

# Разработка и исследование приемной аппаратуры для 2.5-метрового телескопа КГО

## Тема 7.3 Госзадания Отчёт за 2021 год

Шатский Н.И. (рук.), Бартунов О.С., Белинский А.А., Возякова О.В., Желтоухов С.Г.,  
Масленникова Н.А., Потанин С.А., Сигаев Ф.Г., Татарников А.М., Федотьева А.А.

### Реферат

Разработано ПО для учёта выполнения программ наблюдений на разных инструментах 2.5-м телескопа; защищено 3 дипломных работы по теме исследования свойств и методики наблюдений с навесными приборами, выполнены расширение набора широкополосных фильтров ИК-камеры, проработка технического проекта программного обеспечения, его испытание и итоговая сдача в эксплуатацию системы управления и всего комплекса 2.5-м телескопа. Зафиксирован набор основных характеристик спектрографа высокого разрешения, разработан предпроект и оптическая схема инструмента, выполнена методическая проработка измерения основных характеристик оптоволоконного тракта питания, разработаны спецификации и пробные покрытия высокого отражения для основных отражающих элементов. Выполнен ряд плановых работ по другим навесным приборам телескопа без отрыва от основной задачи обеспечения плановой научно-учебной работы ГАИШ на базе КГО.

### Введение

Одним из ключевых элементов эффективности использования "телескопного" времени на обсерваториях является оптимальное планирование измерений. Известно, что эффективность наблюдений по Боуэну включает такие факторы, как полное пропускание оптического тракта, включающая текущее состояние (прозрачность) атмосферы, уровень фона неба и качество изображений. Остальные характеристики в теории не зависят от времени и при планировании могут считаться константами. Соответственно, максимизация "научного выхода" заключается в правильном распределении отдельных наблюдательных задач по времени в зависимости от текущих условий измерений. Решению этой задачи в 2021 году посвящена разработка инструмента оперативного планирования, который в результате начал применяться на 2.5-м телескопе в штатном режиме.

Разработка инструмента оперативного планирования является по сути выходным компонентом "конвейера" обработки научных программ заявителей. На входе этого "конвейера" располагается система учёта самих программ наблюдений и семестрового планирования наблюдений заявителями. Эта система базируется на разработанной в 2019-2020 году структуре базы данных, призванной отразить всё текущее многообразие программ, их объектов, тактики наблюдений и калибровок и режимов измерений, которое используется в ГАИШ при оптических наблюдениях. В этом году эта структура была полностью закончена на базе СУБД Postgres и выполнена "надстройка" в виде веб-интерфейса для заявителей и координаторов принятых к наблюдениям программ, получившая название ARCA.

Инструменты семестрового и оперативного планирования представляют высший логический уровень в иерархии компонентов программного обеспечения 2.5-метрового телескопа. При их разработке было уделено внимание обобщению подходов, в результате эти инструменты после некоторой отладки смогут применяться и на других телескопах ГАИШ, что позволит систематизировать работу программного комитета по наблюдательному времени и построить интегрированную систему учёта наблюдательного времени и организации в т.ч. синхронных наблюдений. Их ввод явился венцом работы по вводу в штатную эксплуатацию самого 2.5-метрового телескопа после завершения разработки его ПО системы управления, приёмочные работы по которой завершились в день 190-летия ГАИШ.

Планом на истекающий год также предусматривалась проработка эскизного проекта нового инструмента для главного телескопа КГО ГАИШ - эшелле-спектрографа высокого разрешения. В течение года велась работа по обсуждению вариантов конструкции прибора в свете целевого спектра задач, который имеется на сегодня по итогам научного обзора тематик, разрабатываемых в ГАИШ и других астрономических институтах страны. В итоге сделан выбор в пользу конкретного типа и конструкции спектрографа, сформирован перечень требований к ключевым элементам, выполнено планирование работ по созданию прибора и первые эксперименты, касающиеся достижения максимума пропускания оптики прибора при заданных основных выходных параметрах диапазона и разрешающей силы.

