

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Специальная астрофизическая обсерватория

УДК 520; 523.3; 523.9; 524

№ 01201169409

УТВЕРЖДАЮ

Директор САО РАН

член-корр. РАН Балегга Ю.Ю.



«\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Проведение наземных астрофизических исследований с использованием  
уникальной установки – крупнейшего российского оптического телескопа -  
Большого телескопа азимутального (УСУ БТА)»

Шифр «2011-1.8-518-006-184»

(заключительный)

Этап 4: «Проведение дополнительных исследований, обобщение и оценка результатов  
выполненных исследований»

(государственный контракт № 16.518.11.7073 от 12 мая 2011 г.)

Руководитель работ,

заместитель директора САО РАН  В.В.Власюк

Нижний Архыз

2012

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, к.ф.-м.н.	_____	В.В. Власюк (введение, разделы 1,2)
Исполнители темы д.ф.-м.н.	_____	И.И. Романюк (разделы 2,3)
ст.н.с., к.т.н.	_____	М.В. Якопов (раздел 4)
ст.н.с.	_____	М.В.Юшкин (раздел 2,3)
вед. инженер-электроник	_____	С.В. Драбек (раздел 5)
н.с.	_____	Е.А. Семенко (разделы 2,3)
аспирант	_____	М.М. Габдеев (раздел 2)
аспирант	_____	А.И. Колбин (раздел 2)
аспирант	_____	И.А. Якунин (разделы 1,2)
ст.н.с.	_____	С.В. Карпов (раздел 2)
инженер	_____	А.А. Ломакин (раздел 2)
инженер	_____	А.Л.Теплякова (раздел 2)
инженер	_____	Д.Ю. Архипов (раздел 2)
инженер	_____	А.А.Борисенко (раздел 2)
инженер	_____	А.В. Бирюков (раздел 2)
студент	_____	В.В. Варивода (раздел 2)
ст.лаб.	_____	Л. Гасанова (раздел 2)

переводчик	_____	А. В. Зязева (раздел 2)
пом. дир.	_____	Е.Ю. Кучаева (раздел 2)
м.н.с.	_____	Ю.А. Лямина (раздел 2)
м.н.с.	_____	О.А. Меркулова (раздел 2)
ст.инженер	_____	Д.Ю. Миленко (раздел 2)
студент	_____	А.А. Митрофанова (раздел 2)
инженер	_____	М.А. Притыченко (раздел 2)
студент	_____	К.И. Смирнова (раздел 2)
вед. инженер	_____	А.Ф. Сосулин (раздел 2)
студент	_____	Я.С. Маркелов (раздел 2)
Нормоконтролер	_____	Ш.А. Узденова

## Реферат

Отчет 50 с., 23 рис., 4 таб., 3 приложения

### АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, ОПТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ, СВЕТОПРИЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЗВЕЗДЫ, ГАЛАКТИКИ, КВАЗАРЫ, АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Цель настоящей НИР — подготовка и проведение наблюдений астрофизических объектов методами оптической наземной астрономии, развитие методики исследований этих объектов, научно-методическое и приборное оснащение этих работ, развитие приборной базы телескопа БТА.

В рамках проведения этапа НИР выполнен всесторонний анализ деятельности УСУ БТА во втором полугодии 2011 года, определены приоритеты его развития, показан существующий спрос на услуги коллективного пользования, предоставляемые УСУ БТА.

В процессе работы выполнялись астрофизические исследования звезд нашей Галактики, активных ядер галактик и других внегалактических объектов методами наземной оптической астрономии – спектроскопии высокого разрешения, спектроскопии и поляриметрии, фотометрии высокого временного и углового разрешения, выполнялось исследование характеристик телескопа, развивалась инструментальная база комплекса БТА.

В результате выполненных работ были получены новые данные о характере движения вещества в галактиках с активными ядрами, изучены спектральные характеристики новых звезд нашей Галактики и звезд в других галактиках, показаны результаты внедрения разрабатываемых систем удаленного доступа к наблюдательным возможностям УСУ БТА.

Эффективность выполненных работ определяется высокими точностными характеристиками изготовленного и используемого в астрофизическом эксперименте оборудования. Разработанная методика проведения удаленных исследований может быть применена в смежных областях фундаментальных и прикладных наук.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		6
1	Результаты, полученные на предыдущих этапах работ	8
2	Проведение плановых наблюдений на телескопе БТА	11
3	Ввод в эксплуатацию метода спектроскопии высокого разрешения в режиме удаленного доступа	23
4	Аттестация кроссплатформенной системы управления эшелле-спектрографом на УСУ БТА	27
5	Ввод в эксплуатацию автоматизированной системы управления телескопом Цейсс-1000	33
6	Подготовка плана работы УСУ на 2013 год	38
7	Обобщение и оценка результатов НИР	39
Приложение А. Оказанные услуги коллективного пользования УСУ БТА.		42
Приложение Б. Протокол распределения времени УСУ БТА на 1-е полугодие 2013 года		43
Приложение В. Расписание работы УСУ БТА на 1-е полугодие 2013 года		44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		50

## **ВВЕДЕНИЕ**

Большой Альт-азимутальный телескоп (БАТ) с диаметром зеркала 6 метров, созданный в СССР в середине 70-х гг. XX века, и в настоящее время продолжает оставаться основным источником научной информации в области наземной астрономии в России. В ситуации, когда вводятся в строй все более мощные оптические инструменты, БАТ пользуется спросом среди ученых Российской Федерации, стран СНГ и дальнего зарубежья. В целом работу телескопа обеспечивают около 100 сотрудников САО РАН – как научных работников, так и инженеров, рабочих, вспомогательного персонала, занятых в его текущем обслуживании, модернизации оборудования, создании новых методик научных исследований. Выполнение работ по Госконтрактам с Министерством образования и науки позволяют решать эксплуатационные проблемы телескопа, задачи снабжения его текущей деятельности, развивать наблюдательные методы, своевременно обновлять инструментальный парк научного оборудования.

Цель работы, проводимой по контракту - обеспечение деятельности телескопа БАТ, внесенного в реестр уникальных установок России под №01-43, включающее в себя как непосредственное проведение астрофизических исследований по научным программам, утверждаемым национальным программным комитетом, так и обеспечение текущего ремонта узлов и систем телескопа, развитие навесной аппаратуры, обеспечение возможностей доступа к возможностям телескопа.

Основные результаты проводимых по контракту научных исследований в настоящем отчете представлены в соответствии с содержанием работ.

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. Результаты астрофизических исследований, полученных сегодня, составят основу для развития физических наук человечества в XXI веке.

Новизна работы. Результаты научных исследований получены из оригинальных наблюдательных данных как на телескопах САО, так и на телескопах других обсерваторий.

В отчете приводятся результаты исследований по перечисленным выше темам. Так, в частности, показана текущая ситуация с количеством наблюдательного времени телескопа, загрузкой его отдельных комплексов, спросом на инструментальные возможности уникальной установки со стороны российских и зарубежных ученых.

Для ряда астрофизических исследований объектов далекого космоса приведены первые результаты, полученные в ходе наблюдений, проведенных на оптическом телескопе БТА в 2012 году.

Изложены результаты, достигнутые в ходе работ по совершенствованию приборной базы уникальной установки, в частности по созданию новых систем удаленного управления астрофизическим экспериментом, позволяющими существенно поднять эффективность будущих наблюдений.

В отчете приведен перечень услуг коллективного пользования, оказанных УСУ БТА, приведен список организаций-пользователей УСУ.

# 1 Результаты, полученные на предыдущих этапах работ

В промежуточных отчетах о выполнении настоящей НИР по этапам 1-3 приведены результаты анализа работы УСУ БТА в 2010-2011 годах, приведены статистические данные о работе телескопа и его научного оборудования, распределении календарного времени между группами заказчиков, подтверждающие востребованность научного оборудования УСУ БТА российским и мировым научным сообществом. Это проиллюстрировано также материалами настоящего Отчета (см., в частности Рис.2 и Рис.3).

В отчетной документации по выполнению настоящей НИР на этапах 1-3 приведены краткие результаты о следующих работах.

В ходе выполнения первого этапа в рамках программы заявителя А.Моисеева (САО РАН) на приборе SCORPIO были выполнены наблюдения ряда кандидатов из нового каталога галактик с полярными кольцами. Автором было показано, что в большинстве таких галактик газ и звезды во внешних областях вращаются в плоскости, ортогональной к основному диску. Спектральные исследования линзовидных галактик заявителем О.К.Сильченко (ГАИШ МГУ) подтвердили ранее полученные данные об усилении водородных линий с удалением от центра галактики. Измерения расстояний до далеких скоплений галактик в рамках программы заявителя Р.Буренина (ИКИ РАН) также с применением фокального редуктора SCORPIO показали, что основная их часть расположена в интервале значений красных смещений  $z > 0.4$ . Глубокие снимки сейфертовских галактик Mkn1066 и Kaz320, полученные на УСУ БТА исследователями А.Смирновой и В.Афанасьевым, позволили обнаружить протяженные приливные структуры, простирающиеся далее обычно принимаемых границ этих галактик. По-видимому, эти возмущения способствуют натеканию газа в область действия «центральной машины» активного ядра. В ходе проведения спектральной классификации классических новых звезд в галактике M31 учеными из Германии, ГАИШ МГУ и САО РАН удалось первыми в мире получить спектры трех новых звезд в этой галактике. При спекл-интерферометрических исследованиях выборки 117 химических пекулярных звезд удалось разрешить на отдельные компоненты 29 систем, для 14 из них это выполнено впервые в мире.

Во время работ по второму этапу по программе заявителя В.Соколова (САО РАН) получены первые оптические спектры необычного транзиента MASTER OT82752.77+704606.0, обнаруженного с использованием российской сети обнаружения транзиентных объектов MASTER. Было продолжено исследование явления истечения галактического ионизованного газа из карликовых галактик под действием процессов текущего звездообразования. Для этой работы заявителя Д.Боманса из Германии



использовался сканирующий эталон Фабри-Перо. Исследования связи ультраярких рентгеновских источников с молодыми скоплениями в близких галактиках исследователями из САО РАН во главе с С.Фабрикой показали, что большинство таких источников находятся в непосредственной близости по галактическим меркам от молодых звездных скоплений, богатых массивными звездами. Изучение процесса сброса вещества после взрыва звезды V838 Mon учеными В.Горанским и Е.Барсуковой (САО РАН и ГАИШ МГУ) показало, что его расширяющаяся с 2002 года оболочка уже поглотила второй компонент системы – горячую звезду спектрального класса В. Эти же авторы по данным многолетних исследований с аппаратурой УСУ БТА показали, что для газовой туманности – остатка взрыва 1994 года V4332 Sgr – потоки в эмиссионных линиях падают очень быстро – почти в 30 раз за последние 8 лет.

На третьем этапе на УСУ БТА был продолжен поиск самых далеких объектов во Вселенной. Для отбора самых далеких галактик из миллиардов объектов, доступных нашим инструментам, применяются самые разнообразные технологии, включая сплошную спектроскопию всех объектов в поле зрения телескопа. С.Додонов (САО РАН) применил методику предварительного отбора объектов по данным снимков в узких фильтрах, расположенных так, чтобы можно было обнаружить и измерить положение самой мощной эмиссионной линии водорода 1216А. Снимки с пределом до 27.5 зв.величины (менее 1% от яркости фона ночного неба) в 12 фильтрах также получались на УСУ БТА. Решением проблем возникновения и роста галактик занимается заявитель Е.Чуразов (ИКИ РАН). Его задача – исследование массивных эллиптических галактик в скоплениях, которые демонстрируют наличие рентгеновского излучения. Конечная цель программы – наложение ограничений на сценарии возможного роста центральных галактик в скоплениях со временем. Для решения задачи по данным с УСУ БТА восстанавливается распределение поверхностной плотности звездного населения галактик, а по рентгеновским данным спутника Chandra оценивается вклад нетепловой компоненты. Также эти данные позволят наложить ограничения на отношение массы к светимости для исследуемой галактики и оценить возможный вклад темной материи. Многолетние исследования линзовидных S0 галактик, проводимые исследователем О.К.Сильченко (ГАИШ МГУ) на УСУ БТА, позволили открыть многие интересные закономерности возникновения и эволюции этих галактик, объяснить существующую в них картину распределения вещества, хода звездообразования в них. Например, у галактики IC719 удалось обнаружить наличие двух звездных подсистем с различным вращением. Одна из звездных подсистем вращается согласованно с газовой составляющей галактики. Совокупность полученных данных по кинематике вещества, обнаруженные отличия в металличности и возрасте этих подсистем позволила заявителю утверждать, что в этой галактике наблюдается процесс слияния двух

галактик. В результате комплексных исследований в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра, выполненных с УСУ БТА и оборудованием Apache Point Observatory (США), исследователям САО РАН удалось обнаружить в галактике М31 еще 3 голубых звезды повышенной светимости. Результаты спекл-интерферометрических исследований на УСУ БТА под руководством Ю.Ю.Балеги, направлены на уточнение фундаментальных параметров молодых голубых звезд методом прямого определения по собственным движениям в парах и группах.

На первом этапе выполнения НИР был проведен патентный поиск в отношении создаваемой научно-технической продукции:

- метод спектральных исследований на Основном звездном спектрографе
- кроссплатформенная система удаленного управления эшелле-спектрографом
- автоматизированная система управления телескопом Цейсс-1000 с возможностью удаленного контроля.

Исполнителями работ были сформулированы задачи по модернизации существующих и созданию новых методов исследований, начата работа по закупке необходимого оборудования.

На втором этапе выполнения НИР были выполнены работы по модернизации этих методов, разработке необходимых узлов, начаты работы по замене системы управления телескопом Цейсс-1000.

На третьем этапе настоящей НИР были осуществлены тестирование метода спектроскопии высокого разрешения в режиме удаленного доступа, лабораторное тестирование кроссплатформенной системы управления эшелле-спектрографом, начата опытная эксплуатация основных узлов автоматизированной системы управления телескопом Цейсс-1000.

## 2 Проведение плановых наблюдений на УСУ БТА

### 2.1 Итоги работы УСУ БТА в первом полугодии 2012 года

Итоги анализа деятельности УСУ БТА в первом полугодии 2012 года приведены на рисунках 1-5. Так, на рисунке 1 показано распределение времени работы телескопа в часах по месяцам по данным, представленным ответственными наблюдателями и по данным инженерной службы, с января по июнь 2012 года.

