

МГУ имени М.В. Ломоносова

Государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга

№ госрегистрации  
АААА-А20-120012990082-6

УТВЕРЖДАЮ  
Директор/декан

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

УДК  
535.24 Фотометрия  
629.7.05 Бортовые системы и приборы наведения, управления и навига-  
ции  
524.3 Звезды  
629.7.054.07 Навигационно-пилотажные приборы (в целом)

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

Внеатмосферная астрономия, ориентация и навигация в космосе  
(промежуточный)

Зам. директора/декана  
по научной работе

\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

Руководитель темы  
Прохоров М.Е.

\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы:

заведующий лабораторией, доктор физико-математических наук, кандидат физико-математических наук, доцент по кафедре \_\_\_\_\_ (Прохоров М.Е.)

Исполнители темы:

инженер 1-ой категории \_\_\_\_\_ (Березин Ю.В.)  
старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук \_\_\_\_\_ (Бирюков А.В.)  
старший научный сотрудник \_\_\_\_\_ (Захаров А.И.)  
ведущий специалист \_\_\_\_\_ (Илларионов А.В.)  
научный сотрудник \_\_\_\_\_ (Крусанова Н.Л.)  
старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, доктор физико-математических наук, доцент/с.н.с. по специальности \_\_\_\_\_ (Миронов А.В.)  
ведущий специалист , кандидат физико-математических наук \_\_\_\_\_ (Мошкалев В.Г.)  
старший научный сотрудник, кандидат технических наук \_\_\_\_\_ (Стекольников О.Ю.)  
научный сотрудник \_\_\_\_\_ (Тучин М.С.)

## РЕФЕРАТ

Ключевые слова:

внеатмосферная астрономия, приемники излучения, космические эксперименты, оптические телескопы, каталоги звезд, солнечные датчики, звездные датчики, навигация, ориентация

Ключевые слова по-английски:

space based astronomy, optical telescopes, space experiment, stellar catalogues, orientation, star tracker, solar sensor, navigation, photo detectors

Основными направлениями работ по теме государственного задания ГАИШ «Внеатмосферная астрономия, ориентация и навигация в космосе» являются:

1а. Основное направление работ — собственные космические проекты и разработка электронно-оптических приборов космического назначения. К ним относятся:

- разработка, подготовка и проведение космических экспериментов в области оптической астрономии (космические эксперименты «Ли́ра-Б» и «Качка» и их варианты на новых платформах, возможный новый эксперимент — «МГУ-270»);
- разработка новых способов ориентации и навигации в космосе;
- разработка приборов, реализующих эти новые способы;
- конструирование и изготовление прототипов оптико-электронных приборов для космической ориентации и навигации в космосе;
- исследование и проведение испытаний новых приборов;
- патентная защита полученных РИД.

1б. Дополнительные направления:

- повторная обработка WBVR-каталога ярких звезд северного неба, созданного на Тянь-Шаньской (Алма-Атинской) обсерватории ГАИШ;
- исследования по теме «Космические угрозы» («Астероидно-кометная опасность»).

2. Совместные фундаментальные исследования (с ИНАСАН, с САО РАН и т.д.).

3. Совместные прикладные исследования (с ОКБ МЭИ, с Экспертно-аналитическим центром Минобрнауки РФ, с ООО «Азмерит» и ООО «Гаскол» (Сколково) и т.д.).

4. Преподавание с использованием результатов по теме Госзадания.

Результаты этих работ описаны в соответствующих подразделах основной части отчета.

