

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Специальная астрофизическая обсерватория

Российской академии наук

УДК 520; 523.3; 523.9; 524

№



УТВЕРЖДАЮ

Вр.и.о.директора САО РАН

член-корр. РАН Ю.Ю.Балега

«02» июня 2015 г.

ОТЧЕТ

о прикладных научных исследованиях

«Развитие инструментальных средств крупнейшего российского оптического телескопа - Большого телескопа азимутального (УНУ БТА) для обеспечения наземных астрофизических исследований»

Шифр «2014-14-592-0002»

(промежуточный)

Этап 2: «Второй этап реализации Программы развития УНУ БТА».

(Соглашение № 14.619.21.0004 от 22 августа 2014 г.)

Руководитель работ,

заместитель директора САО РАН

В.В.Власюк

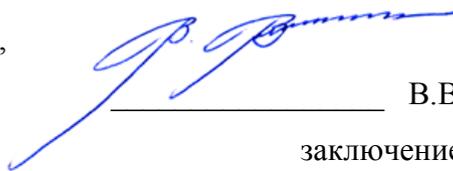
Нижний Архыз

2015

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,

к.ф.-м.н.



В.В. Власюк (введение, разделы 1,4,5,
заключение)

Исполнители темы

г.н.с, д.ф-м.н.



В.Л. Афанасьев (разделы 1,2)

г.н.с, д.ф-м.н.



В.Е. Панчук (разделы 1,3)

ст.н.с, к.ф-м.н.



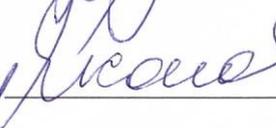
Н.В. Борисов (разделы 1,2)

с.н.с, к.ф-м.н.



Г.Г. Валявин (разделы 1,3)

ст.н.с., к.т.н.



Г.В.Якопов (разделы 1,3,6)

ст.н.с., к.ф.-м.н.



А.Ф.Максимов (раздел 1)

аспирант



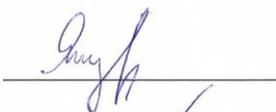
М.М. Габдеев (раздел 1)

аспирант



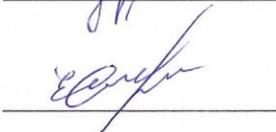
А.С. Винокуров (раздел 1)

м.н.с.



И.А. Якунин (раздел 1)

к.ф.-м.н.



Е.А. Семенко (разделы 1,3)

к.ф.-м.н.



Д.А. Растегаев (раздел 1)

к.т.н.



Э.В. Емельянов (раздел 1)

к.ф.-м.н.



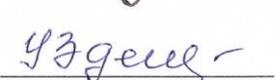
А. С. Москвитин (раздел 1)

д.ф.-м.н.



А.В.Моисеев (разделы 1,2)

нормоконтролер



Ш.А.Узденова

Реферат

Отчет 68 с., 25 рис., 4 прил.

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

Цель настоящей работы — 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 УНУ БТА.

В рамках проведения второго этапа ПНИ проведены плановые наблюдения на УНУ БТА, обеспечены условия для проведения на УНУ БТА сторонними организациями, проведены мероприятия по развитию УНУ БТА в части повышения эффективности спектральных наблюдений.

По результатам исследований подготовлены научные статьи.

В ходе ПНИ продолжены работы по реализации Программы развития УНУ БТА на 2014-2015 годы в части повышения эффективности универсального спектрографа низкого разрешения SCORPIO-II, разработки и изготовление узлов высокоточного эшелле-спектрографа с оптоволоконным входом.

В ходе ПНИ начато изготовление криостата и электроники системы регистрации, проведено исследование параметров ИПС, изготовлены ахроматические клинья и оправы, проведена склейка и сборка двулучевой поляризационной призмы Волластона, введен в наблюдения на УНУ БТА в составе прибора SCORPIO-2 настраиваемый фильтр на основе эталона Фабри-Перо.

В ходе работ проведено дооснащение объекта научной инфраструктуры необходимыми материалами и оборудованием, начат проект ремонта оптоволоконной линии связи УНУ БТА – ННП САО РАН, продолжены поисковые работы в целях модернизации систем энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии.

Проведен анализ работы УНУ БТА за истекший период 2014 года, подготовлены планы работ УНУ БТА на второе полугодие 2015 год.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ		6
1	Продолжение плановых наблюдений на УНУ БТА, в том числе и в интересах сторонних организаций	7
2	Изготовление криостата и электроники системы регистрации, исследование параметров ИПС, изготовление ахроматических клиньев и оправы, склейка и сборка двулучевой поляризационной призмы Волластона, ввод настраиваемого фильтра в наблюдения на УНУ БТА в составе прибора SCORPIO-2	17
3	Взаимодействие с изготовителем оптических узлов (контроль); приемка; изготовление предоптоволоконной части спектрографа	23
4	Закупка оборудования и комплектующих: радиокомпонентов для системы регистрации, сканирующего эталона Фабри-Перо, охладителей на смесевых хладагентах, 4-канального паяльно-ремонтного центра, комплекта цифровых осциллографов, набора интерференционных фильтров, монохроматора МДР-41, сервера для графической обработки данных	28
5	Поверка и калибровка абсолютного трекера Leica	29
6	Работы по модернизации, содержанию и ремонту оборудования: исследовательских комплексов УНУ БТА, систем энергосбережения и использования ВИЭ	31
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		36
ПРИЛОЖЕНИЕ А		37
ПРИЛОЖЕНИЕ Б		50
ПРИЛОЖЕНИЕ В		62
ПРИЛОЖЕНИЕ Г		66

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

УНУ БТА - уникальная научная установка Большой телескоп азимутальный

СЭК БТА – служба эксплуатации комплекса БТА

ИПС – интегральная полевая спектроскопия

SCORPIO - Spectral Camera with Optical Reducer for Photometrical and Interferometrical Observations = спектральная камера с оптическим редуктором для фотометрических и интерферометрических наблюдений

ИФП – интерферометр Фабри-Перо

ULX – Ultra Luminous X-ray source = ультраяркий рентгеновский источник

LBV - Luminous Blue Variable = яркая голубая переменная звезда

ВВЕДЕНИЕ

Большой Альт-азимутальный телескоп (УНУ БТА) с диаметром зеркала 6 метров, созданный в СССР в середине 70-х гг. XX века, остается основным источником наблюдательных данных для астрофизиков России. Несмотря на ввод в строй за рубежом все более мощных астрономических телескопов (от 6-м класса до инструментов с сегментированными зеркалами диаметром более 10 м) УНУ БТА пользуется спросом среди ученых Российской Федерации, стран СНГ и дальнего зарубежья. В целом работу телескопа обеспечивают более 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. Многолетние работы по Госконтрактам с Министерством образования и науки в 2007-2013 гг. позволили Специальной астрофизической обсерватории РАН решать эксплуатационные проблемы телескопа, задачи снабжения его текущей деятельности, развивать наблюдательные методы, своевременно обновлять инструментальный парк научного оборудования.

Цель настоящей работы, проводимой по Соглашению с Минобнауки, - обеспечение текущей деятельности телескопа БТА, 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, создание новых методик, повышающих эффективность использования оборудования УНУ БТА.

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.

В отчете приводятся результаты исследований, проведенных за отчетный период 2015 года по перечисленным выше темам – обеспечению плановых наблюдений, предоставлению услуг внешним пользователям, повышению эффективности использования оборудования, разработке новых методик, ремонту и модернизации научного оборудования.

1 Продолжение плановых наблюдений на УНУ БТА, в том числе и в интересах сторонних организаций

В ходе проведения 2-го этапа ПНИ были продолжены плановые наблюдения на УНУ БТА в соответствии с расписанием, утвержденным директором САО по результатам распределения времени на I полугодие 2015 года. Расписание приведено в Приложении А к настоящему Отчету. Исследования осуществлялись как в интересах сотрудников базовой организации, так и в интересах сторонних организаций.

Среди основных результатов, полученных в ходе проведения плановых наблюдений:

- 15-20.01.2015 - исследование оптических Новых звезд в галактике М31 (заявитель – М.Henze, ESA, Испания). Оборудование – фокальный редуктор первичного фокуса БТА SCORPIO. Звезда М31N 2015-01a была открыта как оптический транзист командой МАСТЕР-Кисловодск 13.01.2015г., идентифицирована как красная новая на УНУ БТА. Объект оказался красным транзистом промежуточной светимости, с абсолютной величиной $M_v = -9^m.4$ в максимуме. Первые результаты показаны на рисунке 1. Слева приведена кривая блеска Новой в полосе R в январе-марте 2015 г, где моменты получения спектров на УНУ БТА отмечены красными рисками. Справа приведены спектры М31N 2015-01a в указанные эпохи. Хорошо заметна спектральная эволюция в синем и зеленом диапазоне оптического спектра: видно, что абсорбционный спектр при подъеме в максимум не изменился, в то время как континуум стал горячим.

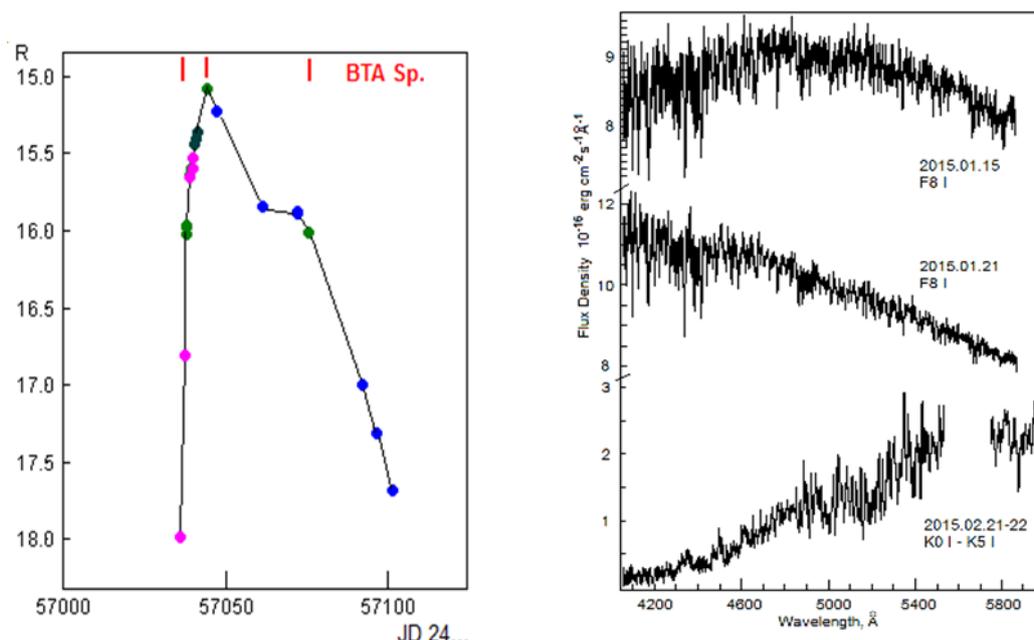


Рисунок 1 – Кривая блеска М31N 2015-01a в полосе R (слева) и ее спектры в отмеченные эпохи в январе-марте 2015 г. Заявитель – М.Henze (ESA, Испания)

- 15-20.01.2015 - спектроскопия ультраярких рентгеновских источников (ULX – Ultra Luminous X-ray source), заявители – А.С. Винокуров, С.Н. Фабрика, О.Н. Шолухова, А.Ф. Валеев (САО РАН). Оборудование – фокальный редуктор светосилы SCORPIO.

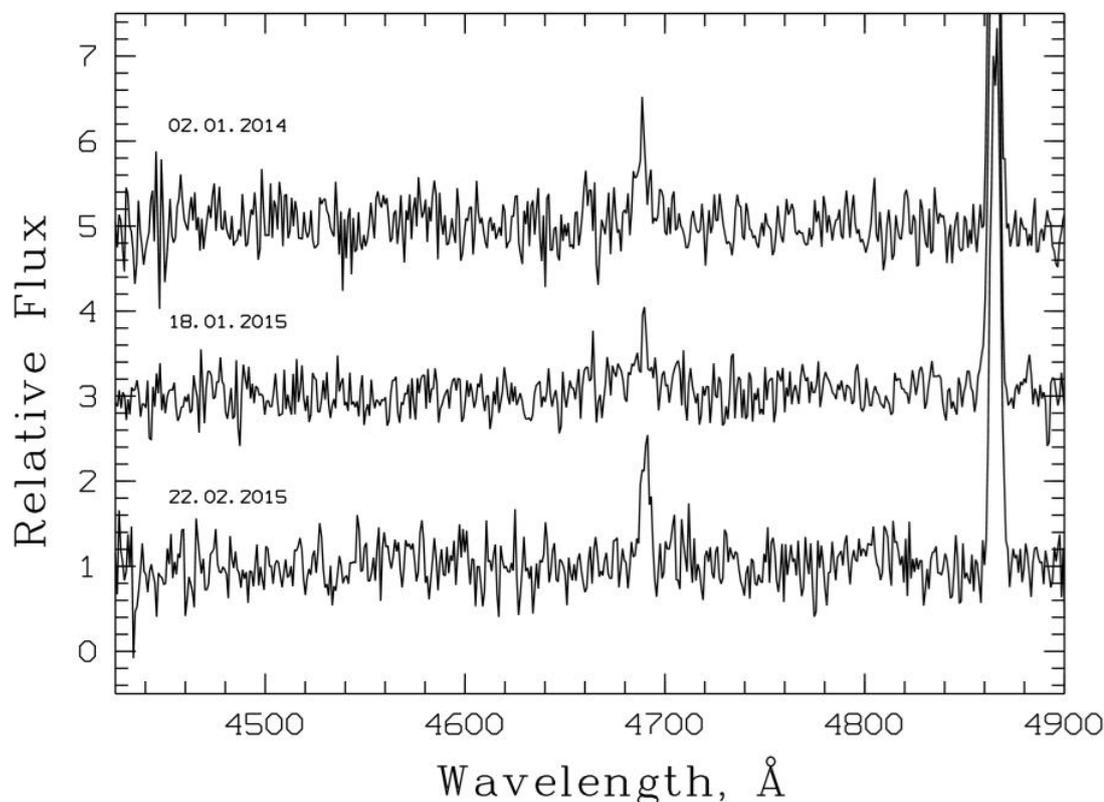


Рисунок 2 – Результаты спектроскопии ULX на УНУ БТА

Спектры всех ULXs (менее 10 объектов), полученные ранее на крупных телескопах (БТА, Subaru и VLT), показывают широкую эмиссионную линию HeII 4686. Эти спектры подобны спектрам SS433 и LBV-звезд в горячем состоянии. Авторами отождествлен новый ULX ($V \approx 23.0$ mag) в галактике NGC4395. На рисунке 2 показан результат его исследования. Обнаружена линия HeII в спектре этого объекта, а также ее переменность за три даты наблюдений

- 21-24.02.2015 – поиск и исследования массивных звезд в близких галактиках, заявитель – С.Н.Фабрика (САО РАН). Программа инициирована открытием черной дыры с массой около 200 солнечных масс в галактике NGC 5408. Поиск объектов проводится в три этапа:
 1. Отбор кандидатов по данным космического телескопа им.Хаббла (HST) на изображениях в широких фильтрах и H_{α} ;
 2. Спектроскопия в районе H_{α} ;
 3. Спектроскопия в голубой области при наличии широкой компоненты в H_{α} .