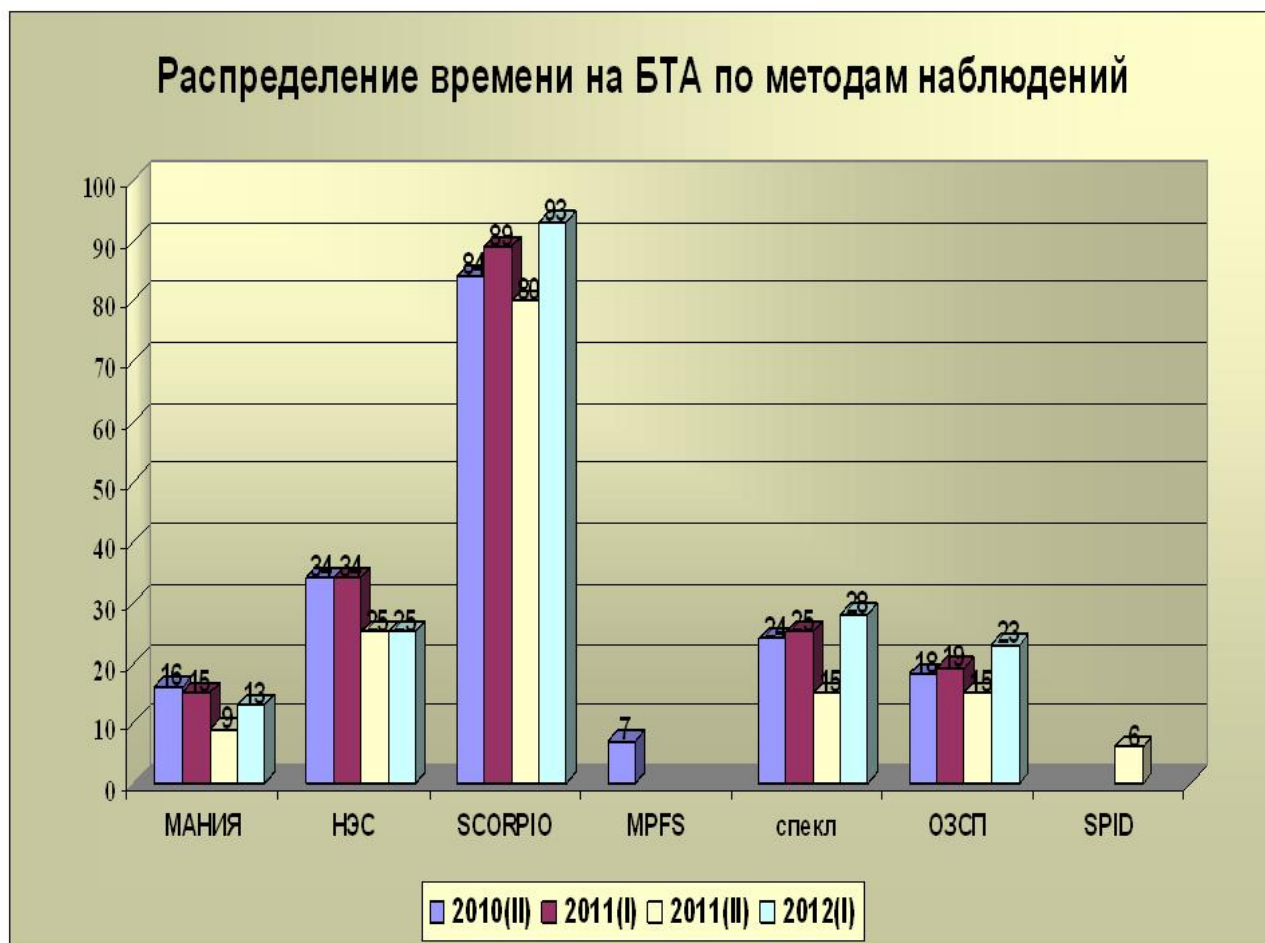


**Рисунок 1. Общее количество времени работы УСУ БТА в первом полугодии 2012 года по данным службы эксплуатации и наблюдателей.**

Приведенные данные указывают на весьма низкий процент погодного времени, пригодного для проведения астрофизических исследований. Эта ситуация стала характерной для последних 3-4 лет. Для сравнения укажем, что в аналогичные периоды 2010 и 2011 гг. время работы УСУ БТА по данным инженерной службы (СЭК БТА) составило 644 и 586 часов, соответственно. Как правило, только относительно большее количество наблюдательного времени во втором полугодии позволяет отчасти поправить результаты

работы УСУ БТА в целом за год. По-видимому, такая же ситуация будет воспроизведена и в отчетном 2012 году.

На рисунке 2 показано количество календарных ночей, выделенных программным комитетом (КТБТ) для решения астрофизических задач на комплексах светоприемного оборудования УСУ БТА в течение последних 4 семестров. Хорошо видно, что остается неизменно высокой популярностью 2-х основных методов наблюдений, ставших штатными в последние годы и разработанных и изготовленных в основном силами сотрудников САО РАН. Это фокальный редуктор «SCORPIO», позволяющий выполнять фотометрические и спектральные исследования предельно слабых и далеких объектов нашей Вселенной (стабильно более 80 ночей каждый семестр), а также ультрафиолетовый спектрометр НЭС для изучения спектров звезд с высоким спектральным разрешением, обладающий большим коллимированным пучком (порядка 30 ночей каждое полугодие).

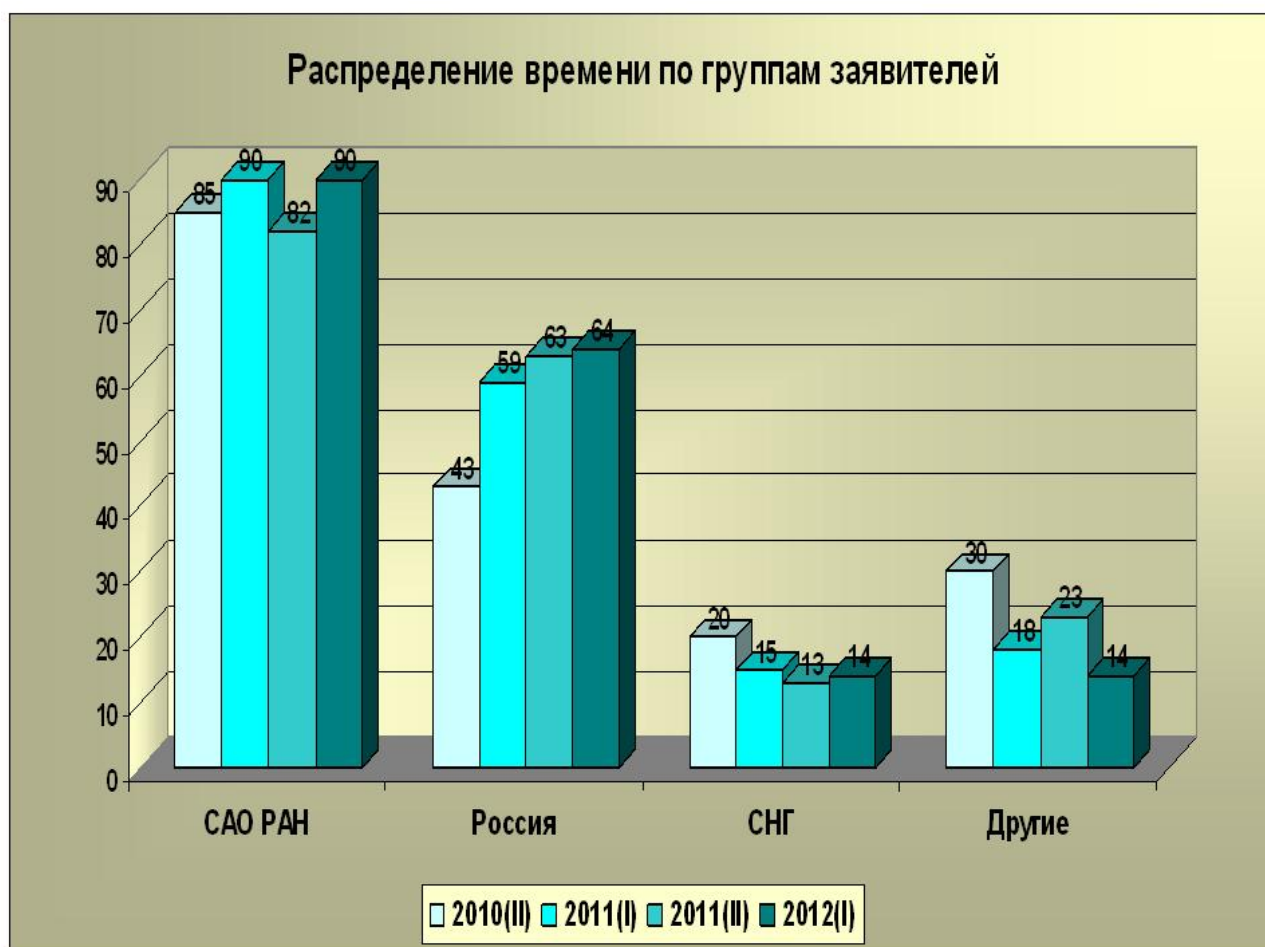


**Рисунок 2. Распределение наблюдательного времени между методами наблюдений в 2010 - 2012 годах.**

Порядка 15-20 ночей в каждое полугодие было выделено для исследований с такими приборами, как комплекс исследования микросекундной переменности МАНИЯ, основной

звездный спектрограф (ОЗСП), спекл-интерферометр. Постепенный уход мультизрачкового спектрометра MPFS можно объяснить переносом части научных задач на фокальный редуктор SCORPIO, а в последнем полугодии время на нем не распределялось – прибор выведен на реконструкцию. Кроме того, планами создания нового фокального редуктора предусмотрено наличие в нем моды панорамной спектроскопии. Новый прибор SPID, приведенный на графике, относится к спекл-интерферометрическим методам наблюдений.

На рисунке 3 дано распределение выделенного КТБТ времени работы УСУ БТА по группам заявителей – сотрудники CAO, сотрудники других российских институтов и учреждений, сотрудники учреждений стран СНГ и стран дальнего зарубежья.



**Рисунок 3. Распределение календарного времени между группами заявителей – CAO РАН, Россия, страны СНГ и дальнего зарубежья в 4-х полугодиях 2010-2012 гг.**

Сравнение результатов с данными более ранних лет показывает примерное сохранение пропорций при увеличении общего количества пользователей инструмента. Тенденцией можно считать уменьшение количества заявок из стран Содружества при увеличении времени, выделяемого ученым Российской Федерации. Тенденция же к уменьшению количества времени, выделяемого ученым из дальнего зарубежья, в истекшем полугодии продолжилась.

Анализ рисунка 4 демонстрирует тот факт, что в последние годы наиболее популярными являются наблюдательные программы, на которые выделяется 2-3 ночи. Эта тенденция достаточно устойчива на протяжении последних 5-7 лет. Отметим также тот факт, что в истекшем полугодии четко выражен максимум для программ из 2-3 ночей.



**Рисунок 4. Распределение количества поддержанных научных программ по количеству ночей в 4-х полугодиях 2010-2012 гг.**

Одной из важных задач, стоящих перед программным комитетом, остается выделение крупных так называемых «ключевых» программ с большим количеством рабочего времени инструмента. В приложении А дан перечень услуг коллективного пользования, оказанных на УСУ БТА в истекшем полугодии.

## **2.2. Результаты выполнения научных программ на БТА**

На следующих рисунках этого раздела приведен ряд наблюдательных результатов, полученных на УСУ БТА за отчетный период с использованием штатного оборудования УСУ. Основные результаты сейчас готовятся к печати в ведущих российских и зарубежных изданиях.

Из большого количества результатов нами отобраны наиболее результативные программы, демонстрирующие потенциальные возможности оптического 6-метрового телескопа. Результаты расположены в порядке уменьшения пространственной шкалы исследуемых явлений – от космологических масштабов вплоть до объектов в нашей Солнечной системе.

Для отбора самых далеких галактик из миллиардов объектов, доступных нашим инструментам, применяются самые разнообразные технологии, включая сплошную спектроскопию всех объектов в поле зрения телескопа. С.Додонов (САО РАН) применил методику предварительного отбора объектов по данным снимков в узких фильтрах, расположенных так, чтобы можно было обнаружить и измерить положение самой мощной эмиссионной линии водорода 1216А. Снимки с пределом до 27.5 зв.величины (менее 1% от яркости фона ночного неба) в 12 фильтрах также получались на УСУ БТА.



**Рисунок 5. Вид одного из глубоких полей, полученных на УСУ БТА, в рамках программы поиска очень далеких галактик заявителя С.Додонова (САО РАН).**

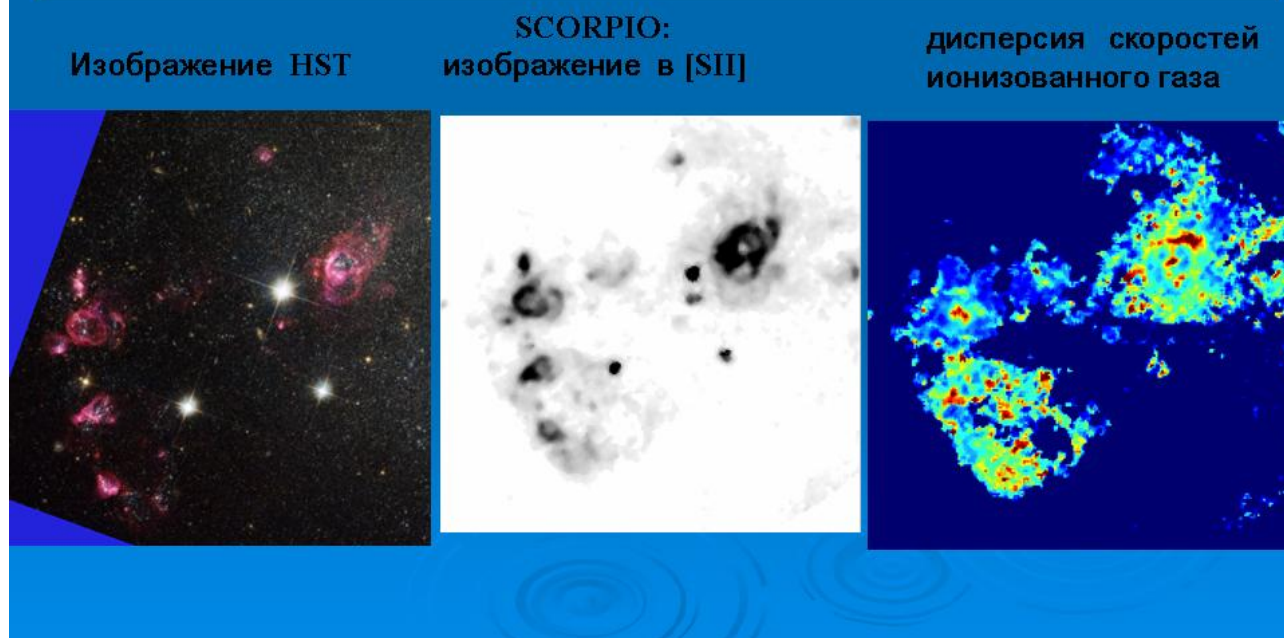
На рисунке 5 приведен вид поля Q2203+29 с суммарным накоплением более 10 часов. В выборку галактик в диапазоне красных смещений  $4.71 < Z < 6.60$  в поле размером 25 квадр. угловых минут вошло 18 объектов, удовлетворяющих цветовым критериям отбора LAE-галактик и 10 LB-галактик. Поверхностная плотность объектов  $\sim 1$  шт./ кв.угл.мин . Из них спектрально подтверждены 10 объектов. Оценки темпа звездообразования по потокам в  $L_{\text{UV}}$  от 6.2 до 41.3 солнечных масс за год.

Уже несколько лет на УСУ БТА ведется исследование эффектов звездного ветра в близких карликовых галактиках. Для этого используется фокальный редуктор УСУ БТА в комбинации со сканирующим эталоном Фабри-Перо. На рисунке 6 показан результат исследования одной из таких галактик – Holmberg II – по заявке Т.А.Лозинской из ГАИШ МГУ. Для анализа использовались фотометрические данные, полученные для нее на Космическом телескопе им. Хаббла и данные спектральных исследований в линии однократно ионизованной серы [SII] 6707,6717Å.



## Сверхновые и звездный ветер в галактиках SCORPIO/FP,LS (Т.А. Лозинская, ГАИШ)

Изучение воздействия молодых звездных группировок на окружающую межзвездную среду в карликовой галактике Holmberg II. Показан фрагмент куба данных в линии [SII], полученный со сканирующим интерферометром Фабри-Перо

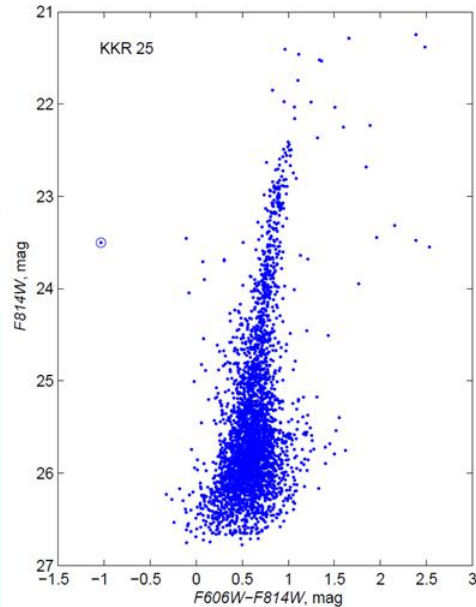
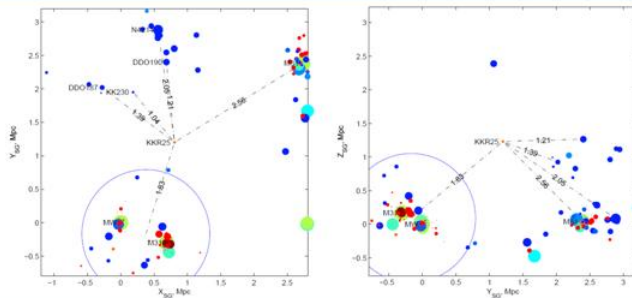


**Рисунок 6. Результаты исследования звездного ветра в галактике Holmberg II. Заявитель – Т.А.Лозинская (ГАИШ МГУ).**

Полученные автором программы характеристики для исследованных туманностей позволят наложить ряд ограничений на параметры газовой составляющей у исследуемых галактик, что имеет важнейшее значение для теории возникновения и эволюции карликовых галактик.