Наконец, по части поддержки и улучшения характеристик и расширения возможностей уже существующих приборов велась работа над доукомплектацией инфракрасной камеры-спектрографа ASTRONIRCAM, подготовка Спекл-поляриметра к переходу на приёмник нового поколения (работа велась на стыке с темой Астроклиматических измерений, руководитель Б.С.Сафонов), доработка Транзиентного двухлучевого спектрографа в части эффективности и надёжности функционирования ключевых узлов и ряд плановых работ на других штатных инструментах КГО ГАИШ. Это по сути явилось вкладом в ту же задачу повышения общей эффективности наблюдений, но уже со стороны использования света приёмной аппаратурой. Вся работа велась практически без остановки научных наблюдений, которые принесли ряд интересных результатов, освещённых коллегами в смежных темах Госзадания.

## **Содержание основных этапов**

OPLAN. Система оперативного планирования наблюдений была разработана в Лаборатории КГО в течение последнего года работы. Она базируется на структуре несущей базы данных (БД) планирования SAI25, содержащей все принятые программы, их объекты, а также задачи их наблюдений и измерений, как научных, так и калибровочных. Реализация системы выполнена в виде скриптов Python-3 с графическим интерфейсом пользователя, являющихся фактически основным инструментом работы оператора 2.5-метрового телескопа.

В окне программы оператор видит весь перечень актуальных (действующих в данном сезоне и содержащих непустое множество потенциальных задач, которые могут сейчас выполняться) научных программ, регулярно подгружаемых в систему из БД, а также окна актуальных на данный момент задач, отсортированных по релевантности (включая совместимость требований задачи с текущими *сиингом*, фоном и прозрачностью атмосферы), и текущего плана наблюдений. Оператор может выбирать из списка задач наиболее важную на данный момент, исходя из понимания научной задачи программы и текущей обстановки (например, распределения облачности). В тривиальном случае оператор выбирает задачи из

верхней части списка, что отражает возможность системы работать в роботизированном режиме и для некоторых видов наблюдений уже используется. Справа от текущего списка запланированных наведений оператор видит графики изменения высот выбранных объектов со временем, где видно также расположение на небе Луны и времена наступления сумерек.

Разработанная программа позволяет оператору не упускать из виду ни одну из действующих программ наблюдений, уделяя им время пропорционально присвоенному программным комитетом приоритету, условиям и, если это нужно, - соответствия времени выбранным заявителем моментам интересующих его астрофизических явлений.

ARCA. Наполнение БД программ происходит теперь в другом веб-инструменте сезонного планирования <http://arca.sai.msu.ru>, прототипированном в феврале-мае 2021г на языке PHP. С его помощью заявители могут сами настраивать условия наблюдений по своим программам, корректировать списки объектов и измерений и следить за их выполнением в течение сезона в разделах сводки результатов наблюдений. Для удобства заявителя или оператора, форма ввода планируемых измерений дополнена разработанным в этом году Калькулятором экспозиций в виде Javascript, который оттестирован для приборов ANC, NBI и будет распространён и на TDS. Этот инструмент будет прорабатываться (оптимизироваться и дорабатываться) и дальше, но уже с середины года вся работа по сезонному планированию наблюдений 2.5-метрового телескопа выполняется только с его помощью. Согласно планам ГАИШ, база планирования будет дальше применяться и для других телескопов, в частности 60-сантиметровых фотометрических инструментов КГО и КАС ГАИШ, а в перспективе и 1.25-м и 50-см телескопов.

Комплекс ПО 2.5-м телескопа. В этом году закончена разработка основного функционала рабочего программного обеспечения телескопа. Ядро системы управления, демон оркестровки работы всех компонентов телескопа (монтировки, узлов вторичного и третичного зеркал, автогидов, купола итп) под названием OCSd (Observations Control System daemon), заточен под последовательное автоматическое выполнение списка наведений, запланированных оператором в базе данных SAI25. Таким образом, через эту базу данных выполнена интеграция всех основных подсистем высшего логического уровня, оставляя при этом их технический функционал независимым, что обеспечивает устойчивость системы.

Немаловажным компонентом является и графический интерфейс оператора, позволяющий менять режимы работы OCSd, управлять при необходимости телескопом вручную, выполнять инициализацию и парковку, контроль ключевых параметров. Интерфейс полностью разработан и оттестирован в Лаборатории КГО, где также был разработан и второй экран оператора - монитор текущей обстановки в обсерватории <http://infra.sai.msu.ru:6969>.