На данный момент нами найдено около 20 потенциальных кандидатов. На рисунке 3 представлен спектр объекта $\sim 20^m$ в галактике NGC4736, который оказался новой звездой LBV (Luminous Blue Variable).

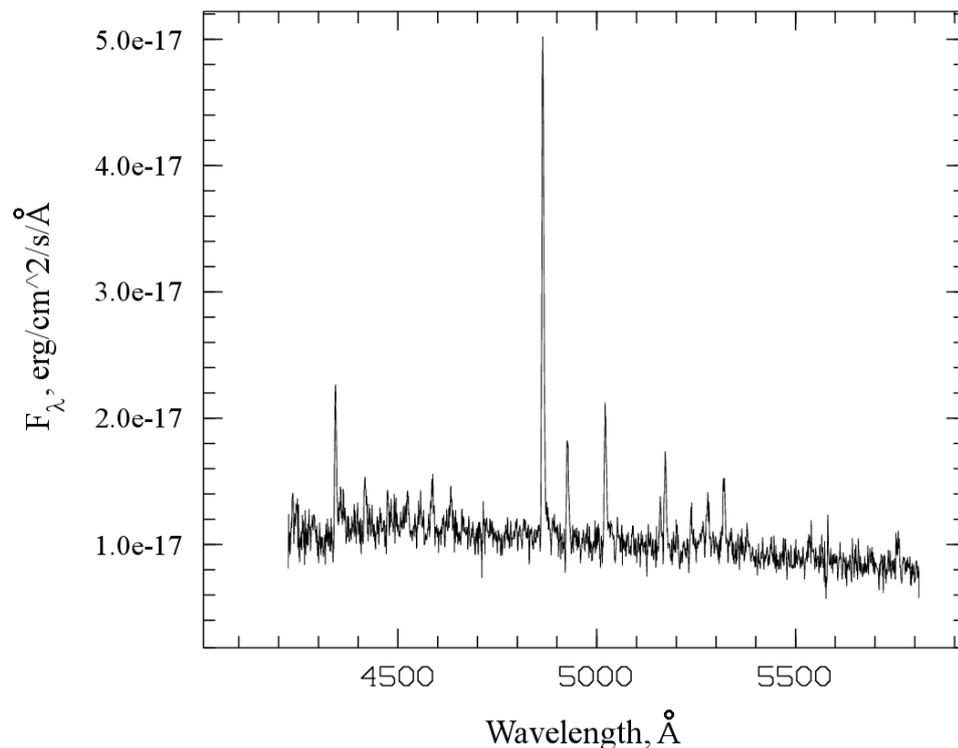


Рисунок 3 – Результаты спектроскопии новой LBV звезды в галактике NGC 4736

- 06-11.03.2015 – исследования магнитных полей химически пекулярных звезд и поиск новых магнитных звезд. Заявители – Е.Семенко и И.Романюк (САО РАН).
Оборудование – Основной звездный спектрограф.

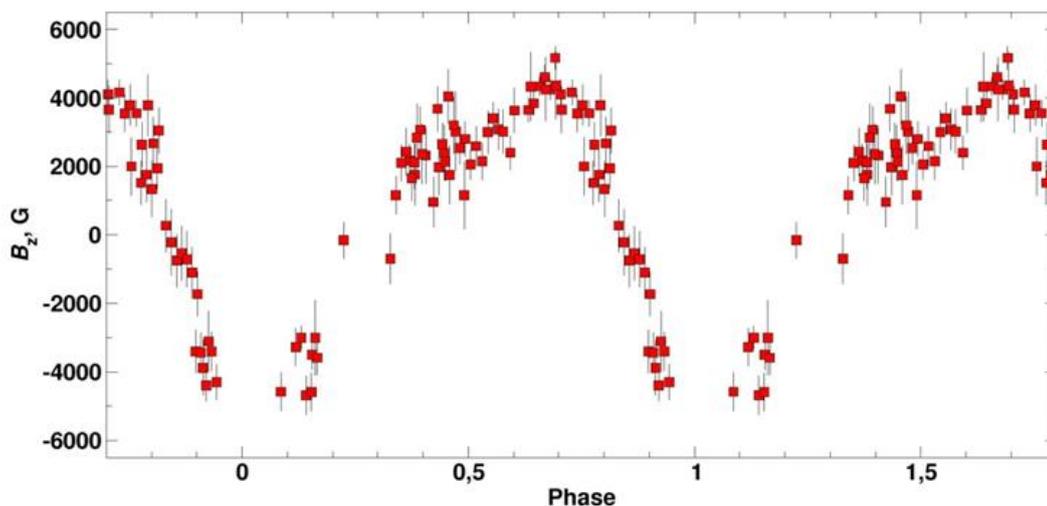


Рисунок 4 – Данные по вариации магнитного поля HD34736, полученные в ходе плановых наблюдений на УНУ БТА в отчетный период. Заявитель – Е.Семенко (САО РАН)

На рисунке 4 показан результат определения вариаций магнитного поля с суточным периодом вращения HD 34736. Всего с октября 2013 г. по март 2015 г. получено более 150 индивидуальных измерений продольного поля B_e . Анализ полученных данных позволил сделать выводы о периоде переменности магнитного поля - 1.2798 сут., и о том, что звезда относится к двойным системам SB2. Кроме того, ее спектральная переменность указывает на неоднородное распределение элементов по поверхности звезды.

- 26-27.01.2015 и 25-26.02.2015 – исследования новых карликовых галактик в Местном объеме (И.Д.Караченцев (САО РАН)). Оборудование – фокальный редуктор SCORPIO. На рисунке 5 показаны результат исследования галактик облака в созвездии Гончих Псов.

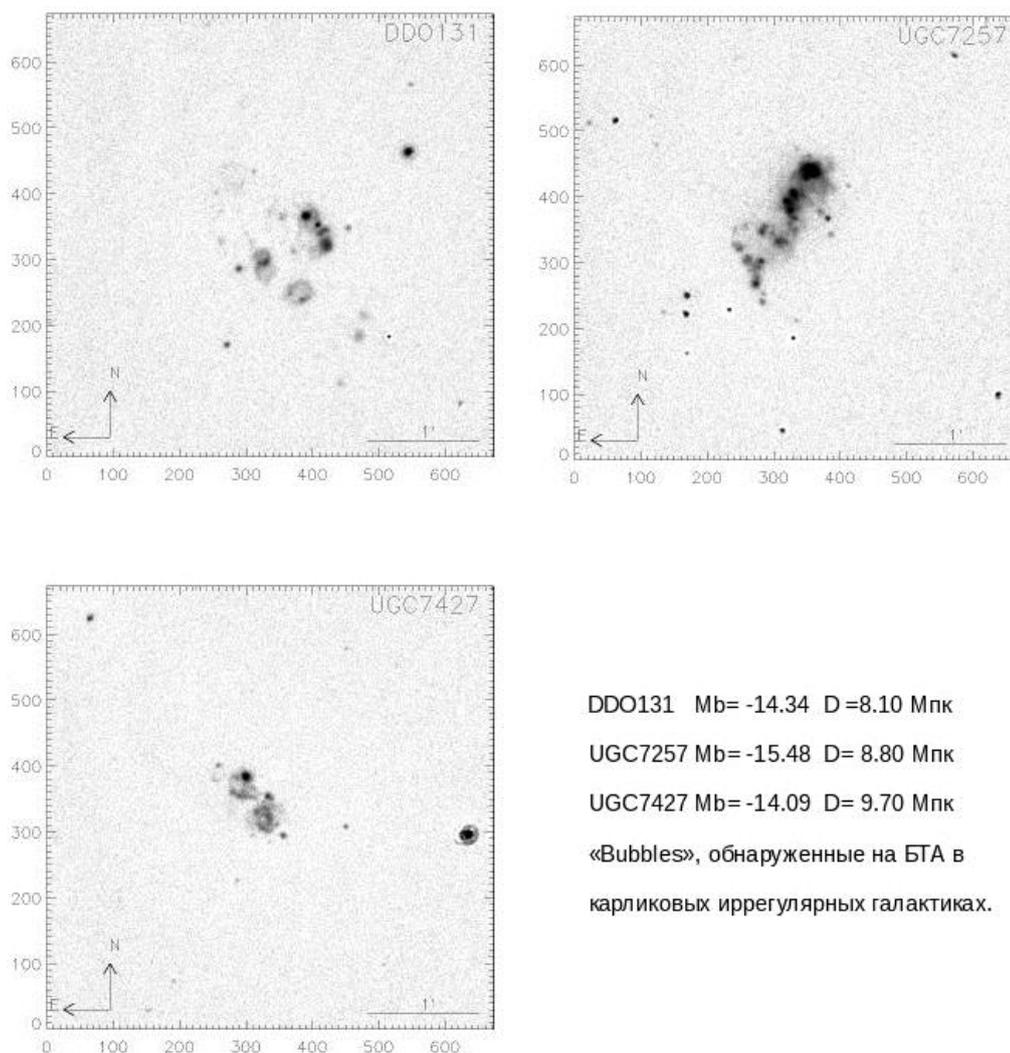


Рисунок 5 – Результаты фотометрии карликовых галактик в узких фильтрах с фокальным редуктором SCORPIO на УНУ БТА. Заявитель – И.Караченцев (САО РАН)

- 24-27.04.2015 – сверхновые и звездный ветер в галактиках (Т.А.Лозинская (ГАИШ МГУ)). Оборудование – фокальный редуктор SCORPIO. По данным наблюдений в узкополосных фильтрах и с интерферометром Фабри-Перо (ИФП) в галактике Holmberg II обнаружена гигантская оболочка ионизованного газа (размером около 1 кпк) внутри сверхоболочки HI. Всего несколько звезд класса O находятся внутри нее. Вероятно, либо они, либо утечка ионизирующих квантов из ярких HI областей, ответственны за ионизацию внутренней области сверхоболочки HI и образование оболочки в линии H_{α} . На рисунке 6 приведено композитное изображение галактики, полученное в различных диапазонах и с различными инструментами.

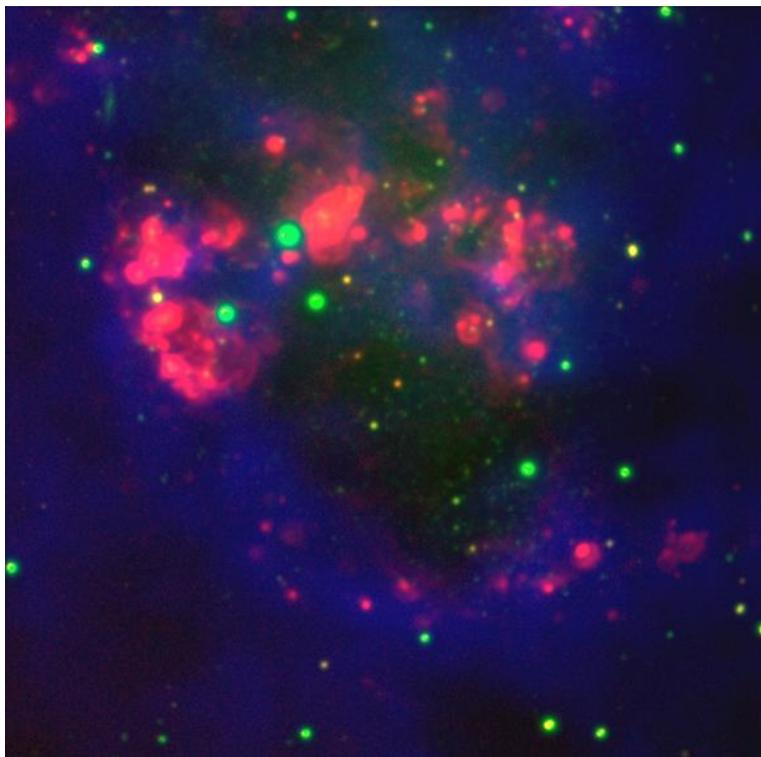


Рисунок 6 – Изображение галактики Holmberg II: H_{α} (красный, БТА), HI 21 см (синий, VLA) и континуум (зеленый, БТА). Заявитель – Т.А. Лозинская (ГАИШ МГУ)

- 17-26.03.2015 - Газовые структуры в галактиках ранних типов (заявитель - О.К. Сильченко (ГАИШ МГУ)). Инструмент - фокальный редуктор SCORPIO в сочетании со сканирующим эталоном Фабри-Перо. С его помощью еще в двух линзовидных галактиках – NGC 774 и NGC 7280 обнаружены протяженные газовые диски, кинематика которых указывает на внешнее происхождение (аккреция или захват спутника вне основной плоскости диска).