Также решением проблем возникновения и роста карликовых галактик занимается заявитель Д.Макаров из САО РАН. Его задача – исследование изолированных карликовых галактик в Локальном объеме. Конечная цель программы – наложение ограничений на параметры наблюдаемого и ненаблюдаемого вещества в Локальной Вселенной. Также эти данные позволят наложить ограничения на отношение массы к светимости и оценить возможный вклад темной материи. В отчетном полугодии им изучалась уникальная изолированная галактика, отстоящая от нас на 1.9 Мпк.

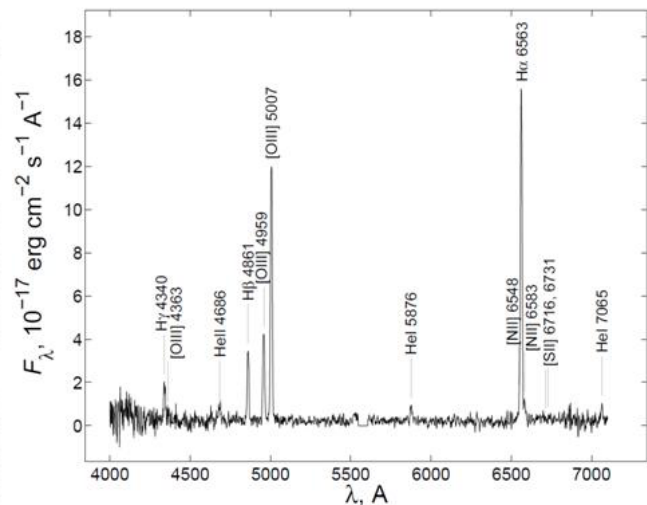
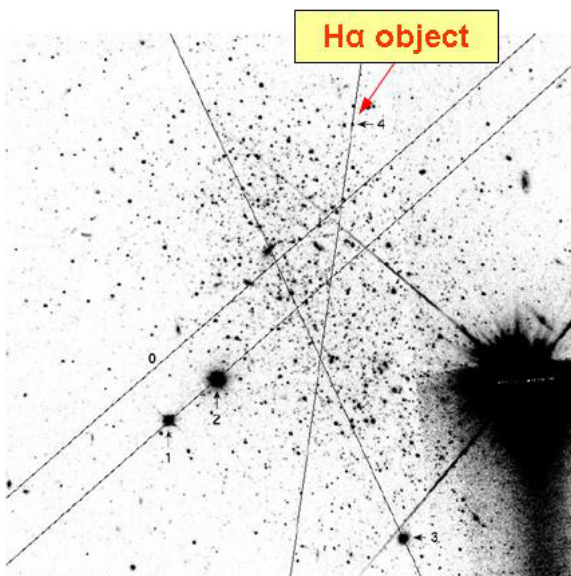
# Уникальная изолированная карликовая сфероидальная галактика на D=1.9 Мpc (Д.Макаров и группа САО, СПбГУ, Индия)



Это наиболее изолированная сфероидальная карликовая галактика в Местном объеме. На БТА были проведены спектроскопические исследования кандидатов в шаровые скопления и H<sub>α</sub> объекта, обнаруженных в данной галактике. В результате была впервые обнаружена планетарная туманность в сфероидальной галактике за пределами Местной Группы.

13

SCORPIO  
07/03/2012



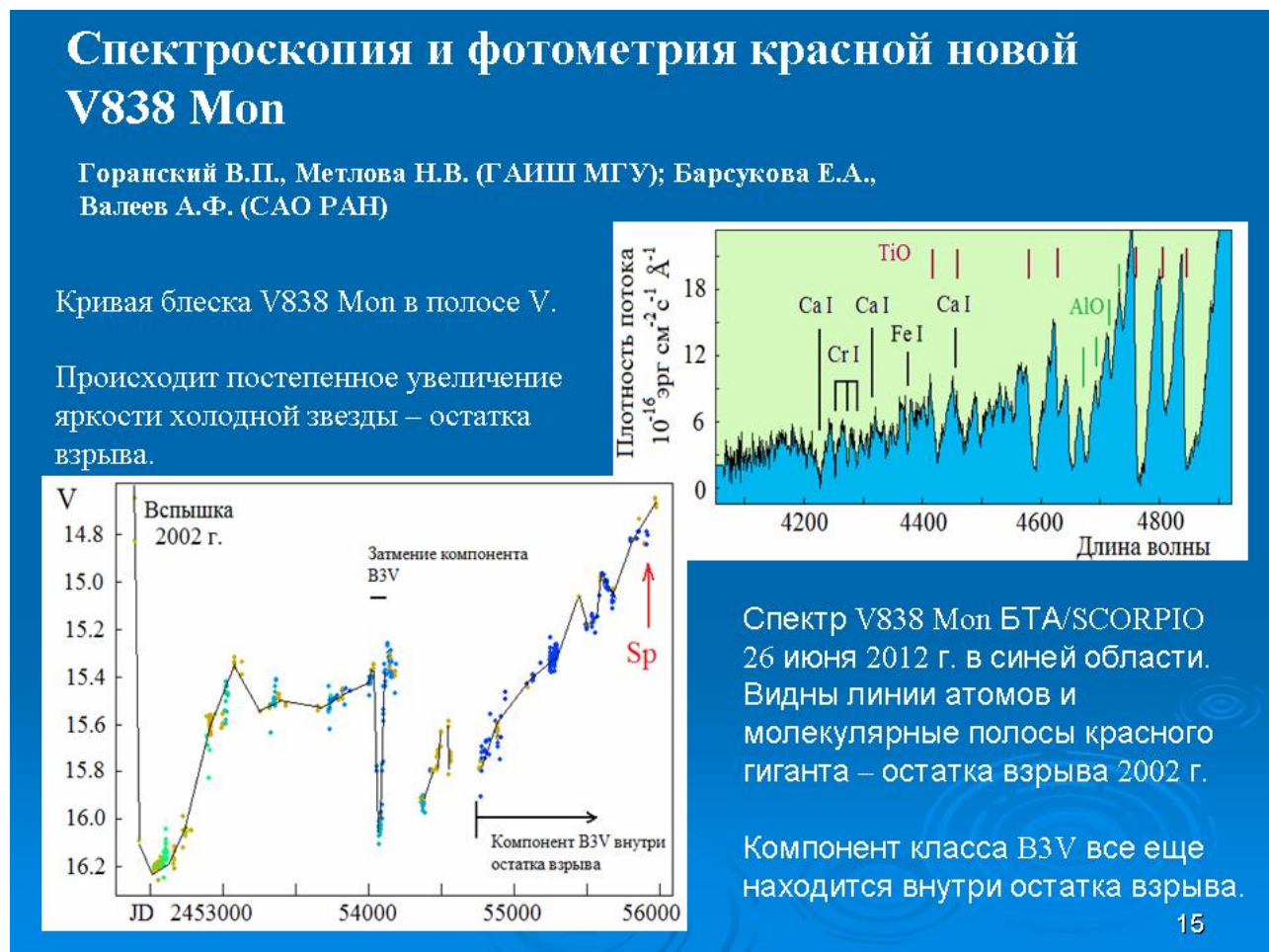
Содержание кислорода:  
 $12 + \log(O/H) = 7.60 \pm 0.07$  dex

**Рисунок 7. Результат исследования изолированной карликовой сфероидальной галактики KKR25 с фокальным редуктором SCORPIO УСУ БТА и Космическим телескопом им. Хаббла (заявитель – Д.Макаров (САО РАН)).**

На рисунке 7 показаны результаты исследования изолированной карликовой сфероидальной галактики KKR25. На УСУ БТА были проведены спектральные

исследования, в результате которых была впервые обнаружена планетарная туманность в сфероидальной галактике за пределами Местной группы галактик.

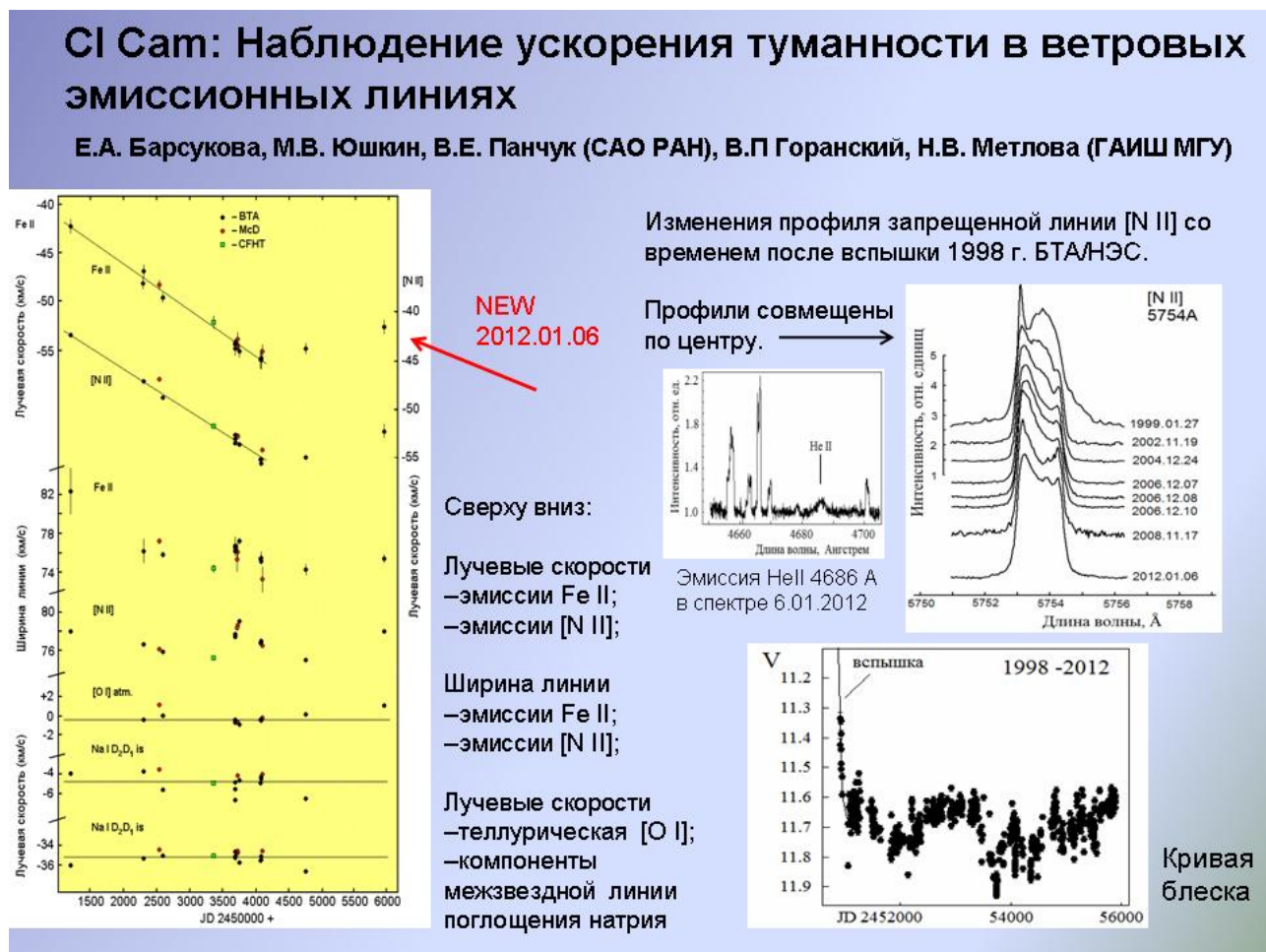
Достаточно интересные результаты были получены на УСУ БТА и в области звездной астрофизики. Среди них можно указать данные по спектроскопии и фотометрии красной новой звезды V838 Mon (приведены на рисунке 8), интереснейшей звезды со вспышкой CI Cam (показаны на рисунке 9), данные по гипергиганту  $\rho$  Cas – редчайшей звезде нашей галактики (изображены на рисунке 10).



**Рисунок 8. Результаты спектральных и фотометрических исследований красной новой звезды V838 Mon (заявители – В.Горанский (ГАИШ МГУ), Е.Барсукова, А.Валеев (САО РАН)).**

Для этих исследований также использовался фокальный редуктор SCORPIO в спектральной моде, а дополнительные фотометрические и спектральные данные получены с применением возможностей 1-метрового оптического телескопа САО, входящего в состав УСУ БТА. Совокупность полученных данных позволяет утверждать, что имеет место расширение оболочки, сброшенной холодной звездой в 2002 году.

CI Cam - система В[e]-звезды и белого карлика. На поверхности белого карлика в 1998 г. произошел термоядерный водородный взрыв. Авторами был определен период орбиты 19.4 дня и открыты пульсации В-звезды.



**Рисунок 9. Результаты спектроскопии высокого разрешения для звезды CI Cam (заявители – В.Горанский и Н.Метлова (ГАИШ МГУ), Е.Барсукова, М.Юшкин, В.Панчук (САО РАН)).**

Серия спектров 35 кадров хорошего качества получена на кварцевом спектрометре НЭС УСУ БТА 6 января 2012 г. Уже получены новые результаты в исследовании уникального феномена – ускоренного движения протяженной туманности, сформированной звездным ветром. Новые наблюдения показывают большое отклонение от линейной зависимости. Вероятно, эти изменения скорости связаны с орбитальным движением вокруг третьего массивного компонента. В спектре снова появилась сильная линия He II 4686 Å, которая постепенно ослабевала после вспышки 1998 г. и последние годы не наблюдалась.

## Обнаружение кинематической стратификации атмосферы гипергиганта $\rho$ Cas.

Клочкова, Таволжанская (CAO), Усенко (АО Одесса)

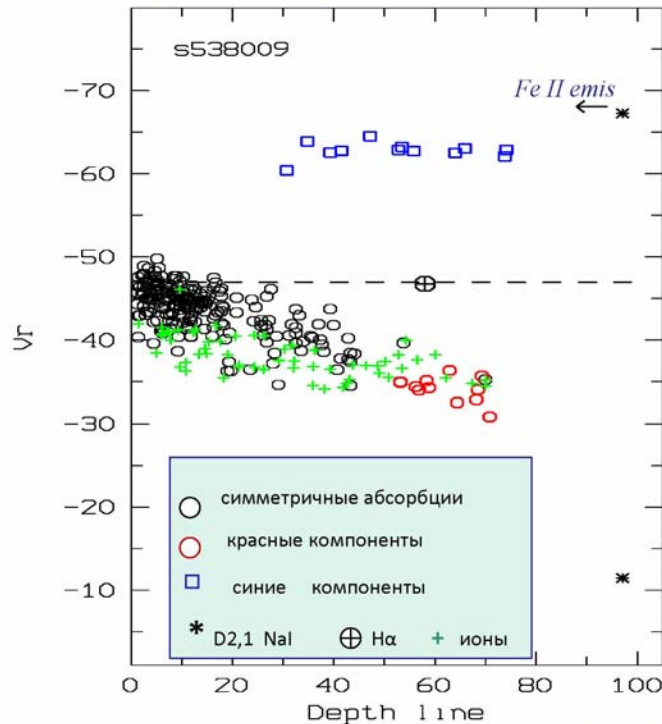


Рис.1. Поле скоростей в одну из дат наблюдений. БТА+НЭС, 12 спектров 2007-2011 г.г. Дублирующая программа