КГО ГАИШ (лаборатория и станция) участвовали в тестировании и других компонентов системы управления телескопа, велась работа по устранению недочётов в аппаратном обеспечении. Проработана оптомеханика и ПО для фокусировки внеосевых автогидов телескопа, обеспечивающих спектральные наблюдения в оптике и ИК, что решает проблему кривизны поля системы Ричи-Кретьена и вытекающей недостаточной точности гидирования из-за расфокусировки астигматических изображений в камерах автогидов. Выполнен перевод подкупольного и цехового кранов для обслуживания оборудования телескопа на радиоуправление и многие другие задачи второго ряда. В итоге оказалось возможным к юбилейному дню ГАИШ 11 декабря успешно завершить приёмочные испытания всего комплекса 2.5-м телескоп и обеспечить ввод его в эксплуатацию. Об этом более иллюстрировано было рассказано на докладе в ходе процедуры приёмки и на Учёном Совете ГАИШ 15.12.2021г.

SHEF. Разработка спектрографа высокого разрешения завершает план ввода навесной аппаратуры первого поколения для 2.5-м телескопа. Этот спектрограф не только позволит решить целый ряд необеспечиваемых пока на КГО научных задач по ключевым, мониторинговым и алертным наблюдениям многих классов объектов (нестационарные явления в молодых и проэволюционировавших системах, звёздная кинематика и кратность, химический состав звёздных атмосфер, экзопланеты и др.), но и позволит существенно повысить полноту использования наблюдательного времени с плохим качеством изображений и высоким уровнем фона неба. Известно, этот вид наблюдений существенно менее чувствителен к сиингу (по качеству данных, теряя только в отношении S/N в данных, но не в разрешающей способности) и фону от Луны и искусственной засветке.

Проведён анализ задач и требований и зафиксированы основные параметры спектрографа (рабочее название SHEF - Sternberg High-resolution and efficiency Fiber-fed spectrograph) - R=50000 (high-res)/25000 (linear spectropolarimetry), 390-870 нм, волоконное питание. Принята схема асимметричного "белого зрачка" (WP; S.Barnes et al, SPIE 8446, 844688, 2012), проработан вопрос питающего основного волокна (CeramOptec 100µm octagonal) и трансформирующей оптики, создан экспериментальный стенд и начаты испытания волокна в лаборатории по вопросам спектральной прозрачности и Focal Ratio Degradation. Совместно с партнёрами из внешних организаций проработан вопрос диэлектрических отражающих покрытий с целью ликвидации одного из базовых недостатков схемы WP - сравнительно большого количества отражений и вытекающего низкого пропускания при обычных алюминиевых зеркалах. Выполнены пробные напыления и измерения образцов (R~95%, cf R~85% для алюминия). На 2022 год запланирована разработка и изготовление прототипа нового узла ввода света в спектрограф (третий прибор фокуса Кассегрена 2.5-м телескопа).

TDS. Выполнена замена дисперсора "синего" канала, обнаружившего местное понижение эффективности дифракции в рабочий 1-й порядок, юстировка каналов, доработка ПО для автоматической работы по "рутинным" программам, требующим быстрого наведения и регистрации короткоэкспозиционных спектров (в частности, абсолютная спектрофотометрия Луны), установка 3-й щели (теперь - 1, 1.5 и 10" одновременно). Спектрограф весь год работал с максимальной загрузкой, см. доклад К.А.Постнова на конференции HEA-2021.

SPP. Выполнено испытание нового детектора qCMOS фирмы Hamamatsu для Спекл-поляриметра, работы по повышению точности измерений в текущем функционале, разработки новой схемы прибора под приёмник с большим полем зрения. Работы с прибором велись в связке с вводом нового прибора телескопа для изучения подкупольного сиинга, см. отчёт по теме Астроклимата.

ANC. Широкополосная система ЖК (МКО system) прибора AstroNIRCam дополнена 4-м фильтром Y, установленным в криостат в июне с.г. Теперь между оптическими и ИК-наблюдениями по задачам SED фактически нет пробела в районе длины волны 1 мкм. Весь год обеспечивались плановые наблюдения, за исключением двух коротких промежутков в июне и декабре на технологические работы.

В ходе работы над ПО AstroNIRCam был написан ряд программ на языке Python, которые, будучи встроенными в pipeline обработки наблюдательных данных, полностью реализуют переход от двумерного изображения спектра на матрице детектора к распределению энергии, зарегистрированному прибором:

- 1) Программа, осуществляющая фильтрующую экстракцию спектра.
- 2) Программа, предварительно создающая спектральное плоское поле.