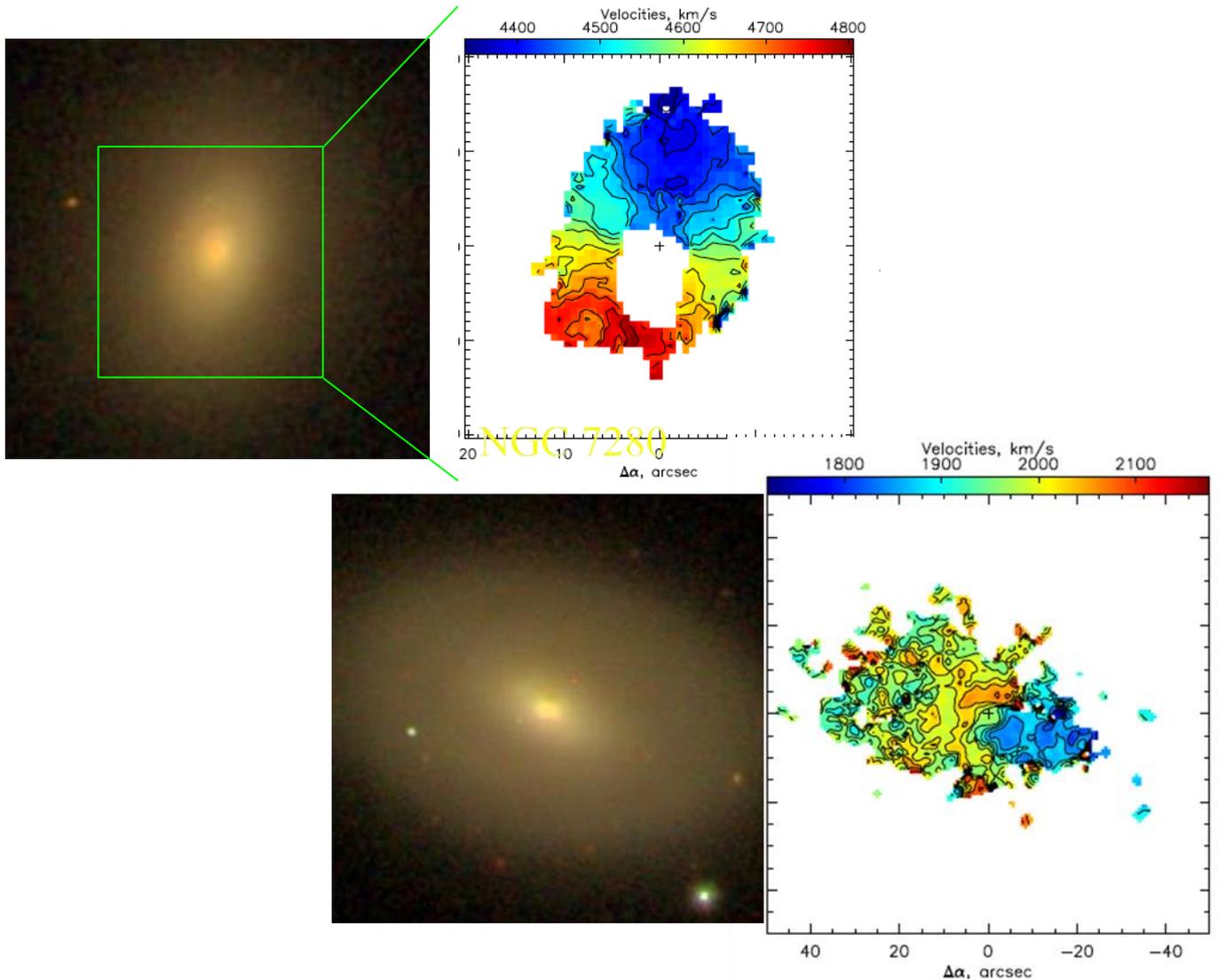


Рисунок 7 – Изображения галактики NGC 774 (выше) и NGC 7280 (ниже) по данным обзора SDSS и поля скоростей ионизованного газа. Заявитель – О.К. Сильченко (ГАИШ МГУ)

- 11-14.04.2015 - взаимодействие компонент в тесных двойных системах. Заявители - Н.А.Сахибуллин и В.Шиманский(К(П)ФУ). Предкатаклизмическая переменная PN G068.1+11.0 с экстремально горячим sdO-субкарликом была открыта в 2011 г. как ядро туманности (переменность блеска в ИК более 1^m при периоде $P=0.^d53512$). При этом в фазах минимума наблюдаются абсорбции HeII и NV, что дает для главной компоненты $T_{\text{eff}} > 120000\text{K}$. Авторами были предприняты комплексные исследования с привлечением 1-м оптического телескопа Цейсс-1000, входящего в состав УНУ БТА.

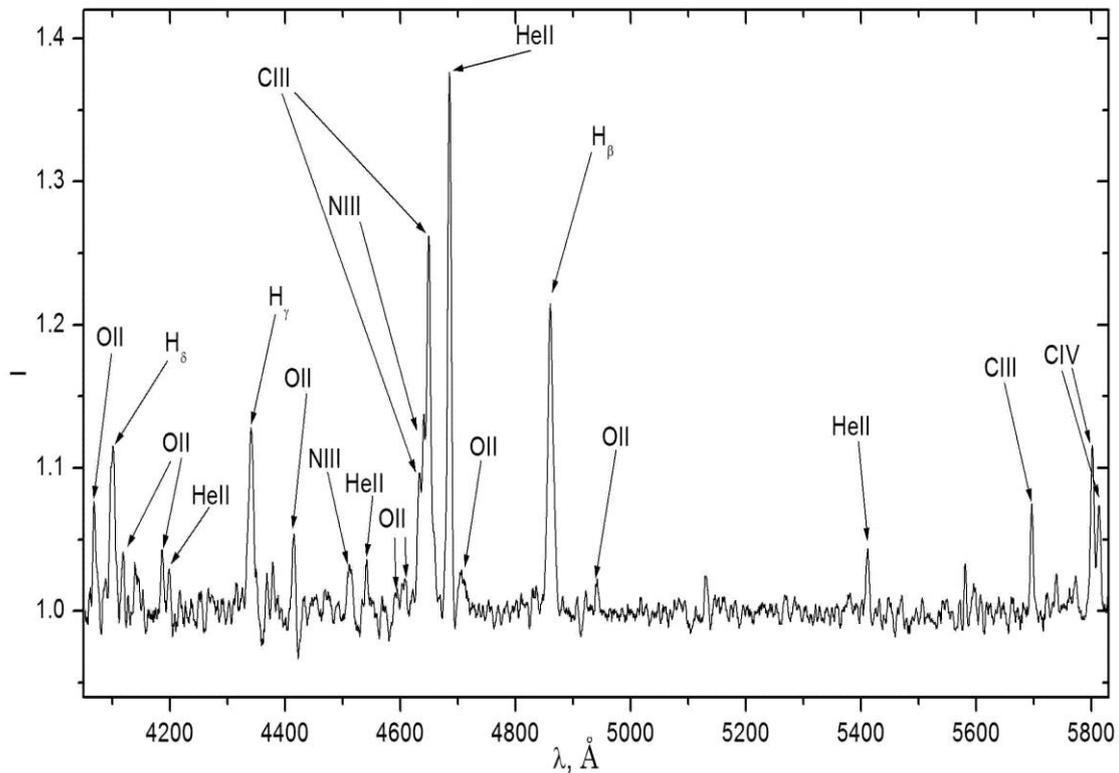
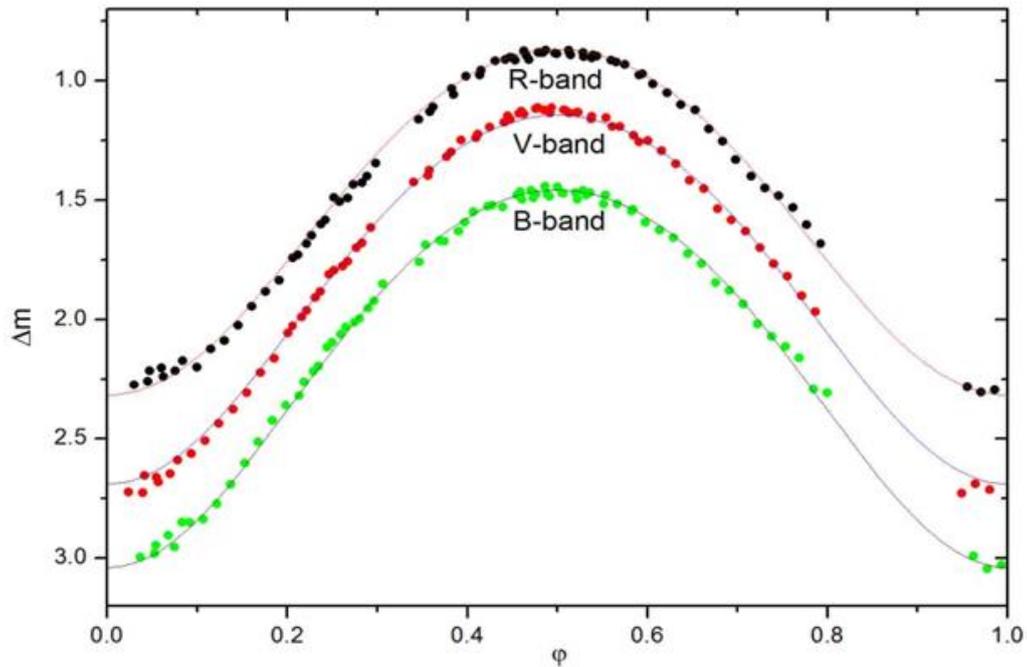


Рисунок 8 – Кривые блеска PN G068.1+11.0 в полосах В, V и R, полученные с применением ПЗС-фотометра 1-м рефлектора Цейсс-1000 (вверху) и эмиссионный спектр системы, полученный в ходе проведения ПНИ на УНУ БГА (внизу). Заявители – Н.А.Сахибуллин и В.Шиманский (К(П)ФУ)

Эмиссионный спектр характерен для систем с экстремальными эффектами отражения и содержит линии H I , He II и легких элементов в высоких стадиях ионизации. При

совместном моделировании спектров и кривых блеска найдено, что система содержит sdO-субкарлик с массой $M=0.72 \pm 0.04 M_{\odot}$ и температурой $T_{\text{eff}} \sim 170000\text{K}$.

Таким образом, PN G068.1+11.0 может быть классифицирована как молодая предкатаклизмическая переменная типа BE UMa с наиболее горячей главной компонентой, находящейся на границе гидростатической устойчивости атмосферы.

Аналитические данные, характеризующие загрузку УНУ БТА во втором полугодии 2014 года, приведены на нижеследующих рисунках. На рисунке 9 приведено количество рабочих часов УНУ в январе-декабре 2014 года. Хорошо выделяются зимние месяцы – февраль и ноябрь. Общее количество рабочих часов в 2014 году оказалось на среднем уровне за последние годы.

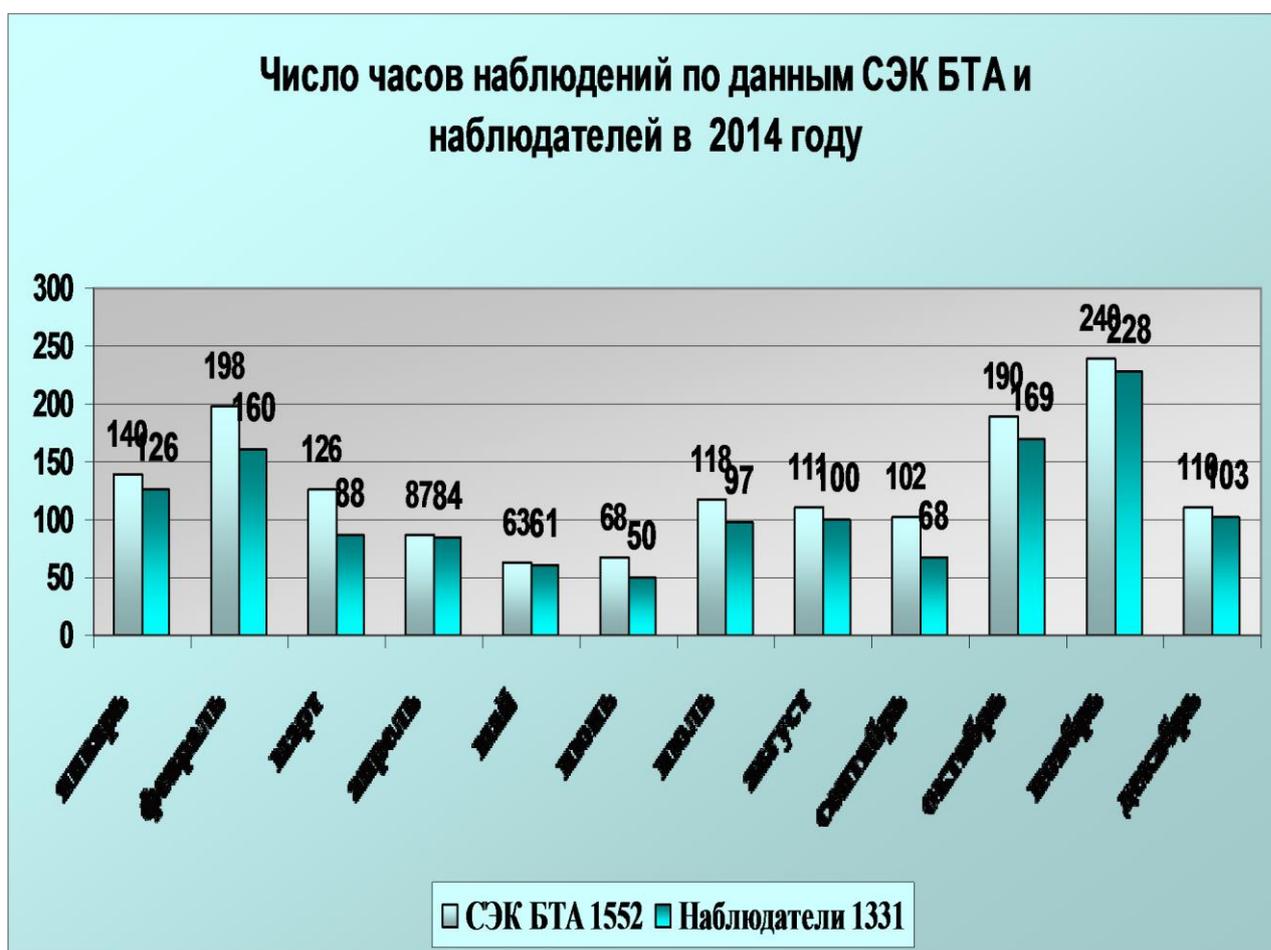


Рисунок 9 – Количество наблюдательного времени УНУ БТА в 2014 году

На рисунке 10 приведено распределение выделенного рабочего времени УНУ БТА между 5 используемыми методами во второй половине 2014 года. Как и в прежние годы, безоговорочным лидером остается фокальный редуктор SCORPIO с 96 ночами из общего количества 181 ночь в полугодие.

