



Работа ЛИТМО по договорам с Институтом космических исследований РАН «...проходила в 70-х годах прошлого века в рамках международного проекта «Миссия Вегга» и была связана с полётом космического корабля для исследования планеты Венеры и кометы Галлея. При пролёте в районе Венеры с космического корабля был спущен на Венеру аппарат, с которого изучались свойства атмосферы Венеры и её поверхностного слоя. Далее было проведено фотографирование кометы со сравнительно близкого расстояния.

... мы (ЛИТМО – ред.) решали весь комплекс проблем с телевизионно-передающим устройством: проектировали, рассчитывали, изготовляли, тестировали, проводили испытания и т.д. Для решения этой задачи были подключены ряд кафедр института, конструкторское бюро и опытный завод ЛИТМО. Наше приемо-передающее космическое устройство было признано лучшим и его поставили на космическую ракету...

Всей работой по данному проекту руководил ректор института, т.е. я, и меня наградили орденом Трудового Красного знамени за работу в области новой техники.

Разработчиком и испытателем аппарата являлась сотрудница ЛИТМО доцент Цуканова Галина Ивановна, и она была отмечена за эту работу Государственной премией...»

Геннадий Николаевич Дульнев
д.т.н., профессор,
ректор ЛИТМО (1974-1986)



Г.И. Цуканова ВЕГА

Выдающиеся ученые Университета ИТМО



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Г.И. Цуканова

ВЕГА



Выдающиеся ученые Университета ИТМО



ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО

Серия монографий ученых Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (бывшего Ленинградского института точной механики и оптики)

Основана в 2000 году по решению
Ученого Совета университета
в ознаменование 100-летия со дня создания
в составе Ремесленного училища цесаревича Николая
Оптико-механического и часового отделения,
превращенного трудами нескольких
поколений профессоров и преподавателей
в один из ведущих
университетов России



Выпуск 18

Редакционная коллегия серии:
проф. В.Н. Васильев (председатель),
проф. А.В. Бараненко, проф. Г.И. Новиков,
доц. Н.К. Мальцева (ученый секретарь)

Г.И. Цуканова

ВЕГА

Под редакцией проф. О.А. Цукановой

Цуканова Г. И.

ВЕГА. / Под редакцией профессора О.А. Цукановой. - СПб.: Университет ИТМО, 2019. - 285 с. - Серия «Выдающиеся ученые Университета ИТМО». – Вып. 18.

В книге собран ряд основных научных трудов Галины Ивановны Цукановой, материалы по проекту «Вега», воспоминания коллег, учеников, которые позволят наиболее полно донести до читателей образ выдающегося человека.

Для научных работников, преподавателей вузов, исследователей истории развития высшей школы России.

Tcukanova G.I.

VEGA. / Edited by prof. Olga A. Tcukanova. - SPb.: ITMO University, 2019. - 285 p. - Series «ITMO University Outstanding Scientists». – Issue 18.

This book is devoted to the research and personal life of ITMO University professor Galina Tcukanova, whose sphere of interests lied in the field of optical design for space systems.

The book contains the main publications of the author, some material about the international space project «Vega», her friends', colleagues' and students' memories, that give a chance for the readert to know Galina Tcukanova as an outstanding person.

The book is issued for researchers, university scholars and students interested in science history in general and optics history particular.



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

ISBN 5 – 7577

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2019

© О.А. Цуканова, 2019

© Редакционная коллегия, 2019

Галина Ивановна Цуканова – выдающийся педагог и ученый-оптик, первая в истории ЛИТМО женщина – Лауреат Государственной премии СССР, более полувека посвятила работе в родном ВУЗе, воспитавшая не одно поколение молодых ученых, специалистов, которые успешно продвигаются по профессиональной карьере и всегда с благодарностью ее вспоминают. Галина Ивановна воплотила в себе лучшие качества научно-педагогического работника, совмещая одновременно передовые научные исследования с обучением и воспитанием студентов. Ее научные достижения служили основой для образовательной деятельности, повышению мотивации и интереса студентов к учебе и вовлечению их в научные исследования.

Трудовой путь оптика Галина Ивановна начала в 1968 году, когда после окончания аспирантуры была зачислена на должность инженера кафедры оптико-механических приборов. В 1969 году ею была защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Исследование и расчет астрономических асферических объективов с коррекцией полевых аберраций», научный руководитель – В.Н. Чуриловский, д.т.н., профессор.

Г.И. Цуканова прошла школу трех выдающихся ученых оптиков: д.т.н., профессора В.Н. Чуриловского, д.т.н., профессора И.И. Крыжановского, д.т.н., профессора М.М. Русинова. Знания, опыт, полученные от этих легендарных ученых дали возможность Галине Ивановне стать крупным специалистом в области исследования зеркальных систем с высокими оптическими характеристиками, расчета высокоскоростных киносъемочных камер, разработке зеркальных и зеркально-линзовых систем для космических исследований.

Галина Ивановна любила поговорку М.М. Русинова - «Не Боги горшки обжигают», начиная какое-то сложное дело, принимаясь за расчет оптической системы, которую до нее никто не смог довести до ума, и доводила начатое до конца.

Государственной премией СССР в области науки и техники за 1986 год Галина Ивановна была награждена за участие в междуна-

родном проекте «Вега», где она осуществляла научное руководство работой коллектива, ответственного за расчет оптической системы телескопа. С её помощью удалось сделать уникальные снимки кометы Галлея. Изображения были успешно переданы на Землю.

В 1985 году Галина Ивановна была награждена медалью им. С.П. Королева. Вместе с группой сотрудников в 1985 году за НИР по проекту «Вега» получила II премию Минвуза СССР. В 2003 году награждена нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», в 2004 году медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга».