3) Программа, предварительно создающая калибровочный спектр неба для данного объекта. Программы используются, в частности, при редукации спектральных наблюдений мирид.

NBI. Выполнена доработка ПО управления наблюдениями на широкопольном ПЗС-фотометре формата 4К (поле зрения 10x10 угл.мин), адаптация под технические (в частности, наблюдения сотни площадок для уточнения модели наведения телескопа) и рутинные измерения в роботизированном режиме. Выполнена интеграция в GUI работы с прибором алгоритмов анализа внефокальных изображений с восстановлением мод Цернике основных аббераций системы, что используется для контроля коллимации телескопа и быстрой фокусировки камеры.

Стоит также упомянуть, что за год были выполнены работы по акустооптическому спектрометру, способному выполнять задачи, сходные с тематикой прибора MaNGaL (сканирующего эталона Фабри-Перо, который в этом году также был интегрирован в систему наблюдений на 2.5-м телескопе совместными усилиями КГО и CAO).

PostgreSQL. Продолжается разработка специализированных индексов для СУБД PostgreSQL предназначенных для хранения и быстрого поиска больших объемов астрономически данных и данных общего назначения. Разработана новая версия модуля PGSphere, расширения для СУБД PostgreSQL позволяющего хранить в СУБД большие астрономические каталоги с индексацией в сферических координатах объектов. Модуль Pgsphere широко используется по всему миру для астрономических и геоинформационных приложений, в частности в европейском проекте GAIA он задействован для работы со внутренними БД сырых данных получаемых космической обсерваторией наряду с модулем Q3C также разработанным в ГАИШ под руководством О.С. Бартунова. В новой версии сделан упор на компактизацию хранения данных, ускорение выборки объектов по координатам, расширением функционала встроенных функций модуля. В начале следующего года мы планируем провести нагрузочное тестирование модуля и подготовить по его итогам статью, а также выполнить его мерджинг с кастомной версией, использованной в системе ARCA.

## **Заключение**

Основным итогом года работы Лаборатории и станции КГО явился ввод в эксплуатацию всего комплекса 2.5-м телескопа, включающего аппаратно-программное обеспечение питающего инструмента, систему сезонного и оперативного планирования наблюдений и весь комплекс штатной навесной аппаратуры. Работа заняла весь год и активно включала усилия сотрудников Лаборатории, обсерватории и других подразделений ГАИШ и даже смежных организаций, которые работали в качестве операторов телескопа и тестировали компоненты системы. В работе принимали участие и студенты. В 2021 году по теме НИР защитилось 3 дипломника (2 из состава лабКГО), два из которых продолжают работу в составе лаборатории. На базе комплекса и КГО успешно проведена летняя студенческая практика. Существенно продвинулось обеспечение приборной базы новыми приёмниками и др. ключевыми компонентами, что создало мощный задел на работу по теме в 2022 году.

## **Публикации по теме**

[2021 Оптическая спектроскопия квазаров, открытых телескопом SRG/ePOZITA, на 2.5-м телескопе кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ](#)

- [Додин А.В.](#), [Шатский Н.И.](#), [Белинский А.А.](#), [Атапин К.Е.](#), [Бурлак М.А.](#), [Желтоухов Сергей Геннадьевич](#), [Татарников А.М.](#), [Постнов К.А.](#), [Черепашук А.М.](#), [Бельведерский М.И.](#), [Борисов В.Д.](#), [Буренин Р.А.](#), [Гильфанов М.Р.](#), [Кривонос Р.А.](#), [Медведев П.С.](#), [Мещеряков А.В.](#), [Сазонов С.Ю.](#), [Сюняев Р.А.](#), [Хорунжев Г.А.](#)

## **2021 НОВЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ГАИШ МГУ: КАВКАЗСКАЯ ГОРНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ**

- [Шатский Н.И.](#), [Татарников А.М.](#), [Корнилов В.Г.](#), [Потанин С.А.](#), [Черепашук А.М.](#), [Белинский А.А.](#), [Постнов К.А.](#)
- в журнале [Земля и вселенная](#), № 4, с. 61-81 [DOI 10.7868/S004439482104006X](#)