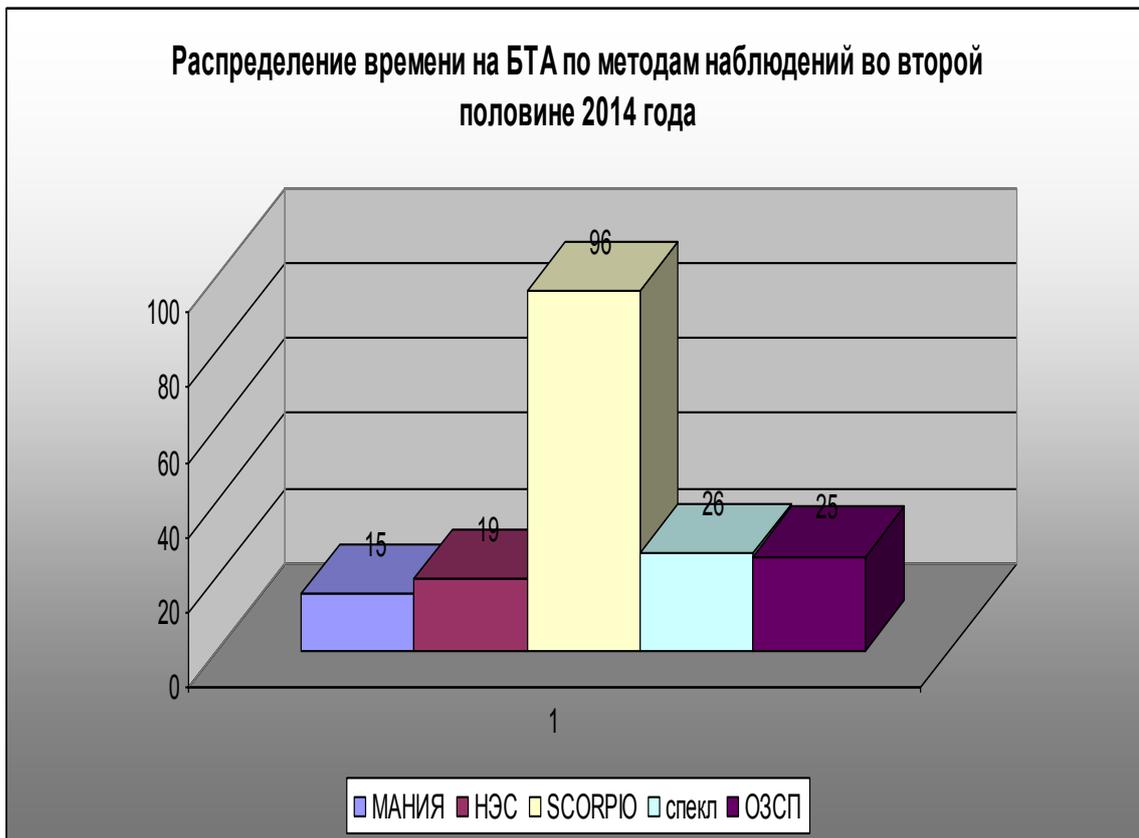


Рисунок 10 – Распределение выделенного календарного времени между наблюдательными методами УНУ БТА во втором полугодии 2014 года

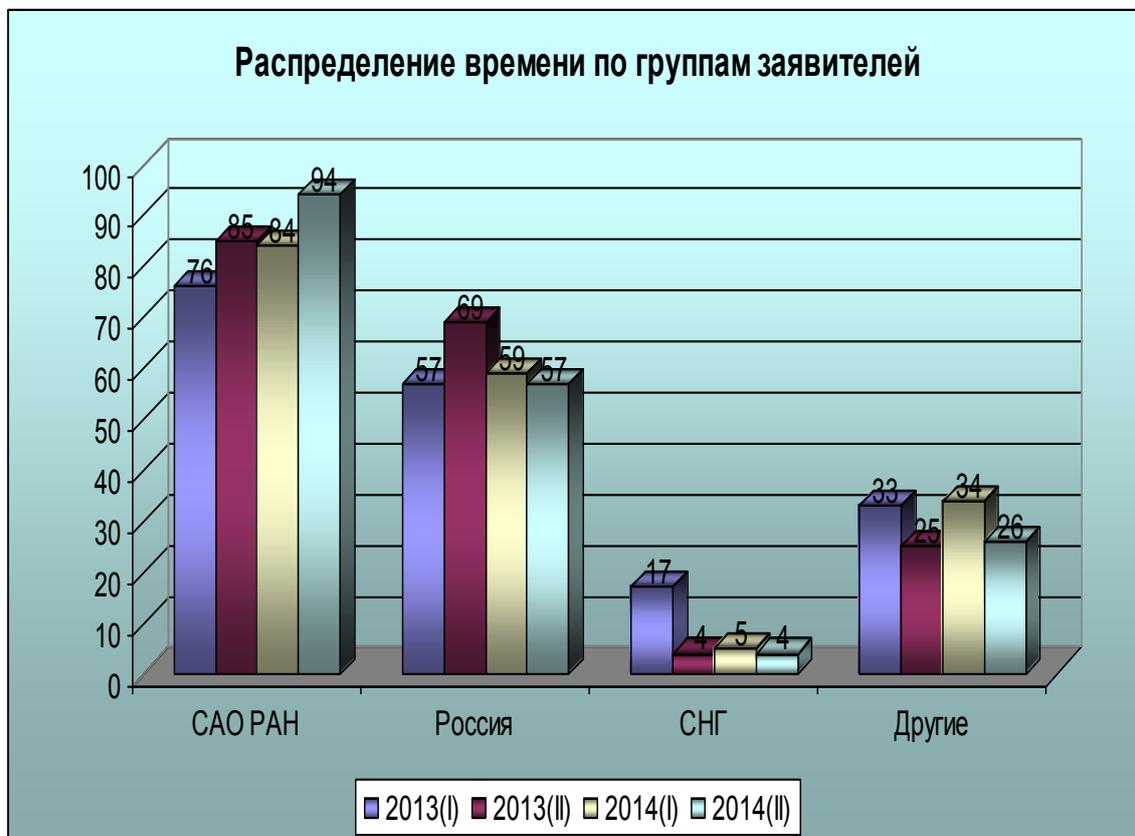


Рисунок 11 – Распределение выделенного календарного времени по группам заявителей УНУ БТА в 2013 и 2014 гг

На рисунке 11 показано распределение выделенного программным комитетом календарного времени работы УНУ БТА между группами заявителей: сотрудники САО РАН, сотрудники российских организаций, представители стран СНГ и сотрудники организаций из стран дальнего зарубежья.

В приложении А к настоящему Отчету приведено расписание работы УНУ БТА на второе полугодие 2015 года, подготовленное в соответствии с решениями Комитета по тематике больших телескопов.

2 Изготовление криостата и электроники системы регистрации, исследование параметров ИПС, изготовление ахроматических клиньев и оправы, склейка и сборка двулучевой поляризационной призмы Волластона, ввод настраиваемого фильтра в наблюдения на УНУ БТА в составе прибора SCORPIO-2.

2.1 Изготовление криостата и электроники системы регистрации

В рамках этапа ПНИ проведено проектирование и начато изготовление криостата и блока электроники системы регистрации на базе ПЗС-матрицы E2V CCD 261-84 формата 2048x4096 элементов с 15-мкм размером. Эта система предназначена для установки на фокальный редуктор первичного фокуса УНУ БТА и позволит существенно повысить эффективность проводимых исследований в синей части спектра. Ее основные характеристики:

- используется твердотельный приемник изображения – широкоформатная ПЗС-матрица, обеспечивающая высокую чувствительность в видимом диапазоне длин волн, и особенно в синей части спектра;

- устройство имеет высокие фотометрические характеристики: темновой ток минимизирован путем глубокого охлаждения фотоприемника (до -130 С), шум считывания ограничен собственным шумом ПЗС-матриц и не превышает 5 е, а видеоканал обеспечивает широкий динамический диапазон: не менее 40000;

- устройство имеет кадровую частоту считывания изображений, обеспечиваемую ПЗС-матрицей, в соответствии с требованиями короткоэкспозиционных методов наблюдений – не более 5 сек на чтение кадра при высокой скорости обработки сигнала и не более 40 сек на чтение при низкой скорости обработки;

- система управления обеспечивает дистанционное управление всеми режимами работы, телеметрический контроль состояния приемников изображения, а также прием цифровых изображений по оптоволоконной линии связи;

- архитектура системы управления и сбора данных построена с применением современных средств передачи, ввода и сохранения изображений с высокой пропускной способностью.

Составные части изделия, монтируемые на открытом воздухе, сохраняют работоспособность при следующих условиях эксплуатации:

- температура окружающей среды от -35 °С до +35 °С;

- относительная влажность до 80% при температуре +25 °С;
- атмосферное давление от 450 мм. рт. ст. до 760 мм. рт.ст.

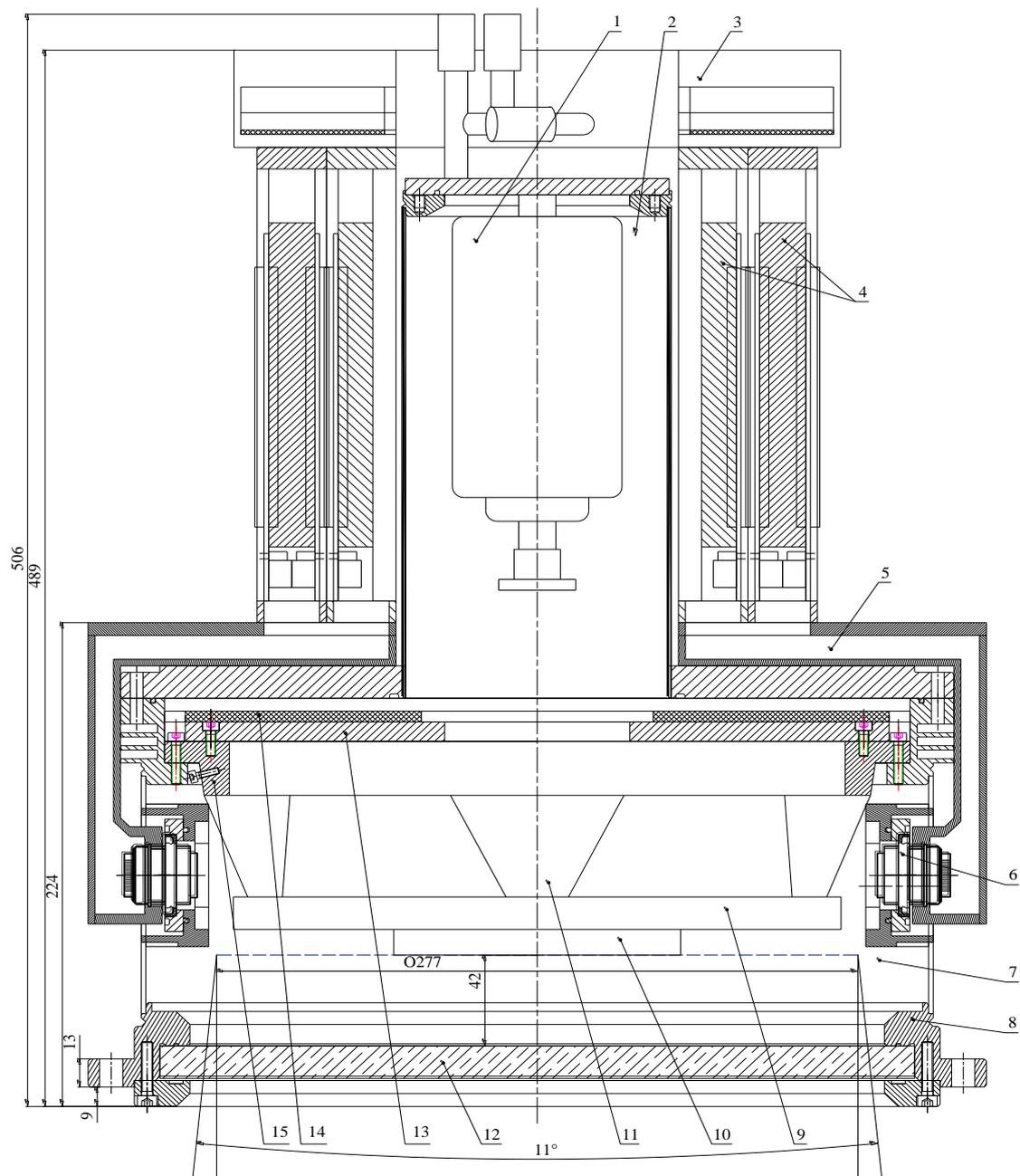


Рисунок 12 – Общий вид камеры в разрезе

На рисунке 12 показан общий вид разработанной камеры. Техническая документация системы регистрации приведена в Приложении Б.

