2 – отрезки волновода или скрутки на + 45 и -45 градусов, 1-3,2-3 – направленные ответвители с коаксиально-волноводными переходами (КВП)).

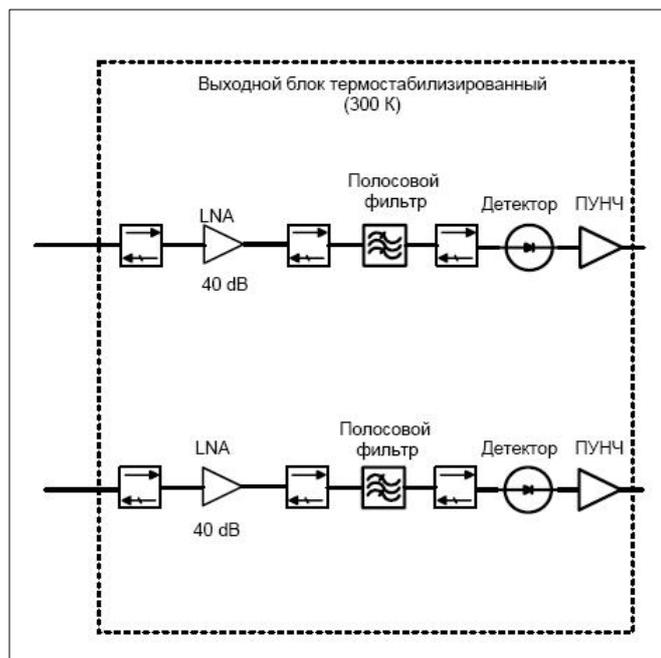


Рисунок 30 - Блок-схема выходной части каждого частотного канала двухчастотного криорадиометра состоит из развязывающих вентилях, выходных усилителей, полосно-пропускающих фильтров, детекторов, ПУНЧ, размещенных в термостатируемом блоке.

В качестве входных базовых усилителей выбраны усилители на НЕМТ транзисторах (фирмы M/A-COM Technology Solutions Inc.), обладающие хорошими шумовыми и эксплуатационными параметрами. Согласованы схемы широкополосных СВЧ детекторов и предварительных усилителей НЧ, а также условия стыковки радиометров с системой сбора данных. Завершается конструкторская разработка радиометра с привлечением ряда специализированных институтов (ИПФАН, Нижний Новгород, ГНИПИ,Н. Новгород, Феррит-Домен, Санкт-Петербург и др.). На разработку двухчастотного криорадиометра заключен Договор и согласован Календарный план на выполнение всех работ по теме и приобретению комплектующих изделий.

Объединенный двухчастотный малощумящий криоблок (LNB = Low Noise Block) выполняется в едином криостате, т.е. в одном криостате размещаются 4 радиометрических тракта. Первичные скалярные облучатели располагаются в одну линию, вплотную друг к другу, с расположением в центре трактов более короткой волны. Все волноводные элементы выполняются с внутренним серебрением. Выходные блоки соединяются с входным волноводами или полужесткими коаксиальными кабелями (сигналы).

Для охлаждения входных частей криорадиометров выбрана и приобретена система охлаждения CryoTiger. Система охлаждения CRYOTIGER – это компактное, высокотехнологичное устройство для охлаждения и поддержания температуры на нужном уровне до 70 К без смены хладагента, показана на рисунке 31. Система замкнутого цикла состоит из головки охлаждения (охладителя), компактного компрессора и двух металлорукавов.



Рисунок 31 - Компрессорная установка (слева) и охладитель системы (справа) CRYOTIGER

Масса компрессора 32.2 кг, номинальная потребляемая мощность 500 Вт 50/60Гц, 220 - 240 В. Охлаждение воздушное, уровень шума не более 56 дБ. Время выхода на режим до 100 К 30-45 мин. Мощность на уровне 77 К – 3 Вт, 94 К- 10 Вт, 120 К – 22 Вт, 145 К – 27 Вт. Температурная стабильность =-0.5 К.

3 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения. Разработан метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения, предназначенный для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света. Этот метод был проверен и совершенствовался путем создания оптоволоконных систем различной конфигурации. Освоено изготовление и настройка схемы белого зрачка. Проверены новые методы сопровождения объекта. На новой элементной базе отработана технология удаленного управления прибором. Сложился коллектив разработчиков подобных систем. Оценено соотношение затрат оптика/механика/электроника (без ПЗС), – 50%, 34% и 16% от общей стоимости прибора. Половина трудозатрат уходит на электронику и «софт». Принято решение о дальнейшем развитии метода в САО на телескопе Цейсс-1000. Хотя большей эффективности можно было бы получить при создании специализированного телескопа диаметром 80÷90см, ориентированного исключительно на работу со спектрографом, схема которого приведена на рисунке 7. Такое решение увеличит эффективность спектроскопии звезд в 3-4 раза (по сравнению с многоцелевым 1-метровым телескопом САО, используемым сегодня в трех-четырёх видах наблюдений).

Метод панорамной спектроскопии с использованием интерферометра Фабри-Перо. Результаты тестовых наблюдений с интерферометром Фабри-Перо, обеспечивающим широкий спектральный интервал сканирования показали его серьезные преимущества при изучении астрофизических объектов, в которых ожидается большой (до 1000 км/с) разброс лучевых скоростей ионизованного газа. В отличие от ранее используемых на 6-м телескопе ИФП, новый интерферометр позволяет восстанавливать однозначную (без путаницы между порядками интерференции) картину кинематики ионизованного газа в таких объектах. Вторым важным преимуществом является возможность наблюдать с этим интерферометром более далекие и слабые объекты (выигрыш по предельной поверхностной яркости эмиссионных деталей в 3.8 раза, в сравнении с ИФП, работающим в 751 порядке интерференции). На основании полученных оценок можно рекомендовать данный интерферометр для исследования на 6-м телескопе следующих типов астрофизических объектов:

- Галактики с активными ядрами: галактики Сейферта, квазары, центральные галактики скоплений
- Взаимодействующие галактики: мержеры, галактики с полярными кольцами, яркие инфракрасные галактики (ULIRG), кольцевые столкновительные системы
- Массивные спиральные галактики (с амплитудой кривой вращения более 150-200 км/с)

- Пульсарные туманности в нашей Галактике, спектры которых содержат слабые эмиссионные детали большой ширины (FWHM=300-500 км/с)
- Уникальные звезды и туманности в близких галактиках — яркие голубые переменные (LBV), туманности вокруг звезд Вольфа-Райе, остатки сверхновых
- Системы планетарных туманностей вокруг линзовидных и эллиптических галактик.