В 2022 г. по теме госзадания были опубликованы 8 статей и 2 тезисов в журналах и сборниках, изданы 4 книги (2 переиздания и 2 учебных пособия) представлены 4 докладов на конференциях. Руководитель темы Прохоров М.Е. прочел два семестровых курса для студентов Физического факультета

и Факультета космических исследований МГУ и один семестровый курс для аспирантов Физического факультета МГУ. Бирюков А.В. прочел в 2022 году прошел двухмесячную стажировку в Израиле (Тель-Авивский Университет); курс лекций для повышения квалификации учителей астрономии (совместно с Центром Педагогического Мастерства); участвовал в совместной разработке дистанционного курса лекций «Современные проблемы астрофизики и специальные методы анализа данных», прочитал цикл лекций по астрономии по программе фонда «Траектория» (около 10 лекций); работал с 2 студентами 3 и 4 курсов.

## ВВЕДЕНИЕ

В 2022 году исследования по теме государственного задания ГАИШ 7.2 «Внеатмосферная астрономия, ориентация и навигация в космосе» велись по следующим основным направлениям, запланированным на текущий год.

1. Собственные (ГАИШ МГУ) космические проекты и разработка электронно-оптических приборов космического назначения.
2. Совместные фундаментальные исследования (с САО РАН, с Университетом Тель-Авива (Израиль) и т.д.).
3. Совместные прикладные исследования (с ОКБ МЭИ, с Экспертно-аналитическим центром Минобрнауки РФ, с ООО «Азмерит» и ООО «Гаскол» (Сколково) и т.д.).
4. Преподавание с использованием результатов по теме Госзадания.
5. Индивидуальные исследования научных сотрудников по теме Госзадания.

# 1 Собственные проекты и разработки

## 1.1 Космический эксперимент (КЭ) «Ли́ра-Б» (ОКР «МФОН»)

Целью космического эксперимента «Ли́ра-Б» является проведение высокоточного многоцветного фотометрического обзора ярких и промежуточных звезд всего неба в видимом, ультрафиолетовом и близком инфракрасных диапазонах с борта Российского сегмента Международной космической станции (МКС). Для этого на борт МКС должен быть доставлен и установлен на внешней поверхности МКС 0,5-м телескоп.

Заказчиком ОКР «МФОН» являлась Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва.

В 2018-2019 гг. был проведен и успешно сдан Заказчику этап Разработки конструкторской документации на Комплекс научной аппаратуры (КНА) МФОН. Для изготовления КНА МФОН и проведения полной программы его наземных и предполетных испытаний нужны еще 3 года, для проведения обзора неба с борта МКС – еще минимум 2 года. Поскольку сегодня объявлено, что последний год работы МКС – 2024, то для проведения КЭ «Ли́ра-Б» не хватает времени, в связи с этим дальнейшие работы по теме ОКР «МФОН» были приостановлены.

Весной 2022 г. в ЦНИИмаш было проведено совещание, посвященное исключению примерно 15 космических экспериментов, включая КЭ «Ли́ра-Б», из научной программы Российского сегмента МКС в связи с сокращением срока эксплуатации станции. Однако приказа о закрытии этих экспериментов до конца 2022 г. так и не поступило.

Если функционирование станции будет продлено до 2028 или до 2030 г., то эксперимент «Ли́ра-Б» можно успеть провести на МКС, но работы над аппаратурой надо возобновить не позднее 2022-2023 гг.

При этом задача проведения высокоточного многоцветного фотометрического обзора звезд всего неба остается актуальной и востребованной для решения как фундаментальных, так и прикладных задач астрономии. При этом ни в России, ни за рубежом подобные обзоры не планируются.

В связи с этим нами предлагается перенести проведение обзора с борта МКС на автономный космический аппарат (КА) или на борт новой Российской орбитальной служебной станции (РОСС). Для обоих вариантов возможного продолжения КЭ «Ли́ра-Б» в 2021-2022 гг. были разработаны соответствующие технические предложения.

Для обзора со спутника на борт КА на борт КА устанавливается телескоп с характеристиками близкими к телескопу из КЭ «Ли́ра-Б». Возможно увеличение его диаметра до 0,6-0,8 м.