24.04.2012

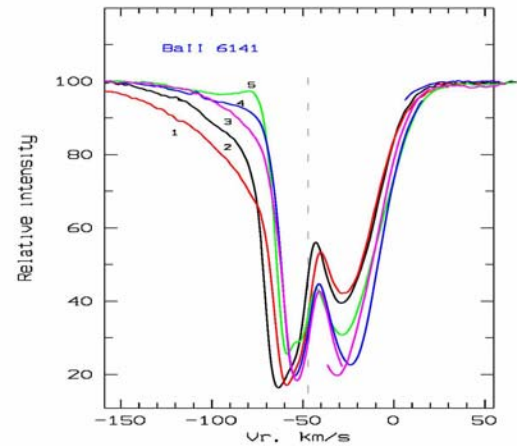


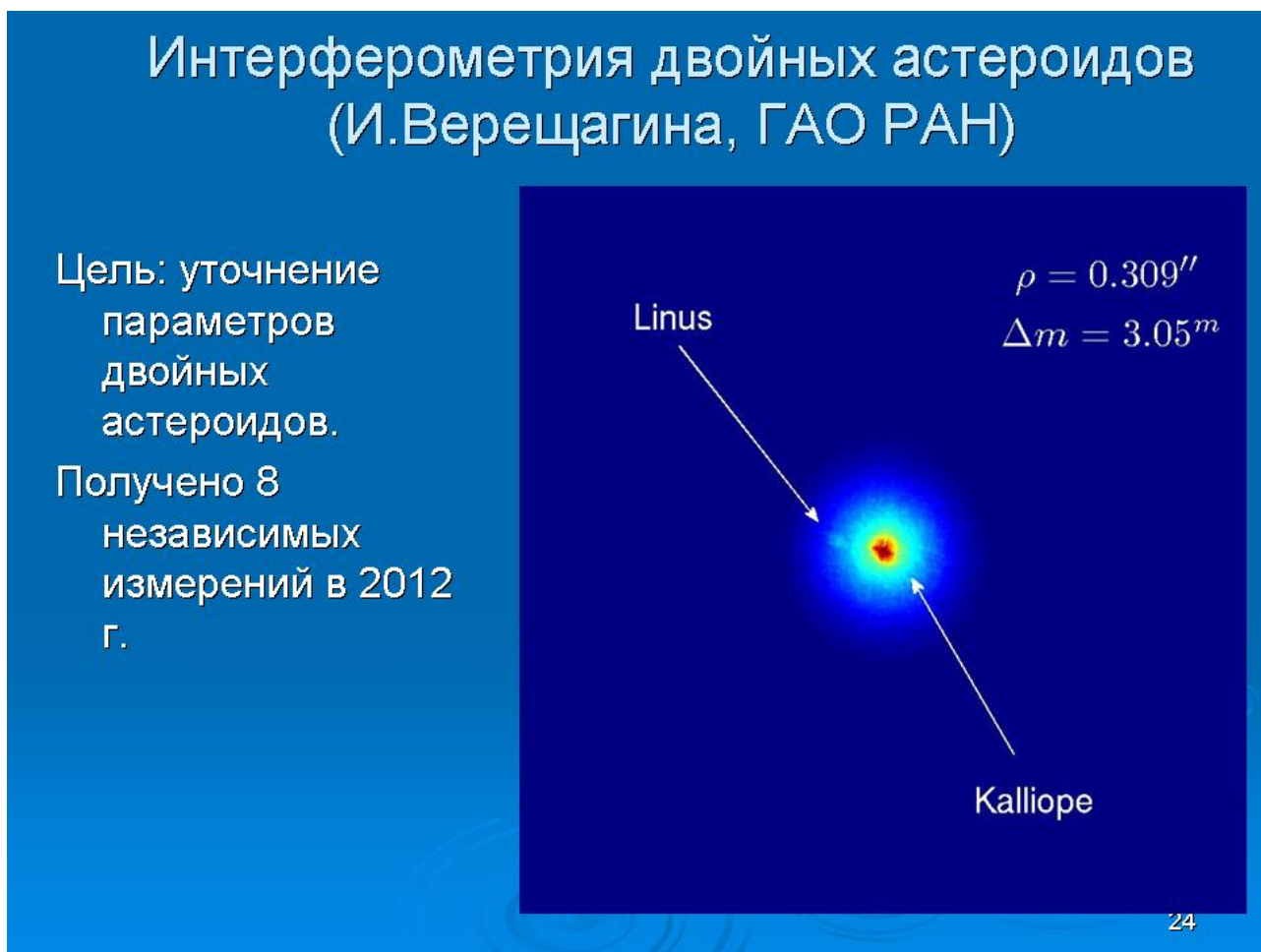
Рис.2. Расщепление и переменность профиля BaII 6141.

Помимо известных ранее малоамплитудных пульсаций, обнаружен градиент  $V_r$  в глубоких слоях атмосферы звезды. Впервые обнаружена переменная во времени стратификация скорости в атмосфере  $\rho$  Cas, проявляющаяся в различии на 3-4 км/с скоростей, измеренных по абсорбциям атомов и ионов.

**Рисунок 10. Результаты спектральных исследований гипергиганта  $\rho$  Cas (заявители – В.Клочкова, Н.Таволжанская (CAO РАН), И.Усенко (АО Одесского ГУ)).**

Исследования гипергиганта  $\rho$  Cas производились с использованием кварцевого спектрометра с большим коллимированным пучком фокуса Нэсмита НЭС на протяжении 2007-2011 гг. Это позволило детально изучить особенности оптического спектра и поля скоростей вещества в атмосфере и околозвездной оболочке звезды. Авторам удалось показать, что лучевая скорость по симметричным абсорбциям металлов меняется с амплитудой около 7 км/сек, что является следствием малоамплитудных пульсаций близфотосферных слоев атмосферы. Авторами в ходе мониторинга впервые обнаружена слабая стратификация скоростей в атмосфере звезды, проявляющаяся в различии на 3-4 км/сек скоростей, измеренных по линиям поглощения нейтральных атомов и ионов.

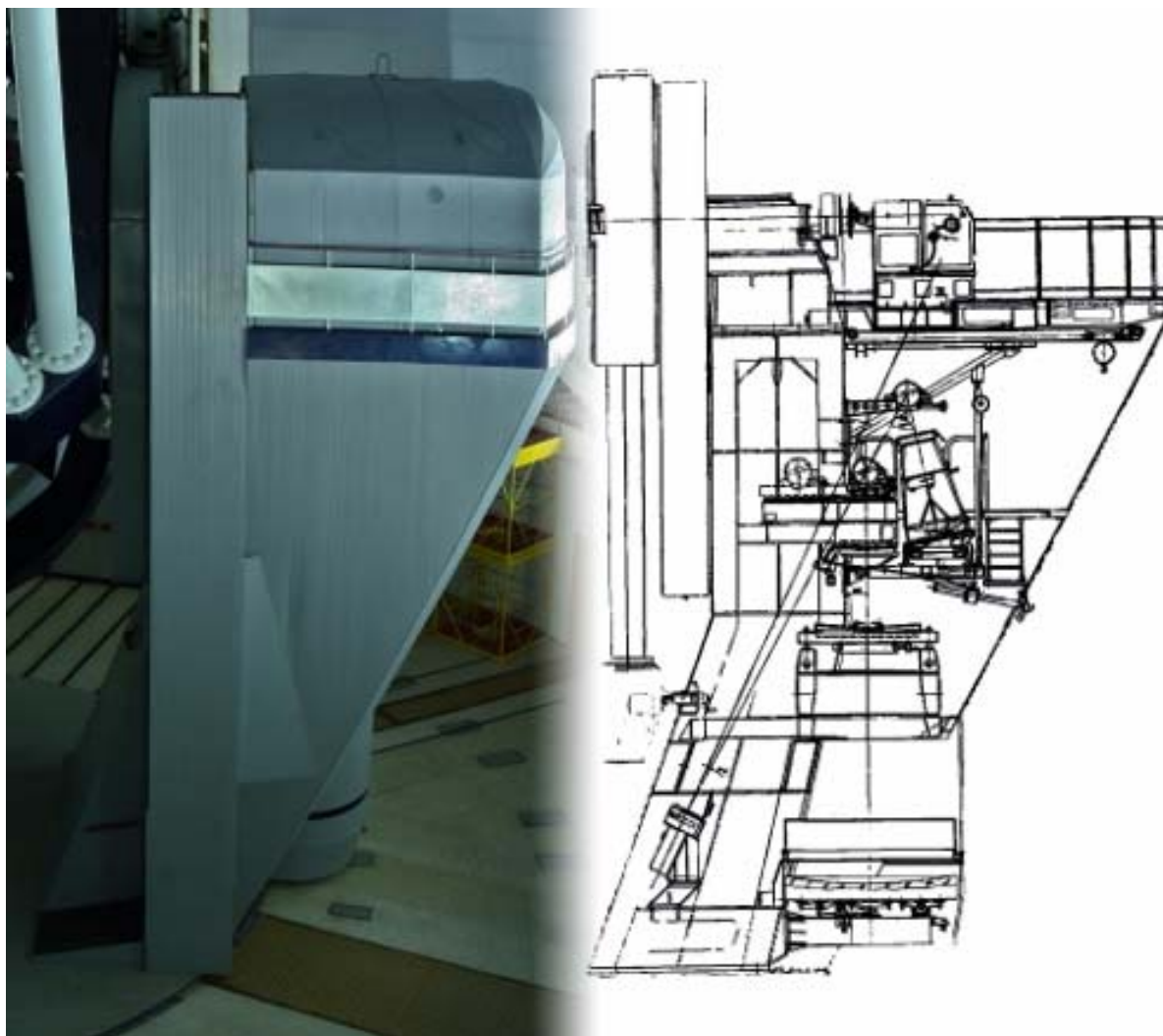
Результаты спекл-интерферометрических исследований на УСУ БТА, позволяющие получить данные с дифракционным разрешением (около 20 миллисекунд дуги), приведены на рисунке 11. Здесь показаны результаты восстановления изображений одного из двойных астероидов – Каллиопе+Линус – из программы И.Верещагиной (ГАО РАН). Всего было получено 8 независимых измерений, позволивших уточнить параметры этой системы.



**Рисунок 11. Результаты интерферометрических наблюдений двойного астероида Каллиопе+Линус на УСУ БТА по заявке И.Верещагиной (ГАО РАН).**

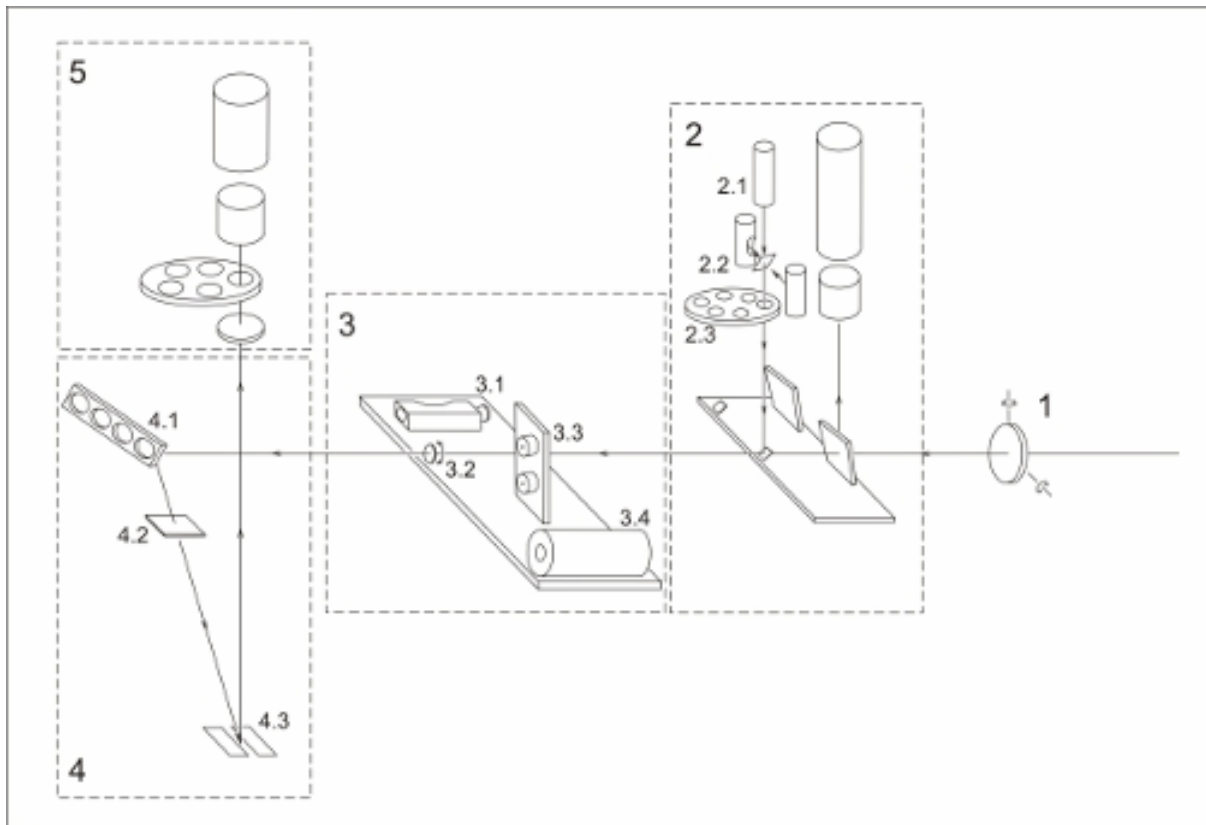
### 3. Ввод в эксплуатацию метода спектроскопии высокого разрешения в режиме удаленного доступа

В ходе выполнения заключительного этапа НИР был осуществлен ввод в эксплуатацию метод спектроскопии высокого разрешения в режиме удаленного доступа. Опыт показал, что выполнение этой работы на существующем Основном звездном спектрографе – ОЗСП – УСУ БТА облегчило доступ к его возможностям, сделало его более оперативным, снизило затраты рабочего времени высококвалифицированного персонала.



**Рисунок 12. Общий вид фокуса Нэсмит-2 и общий ход оптического пучка в спектрографе ОЗСП после завершения работ.**

Рисунок 12 показывает общий наружный вид фокуса Нэсмит-2, в котором установлен ОЗСП, и ход лучей во время проведения наблюдений.



**Рисунок 13. Оптическая конфигурация установленных устройств для обеспечения удаленного режима работ ОЗСП. Цифрами отмечены: 1 — локальный корректор фокуса Н2, 2 — блок калибровочных устройств, 2.1 — галогеновая лампа плоского поля, 2.2 — Th-Ag лампа спектра сравнения, 2.3 — блок сменных диафрагм, 3 — блок предщелевых устройств фокуса Н2, 3.1 — анализатор круговой поляризации, 3.2 — поворотная фазовая пластинка анализатора поляризации новой конструкции, 3.3 — блок фазовых пластинок анализатора поляризации для НЭС, 3.4 — йодная ячейка, 4 — щелевой блок ОЗСП, 4.1 — отклоняющее зеркало на оси Z, 4.2 — сменный порядкоразделительный фильтр, 4.3 — щель спектрографа, 5 — блок устройств подзора щели.**

Проведенные в рамках НИР работы по автоматизации управления оптико-механическими устройствами (ОМУ) и удаленный доступ к наблюдениям спектрографа ОЗСП фокуса Нэсмит-2 включили в себя разработку, изготовление и внедрение в эксплуатацию приборов, устройств, проводных линий связи, устройств контроля, датчиков состояний и положений ОМУ, построения макетных электромеханических и программных блоков, настройка и тестирование всего комплекта оборудования. Основные автоматизированные узлы показаны и обозначены на рисунке 13.