Основным итоговым «продуктом» наблюдений с указанным типом сканирующего интерферометра являются карты распределения яркости, скоростей и дисперсии скоростей в выбранных оптических эмиссионных линиях ионизованного газа. Использование этого материала критически важно во многих астрофизических задачах посвященных выбору адекватных численных моделей, используемых для описания тех или иных моделей. Так, построенные на 6-м телескопе с помощью сканирующего ИФП поля лучевых скоростей галактик с полярными кольцами используются как входные параметры численных моделей таких галактик, рассчитываемых методом N-тел на суперкомпьютерах МГУ им М.В. Ломоносова «Чёбышев» и «Ломоносов» (наша совместная работа с ИНАСАН, г. Москва).

Методика контроля качества поверхности главного зеркала. По результатам выполненных измерений параметров главного зеркала БТА с использованием разработанной новой методики контроля качества поверхности крупногабаритных зеркал и сравнительного анализа полученных результатов с результатами предыдущих измерений, полученных с использованием старой методики в 1995 году, мы делаем заключение, что методика полностью подготовлена к аттестации параметров формы поверхности главного зеркала в цеховых условиях и после его установки на телескопе.

Методика геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600. После проведения испытаний новых методов геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600 с использованием лазерного трекера Leica AT401 необходимо отметить следующие шаги для более эффективного использования системы на базе лазерного трекера Leica AT401:

- в дальнейшем необходимо разработать САД модель щита с учетом кривизны и заданными углами наклона и разворота относительно представительных площадок, а так же фиксированным проектным расстоянием 15 мм. от плоскости представительных площадок до средней поверхности щита
- провести измерения по геометрическому контролю поверхности главного зеркала РАТАН-600 не от представительных площадок, а от отражающей поверхности щитов

для устранения влияния погрешностей расположения поверхности щита относительно представительных площадок

- провести полную калибровку радиальных винтов по новой методике и обновить банк «кинематических» поправок. Это позволит существенно улучшить точность установки щитов и всей антенны в целом
- для повышения точности поверхности системы Юг + Плоский необходимо по разработанной методике провести полную геодезическую юстировку Плоского отражателя
- разработать методику по проверке и корректировке положения рельсов Южного дугового пути.

Как уже отмечалось ранее, использование лазерного трекера Leica AT401 в качестве измерительного средства позволит решить множество важных задач по повышению точности отражающей поверхности и при разработке соответствующих методик позволит применять лазерный трекер Leica AT401 в большинстве работ проводимых на радиотелескопе.

Методика проведения измерений на двухчастотном криорadiометре высокой чувствительности. Полученные результаты по программной балансировке радиометра Дике или радиометра, построенного по схеме РДШ, будут использованы на РАТАН-600 в штатных наблюдениях на всех радиометрах, построенных по указанным схемам. В настоящее время это 2 криорadiометра на волну 6.2 см, трехчастотный радиометр Эридан-2 и новый, вводимый в строй 2-х частотный 4-х канальный криорadiометр континуума диапазонов 20 и 30 ГГц.

Полученные наработки и результаты могут быть использованы, например, в радиометрах, предназначенных для дистанционного зондирования поверхности Земли. В таких системах, как правило, применяются радиометры полной мощности (РПМ). Добавление к ним модуляционного режима работы позволит устранить шум вида $1/f$, являющийся неотъемлемым в схеме РПМ, что повысит точность получаемых данных. В то же время, расчетная чувствительность по белой компоненте шума при модуляционном приеме в 2 раза хуже, чем для приема в режиме РПМ. Однако, $1/f$ компонента шума в РПМ сильно превосходит белую компоненту шума, и модуляционный прием даст более точные результаты при построении радиометрических карт поверхности Земли.

4 ПРОВЕДЕНИЕ ОЦЕНКИ РЫНОЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основной вид деятельности ЦКП САО РАН – это проведение фундаментальных исследований в области астрономии. Обсерватория имеет три телескопа, которые работают в режиме коллективного пользования. Сотрудники обсерватории проводят текущую эксплуатацию и модернизацию телескопов, а также текущую эксплуатацию, разработку и создание методов наблюдений на этих телескопах. Благодаря этим работам телескопы обсерватории остаются востребованными мировым астрономическим сообществом, и количество заявленного на конкурс наблюдательного телескопного времени превышает в 1.5 раза реальные возможности. Практика конкурсного распределения наблюдательного времени распространена во всем мире.

Каждый астрономический телескоп является уникальным комплексом, создаваемым в единственном экземпляре (кроме случаев, когда специально создаются одинаковые телескопы для специальных задач). И методы наблюдений, которые разрабатываются и создаются для телескопов, во всем мире являются «авторскими» (особенно это выражено в области оптической астрономии). Тем не менее, при определенных усилиях имеется возможность адаптировать разработанные на одном телескопе методы и заложенные в них идеи на другой телескоп.

Телескопы обсерватории являются крупнейшими в стране и являются основным поставщиком наземных астрономических наблюдений в стране. Репутация обсерватории как организации, обеспечивающей получение наблюдений на современном уровне, высока среди астрономов нашей страны и за рубежом. Об этом свидетельствуют публикации в высокорейтинговых научных журналах результатов, полученных на основе наблюдений на телескопах обсерватории, а также наличие конкурса на наблюдательное время. Сотрудники обсерватории, создающие «авторские» методы наблюдений востребованы в профессиональной среде. Заинтересованные организации заключают с обсерваторией договора на разработку уникальных методов и приборов с привлечением этих сотрудников. Поскольку это единичные авторские работы, то понятие коммерциализации к ним не подходит.

Разработанные в рамках данного госконтракта методы, прежде всего, будут использованы на телескопах ЦКП САО РАН для повышения эффективности их работы. Ежегодно телескопами ЦКП САО РАН пользуются более 30 сторонних организаций. С большинством из них проводятся совместные научные исследования.

5 АКТУАЛИЗАЦИЯ ПЕРЕЧНЯ УСЛУГ

ЦКП САО РАН обеспечивает выполнение расписания наблюдений на своих астрономических телескопах, которые составляются программными комитетами на конкурсной основе. Перечень методов наблюдений (услуг), представляемых для пользователей постоянно обновляется на странице sa.o.ru. Ежегодно представляется отчет в Минобрнауки «СВЕДЕНИЯ О ВЫПОЛНЕННЫХ НИР И ОКАЗАННЫХ УСЛУГАХ ЦЕНТРОМ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НАУЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ». Всего используется 15 методов наблюдений на телескопах обсерватории:

1	Метод получения спектров ярких звездообразных астрономических объектов на ОЗСП БТА в диапазоне длин волн 3300-10000 А с разрешением R=15000
2	Метод получения спектров протяженных астрономических объектов в диапазоне длин волн 360-1000 нм и средним спектральным разрешением на многорежимном фокальном редукторе светосилы первичного фокуса БТА
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 1.2x18 угл.сек. на поле 2.9x5.9 угл.мин. на многорежимном фокальном редукторе светосилы первичного фокуса БТА
5	Метод получения 2D спектроскопии со сканирующим интерферометром Фабри-Перо со спектральным разрешением 0.5-2А и спектральным диапазоном 8-27А 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 угл. сек. в диапазоне длин волн 500-850 нм 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 спектрофотополяриметре БТА
9	Метод получения спектров астрономических объектов на эшелле-спектрографе НЭС БТА в диапазоне длин волн 330-1000 нм с разрешением до R=60000
10	Метод измерения интенсивности изучения в радиоконтинууме в диапазоне 0.6-30 ГГц на приемно-измерительном комплексе континуума РАТАН-600
11	Метод измерения радиоизлучения (интенсивность и поляризация) с частотным разрешением до 1% в диапазоне частот 0.75-18 ГГц на солнечном спектрально-поляризационном комплексе РАТАН-600
12	Метод измерения радиоизлучения (интенсивность и поляризация) в диапазоне частот 27-33 ГГц на 16-канальном матричном радиометре МАРС-3 РАТАН-600
13	Метод получения спектров протяженных астрономических объектов в диапазоне длин волн 360-1000 нм и средним спектральным разрешением на спектрографе с длинной щелью в фокусе Кассегрена Цейсс-1000
14	Метод получения прямых изображений астрономических объектов в фокусе Кассегрена Цейсс-1000 в широкополосных фильтрах U,B,V,R,I и узких фильтрах с шириной 85 А с ПЗС-камерой 530x580 элементов

15	Метод получения спектров астрономических объектов в диапазоне длин волн 330-1000 нм с разрешением до $R=40000$ на эшелле-спектрометре в фокусе куде Цейсс-1000
----	--

В результате выполнения работ по госконтракту метод (5) панорамной спектроскопии с использованием интерферометра Фабри-Перо получил возможность наблюдений более слабых эмиссионных деталей и однозначно восстанавливать двухмерную кинематическую карту ионизованного газа в протяженных астрономических объектах. Метод (10) измерения интенсивности излучения в радиоконтинууме в диапазоне 0.6-30 ГГц на приемно-измерительном комплексе континуума РАТАН-600 получил возможность наблюдений большего количества объектов за счет повышения чувствительности приемника в 1.5-2 раза. Метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения, предназначенный для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света, после размещения на телескопе Цейсс-1000 позволит наблюдать в 10 раз более слабые астрономические объекты при той же разрешающей способности, что и при использовании метода (15). Т.е. на этом телескопе появится новый метод наблюдений.

Следующие два метода направлены на повышение эффективности главных зеркал больших телескопов. Методика контроля качества поверхности главного зеркала БГА готова для использования при аттестации параметров его поверхности в цеховых условиях и их контроля после установки на телескопе. Методика геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала (и вторичных зеркал) радиотелескопа РАТАН-600 с использованием лазерного трекера Leica AT401 уменьшает время на проведение плановых профилактических работ по контролю за поверхностью отражающей антенны.

6 ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ТЕЛЕСКОПАХ ЦКП

Наблюдения на телескопах ЦКП проводятся в соответствии с расписанием наблюдений, которое готовится Комитетом по тематике больших телескопов России два раза в год на конкурсной основе. Научно-методическое обеспечение расписания наблюдений выполняют сотрудники ЦКП САО РАН. Современные астрономические наблюдения на больших телескопах являются сложным процессом, требующего наличия постоянно сопровождающего наблюдения персонала, как научного, так и инженерно-технического. Также, все методы наблюдений на телескопах ЦКП являются авторскими и постоянно развиваются. Поэтому практически все результаты, полученные на основе наблюдений на телескопах ЦКП и опубликованные в научных изданиях, являются совместными (сотрудники САО РАН – сторонние пользователи).

Все приведенные ниже результаты получены на основе наблюдений, полученных на телескопах ЦКП САО РАН, и являются оригинальными (впервые полученными) данными. К проведению исследований на телескопах ЦКП привлекаются аспиранты и студенты. В ссылках на результаты жирным шрифтом отмечены сотрудники САО РАН. Студенты, в основном, используют наблюдательные данные для подготовки дипломных и курсовых работ. За время выполнения четвертого этапа госконтракта было опубликовано 12 научных работ в ведущих мировых научных изданиях. С использованием результатов наблюдений на БГА подготовлены 2 дипломные работы.

Егоров О.В., Лозинская Т.А., **Моисеев А.В.** Эмиссионный спектр ионизованного газа в иррегулярной галактике Holmberg II, «Emission spectrum of ionised gas in the Irr galaxy Holmberg II», *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2012. Спектр излучения ионизованного газа в областях звездообразования в галактике Holmberg II исследован с помощью оптической длиннощелевой спектроскопии, выполнено на 6-м телескопе САО РАН. Представлены результаты оценки содержания кислорода, азота, серы, неона и аргона в отдельных областях НII, найдена средняя металличность галактики, которая, в зависимости от принятого метода расчета, составляет $Z \approx 0.1$ или $0.3 Z_{\odot}$. На основе этих наблюдений Holmberg II и результатов проведенных нами ранее исследований спектра свечения газа в Irr галактики IC 10 и BCD галактике VII Zw 403 проведено сопоставление наиболее популярных сегодня методов оценки металличности газа, чтобы по нашим наблюдениям 44 областей НII выбрать наиболее надежные для анализа Irr галактик. Тря оценок использованы «прямой» Те-метод и шесть эмпирических и полуэмпирических методов. Результаты наших наблюдений в целом подтвердили работы Лопез-Санчез и др. (2012), сделанные на основе анализа модельных областей НII.

Берлин А.Б., Парийский Ю.Н., Нижельский Н.А., Мингалиев М.Г., Цыбулев П.Г., Кратов Д.В., Удовицкий Р.Ю., Смирнов В.В., Пилипенко А.М., Матричная радиометрическая система МАРС-3 для РАТАН-600, *Астрофизический бюллетень*, 2012, т.67, №3, с.354-366. Разработана, изготовлена и используется в наблюдениях по программе «Генетический код Вселенной» матричная радиометрическая система третьего поколения МАРС-3. Система построена на новой элементной базе и состоит из 16 независимых радиометров (32 рупора с шагом 20 мм). Каждая пара рупоров подключена на вход усилительного модуля с помощью ППГ-модулятора. Параметры каждого радиометра: центральная частота 30.0 ГГц, полоса приема 5 ГГц, средняя шумовая температура системы 250 К, чувствительность около 5 мК при $\tau = RC = 1$ с.