Наиболее очевидными выглядят следующие три возможности проведения обзора неба. Первая — проведение обзора со спутника на солнечно-синхронной орбите. При орбитальной ориентации возможна очень удобная конфигурация, в которой телескоп всегда обращен в область локального зенита, служебный модуль и антенны обращены к Земле, а солнечные батареи максимально развернуты к Солнцу.

Наблюдения ведутся непрерывно в сканирующем режиме за счет орбитального движения, а покрытие неба происходит за счет прецессии орбиты. Полное однократное покрытие неба наблюдениями происходит за полгода.

Преимуществами солнечно-синхронной орбиты является возможность неподвижно закрепить телескоп на космическом аппарате. При этом научная аппаратура и радиаторы системы охлаждения будут всегда находиться в тени Солнца, создаваемой блоком солнечных батарей. К недостаткам солнечно-синхронной орбиты относится то, что передача информации на Землю может происходить только при пролете над станциями приема информации. Перерыв между такими пролетами может достигать нескольких орбитальных витков. Из-за этого на борту должен быть установлен накопитель информации большого объема, а система передачи информации на Землю должна обладать высокой скоростью.

Вторая возможность предполагает спутник на солнечно-синхронной орбите и передачу данных через систему геостационарных ретрансляторов, подобных современным ретрансляторам «Луч». Конструкция космического аппарата такая же, как и в первом случае, но передача данных ведется непрерывно, из-за этого не требуется большой объем памяти на борту и высокоскоростные передатчики информации.

Третья возможность это спутник на геосинхронной орбите. С него можно непрерывно вести передачу данных на один или два выделенных наземных пункта приема информации. Однако у спутника на геосинхронной орбите будет более сложная конструкция. В нем будет много подвижных частей, так как при движении спутника антенны должны быть направлены в сторону Земли, солнечные батареи должны быть постоянно развернуты к Солнцу, а телескоп вести наблюдения. Для того, чтобы покрыть наблюдениями все небо при непрерывном сканировании, телескоп на геостационарном КА должен равномерно вращаться вокруг поперечной оси, а ось его вращения должна совпадать с локальной вертикалью (направлением на центр Земли). Если период вращения телескопа будет равен орбитальному периоду (т.е. 1 звездным суткам), то можно добиться, чтобы угол между осью визирования телескопа и направлением на Солнце всегда был больше  $60^\circ$  и обзор неба мог проводиться непрерывно.

Подготовленное предложение в 2022 г. было заслушано и одобрено на секции «Внеатмосферная астрономия» Совета РАН по Космосу.

Также было подготовлено предложение по проведению Многоцветного фотометрического обзора неба на борту новой Российской станции РОСС. Учитывая, что в качестве первых модулей для РОСС будут использоваться модули, разработанные для МКС, геометрические ограничения на научную аппаратуру остаются прежними (если не будет возможности внешней доставки грузов — без их перемещения через обитаемый гермоотсек станции).б

Следует заметить, что планируемая солнечно-синхронная орбита станции намного удобнее для проведения обзора, чем орбита МКС, но потребуются существенная переработка конструкции телескопа, в первую очередь монтажки и системы охлаждения.

Подготовленное предложение в 2022 г. было заслушано и одобрено на соответствующей секции Координационного научно-технического совета.

## **1.2 Космические эксперименты «Качка» и «Звездный датчик»**

Несколько лет назад в Программу космических экспериментов на борту Российского сегмента МКС был включен КЭ «Качка». Цель. Этого эксперимента было исследование низкочастотных угловых колебаний модулей МКС, включая взаимные крутильные и изгибные колебания. Регистрацию угловых колебаний предполагалось вести с помощью высокоточных звездных датчиков ориентации, прототипы которых были разработаны в ГАИШ МГУ в 2010-2012 гг.

КЭ «Качка» предполагалось проводить в два этапа. На первом на борту одного из модулей РС МКС устанавливается блок высокоточных звездных датчиков. Целью первого этапа являются лётные испытания звездных датчиков и построение спектра угловых колебаний модуля РС МКС на который установлены датчики.