**Таблица 1. Основные параметры оптической схемы ОЗСП.**

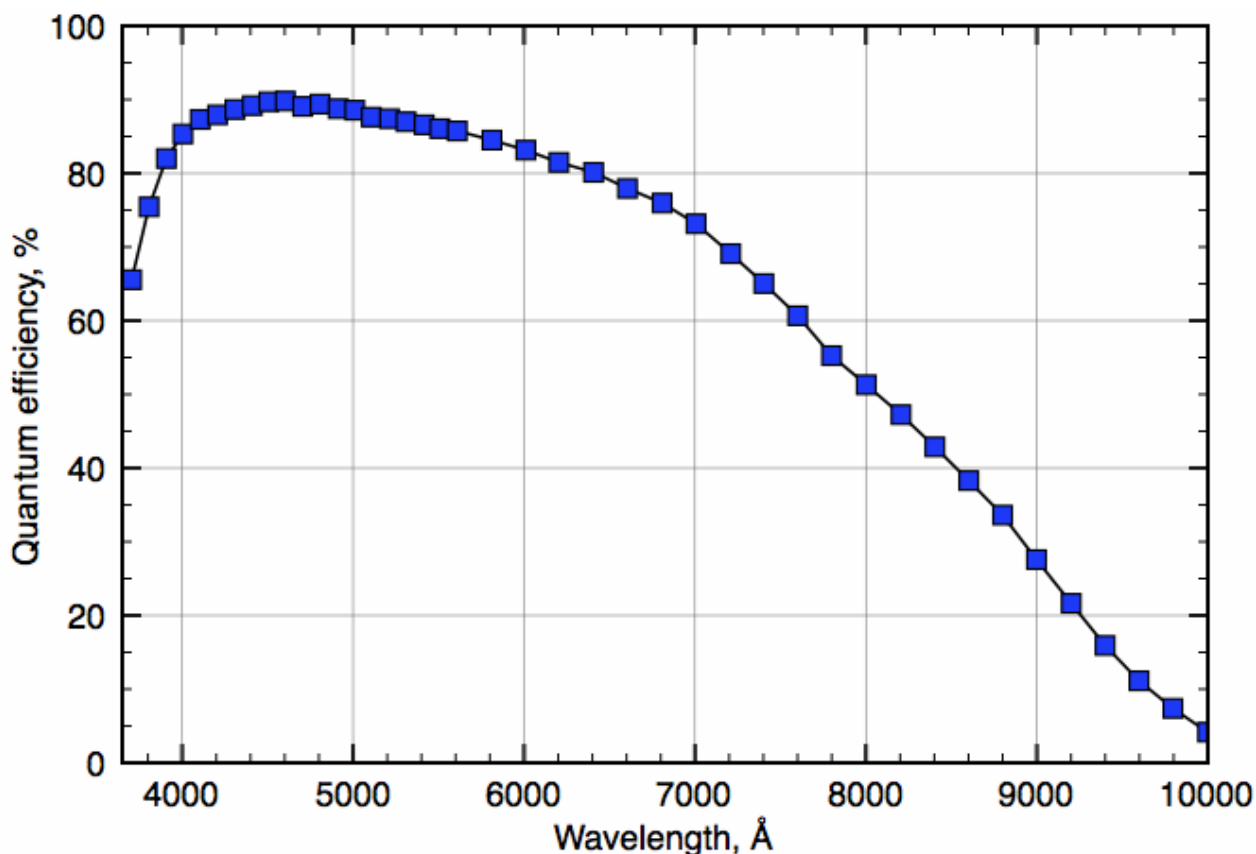
Угол излома пучка к оси Z	65°
Коллиматор	
Фокусное расстояние	7928.7 мм
Световой диаметр	310 мм
Угол наклона оси	3°
Угол между осями коллиматора и камеры	45°
Камера №2	
Фокусное расстояние	604 мм
Диаметр зеркала	700 мм
Диаметр корректора	405 мм
Диаметр плоского зеркала	120 мм

Таблица 1 приводит основные геометрические параметры схемы ОЗСП. В качестве диспергирующего элемента может быть использована одна из трех дифракционных решеток, параметры которых приведены в таблице 2.

**Таблица 2. Параметры дифракционных решеток ОЗСП.**

Угол блеска	8.0°	15.5°	24.7°	24.7°
Рабочий порядок	I	II	II	III
Рекомендуемый диапазон, Å	4300-6500	3100-5600	5600-9000	4000-4900
Средняя обратная дисперсия (Å/мм)	26.1	13.2	13.2	8.8

Камера спектрографа имеет оптическую схему Шмидта с кварцевой коррекционной пластиной. Изначально спектрограф был укомплектован тремя камерами. Длиннофокусная камера №1 из-за ее низкой эффективности и не приспособленности для работы с современными светоприемниками в наблюдениях не используется. Светосильная камера Шмидта (F/1.16) длительное время находится в стадии модернизации и также не используется в наблюдениях. Камера №2 (F/2.3) имеет оптическую схему Шмидта с коррекционной пластиной диаметром 405 мм и световым диаметром 700 мм. С помощью плоского зеркала пучок света выводится из камеры по углом 90° к ее оси и регистрируется на ПЗС-приемнике.



**Рис. 14. Квантовая эффективность ПЗС-матрицы E2V CCD 42-90, используемой в ходе исследований на Основном звездном спектрографе УСУ БТА.**

В ходе проведения этапа НИР в режиме удаленного доступа постоянно использовался новый светоприемник с 2048x4600 элементов. Его квантовая эффективность, определенная в ходе пусковых работ, приведена на рисунке 14. Размер элемента регистрации – 13.5 x 13.5 мкм. Основные фотоэлектрические характеристики отражены в таблице 3.

**Таблица 3. Фотоэлектрические характеристики ПЗС-системы.**

Коэффициент преобразования, e-/ADU	усиление = 1	1.92
	усиление = 4	0.462
Скорость считывания 100 кпикс/с		
Шум считывания, e-	усиление = 1	3.7
	усиление = 4	3.0
Скорость считывания 400 кпикс/с		
Шум считывания, e-	усиление = 1	6.4
	усиление = 4	4.8
Глубина потенциальной ямы, e-		118 000
Динамический диапазон	усиление = 1	32000
	усиление = 4	20000

## **4. Аттестация кроссплатформенной системы управления эшелле-спектрографом на УСУ БТА**

Во время выполнения отчетного этапа НИР в ходе проводимой реконструкции спектрографа с целью увеличения его информативности и обеспечения полной автоматизации наблюдений проведена аттестация кроссплатформенной системы управления.

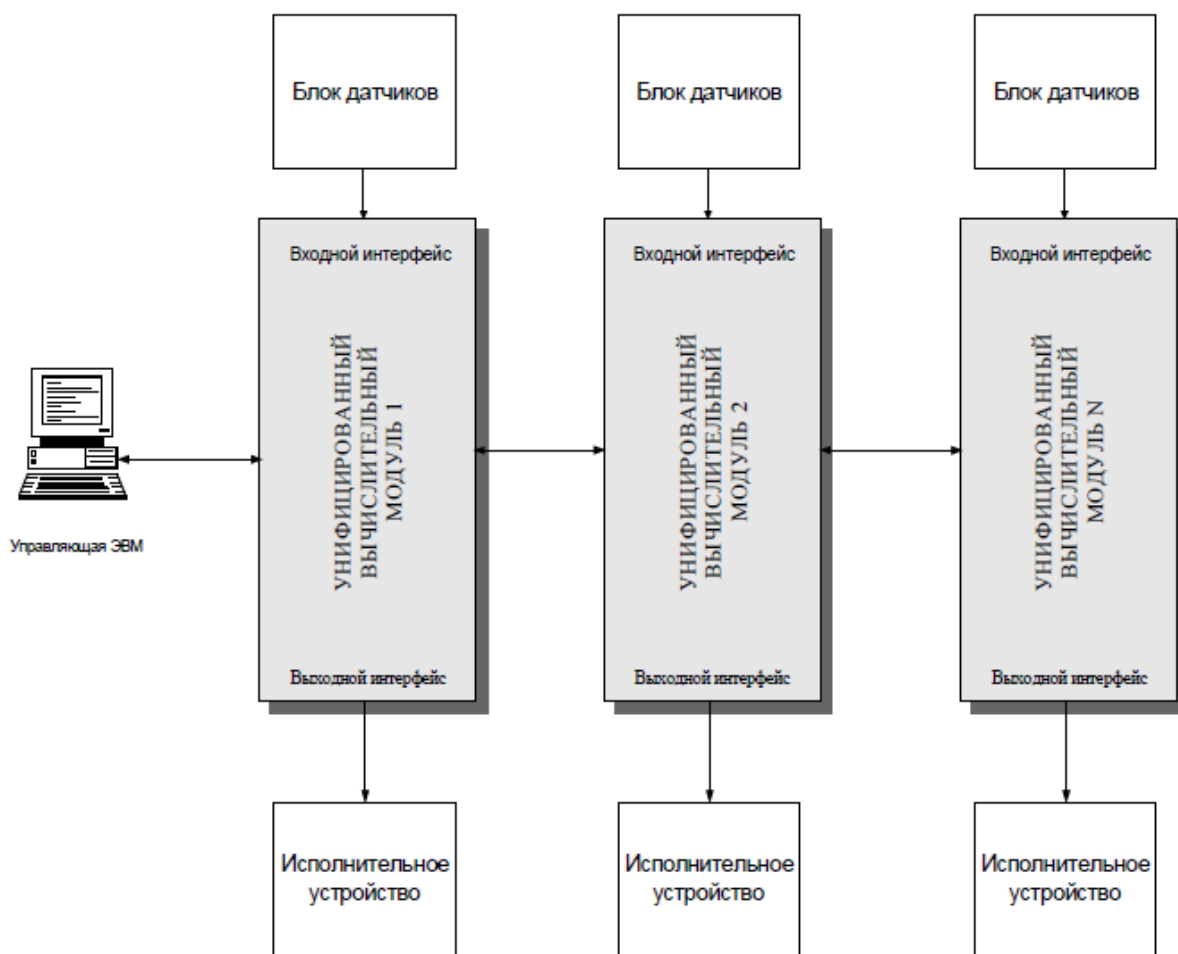
В ходе НИР разработана и создана аппаратная часть кроссплатформенной распределенной системы дистанционного управления спектрографом ПФ БТА на базе микроконтроллера PIC (Programmable Interface controller) фирмы Microchip 18F870/I-SP, с CAN (Controller Area Network) интерфейсом.

Ввиду того, что управление прецизионными астрофизическими экспериментами в настоящее время осуществляется, как правило, от ПЭВМ, для обеспечения их удаленного контроля, прежде всего, была предложена и реализована клиент-серверная архитектура. В состав программной поддержки системы управления при этом входят следующие разработанные вычислительные компоненты:

- драйвер аппаратного вычислительного блока;
- тестовый графический интерфейс;
- драйвер конкретного астроприбора;
- графический интерфейс управления астроприбором;
- сетевой демон;
- сетевой сервер;
- сетевой драйвер.

Драйвер осуществляет непосредственное управление элементами автоматизированной астрономической аппаратуры посредством аппаратно-вычислительного блока (АВБ). Он обеспечивает прозрачный доступ программ к АВБ. Непосредственную, удобную и наглядную работу с каналами и регистрами АВБ, что необходимо для отладки/тестирования аппаратуры, как самого АВБ, так и объектов управления, обеспечивает тестовая графическая панель.

Еще раз отметим, что аппаратной поддержкой системы управления конкретным астроприбором является АВБ. Применение необходимого (для конкретного прибора) количества универсальных вычислительных модулей (УВМ) позволяет создать АВБ, реализующий распределенную многозадачную систему управления (рисунок 15), проблемно-ориентированную на задачу автоматизации конкретного астрономического прибора, используемого в прецизионном астрофизическом эксперименте. В каждой подобной системе предусмотрена возможность адресации необходимого количества подобных модулей.



**Рисунок 15. Схема многозадачной системы управления для кроссплатформенной системы управления.**

Широкий спектр питающих напряжений, потребляемых токов, пуск-стоповых характеристик, и т.д. затрудняет разработку универсальной аппаратной поддержки системы управления спектрографом, и требует индивидуального подхода к автоматизации конкретного астроприбора, а зачастую и конкретного исполнительного устройства. Подобный подход существенно усложняет не только автоматизацию конкретного прибора, но и дальнейшую его эксплуатацию на телескопе, и требует непрерывного участия разработчика. Предложенная нами система позволит унифицировать задачу разработки и создания СУ спектрографами.

Аттестация всех основных узлов кроссплатформенной системы управления подтвердило полную работоспособность системы и эшелле-спектрографа в целом. Достигнутые в ходе НИР точностные характеристики соответствуют всем требованиям технического задания на создание системы управления.

#### 4.1. Аттестация работы системы стабилизации изображений (ССИ)

Испытание ССИ проведено в ходе наблюдений в первичном фокусе УСУ БТА во время ночей, выделяемых не для астрофизических наблюдений, а для испытаний различных приборов, оптики и системы управления. Основной целью испытаний было определение эффективности компенсации ССИ колебаний телескопа на различных частотах, а также эффективности устранения ошибок сопровождения телескопом исследуемого объекта.

Получено несколько серий изображений звезд при работающей и не работающей ССИ на временных интервалах, соответствующих коротким и длинным временам накопления сигнала в спектрографе. Пример эксперимента на временном интервале около 2500 секунд приводим ниже. На рисунке 16 показано смещение центра изображения звезды по одной из координат (измеренной в системе координат на светоприемнике), относительно среднего положения, совпадающего с геометрическим центром щели.

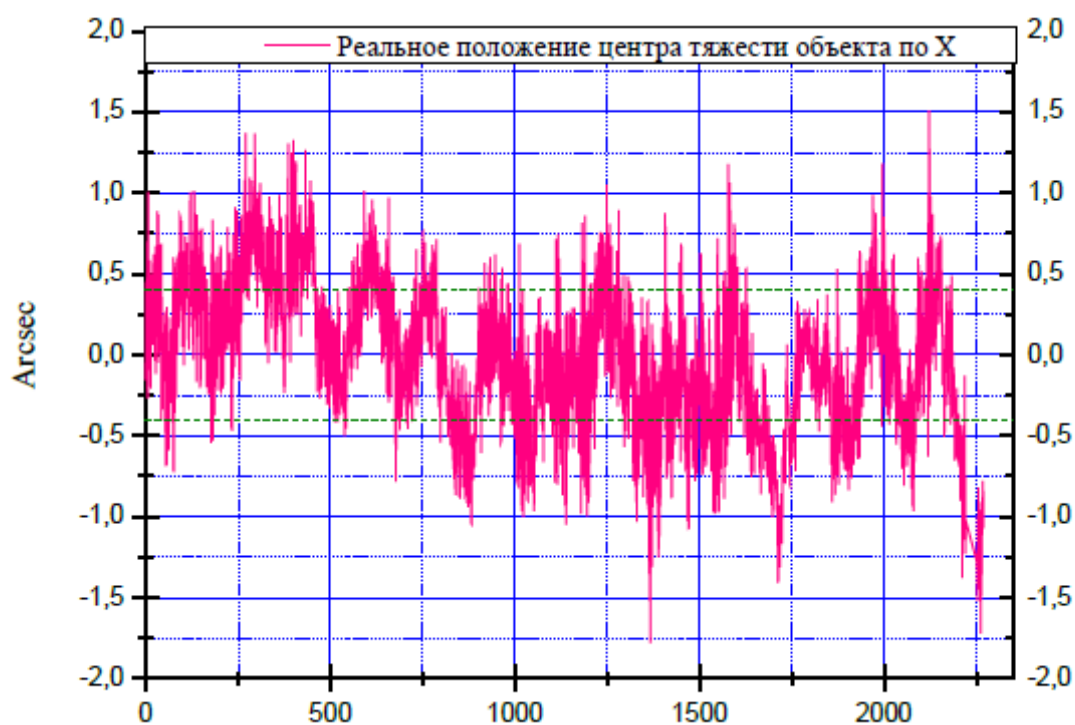
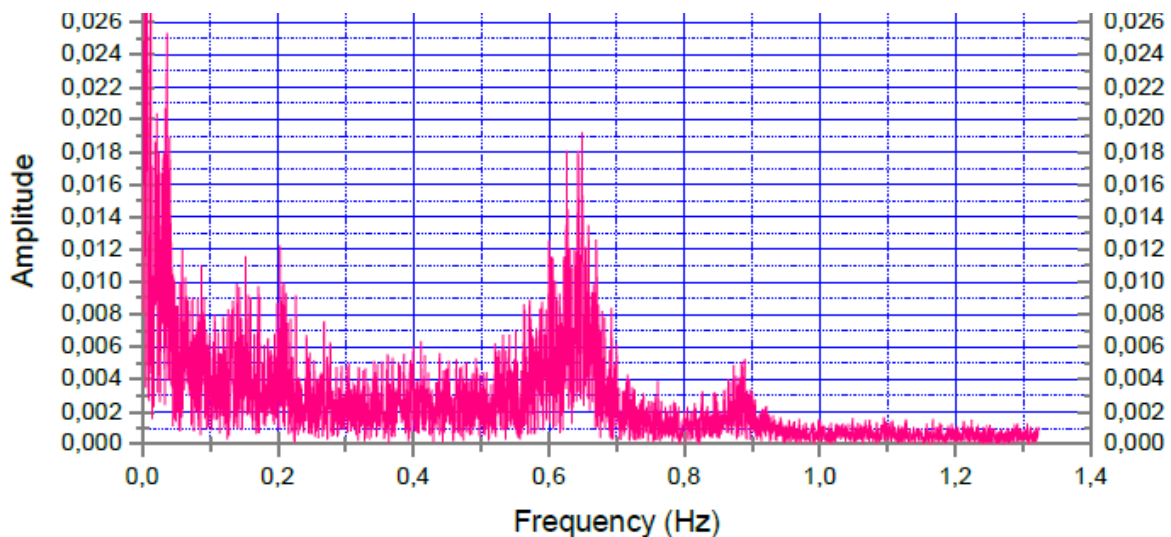


Рисунок 16. Колебания центра тяжести изображения звезды в ходе приемки ССИ на УСУ БТА.