Ильина М. А., Сильченко О. К. Структурный анализ дисковых галактик группы NGC 524, *Астрономический журнал* т.89, №8. По данным, полученным на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории РАН с редуктором SCORPIO в моде изображений, исследованы галактики – члены группы NGC 524. Для 6 крупнейших галактик группы проведена поверхностная фотометрия, определены параметры крупномасштабных структурных компонент – дисков и балджей. Относительно присутствия структурных деталей выявлен пониженный процент баров и повышенный процент кольцевых структур. Измерены интегральные цвета **B–V** сотни карликовых галактик, обнаруженных в окрестностях (в пределах 30 кпк) 6 крупнейших галактик группы. Среди близких карликовых спутников линзовидных галактик группы выявлено значительное число голубых неправильных галактик с текущим звездообразованием. Форма функции светимости карликовых членов группы свидетельствует в пользу того, что полная масса группы невелика, а наблюдаемый в направлении NGC 524 рентгеновский газ не принадлежит гало группы.

Гнедин Ю.Н., **Афанасьев В.Л., Борисов Н.В.,** Пиотрович М.Ю., Нацвлишвили Т. М., Булига С.Д., Определение спинов сверхмассивных черных дыр в активных галактических ядрах на основе спектрополяриметрических наблюдений, *Астрономический журнал* т.89, №8. Получены сильные ограничения на значение спина сверхмассивных черных дыр для ряда активных галактических ядер. Оценки выполнены на основе как спектрополяриметрических данных, полученных, в основном, на 6-м телескопе БТА, так и с использованием данных о кинетической мощности релятивистских джетов. Определены величины магнитных полей на последней устойчивой кеплеровской орбите в аккреционном диске и на горизонте событий сверхмассивной черной дыры. Именно эти данные позволяют получить сильные ограничения на спины сверхмассивных черных дыр в активных галактических ядрах.

Бисикало Д. В., Додин А. В., Кайгородов П. В., Ламзин С. А., **Малоголовец Е. В.,** Фатеева А. М. Реверсное вращение аккреционного диска RW Aur A: наблюдения и физическая

модель, *Астрономический журнал* 89 т., №9. На БТА САО РАН проведены спекл-интерферометрические наблюдения молодой двойной системы RW Aur в фильтрах с центральной длиной волны/полушириной пропускания 550/20 нм и 800/100 нм. На момент наблюдений JD 2 454 255.9 угловое расстояние между компонентами было равно $1.448'' \pm 0.005''$, а позиционный угол системы – $255.9^\circ \pm 0.3^\circ$. С использованием опубликованных данных найдено, что за последние 70 лет эти величины менялись со средней скоростью $+0.002''/\text{год}$ и $+0.02^\circ/\text{год}$, соответственно. Это означает, что направление орбитального движения системы противоположно направлению вращения диска RW Aur A. Предложена физическая модель, объясняющая механизм формирования околозвездных аккреционных дисков, имеющих реверсное направление вращения относительно молодой двойной звезды, окруженной протопланетным диском. В рамках предложенной модели объяснены характерные особенности течения вещества в RW Aur A: высокий темп аккреции, малый размер диска массивного компонента, а также его реверсное направление вращения.

Кальтман Т. И., Богод В. М., Ступишин А. Г., Яснoв Л. В., О высотной структуре коронального магнитного поля AO 10933, *Астрономический журнал* т.89, №10. Анализ магнитных полей активных областей на Солнце проведен методом, который основан на сравнении пространственной структуры реконструированного магнитного поля и пространственной структуры радиоизлучения активной области. Используются следующие два подхода: сравнение размеров активной области по ее радиоизлучению и ее размеров, рассчитываемых на основе реконструированного магнитного поля, и сравнение спектров радиоизлучения, рассчитанных на основе реконструированного магнитного поля, и измеряемых спектров. Рассчитанные размеры и спектры источника в целом соответствуют величинам, измеренным по данным наблюдений, что позволяет оценить такие физические параметры излучающей области, как электронная концентрация и температура.

Жучков Р.Я., Малооголовец Е.В., Кияева О.В., Орлов В.В., Бикмаев И.Ф., Балега Ю.Ю. Физические параметры и динамические свойства кратной системы μ Uma (ADS 7114), *Астрономический журнал* 89т., №7. Выполнен анализ физических параметров, элементов орбит и динамической устойчивости кратной звезды μ Uma (HD 76644 =ADS 7114). Используются данные позиционных наблюдений из каталога WDS и оригинальные наблюдения авторов на 6-м телескопе БТА САО РАН и 1.5-м Российско-турецком телескопе РТТ-150 (Анталья, Турция). Уточнены орбитальные параметры подсистем, спектральные типы, абсолютные величины и массы компонентов. Главный компонент имеет параметры $S_p = F0\text{--}V\text{--}IV$, $M = 1.7 \pm 0.1 M_\odot$, $T_{\text{eff}} = 7260 \pm 70 \text{ K}$, $\lg g = 4.30 \pm 0.07$. Спутник в тесной подсистеме A_2 - вероятно, белый карлик с массой около $1.0 \pm 0.3 M_\odot$. Спектральные классы и массы компонентов подсистемы BC составляют M3V, M4V и $0.35 \pm 0.05 M_\odot$, $0.30 \pm 0.05 M_\odot$, соответственно. Полная масса равна

$3.4 \pm 0.4 M_{\odot}$. Подсистема A_2 имеет вероятный период $4470^d = 12.2^y$ и эксцентриситет около 0.6. Для внешней подсистемы вероятен период около 2084 лет и эксцентриситет около 0.9. В результате моделирования с использованием критериев устойчивости показано, что при всех возможных вариациях параметров компонентов система неустойчива на временах менее 10^6 лет с вероятностью более 0.98. Обсуждаются возможные причины этой неустойчивости.

Шиманский В.В., **Борисов Н.В.**, Нуртдинова Д.Н., Митрофанова А.А., **Власюк В.В.**, **Спиридонова О.И.** Предкатаклизмические переменные промежуточного возраста SDSS J172406+562003 и RE J2013+4002, *Астрономический журнал* 89т., №6. Выполнен анализ физического состояния предкатаклизмических переменных SDSS J172406+562003 и RE J2013+4002 с временем эволюции после стадии общей оболочки в диапазоне $t = 10^4 - 10^7$ лет. Спектральные и фотометрические наблюдения систем проведены на телескопах БТА и Цейсс-1000 САО. Показано, что формирование эмиссионных линий в спектрах происходит только под действием эффектов отражения излучения белых карликов на поверхности их холодных спутников в условиях, близких к локальному термодинамическому равновесию. Эти эффекты обуславливают также основную амплитуду фотометрической переменности объектов. Однако сравнение кривых блеска SDSS 172406, полученных в разные эпохи, указывает на наличие непериодических вариаций яркости, вероятно связанных с запятненностью поверхности вторичной компоненты. На основании комплексного анализа спектров, кривых лучевых скоростей и кривых блеска предкатаклизмических переменных с моделированием эффектов отражения определены наборы их фундаментальных параметров. Показано, что вторичные компоненты исследуемых систем соответствуют эволюционным моделям звезд главной последовательности и не имеют избытков светимости, характерных для холодных звезд в молодых предкатаклизмических переменных.