2.2 Исследование параметров блока интегральной полевой спектроскопии (ИПС)

В ходе этапа ПНИ были проведены лабораторные тесты для начального варианта матрицы микрозрачков из 22x22 элементов, которые показали правильность технического решения и соответствие качества оптики блока ИПС расчетному. При этом кружок рассеяния по всему полю зрения 62x27 мм составил не более 3.5 элементов (50 мкм) в диапазоне длин волн 0.35-0.95 мкм. Размер элемента в проекции на небесную сферу составил 0.75 секунды дуги. Блок формировал матрицу микрозрачков, которая преобразована в две «щели» при помощи световолокон с диаметром 150 мкм. Результаты даны ниже на рисунке 13.

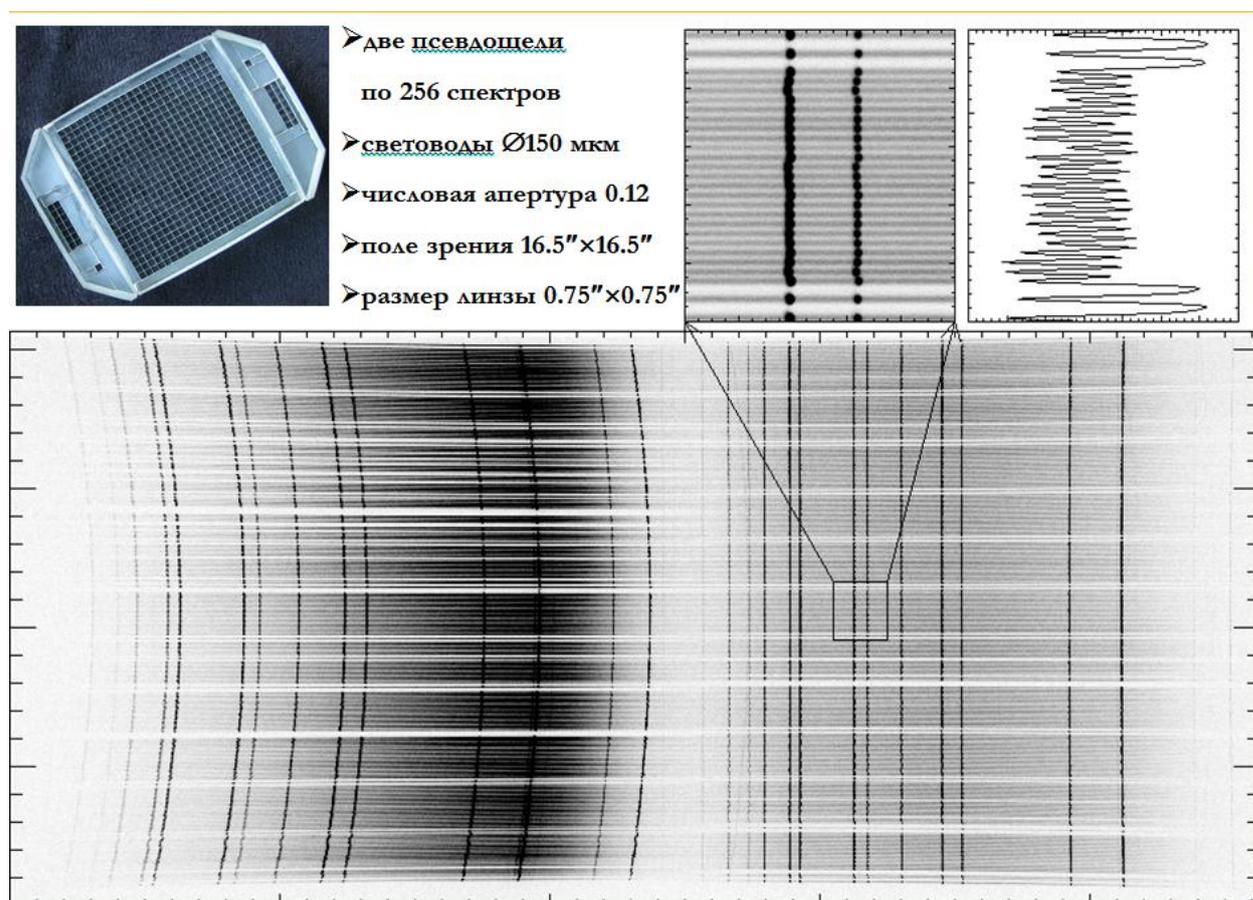


Рисунок 13 - Вид микролинзового блока ИПС, его параметры и пример лабораторных спектров, полученных в области линии $H\alpha$ с решеткой VPHG1800@660

В ходе этапа ПНИ дополнительно были исследованы смещения изображения в режиме ИПС из-за механических деформаций прибора, возникающих при различной ориентации инструмента. Деформации панорамного модуля ИПС при различных положениях SCORPIO-2 являются малыми и учитываются параллельными смещениями изображений. Для типичных условий наблюдений на телескопе ($z < 50^\circ$) разброс между

центрами тяжести серии изображений составляет не более 5 элементов, а при их совмещении для отдельной серии разброс для опорных точек не превышает 1 рх.

2.3 Изготовление ахроматических клиньев и оправы, склейка и сборка двулучевой поляризационной призмы Волластона

В ходе этапа ПНИ было осуществлено изготовление ахроматических клиньев и оправы, проведены склейка и сборка двулучевой поляризационной призмы Волластона. На рисунке 14 приведены параметры ее элементов, а в Приложении В – ее описание.

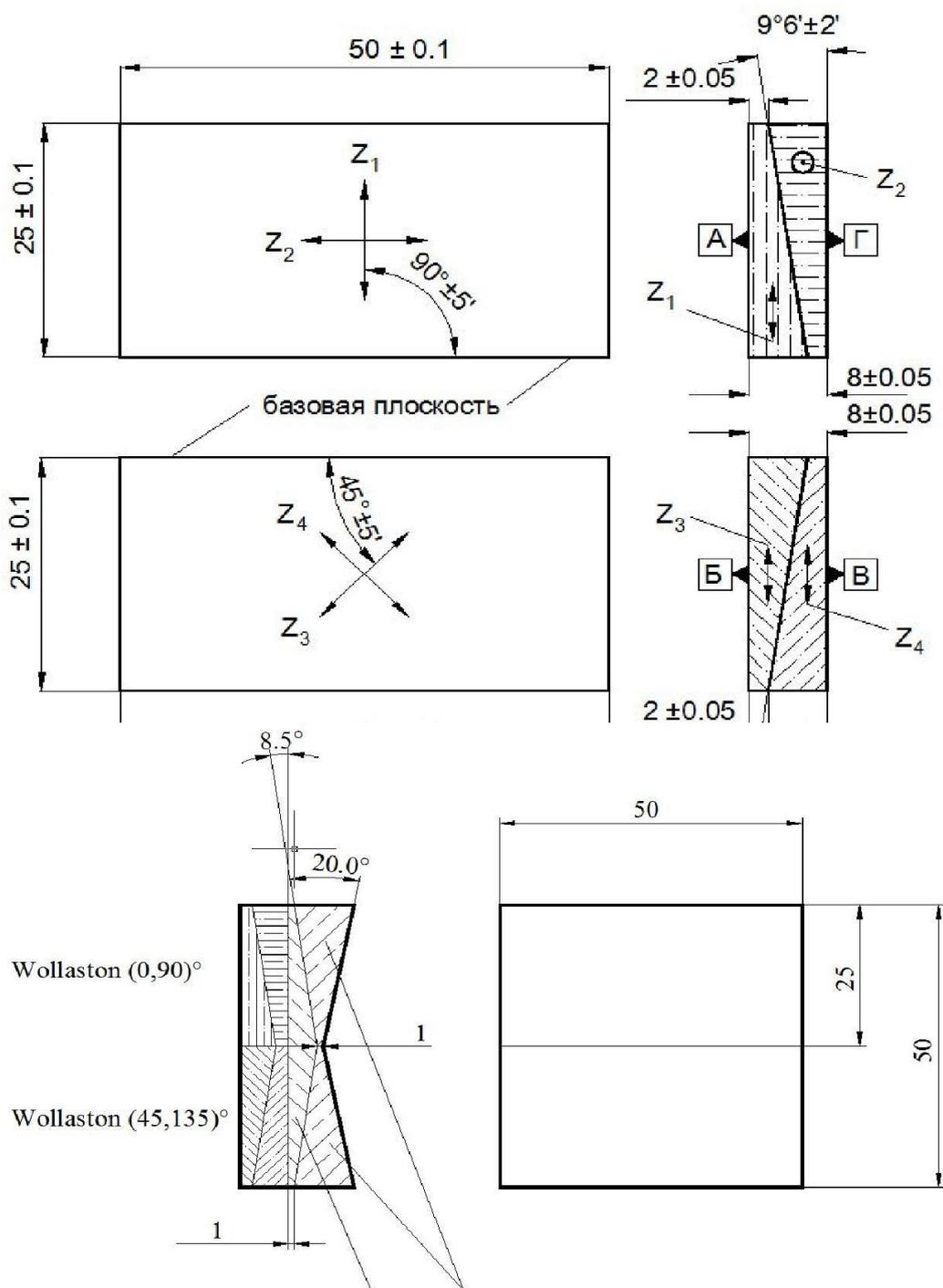


Рисунок 14 - Вид компонентов и двулучевой призмы Волластона в сборе

2.4 Ввод настраиваемого фильтра в наблюдения на УНУ БТА в составе прибора SCORPIO-2

Для ввода в наблюдения на УНУ БТА настраиваемого фильтра нами разработаны программы непосредственного управления его работой. Они тестировались на лабораторном стенде, приведенном на нижеследующем рисунке 15. Стенд включает сканирующий пьезоэлектрический интерферометр Фабри-Перо (ИФП) низкого разрешения фирмы Queensgate, любезно переданный в CAO РАН коллегами из Германии (Max-Planck-Institut fuer Sonnensystemforschung). Нам удалось отработать методику точной настройки интерферометра низкого разрешения, адаптировав для этого имеющийся в CAO РАН контроллер CS100. Также в ходе этапа ПНИ разработана методика лабораторных измерений пропускания такого настраиваемого фильтра на разных длинах волн (см. рисунок 16).

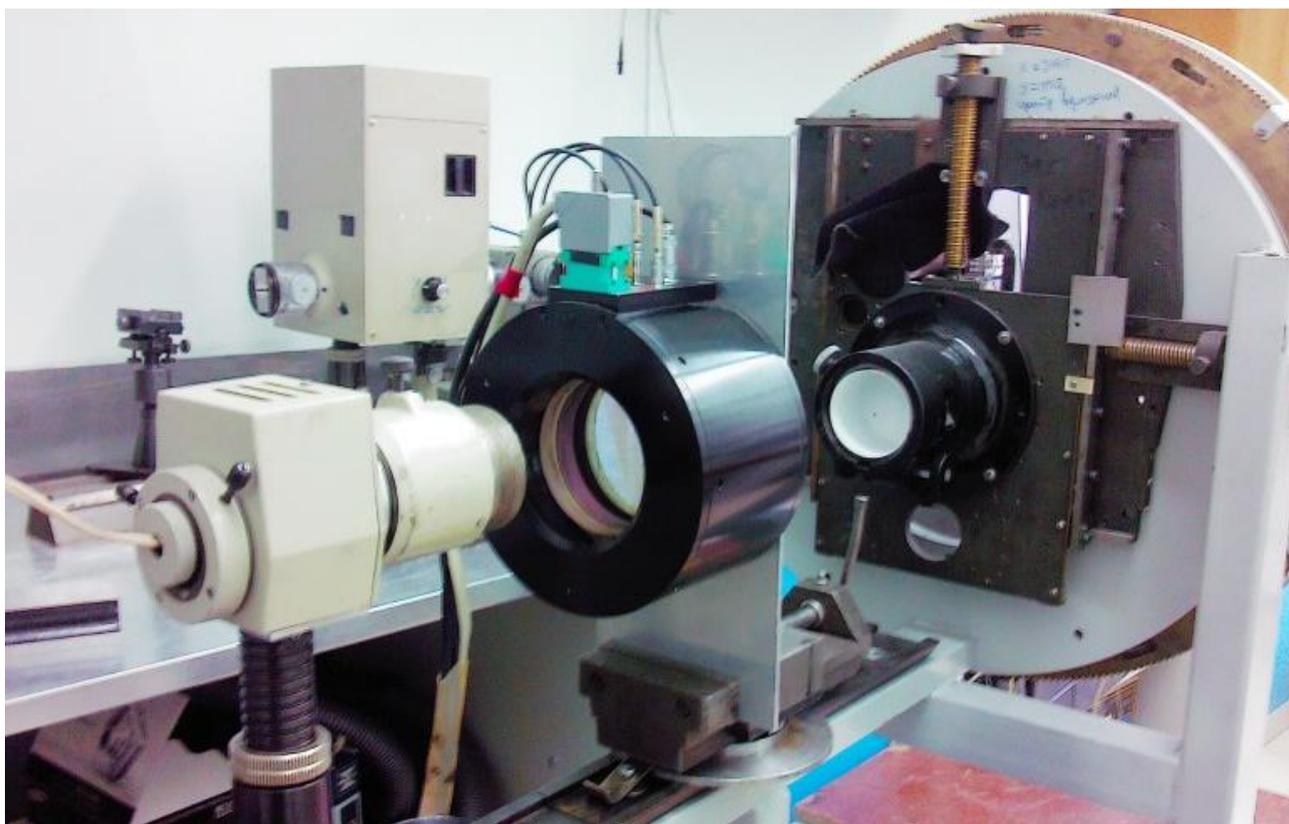


Рисунок 15 - Часть лабораторного стенда в CAO РАН для измерения характеристик настраиваемого фильтра. В центре фотографии — сканирующий ИФП