На втором этапе предполагалось установить на другой модуль РС МКС аналогичный блок звездных датчиков и с помощью одновременных измерений двумя блоками исследовать угловые изгибные и крутильные колебания МКС. Постановщиком КЭ «Качка» было ООО «Гаскол» (Сколково), ГАИШ МГУ был соисполнителем.

В 2019-2020 гг. Программа космических экспериментов на борту Российского сегмента МКС была сокращена и в 2021 г. подготовка КЭ «Качка» была прекращена с написанием материалов для заключительного отчета по нему.

Одновременно ЦНИИмаш предложил ГАИШ МГУ стать научным постановщиком Целевой работы (ЦР) «Звездный датчик», которая представляет собой первый этап КЭ «Качка». ЦР «Звездный датчик» включена в программу космических экспериментов на борту РС МКС, в настоящее время ведется согласование технического задания на КЭ.

В 2022 г. с ЦНИИмаш и ООО «Агат» велось согласование финансового обоснования этого космического эксперимента.

Если работы над ЦР «Звездный датчик» начнутся в 2023 г., то высока вероятность проведения этого эксперимента до прекращения эксплуатации МКС в 2025 г.

## **1.3 Космический эксперимент «МГУ-270»**

В МГУ выдвинуто предложение собственными силами разработать и запустить к 270-летию юбилею МГУ (который будет в 2025 г.) научный спутник под условным названием «МГУ-270». Один из вариантов такого спутника содержит телескоп для многоцветных фотометрических наблюдений звезд с экзопланетами, звезд в рассеянных и шаровых скоплениях, ядер активных галактик и квазаров и транзиентных явлений.

В создании этого предложения в 2022 г. участвовали Прохоров М.Е. и Захаров А.И. совместно с другими сотрудниками ГАИШ. Работа продолжается.



## 1.4 Солнечный датчик нового типа

В 2015 г. в лаборатории космических проектов был запатентован звездный датчик принципиально нового типа, обладающий одновременно очень широким полем зрения и высокой точностью определения направления на центр Солнца (патент RU 2555216).

В ходе дальнейших исследований выяснилось, что изготовление основного оптического элемента этого солнечного датчика связано с очень большими технологическими трудностями.

В 2021 г. в лаборатории космических проектов была предложена другая конструкция подобного датчика, лишенная этого технологического недостатка.

Подготовлены материалы для патентования нового типа высокоточного солнечного датчика и переданы в подразделение патентования «Иннопрактики» МГУ. Результат интеллектуальной деятельности «Способ измерения угловых координат Солнца и реализующее его устройство», рассмотрен на заседании комиссии по интеллектуальной собственности МГУ № 30. Решение комиссии: регистрация с целью получения охранных документов на имя МГУ признана целесообразной. С учетом высокой загруженности подразделения патентования в конце года в связи с подготовкой госконтрактных заявок, работа по оформлению патента будет проводиться в январе 2023 года.

Подготовлены две статьи по солнечным датчикам. Одна будет доложена на конференции «Физика космоса—50» (Екатеринбург, Коуровка) и опубликована в трудах конференции. Вторая, более подробная, будет опубликована после подачи заявки на патент.

## 1.5 Проект «Сириус»

С 1985 г. на Тянь-Шаньской (Алма-Атинской) обсерватории ГАИШ проводился WBVR-обзор ярких звезд северного неба. В 1991 г. на основе данных этого обзора был опубликован фотометрический WBVR-каталог ГАИШ. Каталог показал очень высокую фотометрическую точность и однородность, по этим характеристикам его превосходить только каталог Hipparcos, полученный в одноименном космическом эксперименте.

Целью проекта «Сириус» является повторная обработка исходных данных WBVR-обзора. Причин для переобработки две:

- не все наблюдения вошли в каталог 1991 г. – наблюдения продолжались более двух лет после публикации первой версии каталога;
- в исходных данных обзора есть ошибки (в основном ошибки в отождествлении звезд), которые можно обнаружить и исправить.