Шиманский В.В., **Борисов Н.В.**, Бикмаев И.Ф., Шиманская Н.Н., Наблюдения затмения UU Sge, *Астрономический журнал* т.89, №6. Спектроскопические и фотометрические наблюдения затмения предкатаклизмической переменной UU Sge выполнены на телескопах БТА САО РАН и РТТ-150. Анализ изменений показателей цвета $B-V$ и $V-I$ в затмении позволил определить температуру вторичной компоненты на уровне $T_{eff2} = 6000 - 6300$ К. Аналогичное значение $T_{eff2} = 6200 \pm 200$ К получено при сравнении наблюдаемого спектра UU Sge в фазе полного затмения и теоретических спектров звезд поздних классов. В спектре вторичной компоненты идентифицировано 27 абсорбционных линий 11 химических элементов. Их аномальная интенсивность указывает на возможные высокоскоростные (до $v_{amb} = 130$ км/с) турбулентные движения в атмосфере звезды и наличие горячего газа над ее поверхностью.

Парийский Ю.Н., **Соболева Н.С.**, **Темирова А.В.**, **Бурсов Н.Н.**, **Желенкова О.П.**, Эксперимент “ХОЛОД”: поиск новой популяции радиоисточников *Астрономический журнал*

т.89, №5. Опубликованные данные многолетних наблюдений на РАТАН-600 на волне 7.6 см полосы неба на склонении $\delta \approx 5^\circ$ использованы для оценки некоторых статистических свойств радиоисточников. Уточнены ограничения в чувствительности проведенного обзора шумами фоновых радиоисточников, доминирующих над чувствительностью радиометра. Показано, что подавляющая часть шума фоновых радиоисточников связана с популяцией известных радиоисточников (типа NVSS с порогом 2.3 мЯн) с “нормальными” спектрами ($\alpha = 0.7-0.8$, $S \propto \nu^{-\alpha}$), зарегистрированных в новых глубоких обзорах неба в дециметровом диапазоне. При удалении из данных наблюдений всех таких объектов остается шум, повторяющийся в независимых группах наблюдений. Этот шум предлагается отнести к шуму от новой популяции радиоисточников, не попавших в известные каталоги на уровне 0.6 мЯн на волне 7.6 см. Исследованная зависимость числа объектов с крутыми спектрами от красного смещения показывает, что чувствительность проведенного обзора достаточна, чтобы зарегистрировать все мощные радиоисточники типа FRII на любом красном смещении вплоть до эпохи формирования первых галактик, и при этом новая популяция скорее всего связана с объектами малой радиосветимости на красных смещениях $z < 1$. Обращается внимание на то, что, несмотря на появление новых средств прямого исследования далеких галактик, поиск объектов с очень большими красными смещениями среди радиоисточников с крутыми спектрами остается одним из наиболее эффективных методов изучения ранней Вселенной.

Горшков А.Г., Конникова В.К., **Мингалиев М.Г.** Долговременная переменность полной выборки радиоисточников с плоскими спектрами в области склонений $10^\circ-12^\circ 30'$ (J2000), *Астрономический журнал* т.89, №5. Представлены результаты 10-летних наблюдений в сантиметровом диапазоне длин волн на радиотелескопе РАТАН-600 полной по плотности потока выборки 83 источников с плоскими спектрами из каталога GB6 обзора MGB с $S_{4.85} > 200$ мЯн в области склонений $10^\circ-12^\circ 30'$. С 2000 г. наблюдения проводились одновременно на 6 частотах в диапазоне 0.97–21.7 ГГц. С оптическими объектами отождествлено 76 источников, из них 54 источника – квазары; диапазон красных смещений $z = 0.331-3.601$. Исследование кривых блеска и спектров в разных фазах активности показало, что в большинстве случаев динамика развития вспышки соответствует модели, в которой переменность есть результат эволюции ударной волны в джете радиоисточника. Обнаружена связь характерных времен растущей и падающей областей вспышек. Отсутствует зависимость от красного смещения истинных линейных размеров излучающих областей и индексов переменности, полученных за 10 лет. Утверждается, что эти факты могут быть интерпретированы как отсутствие космологической эволюции квазаров по крайней мере до $z \approx 3$.

Шиманский В.В., Якин Д.Г., **Борисов Н.В.**, Бикмаев И.Ф., Анализ эффектов отражения в HS 2333+3927 *Астрономический журнал* т.89, №11. Исследованы результаты фотометрических

и спектроскопических наблюдений предкатаклизмической переменной HS 2333+3927, относящейся к группе двойных систем типа HW Vir. На основе изучения спектра системы в минимуме блеска уточнены параметры ($T_{eff} = 37\,500 \pm 500$ К, $\log g = 5.7 \pm 0.05$) и химический состав атмосферы sdB-субкарлика. Показано, что действие эффектов отражения полностью объясняет наблюдаемые вариации блеска HS 2333+3927, изменения в профилях линий H β , HeI и искажения в кривой лучевых скоростей главной компоненты. Разработан способ определения отношения масс компонент систем типа HW Vir из анализа кривых лучевых скоростей с применением метода моделей облучаемых атмосфер. Получен набор параметров компонент системы и показано их соответствие моделям sdB-субкарликов горизонтальной ветви и звезд главной последовательности.

Титаренко А.Р., Семенко Е.А., Рябчикова Т.А., Химический состав и стратификация химических элементов в атмосфере Ар-звезды HD 8441 Письма в Астрономический журнал т.38, №11. Представлены результаты изучения химического состава атмосферы химически пекулярной Ар-звезды HD 8441. HD 8441 интересна тем, что в ее спектре линии редкоземельных элементов слабы, а продольная составляющая магнитного поля невелика и составляет лишь несколько сотен гаусс. Наши оценки эволюционного статуса HD 8441 подтвердили ее принадлежность к группе Ар-звезд со слабыми линиями редкоземельных элементов в спектре, которые сходят с Главной последовательности. Стратификационный анализ атмосферы HD 8441 в предположении ступенчатого распределения элементов по глубине показывает наличие неоднородного распределения Si, Ca, Cr, Mn, Fe с существенным увеличением содержания элементов в более глубоких слоях. Полученное распределение качественно согласуется с предсказаниями теории диффузионного разделения элементов под действием сил радиационного давления и гравитации. Сравнение химического состава и эволюционного статуса HD 8441 со звездами HD 66318 и HD 144897, обладающими сильными магнитными полями, показывает, что их атмосферы различаются, в основном, содержанием редкоземельных элементов. Элементы железного пика имеют большие избытки независимо от величины магнитного поля.