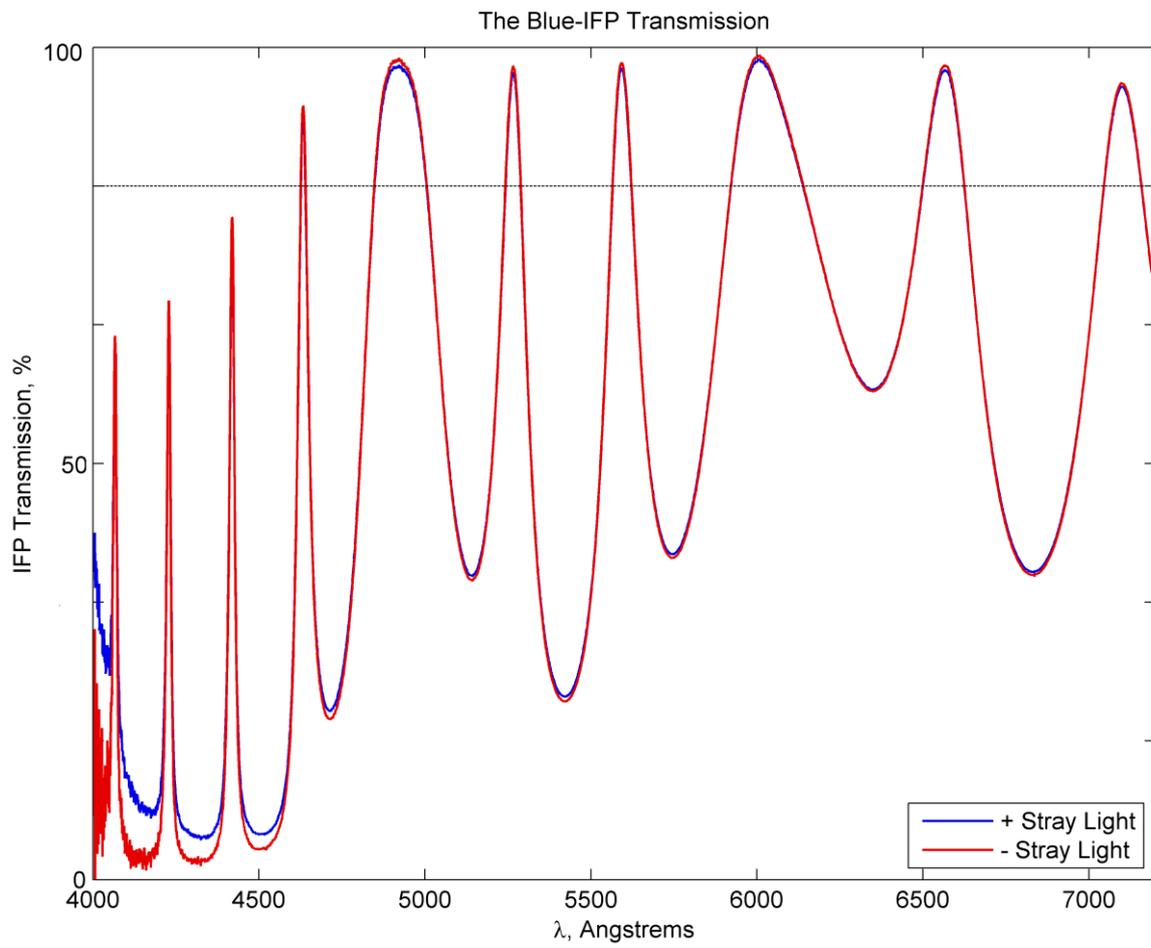


Рисунок 16 - Измерения с длиной волны пропускания настраиваемого фильтра

3 Взаимодействие с изготовителем оптических узлов (контроль); приемка; изготовление предоптоволоконной части спектрографа

В ходе этапа ПНИ в рамках взаимодействия с изготовителем оптических узлов оптического спектрографа высокого разрешения была проведена оптимизация узлов первоначальной схемы прибора, рассчитанная на повышение его эффективности при возможной замене ряда оптических стекол, приобретение которых в России оказалось затруднительным. На рисунке 17 приведен вид размещения спектральных порядков эшелле-спектрографа после оптимизации.

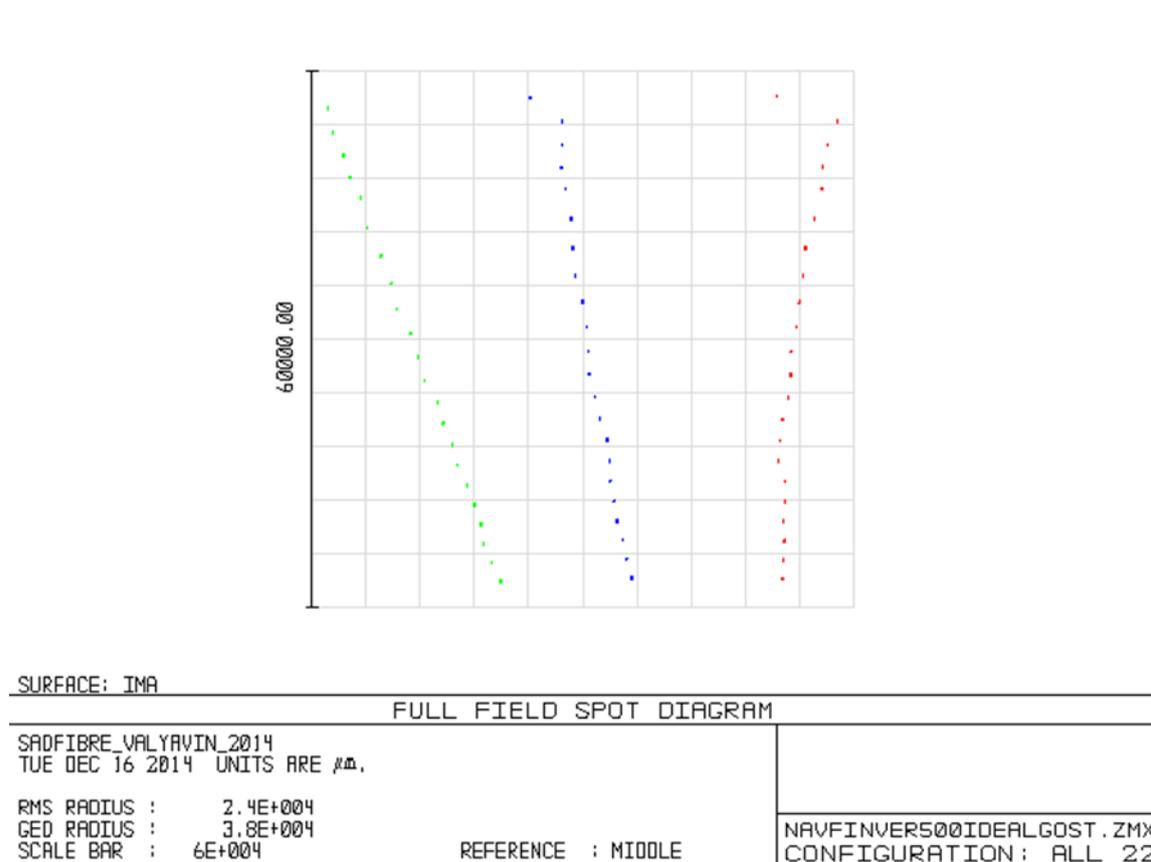


Рисунок 17 - Расположение спектральных порядков на матрице приемника

Адаптация этого решения к настоящему проекту идет в направлении улучшения абберационных характеристик камеры в диапазоне 400-750 нм. Для данной камеры планируется использование многослойного покрытия MgF₂. При помощи локальной оптимизации в программе ZEMAX была произведена переработка данной камеры под необходимые условия работы. Целью оптимизации было уменьшение пятен рассеяния для каждой длины волны рабочего диапазона. После достижения этой задачи с оригинальными стёклами, была проведена работа по поиску аналогичных или близких по параметрам стёкол,

для уменьшения поглощения света проекционной камерой, после подбора стёкол была проведена оптимизация по тем же параметрам.

3.1 Возможность замены гризмы

В первую очередь был проведен анализ стёкол, которые можно использовать для создания гризмы. Из отечественных стёкол, которые представлены в каталоге ЛЗОС, кроны подходили по диапазону пропускания, но обеспечивали плохое разведение порядков, флинты же давали приемлемое разведение, однако не удовлетворяли условию хорошего пропускания в синей области спектра. По этой причине пришлось рассматривать стёкла из зарубежных каталогов, в частности каталогов фирмы Shott и Ohara.

Наиболее приемлемыми оказались стёкла SF1, SF5 из каталога Shott и PBM2Y из каталога Ohara. В итоге для гризмы было выбрано стекло PBM2Y. Выбранное стекло на длине волны 400 нм имеет коэффициент пропускания 0.997 для 10 мм стекла что в пересчёте на среднюю толщину гризмы в 130 мм, составляет 96%. Хоть для разведения спектральных порядков и требуется дифракционная решетка в 200 линий на миллиметр, данное стекло удовлетворяет техническому заданию обеспечить разведение спектральных порядков минимум в 700 мкм, даёт наименьшие потери света, что является приоритетным для эшелле-спектрографа.

3.2 Оптимизация параметров камеры

Оптимизация производилась на уменьшение пятен рассеяния для всех длин волн во всех конфигурациях, но для одной точки поля. Выбор точки поля обуславливался качеством пятна в нём. В нашем случае самым худшим качеством обладала самая крайняя точка поля, соответственно для оптимизации была выбрана точка с координатами 0; -836 мкм.

В процессе улучшения качества для данной точки поля, улучшалось качество всех остальных точек поля. Также в оптимизации присутствовал такой параметр, как угол наклона камеры, относительно оптической оси второго коллиматора, за счёт которого также компенсировалась расфокусировка для разных точек поля.

В результате подбора оптимального угла, разница в диаметре пятен для изображения на одной длине волны стала минимальной. Полученная камера обладает световыми диаметрами линз, которые достигают на входе 240 мм. Данный световой диаметр обуславливается большим расстоянием между входными щелями. При апертуре 0.04 и расстоянием между щелями в 500 мкм удастся избежать потерь света без значительного

увеличения размера оптических деталей, что позволяет более эффективно использовать спектрограф. Итоговая схема камеры приведена на рисунке 18.

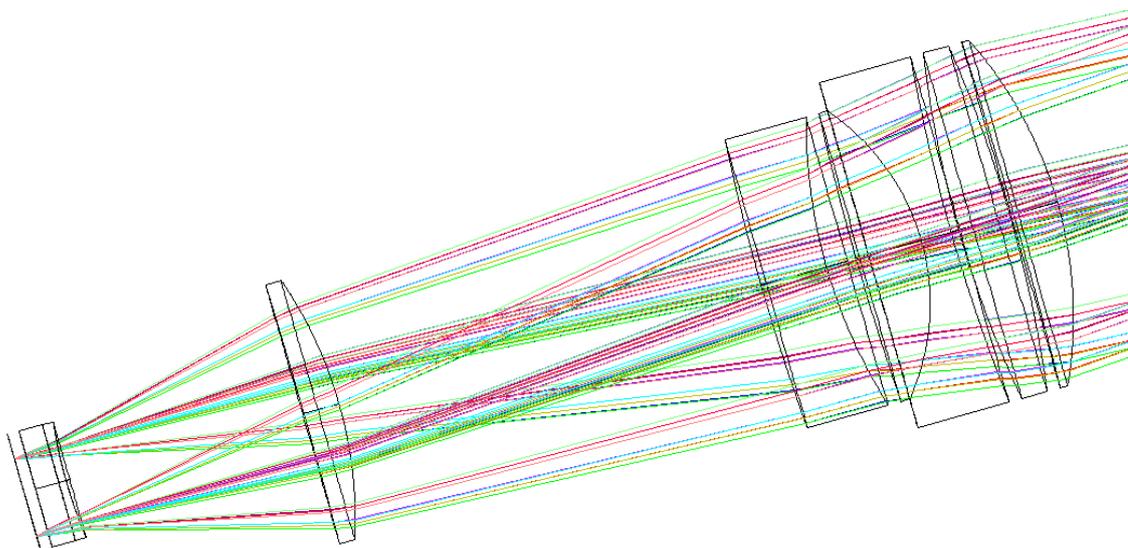


Рисунок 18 - Схема камеры

Самые худшие пятна рассеяния составили около 8 мкм по RMS радиусу, большая же часть пятен находится в пределах 5 мкм по RMS радиусу. За счёт небольших пятен рассеяния, удалось добиться, при расстоянии между щелями в 500 мкм, расстояния между изображениями двух щелей в 80 мкм в самом худшем случае. В большинстве изображений расстояние составляет 90-105 мкм.

В будущем возможно улучшение технологичности камеры, за счёт замены больших радиусов кривизны на плоские поверхности, а так же округлению осевых расстояний между линзами с точностью до 0.1 мм. Это может вызвать ухудшение качества, однако значительно упростит сборку камеры. Пример результирующего изображения щелевого сегмента спектрографа на ПЗС для 68 порядка эшелле-решетки приведен на рисунке 19.