Работа по подготовке к повторной обработке данных WBVR-обзора ведется в лаборатории уже несколько лет. В частности в 2021 г. Крусанова Н.Л. занималась поиском и выявлением ошибок отождествления. Они подразделяются на случайные ошибки (наблюдалась не та звезда) и ошибки отождествления компонент двойных и кратных звезд. Первый тип ошибки проверяется по измеренной звездной величине, по-видимому, практически все они уже выявлены в предыдущие годы работы. Для выявления второго

типа ошибок используются отождествления измеряемых звезд с наиболее точными астрометрическими каталогами (среди доступных). До последнего времени в этом качестве использовались каталоги Hipparcos и Tycho-2. С появлением в 2018 г. более точного каталога Gaia DR2 было начато его использование. В 2018-2019 гг. с использованием каталога Gaia DR2 были найдены и исправлены 473 ошибочных измерения. В 2020 г. были найдены еще 13 ошибочных измерений. По-видимому, возможности каталога Gaia DR2 можно считать исчерпанными. В конце 2020 года была опубликована предварительная версия 3-го релиза каталога Gaia (Gaia DR3). В новом каталоге примерно в 1,5 раза увеличена точность координат звезд, в особенности, ярких звезд и разрешенных кратных звездных систем. Прделанная работа проверена на новом релизе каталога.

Миронов А.В. завершил уточнение спектров звезд-спектральных стандартов в ультрафиолетовой области. Для этого были использованы спектры звезд, полученных в КЭ «Астрон».

Прохоров М.Е. и Захаров А.И. начали проверку и уточнение спектров звезд — спектральных стандартов в видимом диапазоне ( $\lambda = 3900-9000$ ) по спектрам из каталога LAMOST DR5. В каталоге LAMOST DR5 найдено 108 звезд, входящих в WBVR-обзор ГАИШ.

Разработана новая версия основных алгоритмов обработки данных для создания каталога. Об этих алгоритмах сделаны два доклада на конференции «Современная звездная астрономия—2022», соответствующие статьи направлены в «Астрономический журнал».

## **1.6 «Космические угрозы» («Астероидно-кометная опасность»)**

По этому направлению написано и издано в издательстве «Инфра-М» два учебных пособия: И.В. Кузнецова, М.Е. Прохоров «Учебный исследовательский проект по физике на базе открытых данных» для разных уровней образования (бакалавриат и среднее специальное образование)

## **2 Совместные фундаментальные исследования**

### **2.1 Совместные фундаментальные исследования с ИНАСАН**

Прохоров М.Е. участвует в работе по поиску неразрешенных двойных звезд в спектральном каталоге низкого разрешения LAMOST вместе с группой О.Ю. Малкова из ИНАСАН.

В 2022 г. по результатам этого исследования подготовлена статья, публикация, по-видимому, будет в 2023 г.

### **2.2 Совместные фундаментальные исследования с САО РАН**

А.В. Бирюков продолжает сотрудничество с группой наблюдения оптических транзиентов на алертной установке Mini-MegaTORTORA. По результа-

там сотрудничества сделано 2 публикации и 1 доклад на конференции.

Также А.В. Бирюков продолжает сотрудничать с группой Релятивистской астрофизики САО РАН. В результате сотрудничества опубликована 1 статья (в Астрофизическом бюллетене).

В 2022 г. А.В. Бирюков прошел двухмесячную стажировку в Университете Тель-Авива (Израиль).

### **3 Совместные прикладные исследования**

В 2022 г. совместные исследования велись с сотрудниками ОКБ МЭИ, Экспертно-аналитического центра Минобрнауки РФ, ООО «Азмерит». По результатам совместных работ опубликовано 3 статьи и 2 тезиса, получены 3 свидетельства о регистрации ПО.