Лутовинов А.А., Буренин Р.А., Ревнивцев М.Г., Сазонов С.Ю., Шолухова О.Н., Валеев А.Ф., Оптическое отождествление четырех жестких рентгеновских источников из обзора всего неба обсерватории Swift, Письма в Астрономический журнал т.38, №5. Представлены результаты оптических отождествлений четырех источников жесткого рентгеновского излучения из обзора всего неба обсерваторией Swift. Для каждого из исследуемых объектов с помощью 6-м телескопа БТА (САО РАН, Нижний Архыз) были получены оптические спектры, которые позволили установить их природу. Показано, что два источника (SWIFT J2237.2+6324 и SWIFT J2341.0+7645) относятся к классу катаклизмических переменных (предположительно

полюров или промежуточных полюров). Измеренная ширина эмиссионных линий оказывается достаточно большой ($FWHM \sim 15-25 \text{ \AA}$), что свидетельствует о присутствии в системах протяженных быстровращающихся ($v \approx 100-600 \text{ км/с}$) аккреционных дисков. Помимо уширения линий, для источника SWIFT J2341.0+7645 обнаружено изменение положений их центроидов, что скорее всего связано с орбитальным движением белого карлика в двойной системе. Два других исследуемых объекта (SWIFT J0003.3+2737 и SWIFT J0113.8+2515) имеют внегалактическое происхождение: первый является сейфертовской галактикой второго типа, второй – блазаром, находящимся на красном смещении $z = 1.534$. Помимо оптических спектров, для всех источников приведены рентгеновские спектры в диапазоне энергий $0.6-10 \text{ кэВ}$, полученные по данным телескопа XRT обсерватории Swift.

Меркулова О.А., Каратаева Г.М., Яковлева В.А., **Буренков А.Н.**, Исследование структуры и кинематики галактик триплета NGC 7465/64/63, Письма в Астрономический журнал т.38, №5. Работа посвящена анализу новых наблюдательных данных, полученных на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории РАН (САО РАН) с многорежимным прибором SCORPIO и мультиспектральным полевым спектрографом, для группы галактик NGC 7465/64/63, у одного из членов которой (NGC 7465) было заподозрено наличие полярного кольца. Были построены крупномасштабные распределения яркости, поля скоростей и дисперсий скоростей ионизованного газа для всех трех галактик, а также кривые лучевых скоростей по эмиссионным и абсорбционным линиям и поле скоростей звезд в центральной области для NGC 7465. В результате анализа полученного материала у NGC 7465 нами были обнаружены, в дополнение к основному звездному диску, внутренний звездный диск ($r \approx 0.5 \text{ кпк}$) и изогнутый газовый диск. На основании совместного изучения фотометрических и спектральных данных было установлено, что NGC 7464 – это иррегулярная галактика типа IrrI, особенности структуры и кинематики которой, скорее всего, возникли в результате гравитационного взаимодействия с NGC 7465. Поле скоростей ионизованного газа NGC 7463 оказалось типичным для спиральных галактик с баром, а искривление внешних частей ее диска могло возникнуть вследствие тесного сближения с одной из галактик окружения.

О.К.Сильченко, **В.Л.Афанасьев**. Синхронная эволюция галактик в группах: группа NGC 524, Астрофизический бюллетень, 2012, т.67, вып.3, 266-277. С помощью панорамной спектроскопии на БТА САО РАН исследованы свойства звездного населения в центральных областях пяти галактик ранних типов — членов группы NGC524. Эволюция центральных областей галактик выглядит синхронизованной: средний возраст звезд в балджах всех пяти галактик заключен в интервале 3–6 млрд лет. У четырех галактик из пяти также отмечены синхронные вспышки звездообразования в ядрах 1–2 млрд лет назад. Единственная галактика, у которой возраст звездного населения в ядре совпадает с возрастом звездного населения в

балдже (т.е. ядерная вспышка звездообразования не состоялась)—это NGC502, самая далекая от центра группы из всех исследованных галактик.

Ю.Ю.Балега, В.В.Леушин, М.К.Кузнецов. Химический состав атмосферы и эволюционный статус спектральной и спекл-интерферометрической двойной системы 12 Persei, *Астрофизический бюллетень*, 2012, т.67, вып.3, 285-295. Система 12Per является спектральной и спекл-интерферометрической двойной с компонентами близких спектральных классов. Параметры ее орбиты за почти век наблюдений определены достаточно надежно. Для уточнения химического состава атмосфер компонентов и их эволюционного статуса нами получены спектры звезды в области 3500–9600Å на эшелле-спектрометрах 6-м телескопа БТА и 2-м телескопа Zeiss-2000 на пике Терскол. По светимостям ($L_1 = 3.02L_\odot$, $L_2 = 1.86L_\odot$) и эффективным температурам ($T_{\text{eff1}} = 6195$ К и $T_{\text{eff2}} = 6000$ К) оценен эволюционный статус компонентов системы. Возраст системы составляет 1.12 миллиардов лет, компоненты находятся на стадии выгорания водорода вблизи начальной главной последовательности. Полученные содержания элементов в атмосферах компонентов 12Per указывают на повышенную металличность звезд системы: $[\text{Fe}/\text{H}] \geq 0.35$. Мы рассматриваем сценарий, по которому первоначально круговая короткопериодическая орбита пары вследствие передачи вращательного момента компонентам моменту орбитального движения за 1 млрд. лет может превратиться в вытянутую орбиту с большим периодом.

Рзаев А.Х. Исследование нестационарности атмосферы сверхгиганта 55 Cyg. I. Переменность профилей линий со временем, *Астрофизический бюллетень*, 2012, т.67, вып.3, 296-307. По ПЗС-спектрам, полученным на эшелле-спектрографах 2-м телескопа ШАО НАН Азербайджана и 1-м телескопа САО РАН, исследованы изменения профилей линий в спектре горячего сверхгиганта 55 Cyg. Показано, что переменность лучевой скорости и профилей линий тяжелых элементов вызвана движениями типа радиальной пульсации. Для линий He I эти переменности обусловлены нерадиальными пульсациями. В случае линий H β и H α картина и характер переменности различаются для разных периодов наблюдений. В основном переменность этих линий вызвана фотометрической и позиционной переменностью абсорбционного и эмиссионного компонентов профилей. На профилях этих линий наблюдаются дополнительные эмиссионные компоненты, которые двигаются от их синего к красному крылу, что свидетельствует о клочковатой структуре оболочки звезды.