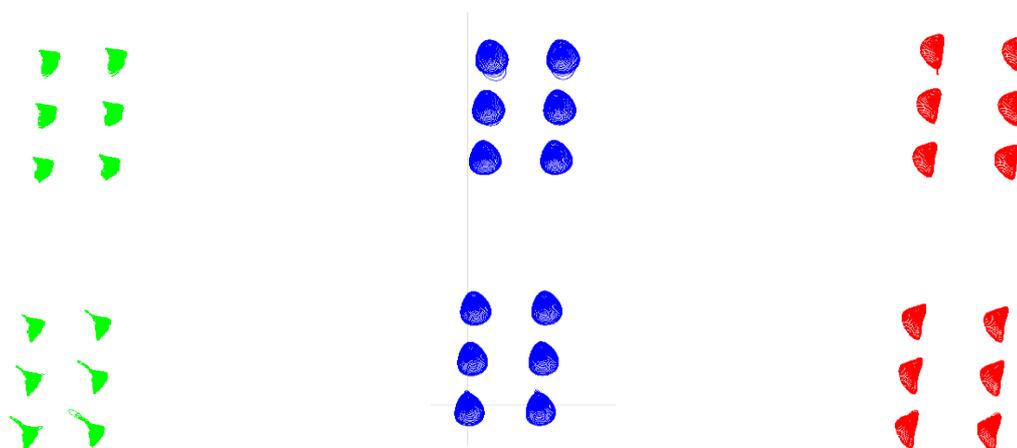


Рисунок 19 - Примеры изображения щелей в 68 порядке эшелле-решетки

3.3 Изготовление предоптоволоконной части спектрографа

В ходе этапа ПНИ было проведено макетирование и изготовление предоптоволоконной части спектрографа. Ее общий вид приведен на рисунке 20.

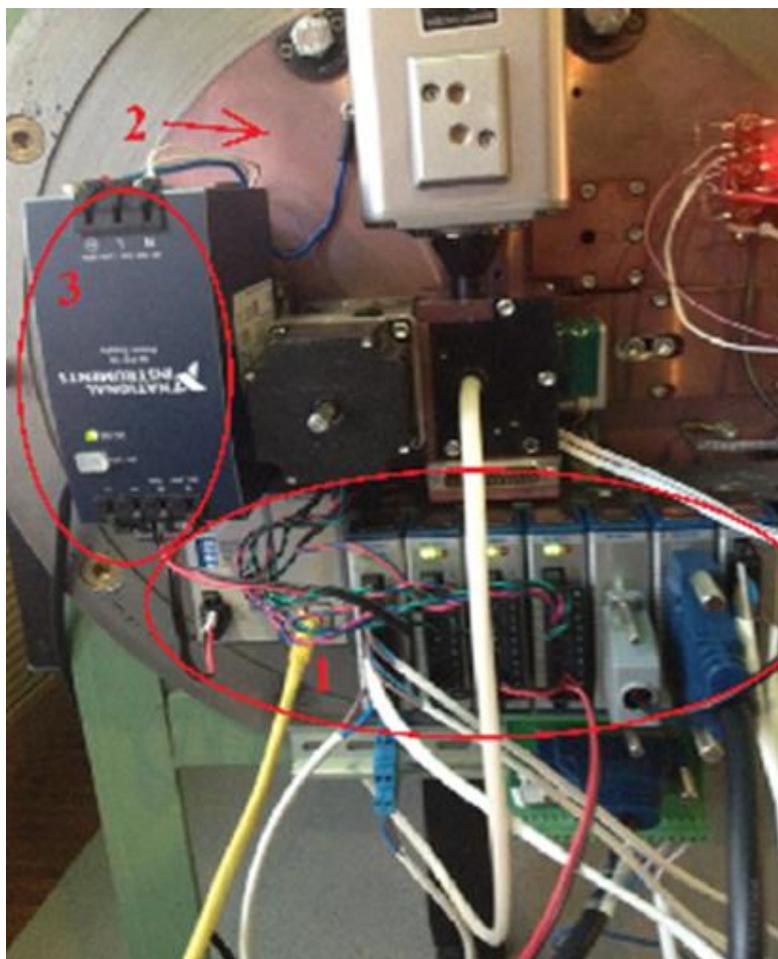


Рисунок 20 – Общий вид макета предоптоволоконной части спектрографа

Разработанная система предназначена для управления всеми устройствами макета предоптоволоконного блока спектрографа. Прототип системы включает в себя пять приводов на основе шаговых двигателей и модуль релейного вывода для управления внешними нагрузками. Управление системой осуществляется контроллером NI CompactRIO 9073 (1), установленным на основании (2). Питание осуществляется от промышленного источника напряжением 24 В NI PS-16 (3). Непосредственное управление узлами системы производится модулями ввода-вывода С-серии, установленными в слоты контроллера (1).

В состав системы входят:

- 1) Привод вращения турели;
- 2) Привод вращения горизонтальной полупрозрачной призмы;
- 3) Привод перемещения вертикальной полупрозрачной призмы;

- 4) Привод вращения турели фильтров;
- 5) Привод перемещения подвижки;
- 6) Модуль релейного вывода NI 9481.

Программное обеспечение, разработанное для управления узлами системы, функционально можно разделить на три части:

- 1) Программа для хост-компьютера под управлением ОС Windows.
- 2) Программа для Real-time контроллера CompactRIO
- 3) Программа для FPGA-шасси CompactRIO

Программа для хост-компьютера обеспечивает работу интерфейса оператора, позволяет устанавливать режимы работы узлов системы и изменять параметры режимов работы. Лицевая панель программы для хост-компьютера изображена на рисунке 21.

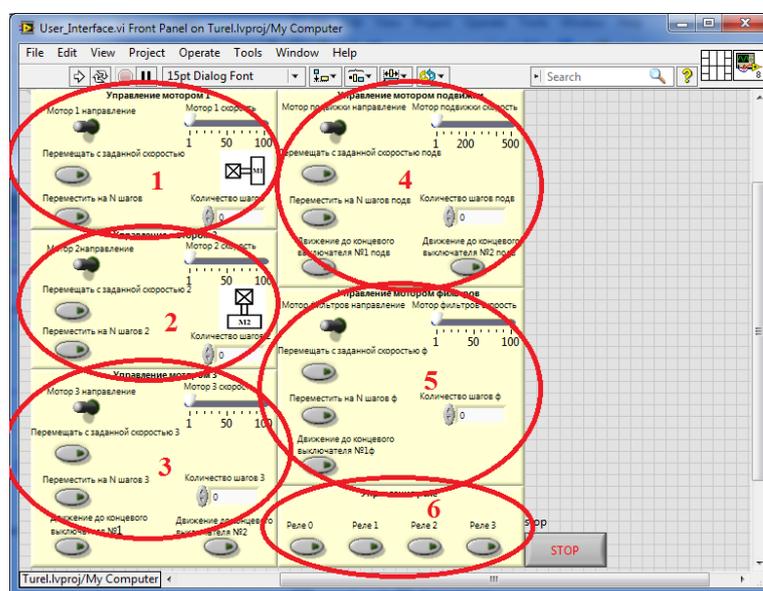


Рисунок 21 – Лицевая панель (интерфейс оператора) программы для хост-компьютера

На лицевой панели расположены элементы управления приводом вращения турели (3), приводом вращения горизонтальной полупрозрачной призмы (1), приводом вращения вертикальной полупрозрачной призмы (2), приводом подвижки (4), приводом вращения турели фильтров (5) и модулем релейного вывода (6).

В связи с тем, что все приводы конструктивно выполнены с использованием шагового двигателя, а режимы работы приводов схожи, разработаны унифицированные программы управления для FPGA, Real-Time и хост компьютера.

4 Закупка оборудования и комплектующих

В ходе выполнения ПНИ проведены работы по возможности дооснащения УНУ БТА необходимыми материалами и оборудованием в соответствии с п.3.1 раздела 3 Программы развития УНУ БТА на 2014-2015 годы. Были подготовлены контракты на поставку научного оборудования. В частности, подготовлен контракт с компанией ЭмЭсЭйчТехно (г.Москва) на поставку радиокомпонентов для создания системы регистрации (поз.4). Закупка сканирующего эталона Фабри-Перо (поз.5) планируется по договору с ООО «Альтекс» (г.Москва). Для приобретения охладителей на смесевых хладагентах Polycold Compact Cooler подготовлен контракт с компанией «Cryosystems» (г.Москва).

Приобретение паяльно-ремонтного центра и комплекта цифровых осциллографов (поз.9 и 10) планируется у одного из лидеров рынка поставок цифровой измерительной техники – у ЗАО «ПриСТ» (г.Москва).

Приобретение и поставка набора интерференционных фильтров для видимого и ИК диапазона (поз.11) и монохроматора МДР-41 (поз.16) будут осуществлены у компании «Вилитек» (г.Москва), специализирующейся в поставке такого оборудования.

Приобретение сервера графической обработки данных (поз.15) планируется у ООО «Юпитер» (г.Санкт-Петербург).

5 Поверка и калибровка абсолютного трекера Leica

После доработки и проведения испытаний новых методов геометрического контроля и повышения точности отражающей поверхности Главного зеркала с использованием лазерного трекера Leica AT401 продолжены работы по определению динамических характеристик элементов Главного зеркала, определению ошибок изготовления радиальных винтов или как принято называть, кинематических поправок.

По старой методике с использованием прибора вертикального проектирования PZL определялись только две точки поправок на краях винта. Использование такого средства измерения как PZL вносило в результаты измерений некоторые ошибки из-за несовершенства системы наблюдатель – прибор, к ним можно отнести случайные и систематические ошибки визирования, ошибка возникающая при перемене фокусировки зрительной трубы при наведении на штрих линейки, ошибка считывания отчета по шкале линейки из-за неодинаковой освещенности штрихов.

Методика с использованием модернизированной измерительной визирной трубы ППС-11 дала возможность исключить влияние части ошибок и позволила повысить точность измерений и увеличить количество точек поправок для одного винта. Работы с ППС-11 показали, что поправка на некоторых щитах распределяется не линейно и учет только двух точек поправок вносит свои ошибки в установку щитов по радиусу. Но использование ППС-11 вносило свои ошибки в результаты измерений, такие как случайные ошибки совмещения изображений штрихов линейки и перекрестья сетки нитей ППС-11, ошибки наблюдателя и записи результатов измерений.

Применение абсолютного лазерного трекера Leica AT401 позволяет резко увеличить скорость производства работ, исключить влияние ошибок наблюдателя, систематических и иных ошибок и позволило более рационально использовать техническое время, выделенное на обслуживание. Измерения лазерным трекером Leica AT401 происходят по принципу координатоопределяющей технологии, определяются пространственные координаты точки и передаются в программный комплекс Spatial Analyzer (SA) фирмы New River Kinematics (NRK). Управление координатоопределяющей системой на основе абсолютного лазерного трекера Leica AT401 также происходит с помощью программного комплекса Spatial Analyzer. В программе используется своя условная система координат, которую нет необходимости привязывать к сети. При исследовании режимов измерений установлено, что вместо призменного сферического отражателя 0,5" (TBR) возможно использование призменного отражателя AP01 производства фирмы Sokkia. Трекер Leica AT401 проводит измерения не

только на сферические призмные отражатели производства фирмы Leica Geosystems, но и на отражатели других фирм: Sokkia, Zeiss, с различной константой отражателя, без потери точности на близких расстояниях. Все измерения по калибровке радиальных винтов проводятся на призмный сферический отражатель 0,5" (TBR). Наведение прибора на отражатель проводится с помощью встроенной камеры обзора. Зона обзора данной камеры составляет 10°. ИК источник света камеры освещает все отражатели, находящиеся в зоне обзора. В меню управления прибором выбирается режим автоматических измерений группы точек из пяти отражателей и после перемещения на заданный отсчет производится измерение следующей группы точек. Для исключения единичных ошибок установки измерения проводятся при движении элемента прямо и обратно.

Обработка результатов проводилась в Spatial Analyzer. Сравнение поверхности с плоскостью и анализ векторной группы показал незначительные деформации на краях отражающей поверхности. Отклонения поверхности в углах элемента обусловлены корректировкой ранее с использованием трубы измерительной визирной ППС-11. Во время производства работ ППС-11 устанавливалась на штативе, и из-за температурных деформаций происходило кручение прибора за время измерений.

В рамках подготовки для решения задач из 4-го этапа исследований лазерным трекером Leica AT401 проведены пробные измерения плановых знаков. Трекер показал высокую сходимость измерений до 110 метров. При СКО измерения угла трекера Leica AT401 $m_{\beta}=0.5''$ на расстоянии 100 метров ср.кв. ошибка определения плановых координат составляет величину порядка 0.2 мм. Проведенные измерения не превысили этой величины. Измерения на расстояниях до 160 метров необходимо проводить после устойчивого прогрева прибора и при благоприятных погодных условиях - стабильной температуре, влажности, отсутствии ветра. Работа в таких условиях осуществляется в ночное время.

При работе с координатно-измерительной системой на базе абсолютного лазерного трекера Leica AT401 следует отметить мобильность и полную автономность системы, что является значимым фактором при работах. Вес прибора и комплекта оборудования позволяет легко переносить прибор и устанавливать на конструкции. Аккумуляторы трекера позволяют работать автономно в течение рабочего дня, и при их разряде есть возможность горячей замены аккумуляторов без прерывания процесса измерения. Прибор имеет класс защиты IP54 от проникновения пыли и влаги.

В Приложении Г к настоящему отчету о ПНИ приведен акт поверки и калибровки трекера.

6. Работы по модернизации, содержанию и ремонту оборудования: исследовательских комплексов УНУ БТА, систем энергосбережения и использования ВИЭ

6.1 Ремонт оптоволоконной линии УНУ БТА – ННП САО РАН

Существующая в настоящее время волоконнооптическая линия связи (ВОЛС) УНУ БТА – ННП САО РАН протяженностью 4,5км находится в эксплуатации около 15 лет. С её помощью локальная сеть УНУ БТА подключена к SAONet, осуществляется резервный выход локальной сети САО в Internet, проводятся наблюдения на БТА в режиме удалённого доступа.

Длительная эксплуатация ВОЛС в тяжелых условиях: сложный горный рельеф на трассе линии, большой (900 метров) перепад высот между конечными точками ВОЛС, резкие (до 20 градусов С) суточные и сезонные колебания температуры, высокая влажность воздуха в летний период, порывистый, шквалистый (до 45м/сек) ветер, привела к ухудшению технических параметров линии, появлению микротрещин в оптическом волокне, обрыву волокна. С течением времени деградация оптических волокон в линии продолжается.

В то же время промышленностью выпускаются волоконнооптические кабели с гораздо лучшими техническими и эксплуатационными характеристиками.