### **4 Преподавание**

Прохоров М.Е. прочитал курсы «Методы внеатмосферной астрономии» и «Ориентация и навигация в космосе» для студентов физического факультета и для магистрантов факультета космических исследований МГУ, а также курс «Космические опасности» для аспирантов физического факультета МГУ.

Бирюков А.В. в 2022 г.:

- прочел курс лекций для повышения квалификации учителей астрономии (совместно с Центром Педагогического Мастерства);
- участвовал в совместной разработке дистанционного курса лекций «Современные проблемы астрофизики и специальные методы анализа данных»;
- прочитал цикл лекций по астрономии по программе фонда «Траектория» (около 10 лекций);
- работал с 2 студентами 3 и 4 курсов;
- прошел двухмесячную стажировку в Израиле (Тель-Авивский Университет).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2022 г. по теме государственного задания ГАИШ были проведены работы по всем запланированным на текущий год направлениям работ. Ниже перечислены наиболее важные результаты, полученные по этой теме в 2022 г.

1. Поданы и одобрены Секцией совета по Космосу РАН и Координационного научно-технического совета заявки:
  - (a) на проведение Многоцветного фотометрического обзора неба (аналог космического эксперимента «Лира-Б») на борту новой Российской орбитальной служебной станции (РОСС);
  - (b) на проведение Многоцветного фотометрического обзора неба на борту автономного КА;
  - (c) на проведение исследования крутильных и изгибных колебаний Российской орбитальной служебной станции (аналог космического эксперимента «Качка») в полном объеме.
2. Велись работы по подготовке технического задания и договора на проведение космического эксперимента «Звездный датчик» на борту МКС.
3. Подготовлены материалы для патентования нового типа высокоточного солнечного датчика и переданы в подразделение патентования «Иннопрактики» МГУ. Результат интеллектуальной деятельности «Способ измерения угловых координат Солнца и реализующее его устройство», рассмотрен на заседании комиссии по интеллектуальной собственности МГУ № 30, получение патента на имя МГУ признано целесообразным. Работа по оформлению патента будет проводиться в январе 2023 года.
4. Повторная обработка WBVR-обзора ярких звезд северного неба ГАИШ — проект «Сириус»:
  - (a) Завершен этап подготовки исходных наблюдательных данных для повторной обработки WBVR-обзора ярких звезд северного неба ГАИШ — проект «Сириус». Проведена проверка ошибок отождествления компонентов двойных звезд путем сравнения с каталогом Gaia DR3. В каталоге спектров LAMOST найдены 108 звезд, входящих в WBVR-каталог ГАИШ.
  - (b) Разработана новая версия основных алгоритмов обработки данных для создания каталога.
  - (c) Об этих алгоритмах сделаны два доклада на конференции «Современная звездная астрономия—2022», соответствующие статьи направлены в «Астрономический журнал».

В 2022 г. по теме госзадания были опубликованы 8 статей и 2 тезисов в журналах и сборниках, изданы 4 книги (2 переиздания и 2 учебных пособия) представлены 4 докладов на конференциях.

Руководитель темы Прохоров М.Е. прочел два семестровых курса для студентов Физического факультета и Факультета космических исследований и один семестровый курс для аспирантов Физического факультета МГУ.

Бирюков А.В. прочел в 2022 году прошел двухмесячную стажировку в Израиле (Тель-Авивский Университет).

Бирюков А.В. в 2022 году прочел курс лекций для повышения квалификации учителей астрономии (совместно с Центром Педагогического Мастерства); участвовал в совместной разработке дистанционного курса лекций «Современные проблемы астрофизики и специальные методы анализа данных», прочитал цикл лекций по астрономии по программе фонда «Траектория» (около 10 лекций); работал с 2 студентами 3 и 4 курсов.

ПРИЛОЖЕНИЕ А  
Объем финансирования темы в 2022 году  
Таблица А.1

| Источник финанси-<br>рования | Объем (руб.) |                             |
|------------------------------|--------------|-----------------------------|
|                              | Получено     | Освоено собственными силами |
|                              |              |                             |