О.К.Сильченко, И.С.Прошина, А.П.Шульга, С.Е.Копосов. Возраста и обилия в крупномасштабных дисках ближайших линзовидных галактиках, *Ages and abundances in large-scale stellar disks of nearby S0 galaxies*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, arXiv:1209.0606. По спектрам с длинной щелью, полученных на фокальном редукторе СКОРПИО 6-м телескопа было изучено звездное население и его изменение вдоль радиуса для

15 близких S0 галактик разных светимостей и окружения. Для крупномасштабных дисков таких галактик были измерены эквивалентные металличности от солнечной до $[Z/H] = -0.4 - -0.7$, отношение содержаний $[Mg/Fe] > +0.2$, и в основном старые эквивалентные возраста SSP. 9 из 15 галактик имеют возраст звездных дисков более 10 Gyr и все эти галактики расположены в плотном окружении. Изолированные галактики имеют звездные диски промежуточных возрастов 7-9 Gyr. И только 2 галактики нашей выборки, NGC 4111 and NGC 7332, показывают возраст 2–3 Gyr. Эти 2 молодых диска оказались тонкими, в то время, как более старые диски показывают его высоту типичной для старых дисков. Звездное население в балджах на радиусе в $0.5r_e$ является более металличным, чем солнечное, с возрастными, равномерно распределенными между 2 и 15 Gyr, и всегда моложе, чем в дисках. Сделан вывод, что линзовидные галактики не могут формироваться в группах на $z \approx 0.4$, так как наблюдаются в настоящее время. Предложен сценарий эволюции галактик с дисками.

М. К. Лебедев, В. Б. Хайкин, В. М. Богод. Характеристики радиотелескопа РАТАН-600 в режиме работы с третичным зеркалом на волне 8 мм, Труды ИПА, 2012, вып.24, с. 62-69. Разработаны геометрикооптическая и дифракционная модели антенной системы «Юг + Плоский» радиотелескопа РАТАН-600 с третичным зеркалом. Приводятся результаты исследования ее характеристик. Введение дополнительного зеркала позволяет расширить поле изображения антенной системы и использовать матричные приемники излучения. Для использования в модифицированной антенной системе разработаны и изготовлены гладкостенные сплайнопрофильные рупоры на длину волны 8 мм.

Е. К. Майоров, Л. В. Опейкина. Расчет поляризационных характеристик РАТАН-600 с учетом дифракционных эффектов, Труды ИПА, 2012, вып.24, с. 156-160. В работе приведены результаты расчета элементов матрицы Мюллера радиотелескопа РАТАН-600 с учетом дифракционных эффектов в пространстве между вторичным, главным и плоским зеркалами в режиме наблюдений южного сектора с плоским отражателем («Юг + Плоский») и в режиме наблюдений с одним сектором при установке антенны на горизонт во всем рабочем диапазоне длин волн. Показано, что с увеличением длины волны происходит сужение вертикальных размеров элементов и смещение их относительно центрального горизонтального сечения, а также изменение их лепестковой структуры. Расчеты элементов проводились как для сфокусированной антенны, так и при выносах первичного облучателя из фокуса. Диаграмма направленности (ДН) РАТАН-600 (элемент матрицы M11), рассчитанная в приближении дифракции Френеля, хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными.

О. П. Желенкова, Е. К. Майорова, Н. С. Соболева, А. В. Темирова. Многочастотное исследование радиоисточников средствами виртуальной обсерватории, Труды ИПА, 2012, вып.24, с. 282-288. Мы представляем результаты многочастотного исследования

радиоисточников каталога RATAN Cold Revised (RCR), полученного по наблюдательному материалу семи циклов обзора «ХОЛОД», проведенных на радиотелескопе РАТАН-600 в 1980–1999 гг. Для получения максимальной информации о каждом объекте использовались все доступные цифровые обзоры и каталоги в радио-, оптическом и инфракрасном диапазонах, с которыми пересекается область RCR. В работе применялись информационные ресурсы и программные средства виртуальной обсерватории. Без этого инструментария было бы проблематично провести подготовку и анализ данных и надежно отождествить 76 % источников полной до $S \geq 15$ мЯн на частоте 3.9 ГГц выборки и определить типы родительских галактик.

Л.В. Опейкина, Е.К. Майорова, А.Н.Коржавин. Паразитные поляризационные эффекты при наблюдении Солнца на РАТАН-600, Труды ИПА, 2012, вып.24, с. 62-69. Приводятся результаты расчета паразитной круговой поляризации при наблюдениях Солнца на РАТАН-600 в режиме «Южный сектор с плоским отражателем» (ЮП). На основе расчетов двумерных изображений паразитного сигнала показано разнообразие форм и величин паразитной поляризации на сканах. Для объяснения наблюдаемой формы сканов рассмотрены различные варианты облучения антенны. Оценены различия диаграмм MR, ML. Продемонстрированы особенности элемента матрицы Мюллера M41 при приеме R- и L-излучения в разных точках фокальной линии. Для расчета элементов матрицы Мюллера использован алгоритм, учитывающий дифракцию в пространстве между зеркалами антенны.

О.П. Желенкова. Многочастотное исследование радиоисточников каталога RCR средствами виртуальной обсерватории, Multiband study of radio sources of the RCR Catalogue with virtual observatory tools, Baltic Astronomy, vol. 21, 371–378, 2012. Представлены первые результаты многочастотного исследования каталога RCR, полученного на радиотелескопе РАТАН-600 в результате седьмого цикла обзора ХОЛОД на длине волны 7.6 см в 1980-1999 годах на склонении источника SS433. Использовались инфракрасные обзоры 2MASS и LAS UKIDSS, оптические обзоры DSS-II и SDSS DR7, каталоги USNO-B1 и GSC-II, радио обзоры the VLSS, TXS, NVSS, FIRST и GB6 для сбора информации об источниках. Для радиоисточников, не отождествленных в оптических и инфракрасных каталогах, дополнительно искались изображения в нескольких полосах обзоров SDSS, LAS UKIDSS, DPOSS, 2MASS. Было отождествлено 76% радиоисточников RCR каталога. Использовались средства виртуальной обсерватории и web-ресурсы.

7 ПРОВЕДЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОСНАЩЕНИЮ ЦКП СПЕЦОБОРУДОВАНИЕМ

При выполнении работ в 2011-2012 годах по госконтракту было приобретено следующее спец. оборудование: Эшелле-решетка (Россия), Подсмотровая камера (Techwin SHC-750, Samsung, Корея), Высокоскоростная система регистрации изображений (Neo CMOS, Andor, Ирландия), ПЗС-детектор EEV-42-40, (E2V Technologies, Англия), Абсолютный трекер AT401 (Leica Geosystems AG, Швейцария), Криоохладитель CryoTiger (Polycold Systems, США), сканирующий интерферометр Фабри-Перо ET50-FS-100 (IC OPTICAL SYSTEMS LTD, Великобритания) и Двухчастотный криорадиометр PM-22-30, разработанный в Институте прикладной физики РАН.

Эшелле-решетка – необходима как диспергирующий элемент для изготовления спектрографа в разрабатываемом методе спектроскопии высокого спектрального разрешения для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света.