Горизонтальными линиями на графиках показана ширина щели. Видно, что звезда проводит много времени вне щели. Амплитуда колебаний центра звезды относительно среднего положения превышает 1 угл.сек, исследования показали, что среднеквадратичное отклонение составляет 0.43 угл.сек. Это означает, что при спектроскопических наблюдениях центр изображения звезды более 30% от времени экспозиции находится за пределами входной щели спектрографа.

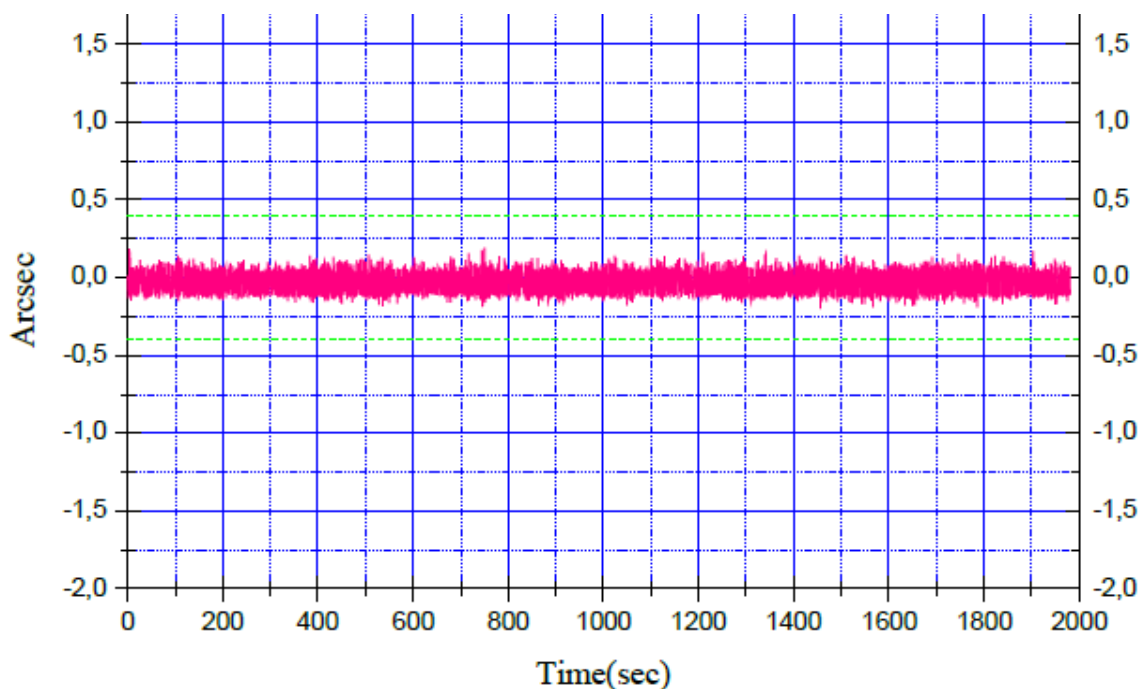
На рисунке 17 представлен полученный спектр мощности колебаний телескопа, рассчитанный по зарегистрированным смещениям центра изображения звезды.



**Рисунок 17. Спектр частот колебаний центра тяжести изображения в фокусе телескопа по X, без ССИ.**

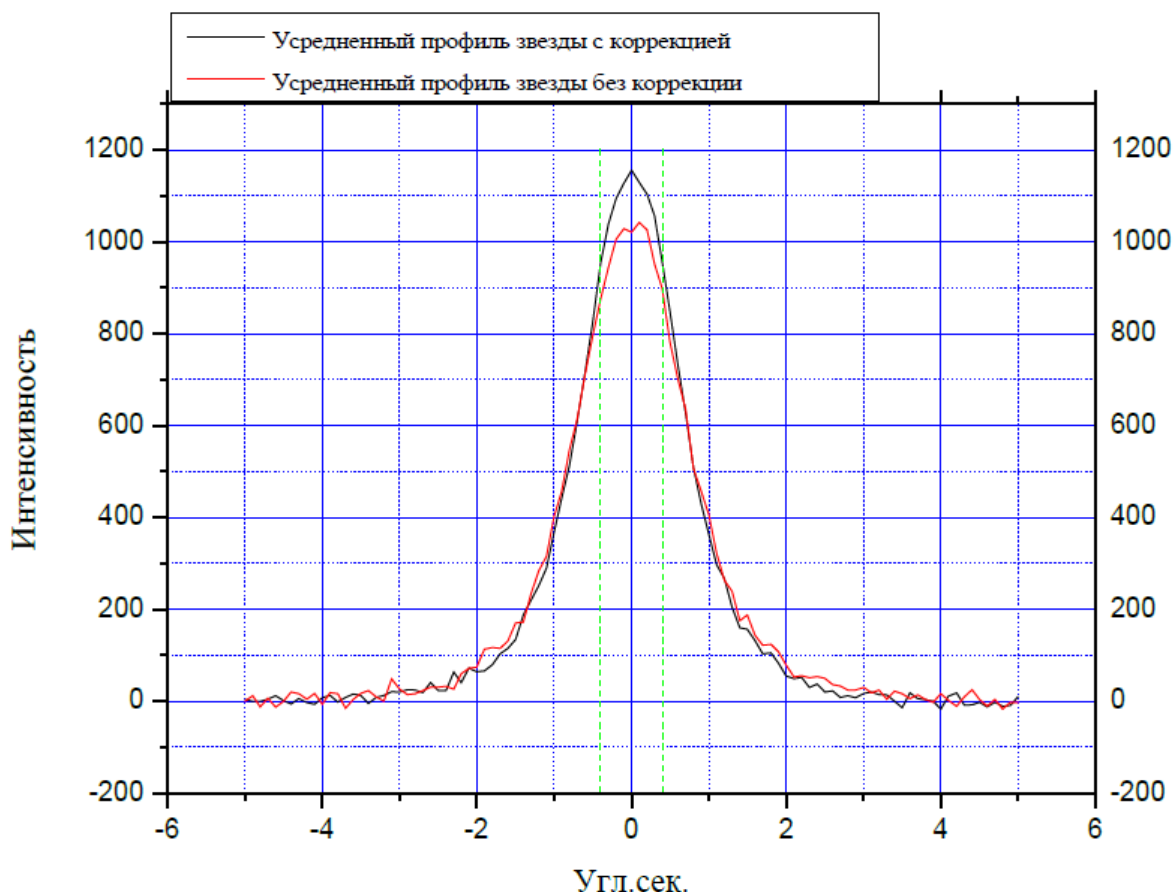
Видно, что колебания телескопа возбуждаются практически на всех частотах, но более отчетливо выделяются частоты 0.65 Гц и 0.85 Гц, которые являются резонансными для конструкции телескопа.

Аналогичная серия изображений звезды получена при функционирующей ССИ. По каждому кадру телевизионного сигнала камеры определялось положение центра звезды, и смещение изображения относительно выбранного среднего положения компенсировалось наклоном пластины корректора. На рисунке 18 приведена запись остаточных колебаний центра изображения звезды



**Рисунок 18. Смещения центра тяжести звезды при включенной ССИ.**

Эффективность работы локального корректора оценивалась как отношение количества лучистой энергии, прошедшей через входную щель спектрографа за время экспозиции, измеренного при работающем и при выключенном корректоре. На рисунке 19 показаны два фотометрических разреза изображения звезды, усредненного по времени экспозиции, зарегистрированного при включенной и выключенной ССИ. Хаотические смещения изображения звезды в фокусе телескопа эквивалентны увеличению размера изображения звезды (ухудшению качества изображения).



**Рисунок 19. Фотометрические разрезы изображения звезды с выключенной и включенной ССИ.**

На представленном рисунке вертикальная шкала профилей нормирована так, что ширины профилей равны на половине их интенсивностей. Для того, чтобы оценить разность ширин на половине интенсивности, следует учесть разность в центральных интенсивностях. Так, при коррекции диаметр усредненного изображения звезды на уровне 50% от центральной интенсивности будет равен 1.9 угл.сек. Без коррекции – 1.6 угл.сек. Качество изображения на единичных кадрах с субсекундными экспозициями («мгновенное» качество изображения) во время проведения испытания ССИ соответствовало примерно 1.5 угл.сек.

Согласно приведенной выше формуле, при выключенной коррекции в среднем за экспозицию в щель спектрополяриметра PFES проходит 28% света относительно интегрального количества излучения, собранного телескопом. При включенной коррекции – 37%. Отсюда следует вывод, что при работающем локальном корректоре в щель спектрографа проходит примерно в 1.3 раза больше света. Поэтому эффективность работы ССИ равна 30% при качестве изображения около 1.5 угл.сек. При более хороших погодных условиях эффективность ССИ будет выше. При более низком качестве изображений эффективность работы (как ССИ, так и системы телескоп-спектрограф в целом) будет ниже.

Следующим этапом оценки эффективности является определение доли времени, распределяемого на работу телескопа со спектрографами, оснащенными ССИ. К настоящему времени это 4 спектрографа, используемые для спектроскопии звезд с высоким разрешением. Доля времени, выделяемая для этих наблюдений, составляет от 30 до 40%. Итак, если бы все спектрографы БТА были оснащены аналогичными ССИ, то эффективность БТА за счет применения ССИ возросла бы на 20-30%, сегодня эта эффективность около 10%. Приходим к выводу, что даже только для БТА развитие ССИ целесообразно.

Оценим теперь, чему эквивалентна такая незначительная, на первый взгляд, величина выигрыша на 20-30%. Площадь главного зеркала, с учетом 9-процентного центрального экранирования, составляет 25.7м<sup>2</sup>. Если работает ССИ, то для спектрографа, в щель которого входит только 37% света, собранного в 1.5-секундном изображении звезды, работа 6-метрового телескопа эквивалентна работе 3.6-метрового телескопа без потерь на входной щели. Без ССИ работа 6-метрового телескопа эквивалентна работе только 3.1-метрового телескопа (в обоих случаях принята величина 9-процентного экранирования главного зеркала кабиной первичного фокуса). Эти оценки позволяют выстроить систему приоритетов в повышении эффективности спектроскопии на 6-метровом телескопе: а) в первую очередь необходимо снижать потери на входной щели спектрографа путем применения резателей изображения, б) во вторую очередь, необходимо применять ССИ, компенсирующую колебания телескопа.



## 5. Ввод в эксплуатацию автоматизированной системы управления телескопом Цейсс-1000

В ходе выполнения этапа НИР была введена в эксплуатацию автоматизированная система управления телескопом (СУТ) Цейсс-1000. На следующих рисунках последовательно изображены узлы реализованной системы управления.

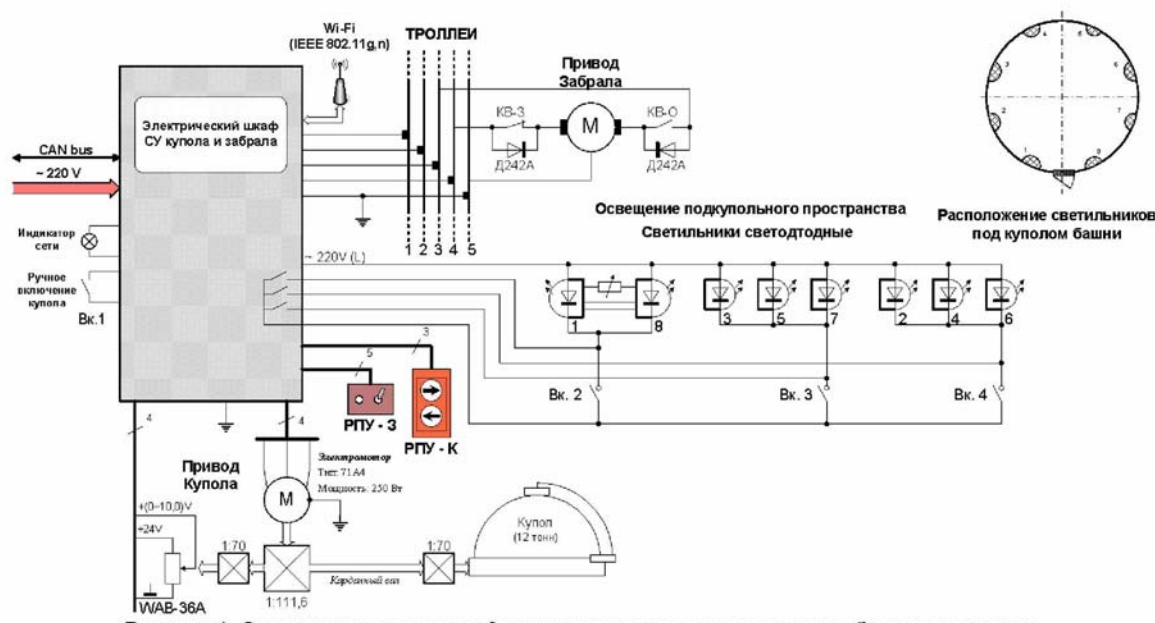


Рисунок 20. Структурная схема реализованной подсистемы управления куполом и забралом телескопа, освещением башни.

Так, на рисунке 20 приведена обобщенная структурная схема подсистемы управления движением купола телескопа, процесса открывания забрала башни и включения освещения подкупольного пространства.

На двух следующих рисунках показаны узлы системы управления – новый мотор-редуктор для движения купола телескопа (рисунок 21), оснащенный цифровым интерфейсом управления по CAN шине, электродвигатели, редуктор и кабельные коммуникации узла движения телескопа по часовому углу (рисунок 22).



Рисунок 21. Внешний вид нового мотор-редуктора управления работой купола.