Программой развития УНУ БТА на 2014-2015 годы на 2015 год запланирован ремонт этой линии связи. Его цель - улучшение технических параметров ВОЛС, повышение её пропускной способности и надёжности, создание резерва оптических волокон. Для достижения этих целей был разработан проект, предполагающий вместо существующего подвесить новый оптический кабель (ОК) на тех же опорах ЛЭП. Опыт эксплуатации ВОЛС УНУ БТА – ННП САО РАН в течение многих лет показал, что принятое техническое решение по подвеске ОК на несущем стальном тросе оказалось верным, но требует корректировки: расстояние между соседними точками подвеса на зажимах плашечных следует сократить до 5÷10м. Наличие нового ОК позволит значительно повысить надёжность и пропускную способность ВОЛС, упростит, в случае необходимости, проведение ремонтных и профилактических работ на ВОЛС.

На рисунках 22 и 23 показана геометрия прокладки оптического волокна вдоль ЛЭП в различных проекциях.

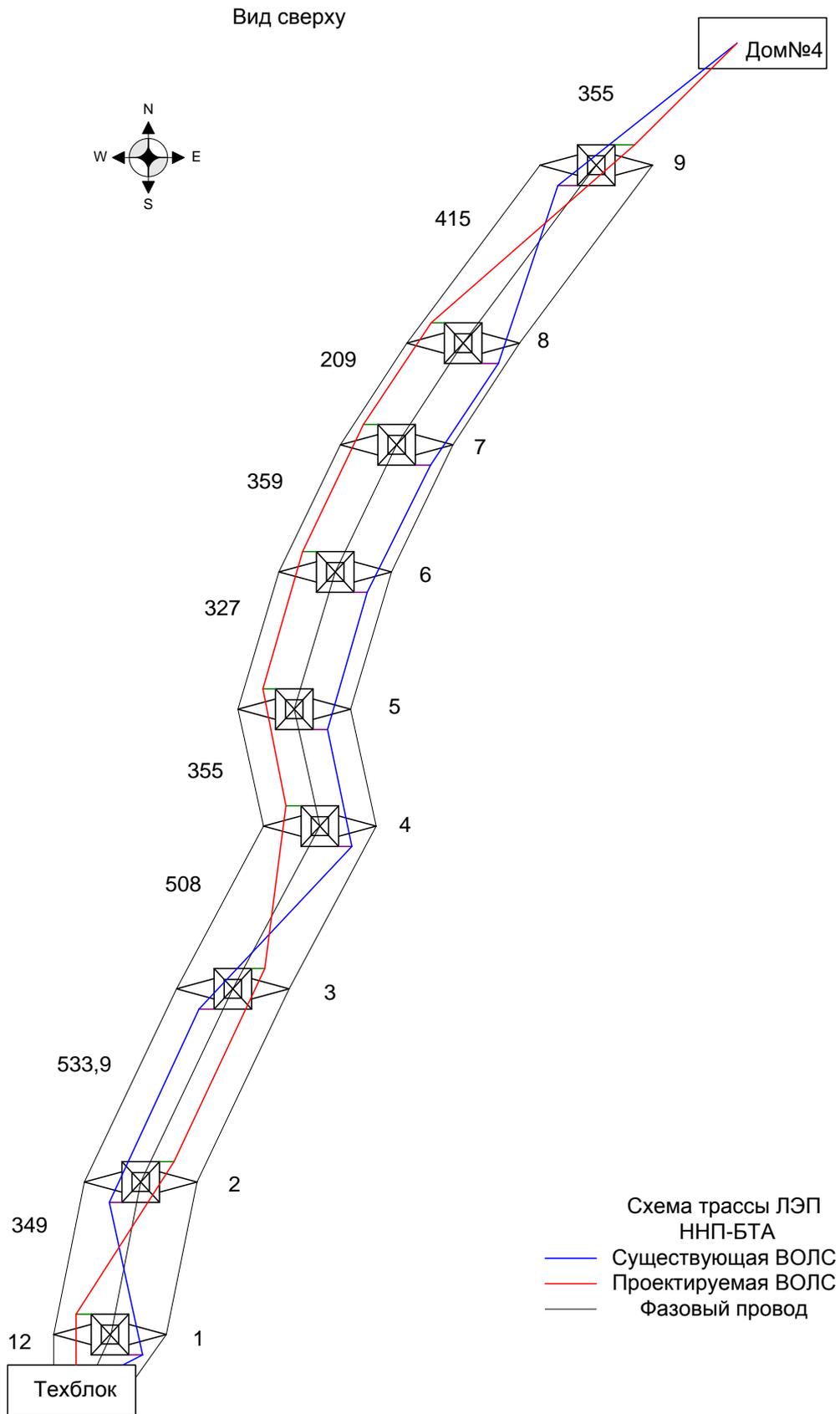


Рисунок 22 – Схема прокладки оптоволоконной линии связи УНУ БТА – ННП САО РАН
(вид «сверху»)

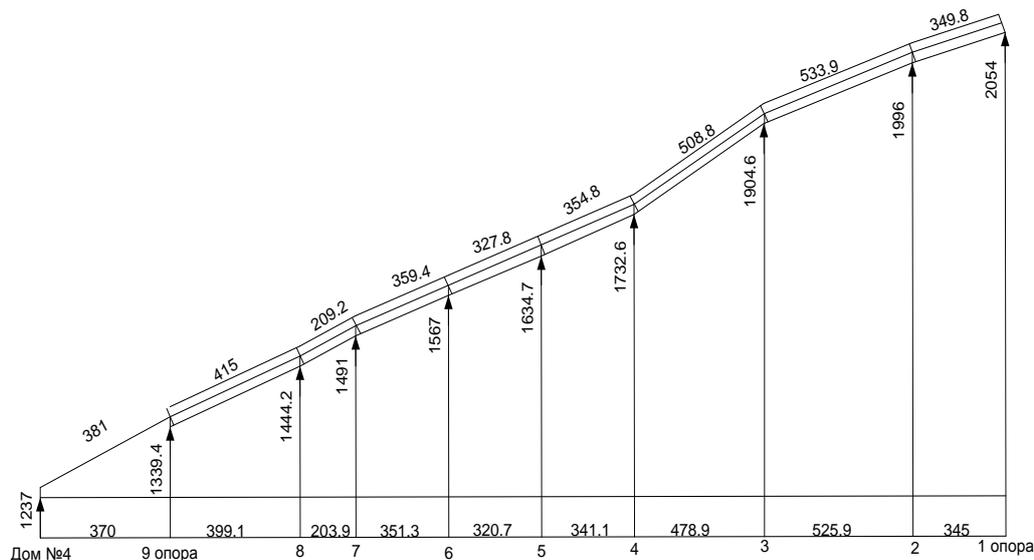


Рисунок 23 – Схема прокладки оптоволоконной линии связи УНУ БТА – ННП САО РАН
(вертикальный профиль)

6.2 Модернизация систем энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ)

Для решения задачи модернизации системы энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии на первом этапе настоящей ПНИ был заключен договор №Д-2238-14 с Объединенным институтом высоких температур РАН на проведение исследований и обоснование технических решений по повышению энергоэффективности и энергобезопасности УНУ БТА. В рамках настоящего этапа работ был осуществлен детальный анализ энергопотребления комплекса УНУ БТА, разработаны и обоснованы предложения по внедрению возобновляемых источников энергии в системах гарантированного электропитания УНУ БТА и реконструкции дизель-генератора ВНП САО РАН.

Анализ потребностей в электроэнергии показал, что в настоящее время для комплекса УНУ БТА необходим резерв мощности 205 кВт, что с учетом оптимального режима работы дизель-генератора дает необходимую номинальную мощность в 275 кВт. Среди множества вариантов приобретения дизель-генераторов наиболее предпочтительным по соотношению

«цена-качество» представляется установка дизель генератора отечественной сборки на базе импортных двигателей и генераторов. Среди них – АД-315С-Т400-2РГТ от компании «Ярославские моторы» и РСМ ADV-280 от ООО «Завод РСМ».

Для теплоснабжения объектов ВНП весьма перспективным вариантом представляется установка солнечной станции теплоснабжения, в которой в качестве преобразователя солнечной энергии в тепловую можно использовать плоские солнечные коллекторы производства итальянской компании «Аристон». Пример одного такого накопителя – на рисунке 24.



Рисунок 24 – Плоский солнечный коллектор KAIROSP-2.5-IV производства «Аристон»
(Италия)

Рассмотрение возможностей перевода освещения объектов ВНП на светодиодную технику в рамках мероприятий по энергоэффективности и энергосбережению показало, что возможным представляется снижение установленной электрической мощности более чем в 6 раз. При текущих ценах на электроэнергию это дает ежегодную экономию более чем в 100 тысяч рублей. Сами же расходы на переоснащение составят около 1 млн.рублей. Срок окупаемости такого проекта составит около 15 лет.

Учет современных реалий на рынке фотоэлектрических электростанций позволяет предложить как один из самых перспективных вариантов создание фотоэлектрической электростанции для покрытия всех нужд Верхней научной площадки или для обеспечения только самых ответственных потребителей. При этом в качестве фотоэлектрических модулей можно использовать модули типа SOLET 60/6-250 производства «PRECIZIKA» (Вильнюс, Литва). Вид модуля приведен на рисунке 25.

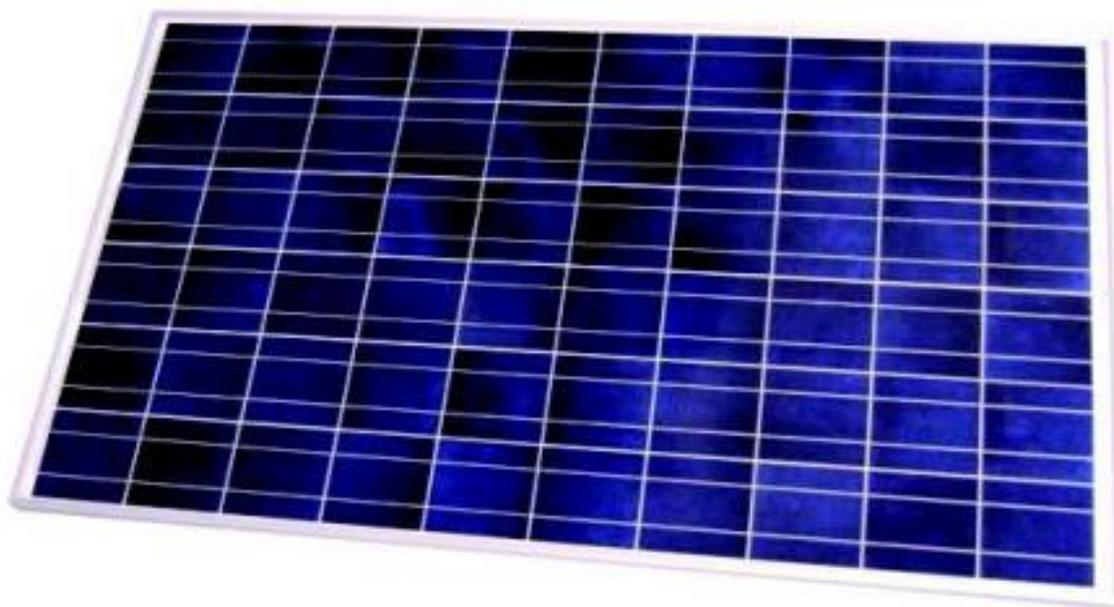


Рисунок 25 – Фотоэлектрический модуль SOLET 60/6-250 производства «PRECIZIKA»
(Вильнюс, Литва)

При этом в качестве системы аккумулирования можно рекомендовать серийно выпускаемые редокс-ванадиевые накопители электрической энергии с проточным электролитом.

Заключение

Принимая во внимание приведенные выше материалы и результаты работы УНУ БТА в ходе проведения первого этапа ПНИ, приходим к выводу, что в целом задачи, поставленные Заказчиком перед Исполнителем, выполнены и соответствуют требованиям Технического задания.

В настоящем отчете приведены результаты плановых наблюдений, выполненных на УНУ БТА, подтверждено обеспечение условий для выполнения исследований сторонними организациями на оборудовании УНУ.

В рамках этапа ПНИ подготовлен отчет о результатах наблюдений на УНУ БТА во втором полугодии 2014 г., который представлен на заседании Комитета по тематике больших телескопов 16 апреля 2015 г. Проведена техническая экспертиза заявок на наблюдения на УНУ БТА на второе полугодие 2015 г., представленная на рассмотрение КТБТ. На основе Протокола распределения времени УНУ БТА составлено «Расписание наблюдений на БТА на второе полугодие 2015 г. (Приложение А к Отчету).

Обеспечены наблюдения на УНУ БТА в полном соответствии с расписанием (http://www.sao.ru/request/schedule/bta2015_1.html).

По результатам исследований подготовлены научные статьи, вышло в свет 5 работ.

В ходе ПНИ продолжены работы по реализации Программы развития УНУ БТА на 2014-2015 годы в части повышения эффективности универсального спектрографа низкого разрешения SCORPIO-II, разработки и изготовление узлов высокоточного эшелле-спектрографа с оптоволоконным входом.

В ходе ПНИ начато изготовление криостата и электроники системы регистрации, проведено исследование параметров ИПС, изготовлены ахроматические клинья и оправы, проведена склейка и сборка двулучевой поляризационной призмы Волластона, введен в наблюдения на УНУ БТА в составе прибора SCORPIO-2 настраиваемый фильтр на основе эталона Фабри-Перо.

В ходе работ проведено дооснащение объекта научной инфраструктуры необходимыми материалами и оборудованием, начат проект ремонта оптоволоконной линии связи УНУ БТА – ННП САО РАН, продолжены поисковые работы в целях модернизации систем энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии.

Текущее состояние работ по проекту отражено на странице сети ИНТЕРНЕТ - http://www.sao.ru/Doc-k8/Science/reportMES/UNU_BTA.html.

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