Подсмотровая камера Techwin Samsung – планируется использовать в качестве телеподсмотра щели создаваемого спектрографа в разрабатываемом методе спектроскопии высокого спектрального разрешения для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света.

Высокоскоростная система регистрации изображений Neo CMOS будет применена в качестве базового светоприемника для создаваемой методики контроля качества поверхности главного зеркала БГА на базе датчика Шак-Гартмана.

ПЗС детектор EEV42-40 будет установлен в качестве базового светоприемника в разрабатываемом методе спектроскопии высокого спектрального разрешения для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света.

Абсолютный трекер предназначен для исследования и повышения точности отражающей поверхности РАТАН-600.

Криоохладитель CryoTiger предназначен для охлаждения светоприемника ПЗС, установленного на оптоволоконный спектрограф, до температуры жидкого азота в режиме замкнутого цикла.

Копии госконтрактов и договоров на их поставку прилагаются в Перечне материальных ценностей. К ним также прилагаются документы, подтверждающие поставку. По позиции 5 (Абсолютный трекер) поставка планируется в конце декабря (как и прописано в госконтракте в связи с поставкой оборудования из-за границы).

В фирме IC OPTICAL SYSTEMS LTD (Великобритания) приобретен сканирующий интерферометр Фабри-Перо ET50-FS-100 с характеристиками, выбранными согласно проведенному в ходе 1-го этапа аналитического исследования. Договор поставки прилагается.

Новый метод панорамной спектроскопии на базе нового интерферометра Фабри-Перо должен обеспечивать эффективную работу в 180-190 порядках интерференции на длине волны 656.3 нм, обладать спектральным разрешением около 0.15 нм в спектральном диапазоне 5 нм, что позволит выполнять на 6-м телескопе детальные исследования астрофизических объектов, в которых наблюдается большой диапазон изменения лучевых скоростей. Создаваемый метод панорамной спектроскопии для широкого спектрального диапазона будет обладать более низким спектральным разрешением (около 0.15 нм), но в три раза большим рабочим спектральным диапазоном.

Новый двухчастотный криорадиометр будет обеспечивать измерения плотностей потоков в диапазоне частот 22 и 30 ГГц (длины волн 14 и 10 мм) с чувствительностью 2-3 мК при времени интегрировании 1 сек и полосами 3-5 ГГц. Охлаждение должно осуществляться до температуры 15 К с использованием микро-криогенных систем замкнутого цикла. Создаваемый двухчастотный криорадиометр, изготовленный на новой элементной базе для замены морально и физически устаревших радиометров этого диапазона на радиотелескопе РАТАН-600 должен обеспечить существенное (1.5-2 раза) повышение эффективности научных исследований благодаря повышению чувствительности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работ по госконтракту в целом были получены следующие результаты.

Подготовлен аналитический обзор и обоснование разработки новых методов астрономических наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН. Проведены патентные исследования. Проведены мероприятия по дооснащению ЦКП спецоборудованием на 15 млн. руб. Разработаны новые методы наблюдений: Метод эшелле-спектроскопии высокого спектрального разрешения, предназначенный для получения спектров звезд с оптоволоконной передачей света, Метод панорамной спектроскопии с использованием интерферометра Фабри-Перо, предназначенный для исследования протяженных объектов в широком спектральном диапазоне, Методика контроля качества поверхности главного зеркала БТА, предназначенная для аттестации параметров его поверхности в цеховых условиях и после установки на телескопе, Методика геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности главного зеркала, а так же поверхности и положения вторичных зеркал радиотелескопа РАТАН-600 с использованием лазерного трекера Leica AT401, Методика проведения измерений на двухчастотном криорадиометре высокой чувствительности (калибровка, измерение плотностей потоков и определение погрешности измерений) для исследования радиоизлучения объектов Вселенной (микрокварзы, активные ядра галактик, квазары, радиогалактики и др.). При поддержке Минобрнауки было опубликовано в высокорейтинговых научных журналах 32 статьи, в которых использовались результаты наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН. В работах по госконтракту участвовал 45 молодых специалистов в течение каждого календарного года. Было представлено к защите и успешно защищены 2 докторские и 4 кандидатских диссертаций, а также 11 дипломных работ, в которых использовались результаты наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН. Благодаря поддержке Минобрнауки в течение календарного года услугами наблюдений на телескопах ЦКП САО РАН пользовались 26 и 29 сторонних организаций. Привлечены 8.5 млн. руб. собственных средств. Собраны заявки (и проведена их экспертиза) наблюдений на на телескопах ЦКП. Проведены заседания комитета по большим телескопам и распределение на конкурсной основе наблюдательного времени на телескопах ЦКП. Постоянно обновляется информация о работе телескопов ЦКП САО РАН на домашней странице. Поддерживалось издание журнала Астрофизический бюллетень, включенный в базу WoS.

Степень внедрения – опубликованы результаты исследований на основе оригинальных наблюдений на телескопах ЦКП; результаты мониторинга Солнца постоянно обновляются на сайте САО РАН (<http://www.sao.ru/hq/sun/>). Результаты проекта используются при проведении

наблюдений на крупнейших наземных телескопах страны. Результаты проекта могут использоваться при проведении наблюдений на других наземных телескопах при проведении соответствующей адаптации. Результаты проекта используются для повышения уровня подготовки молодых специалистов в области приборостроения и фундаментальных астрономических исследований.

Модернизация телескопов позволит повысить эффективность наблюдений на телескопах ЦКП – крупнейших наземных телескопах России.

Полученные результаты можно применять для решения актуальных задач в области наблюдательной астрофизики. Проведенные исследование космических объектов и дальнейшая модернизация телескопов ЦКП, несомненно, внесет ощутимый вклад в эту область науки.

Разрабатываемые методы модернизации телескопов ЦКП рекомендуется использовать не только на телескопах ЦКП, но и на других телескопах. Данные разработки и полученные результаты можно применять для решения актуальных задач в области наблюдательной астрофизики. Исследование указанных объектов и дальнейшая модернизация разработанных методик и приемно-измерительной аппаратуры, несомненно, внесет ощутимый вклад в эту область науки.

В связи с тем, что все представленные в отчете разработки приемно-измерительной аппаратуры, а также методы наблюдений и обработки данных проводятся в лабораториях САО РАН, данные результаты эффективны как в экономическом плане, так и в плане внедрения этих разработок. Результаты проекта позволяют повысить производительность труда благодаря созданию более комфортных условий и эффективности проведения исследований, снижения риска травматизма при производстве работ за счет внедрения безлюдных технологий. Использование достижений современной техники позволит снизить энергопотребление при работе телескопов.

Таким образом, настоящий Отчет иллюстрирует, что все задачи, поставленные по государственному контракту на четвертом этапе и в целом, выполнены полностью и в соответствии с *Техническим заданием* и *Календарным планом*.

Руководитель работ

В.В.Власюк