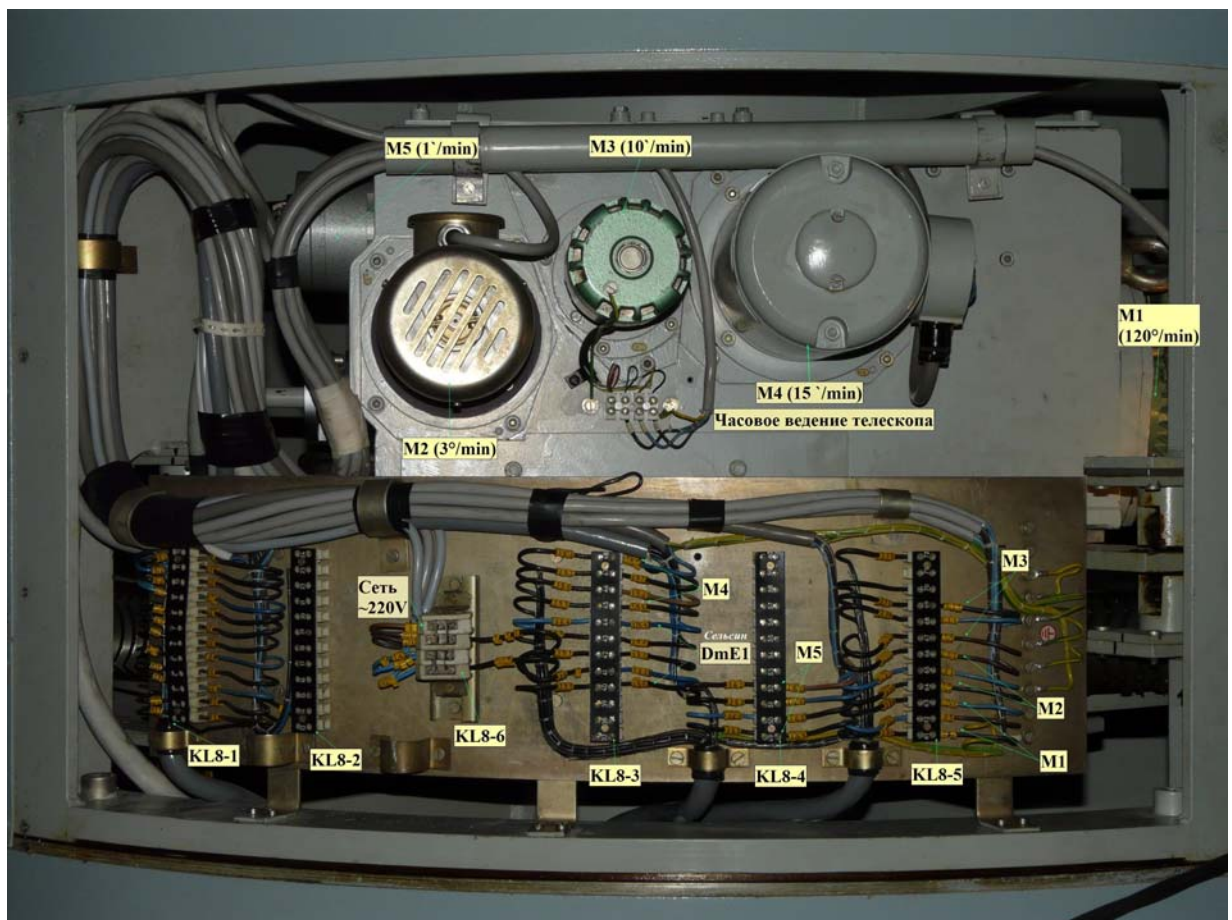
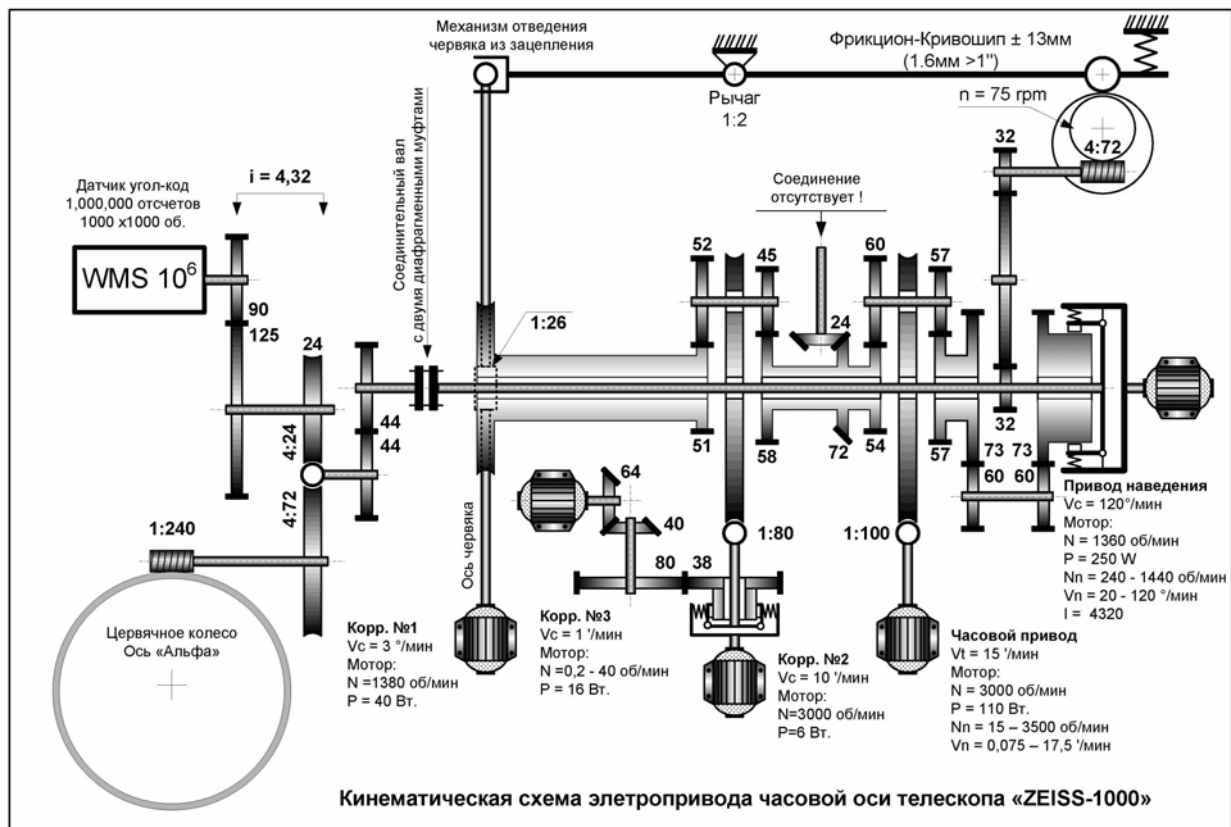


Рисунок 22. Внешний вид нового узла движения телескопа по оси часового ведения.



**Рисунок 23. Кинематическая схема электропривода оси часового ведения телескопа.**

На рисунке 23 показана кинематическая схема электропривода оси прямого восхождения, на которой также указаны параметры примененных двигателей и реализуемые ими скорости работы.

Текущая эксплуатация не выявила изменений в характеристиках всего тракта и их прохождение можно считать удовлетворительным. Зафиксированные погрешности всего тракта в режиме позиционирования составляют величину, не превышающую значений  $\pm 0,5$  градуса или  $\pm 4$  см дуги у основания купола.

В настоящее время на мировом рынке электроники имеется очень обширный выбор абсолютных многооборотных энкодеров. Несмотря такой большой ассортимент предлагаемых моделей и технологий изготовления, подбор нужного преобразователя с оптимальным сочетанием предъявляемых требований, представляет собой непростую инженерную задачу. Сложность выбора заключается в том, что в стремлении реализовать свою продукцию производители не раскрывают такие важные сведения об изделиях, как их метрологические зависимости, конструктивные особенности, способы программирования интерфейсов, долговременные эксплуатационные характеристики, особенности применения в условиях высокогорья и т.п.

В результате проведенных исследований рынка требуемых типов энкодеров, был

сделан выбор в пользу фирмы POSITAL GmbH (Германия). Производимые этой фирмой энкодеры в первом приближении соответствуют предъявляемым с нашей стороны требованиям, но в открытой документации отсутствуют некоторые важные сведения, касающиеся программирования и точности преобразования. По результатам испытаний закупленных энкодеров принято решение о дальнейшей их установке на оси телескопа.

#### **Таблица 4. Основные технические характеристики телескопа, купола и забрала с новой системой управления**

##### **Купол и забрало**

<b>Название параметра</b>	<b>Значение</b>
Угол поворота купола (градус)	360
Фактическое (заданное) время одного оборота купола (мин)	6,0
Синхронизация купола с оптической осью телескопа (градус)	$< \pm 1$
Ошибка измерения текущей позиции купола (градус)	$< 0,5$
Режимы управления приводом купола:	
• Ручной: с мобильных устройств и кнопок ручного пульта	+
• Через интерфейс АСУТ по командам оператора	+
• Через АСУТ (автосинхронизация)	+
Темп разгона/торможения при ручном управлении (град/сек <sup>2</sup> )	0,23
Установившаяся скорость при ручном управлении (град/мин) [град/сек]	59,90 [1,0]
<b>Передаточные отношения и редукторы привода купола:</b>	
Общее передаточное отношение привода купола (Ik)	7812
Передаточное отношение мотор-редуктора (Imr)	111,6
К.П.Д. Редуктора %	~96
<b>Тип редуктора:</b>	Зубчатый, конический, 2-х ступенчатый
Наличие ворота ручного привода	Нет
Передаточное отношение зацепления на кольце купола (Ikk) <sup>1</sup>	70
<b>Тип электродвигателя</b>	асинхронный, переменного тока
Номинальная скорость вращения [паспорт] (об/мин)	1400
Номинальное напряжение [паспорт] (В)	~ 220/380
Номинальный ток [паспорт] (А)	1,4
Номинальная мощность [паспорт] (Вт)	250
Расчетная (механическая) мощность электропривода купола (Вт)	106

Название параметра	Значение
Фактическая (заданная) скорость двигателя в приводе (об/мин)	1300
Фактическое напряжение на двигателе (В)	~ 220
Максимально-реализуемая скорость двигателя в приводе	2000
Минимальное (реализуемое) время одного оборота купола (мин)	3
<b>Привод забрала:</b>	
Напряжение питания (В)	34
Максимальный рабочий ток двигателя (А)	1,5
Средняя мощность электропривода при откр/закр. Забрала (Вт)	38
Отключение привода после исполнения команды конечным выключателям	Конц. выключ

### Технические характеристики телескопа

Максимальная скорость наведения по обоим осям для 1-й скорости ( <b>°/min</b> )	120
Минимальная скорость наведения по обоим осям для 1-й скорости ( <b>°/min</b> )	11,3
Максимальная скорость коррекции для обеих осей ( <b>°/min</b> )	3,5
Минимальная скорость коррекции для обеих осей ( <b>arcsec/sec</b> )	0,1
Выбор скоростей коррекции произвольный, из полного диапазона	
Режимы сопровождения	По гиду, по заданной траектории, по времени
Диапазон скоростей сопровождения ( <b>мин/мин</b> )	От 0 до ±90
Управление	Местное и дистанционное

## **6. Подготовка плана работы УСУ на 2013 год**

В ходе проведения кампании на работы УСУ БТА в первом полугодии 2013 года на 161 выделяемую ночь (184 календарных ночи за вычетом технических ночей для профилактики оборудования и ночей директорского резерва) было подано заявок на 312 ночей – 140 темных, 72 полутемных и 110 светлых. Таким образом, конкурс составил 2.5:1 для темных ночей и 1.9:1 для светлых. Всего было подано 67 заявок, из которых сотрудниками САО РАН было подано 25 заявок, сотрудниками ГАИШ МГУ - 9 заявок, ГАО РАН – 5 заявок. Основную долю составили заявки на многомодовый фокальный редуктор первичного фокуса SCORPIO и спектрографы высокого спектрального разрешения НЭС и ОЗСП.

В ходе обсуждения поданных заявок и по итогам проведенной конференции пользователей Комитетом по тематике больших телескопов было принято решение о выделении наблюдательного времени по 53 заявкам, 14 заявкам в выделении времени было отказано. Протокол выделения наблюдательного времени приведен в Приложении Б. Расписание работы УСУ БТА на первое полугодие 2013 года приведено в Приложении В.

## 7. Обобщение и оценка результатов НИР

Обобщая результаты, изложенные в настоящем Отчете и промежуточных отчетах з 1-3 этапы выполненной НИР, можно сказать, что в ходе ее выполнения в целом удалось выполнить все задачи, поставленные Государственным контрактом.

Так, отчетами продемонстрировано, что в НИР выполнялась с использованием уникального объекта – УСУ БТА – оптического телескопа БТА с диаметром зеркала 6 метров. Проведенные исследования обеспечили получение новых знаний и результатов в области оптической наземной астрономии: большинство полученных результатов имеют оригинальный характер и получены впервые в стране и мире. Это подтверждается и публикациями, выпущенными по результатам этих исследований.

краткие результаты о следующих работах.

Например, в ходе выполнения НИР в рамках программы заявителя А.Моисеева (САО РАН) на приборе SCORPIO были выполнены наблюдения ряда кандидатов из нового каталога галактик с полярными кольцами. Автором было показано, что в большинстве таких галактик газ и звезды во внешних областях вращаются в плоскости, ортогональной к основному диску.

Спектральные исследования линзовидных галактик заявителем О.К.Сильченко (ГАИШ МГУ) на 1-3-м этапах НИР подтвердили ранее полученные данные об усилении водородных линий с удалением от центра галактики, позволили открыть многие интересные закономерности возникновения и эволюции этих галактик, объяснить существующую в них картину распределения вещества, хода звездообразования в них.

Измерения расстояний до далеких скоплений галактик в рамках программы заявителя Р.Буренина (ИКИ РАН) на 1-м и 2-м этапах НИР, выполненные с применением фокального редуктора SCORPIO показали, что основная их часть расположена в интервале значений красных смещений  $z > 0.4$ .

В ходе выполнения заявки Д.Боманса (Германия) на 1-м и 2-м этапах НИР было продолжено исследование явления истечения галактического ионизованного газа из карликовых галактик под действием процессов текущего звездообразования. Для этой цели использовался сканирующий эталон Фабри-Перо, приобретенный в 2009 году за счет средств госконтракта с Минобрнаукой, установленный на фокальном редукторе SCORPIO.

Изучение процесса сброса вещества после взрыва звезды V838 Mon учеными В.Горанским и Е.Барсуковой (САО РАН и ГАИШ МГУ) показало, что его расширяющаяся с 2002 года оболочка уже поглотила второй компонент системы – горячую звезду спектрального класса В. Эти же авторы по данным многолетних исследований с аппаратурой УСУ БТА показали, что для газовой туманности – остатка взрыва 1994 года V4332 Sgr –

потоки в эмиссионных линиях падают очень быстро – почти в 30 раз за последние 8 лет. Совместно с коллегами из США и Германии эти исследователи проводят спектральные исследования сверхмассивных и новых звезд, вспыхивающих в других галактиках (этапы №№1 и 3). Использование оборудования УСУ БТА позволяет первыми в мире получать такие данные.

Результаты спекл-интерферометрических исследований на УСУ БТА, проводимых под руководством Ю.Ю.Балеги, направлены на уточнение фундаментальных параметров молодых голубых звезд методом прямого определения по собственным движениям в парах и группах. При спекл-интерферометрических исследованиях выборки 117 химических пекулярных звезд удалось разрешить на отдельные компоненты 29 систем, для 14 из них это выполнено впервые в мире. Использование этой уникальной методики также позволило уточнить структуру ряда двойных астероидов в нашей Солнечной системе. Спекл-интерферометрический комплекс был существенно модернизирован в рамках НИР, проведенной по Госконтракту с Минобрнаукой №02.518.11.7177 от 2009 года.

На третьем- четвертом этапах на УСУ БТА был продолжен поиск самых далеких объектов во Вселенной. С.Додонов (САО РАН) применил методику предварительного отбора объектов по данным снимков в узких фильтрах, расположенных так, чтобы можно было обнаружить и измерить положение самой мощной эмиссионной линии водорода 1216А. Снимки с пределом до 27.5 зв.величины (менее 1% от яркости фона ночного неба) в 12 фильтрах также получались на УСУ БТА. Для выполнения этой программы использовалась многощелевая мода фокального редуктора SCORPIO, позволяющая одновременно получать до 16 спектров слабых объектов в поле зрения УСУ БТА размером 6 угловых минут. Даже для самых далеких галактик, которые мы видим, когда возраст Вселенной был порядка 1 миллиарда лет, получается хорошее согласие результатов. Отметим, что красные смещения изученных объектов находятся в диапазоне от 5 до 6, а их видимая звездная величина – слабее 25 зв.вел.

Решением проблем возникновения и роста галактик занимается заявитель Е.Чуразов (ИКИ РАН). Его задача – исследование массивных эллиптических галактик в скоплениях, которые демонстрируют наличие рентгеновского излучения. Конечная цель программы – наложение ограничений на сценарии возможного роста центральных галактик в скоплениях со временем. Для решения задачи по данным с УСУ БТА восстанавливается распределение поверхностной плотности звездного населения галактик, а по рентгеновским данным спутника Chandra оценивается вклад нетепловой компоненты. Также эти данные позволят наложить ограничения на отношение массы к светимости для исследуемой галактики и оценить возможный вклад темной материи.



Уже несколько лет на УСУ БТА ведется исследование эффектов звездного ветра в близких карликовых галактиках. Для этого используется фокальный редуктор УСУ БТА в комбинации со сканирующим эталоном Фабри-Перо. Для одной из таких галактик – Holmberg II – по заявке Т.А.Лозинской из ГАИШ МГУ – на УСУ БТА проведены спектральные исследования в линиях однократно ионизованной серы [SII] 6707,6717А.

Результаты проведенных НИР, могут быть использованы для проведения опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, направленных на создание современных высокочувствительных приемных комплексов оптического диапазона, работающих в режиме удаленного доступа. Результаты разработок могут быть использованы на других установках, использующихся как для фундаментальных, так и прикладных целей. Результаты НИР, полученные с использованием УСУ БТА, могут быть востребованы учеными АКЦ ФИАН, ГАО РАН, ГАИШ МГУ, ИКИ РАН, Института астрономии РАН, СПбГУ, КазГУ, ЮФУ.

Мировой уровень проводимых на УСУ БТА научных исследований подтверждается, как приведенными в отчетах по НИР результатами, так и спросом на услуги УСУ БТА, существенно превышающим его возможности. Среди заявителей – также ученые из стран дальнего зарубежья (см., например Приложение А настоящего Отчета).

Успешная реализация научно-технических задач, направленных на обеспечение удаленного доступа к научным комплексам УСУ БТА, позволила обеспечить возможность полностью автоматизированных спектральных исследований на Основном звездном спектрографе с контролем по сети INTERNET, возможность кроссплатформенного управления процессом исследований и эшелле-спектрометром УСУ БТА, возможность проведения астрофизических исследований на телескопе Цейсс-1000 в удаленном режиме (см. пп. 3,4 и 5 настоящего Отчета).

Решение поставленной задачи по осуществлению научно-методического и приборного обеспечения научно-исследовательских работ, проводимых организациями Российской Федерации, подтверждается данными по количеству наблюдательного времени, выделяемого по их заявкам.

## **Приложение А. Оказанные услуги коллективного пользования УСУ БТА.**

Ниже перечислены организации-пользователи УСУ БТА с указанием темы сотрудничества. На данном этапе количество пользователей УСУ составило 6 организаций, по плану на год – должно быть не менее 16 организаций, фактически количество пользователей составило 17 организаций. Список пользователей также приведен в отдельной форме. Ниже указаны и пользователи установки и основные вопросы, которые решались ими на УСУ.

Университет Галуэй (Ирландия) – поиски и исследования слабых пульсаров

Крымская астрофизическая обсерватория (Научный, Украина) – исследование химического состава звезд

Университет штата Алабама (Тускалуза, США) – изучение кинематики ионизованного газа в активных ядрах галактик

Королевский колледж (Кингстон, Канада) – изучение магнитных полей звезд

Лионский университет (Франция) – исследования звезд типа Миры Кита

интерферометрия звезд

Обсерватория Одесского университета (Украина) – исследования двойных звезд

### **Вовлечение в научно-исследовательский процесс студентов, подготовка кадров высшей квалификации**

Ежегодно на базе САО РАН проходят практику более 110 студентов 2-6 курсов Московского, Санкт-Петербургского, Ставропольского, Казанского (Поволжского) и Уральского федеральных университетов, Московского физико-технического института, Южного федерального университета. Проводятся практики четырех типов: ознакомительная, лабораторная, производственная, дипломная.

За отчетный этап на УСУ БТА прошли производственную и дипломную практику студенты Московского государственного и Казанского (Поволжского) федерального университетов.

На отчетном этапе в рамках программы подготовки научных кадров высшей квалификации в аспирантуру САО поступил 1 аспирант по теме исследований, выполняющихся на УСУ БТА.

**Приложение Б. Протокол распределения времени работы УСУ БТА на 1-е полугодие 2013 года.**

01	Андронов	2 п	Sco/LS
02	Киппер	1 с	НЭС
03	Бескин	2 т	МАНИЯ
04	Степанов	4 п	МАНИЯ
06	Shearer	2 т	МАНИЯ
08	Сахибуллин	4 п	Sco/LS
09	Решетников	1т + 1п	Sco/LS, IFP
10	Катышева	1т + 2п	Sco/LS
11	Нацвлишвили	4 т	Sco/SPOL
12	Сильченко	2т + 1п	Sco/LS, IFP
13	Валеев	3 т	Sco/LS
15	Ламзин	2 с	ОЗСП
16	Афанасьев	3т + 1п	Sco/IM, IFP, SPOL
17	Малоголовец	4 с	спекл
19	Клочкова	4 с	НЭС
20	Ченцов	1 п	Sco/LS
21	Верещагина	2 с	спекл
22	Балега	5 с	спекл
23	Randey	2 п	Sco/LS, IM
24	Караченцев	4 п	Sco/IM
25	Черепашук	2т + 2п	Sco/LS
26	Мирошниченко	2п + 1с	НЭС
27	Пахомов	3 с	НЭС
29	Гаген-Торн	2т + 2п	Sco/LS
30	Кардашев	1 т	МАНИЯ
32	Засов	2т + 1п	Sco/LS
34	Романюк	4 с	ОЗСП, НЭС
36	Кудрявцев	4 с	ОЗСП
37	Моисеев	2 т	Sco/LS,
39	Шаповалова	2 п	Sco/SPOL
40	Пустильник	1т + 1п	Sco/LS, IM
42	Лозинская	1т + 2п	Sco/LS, IFP
43	Семенко	3 с	НЭС, ОЗСП
44	Wade	4 с	ОЗСП
45	Соколов	3 т	Sc0/IM резерв
46	Бикмаев	1 т	Sco/LS
48	Иванова	2 с	НЭС
49	Мовсисян	3 п	Sco/IFP
51	Корсун	1т + 1п	Sco/LS, IM
52	Чуразов	2 т	Sco/LS
53	Буренин	3 т	Sco/LS
54	Фабрика	3 т	Sco/LS
55	Keel	1т + 1п	Sco/IFP
56	Панчук	3 с	НЭС
57	Koleva	2т + 1п	Sco/LS
58	Chochol	1т + 1п	Sco/LS
60	Шарина	2 т	Sco/LS
62	Барсукова	1 т	Sco/LS -резерв
63	Додонов	3 т	Sco/MS
64	Воманс	2 п	Sco/IFP
65	Fou	5 с	спекл
66	Полосухина	2 с	НЭС
67	Киселев	3 п	Sco/SPOL

Председатель КТБТ

Ю.Н. Гнедин

Секретарь

И.И. Романюк

Приложение В. Расписание работы УСУ БТА на 1-е полугодие 2013 года.

РАСПИСАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА БТА  
с 1 января по 30 июня 2013 года

Период наблюдений	Программы блока (число ночей)	Институт Заявитель	Фокус Аппаратура	Руководитель наблюдений
01.01–02.01 вт–ср	Резерв директора	(2)		
03.01–07.01 чт–пн	Вспышки красных карликовых звезд (4)	ГАО РАН Степанов	ПФ МАНИЯ	Плохотниченко
	Поляризация блазара 0716+715 (1)	АКЦ ФИАН Кардашев		
08.01–09.01 вт–ср	Резерв директора	(2)		
10.01–12.01 чт–сб	Массивные звезды в других галактиках (3)	САО Валеев	ПФ Scorpio/ LS	Валеев
13.01–15.01 вс–вт	Дисковые галактики ранних типов (2)	ГАИШ Засов	ПФ Scorpio/ LS	Уклеин
	Эволюция карликовых галактик (1)	САО Пустильник		
16.01–17.01 ср–чт	Спектры тесных рентгеновских двойных (2)	ГАИШ Катышева	ПФ Scorpio/ LS	Борисов
18.01–20.01 пт–вс	Истечения из молодых звездных объектов (3)	Бюракан Мовсисян	ПФ Scorpio/ IFP	Буренков
21.01 пн	Резерв директора	(1)		
22.01–23.01 вт–ср	Магнитное поле звезд типа Т Тельца (2)	ГАИШ Ламзин	H2 ОЗСП	Чунтонов
24.01–27.01 чт–вс	Магнитные поля массивных звезд (2)	САО Романюк	H2 ОЗСП	Якунин
	Геометрия магнитных полей CP звезд (2)	Canada Wade		
28.01–29.01 пн–вт	Профилактика БТА	(2)		
30.01–03.02 ср–вс	Параметры активной звезды PZ Моп (2)	ИНАСАН Пахомов	H2 НЭС	Юшкин
	Галактические объекты типа FS CMa (3)	USA Мирошниченко		

04.02 пн	Резерв директора	(1)		
05.02–09.02 вт–сб	Удаленные активные кометы (2)	Киев Корсун	ПФ Scorpio/ LS,SPOI	Афанасьев
	2D-спектрофотометрия сейферт. галактик (3)	САО Афанасьев		
10.02–12.02 вс–вт	Спектроскопия выборки далеких объектов (3)	САО Додонов	ПФ Scorpio/ MS	Додонов
13.02–20.02 ср–ср	Карликовые галактики в облаке CVnI (3)	САО Караченцев	ПФ Scorpio/ LS,IM	Кайсин
	Взаимодействие в галактиках (2)	СПбУ Гаген-Торн		
	Эволюция карликовых галактик (1)	САО Пустильник		
	Спектры карликовых новых (2)	Slovakia Chochol		
21.02–25.02 чт–пн	Кратность молодых звезд малых масс (3)	САО Балега	ПФ	Растегаев
	Интерферометрия двойных астероидов(2)	ГАО РАН Верещагина		
26.02–27.02 вт–ср	Профилактика БТА	(2)		
28.02–03.03 чт–вс	Параметры активной звезды PZ Mon (1)	ИНАСАН Пахомов	H2 HЭС	Юшкин
	Кандидаты в прото-планетарные туманности (2)	САО Клочкова		
	Эмиссии в спектрах мирид (1)	САО Панчук		
04.03 пн	Резерв директора	(1)		
05.03–08.03 вт–пт	Галактики с изогнутыми дисками (2)	СПбУ Решетников	ПФ Scorpio/ LS,IFP	Моисеев
	Сверхновые и звездный ветер в галактиках (1)	ГАИШ Лозинская		
09.03–11.03 сб–пн	Кинематика дисков и ядерные образования(4)	ГАИШ Черепашук	ПФ Scorpio/ LS	Додонов

12.03–14.03 вт–чт	Ультраяркие рентген. источники (3)	САО Фабрика	ПФ Scorpio/ LS	Валеев
15.03–18.03	Кольца звездообраз в линзовид. галактиках(3)	ГАИИШ Сильченко	ПФ Scorpio/ LS	Макаров
	Звезды в голубых ком- пактных галактиках (1)	Belgium Koleva		
19.03–20.03	Спектры аккрецирующих двойных систем (2)	Одесса Андронов	ПФ Scorpio/ LS	Борисов
21.03–24.03 чт–вс	Новые магнитные звезды (4)	САО Кудрявцев	H2 ОЗСП	Кудрявцев
25.03–26.03 пн–вт	Профилактика БТА	(2)		
27.03–30.03 ср–сб	Магнитные поля массивных звезд (2)	САО Романюк	H2 ОЗСП	Семенко
	Геометрия магнитных полей СР-звезд (2)	Canada Wade		
31.03–02.04 вс–вт	Резерв директора	(3)		
03.04–08.04 ср–пн	Вспышки и истечения из карлик. галактик (2)	Germany Bomans	ПФ Scorpio/ LS	Моисеев
	Эмиссии вокруг локальных AGN (2)	USA Keel		
	Уникальные кольцевые галактики (2)	САО Моисеев		
09.04 вт	Резерв директора	(1)		
10.04–15.04 ср–пн	Космология с карлик. галактиками (2)	САО Шарина	ПФ Scorpio/ LS	Фатхуллин
	Звезды в голубых ком- пактных галактиках (1)	Belgium Koleva		
	Мониторинг Сверхновых и исслед.их галактик (1)	India Pandey		
	Кинематика эллиптич. галактик (2)	ИКИ РАН Чуразов		
16.04–19.04 вт–пт	Взаимодействие компонент в ТДС (4)	Казань ГУ Сахибуллин	ПФ Scorpio/ LS	Борисов

20.04–21.04 сб–вс	Кандидаты в прото- планетарные туманности (2)	САО Клочкова	H2 HЭС	Юшкин
22.04–24.04 пн–ср	Избранные магнитные звезды (3)	САО Семенко	H2 HЭС	Семенко
25.04–26.04 чт–пт	Профилактика БТА	(2)		
27.04–01.05 сб–ср	Интерферометрия и спектры мирид (5)	France Fouy	ПФ спекл	Дьяченко
02.05 чт	Резерв директора	(1)		
03.05–05.05 пт–вс	Спектры тесных рент- геновских двойных (1)	ГАИШ Катышева	ПФ Scorpio/ LS,IM	Борисов
	Карликовые галактики в облаке CVnI (1)	САО Караченцев		
	Мониторинг Сверхновых и исслед. их галактик(1)	India Pandey		
06.05–09.05 пн–чт	Красное смещение скоплений галактик(3)	ИКИ РАН Буренин	ПФ Scorpio/ LS	Додонов
	Массивные скопления галактик (1)	КазаньГУ Бикмаев		
10.05 пт	Резерв директора	(1)		
11.05–14.05 сб–вт	Магнитные поля в AGN (4)	ГАО РАН Нацвлишвили	ПФ Scorpio/ SPOl	Габдеев
15.05–18.05	Спектрополяриметрия комет (3)	Киев Киселев	ПФ Scorpio/ SPOl	Афанасьев
	2D-спектрофотометрия сейферт. галактик (1)	САО Афанасьев		
19.05 вс	Резерв директора	(1)		
20.05–23.05 пн–чт	Литий в магнитных CP-звездах (2)	КраО Полосухина	H2 HЭС	Кудрявцев
	Спектроскопия звезд типа delta Sct (2)	КазаньГУ Иванова		
24.05–25.05 пт–сб	Профилактика БТА	(2)		
26.05 вс	Резерв директора	(1)		
27.05–29.05 пн–ср	Звезды с гелиевыми вспышками (1)	Тарту Киппер	H2 HЭС	Юшкин
	Эмиссии в спектрах мирид (2)	САО Панчук		

30.05 чт	Ассоциации Cyg OB2 и Ser OB1 (1)	САО Ченцов	ПФ Scorpio/ LS	Габдеев
31.05 пт	Резерв директора	(1)		
01.06–06.06 сб–чт	Сверхновые и звездный ветер в галактиках (2)	ГАИШ Лозинская	ПФ Scorpio/ IFP,LS	Буренков
	Дисковые галактики ранних типов (1)	ГАИШ Засов		
	Взаимодействие в галактиках (2)	СПбУ Гаген-Торн		
	Звезды в голубых ком- пактных галактиках (1)	Belgium Koleva		
07.06 пт	Резерв директора	(1)		
08.06–11.06 сб–вт	Микросекундные спектры пульсаров (2)	САО Бескин	ПФ МАНИЯ	Карпов
	Поиски оптических пульсаров (2)	Ireland Shearer		
12.06–14.06 ср–пт	Резерв директора	(3)		
15.06–16.06 сб–вс	Спектрополяриметрия AGN (2)	САО Шаповалова	ПФ Scorpio/ SPOL	Буренков
17.06 пн	Резерв директора	(1)		
18.06–19.06 вт–ср	Профилактика БТА	(2)		
20.06–25.06 чт–вт	Фундамент. параметры кратных систем (4)	САО Малоголовец	ПФ спекл	Малоголовец
	Кратность молодых звезд малых масс (2)	САО Балега		
26.06–30.06 ср–вс	Резерв директора	(5)		
* 4 ночи из	резерва выделяются	для	программы	Соколова
* 1 ночь из	резерва выделяется	для	программы	Барсуковой



Условные обозначения

Фазы Луны    ПФ, Н1, Н2: фокусы БТА -первичный, Нэсмит-1,-2.

Новолуния:

11.01            ОЗСП - основной звездный спектрограф в Н2  
10.02            NES - эшелле-спектрометр высокого разрешения в Н2  
12.03            спекл - цифровой спекл-интерферометр в ПФ  
10.04            МАНИЯ - комплекс регистрации в Н2, ПФ  
10.05  
08.06

                  SCORPIO -многомодовый спектрограф в ПФ

Полнолуния: моды: IM -прямые снимки

MS - многощелевая спектроскопия

26.01            IFP - интерферометрия с эталоном Фабри-Перо

25.02            LS - спектроскопия с длинной щелью

26.03            SPOL - спектрополяриметрия

25.04

24.05

22.06

Средняя местная полночь в 1 час 14 мин по московскому летнему времени

Директор CAO

чл-корр РАН

Ю.Ю. Балег

ноября 2012 г

## **Заключение.**

Принимая во внимание приведенные выше материалы и результаты работы УСУ БТА в ходе проведения четвертого этапа НИР, приходим к выводу, что в целом задачи, поставленные Заказчиком перед Исполнителем, выполнены.

В настоящем отчете приведен ряд научных результатов, полученных с использованием оборудования УСУ БТА по исследованию физики звезд и галактик во первом полугодии 2012 года. Среди них – результаты поисков далеких галактик, итоги изучения неправильных карликовых галактик, исследования крупных эллиптических и линзовидных галактик, поиск следов взаимодействия у ряда сейфертовских галактик, изучение явления вспышек новых звезд в нашей и других галактиках, данные о параметрах двойных астероидов нашей Солнечной системы и др.

В части Технического задания, направленного на техническое перевооружение комплекса БТА была начата эксплуатация созданных узлов систем удаленного доступа телескопа Цейсс-1000, Основного звездного спектрографа, кроссплатформенной системы управления эшелле-спектрометром первичного фокуса УСУ БТА.

Все технические решения, использованные в этих работах, базируются на современной элементной базе и с применением высокопроизводительных вычислительных средств.

Технические решения в части внедрения приемников регистрации излучения и создания аппаратуры удаленного управления могут быть рекомендованы для применения на аналогичных астрономических телескопах, применяемых в фундаментальной и прикладной науке.

Достигнутый научно-технический уровень работ сопоставим с мировым уровнем, что подтверждается растущими запросами зарубежных ученых по использованию оборудования УСУ.

В отчете предоставлен перечень услуг коллективного пользования, оказанных в ходе выполнения второго этапа НИР.