Галина Ивановна была не только выдающимся ученым, но и педагогом с огромным опытом, энтузиазмом, любовью к студентам и своему делу. С 1969 по 2014 год ею были подготовлены курсы «Теория оптических систем», «Прикладная оптика», «Асферическая оптика», «Техническая оптика и теория оптического изображения», «Теория и методы расчета оптических систем», написаны учебные пособия, разработаны тесты, в том числе и для дистанционного обучения студентов.

Выдающаяся ученый оптик на протяжении многих десятилетий олицетворяла высокую квалификацию оптиков-расчетчиков ЛИТМО, ответственность, готовность доводить начатое до конца.

А.А. Шехонин,
советник при ректорате, председатель
Учебно-методического совета университета,
член совета по открытому образованию
Университета ИТМО, заведующий кафедрой
прикладной и компьютерной оптики (2000—
2011), кандидат технических наук, профессор

А.В. Бахолдин,
декан факультета прикладной оптики,
заведующий кафедрой прикладной и компью-
терной оптики (2012 – 2018), кандидат
технических наук, доцент

Деятельность нашего учебного заведения - Университета ИТМО (ранее известного как ЛИТМО) всю свою историю от момента основания в 1900 году до наших дней неотъемлемо связана с передовыми достижениями науки и техники. На современном этапе – это информационные системы, технологии программирования, технологии высокопроизводительных вычислений и систем, фотонные и лазерные системы.

В 70-80-х годах прошлого века передовые исследования были посвящены освоению космоса, созданию оптических технологий и приборов, которые могли бы приблизить нас к освоению неизведанных космических пространств. Одним из выдающихся событий тех лет в этой сфере был полет отечественных аппаратов к комете Галлея и планете Венера, вошедший в историю под названием проекта «ВЕГА» и справедливо отнесенный к «Золотой сотне» научных достижений XX века.

Любой проект, результаты исследований и достижения прикладной науки всегда связаны с именами людей, их создателей и разработчиков - тех, кто внёс свой существенный вклад, ведущий к победным результатам. Одним из наиболее значимых международных проектов того времени в области освоения космоса, куда значительный вклад внесли ученые ЛИТМО, стал международный проект «ВЕГА», в котором участвовали специалисты СССР и ряда европейских стран.

Это, в первую очередь, расчет, проектировка и разработка телескопа, который позволил увидеть небесное тело. Научное руководство работой творческого коллектива осуществляла доцент кафедры теории оптических приборов, к.т.н. Галина Ивановна Цуканова.

Сейчас Вы держите в руках книгу, идеей которой стало собрать и систематизировать материалы, так или иначе связанные с научно-исследовательской и педагогической деятельностью Г.И. Цукановой в юбилейный год её 75-летия.

В монографии представлен ряд основных научных трудов Галины Ивановны, материалы по проекту «Вега», воспоминания коллег, учеников, которые позволят наиболее полно донести до читателей образ выдающегося человека. Ограниченный объем книги не позволил в ней содержательно рассмотреть учебно-методические труды Галины Ивановны, которые и сегодня отличаются своей актуальностью, высоким научно-методическим уровнем и востребованностью студентами.

В первой главе книги собраны материалы из опубликованных ранее источников, а также рукописные воспоминания Г.И. Цукановой о работе в рамках проекта «ВЕГА» в 80-х годах XX века.

Во второй главе представлена часть значимых научных работ Г.И. Цукановой в сфере расчета оптических систем, составлен обзор патентов и авторских свидетельств.

В третьей главе публикуются воспоминания сокурсников, сотрудников и учеников, а также приводится информация о научных достижениях членов семьи Г.И. Цукановой в период их работы в Университете ИТМО.

Ольга Цуканова



Галина Ивановна Цуканова, 1986 год

Часть первая. ПРОГРАММА «ВЕНЕРА - ГАЛЛЕЙ» И УЧАСТИЕ В НЕЙ СОТРУДНИКОВ ЛИТМО

Уникальный космический эксперимент

Век XX богат на научные открытия, технологические изобретения, инженерные проекты. В «Золотую сотню» таких достижений по праву вошел успешно реализованный проект «ВЕГА».

В 1985-1986 гг. представилась возможность совместить полет к комете Галлея с облетом планеты Венера и вывести космический аппарат на траекторию полета к комете Галлея в результате гравитационного маневра в поле тяготения Венеры.

В конце декабря 1984 года в Советском Союзе был осуществлен запуск автоматических межпланетных станций «Вега-1» и «Вега-2», созданных в рамках международного сотрудничества по программе «Венера-Галлей» («ВЕГА»). Два независимых аппарата выводились на траекторию полета с целью большей надежности осуществления научной программы исследований.

В соответствии с намеченной программой при подлете к Венере от космического аппарата «Вега» отделился спускаемый аппарат, который вошел в атмосферу Венеры и совершил посадку на ее поверхность.

Вторая часть проекта – исследование кометы Галлея – состоялась в марте 1986 года. Космические аппараты «увидели» ядро кометы на расстоянии 8890 и 8030 км от ее ядра. На аппарате «Вега-1» стояла французская оптика, а на аппарате «Вега-2» - оптика ЛИТМО. Снимки, полученные с аппарата «Вега-2», были лучшими.

Из телеграммы академика, научного руководителя проекта «ВЕГА» Р. Сагдеева: «... *следует отметить особый вклад коллектива Ленинградского института точной механики и оптики, который в жесткой конкуренции с лучшими оптическими фирмами Франции продемонстрировал всему миру возможности советской науки, техники и технологии ...*».

Увидеть комету позволил телескоп, установленный на

Выдающееся достижение в изучении Солнечной системы

Впервые в мире проведены прямые исследования кометы Галлея

Сообщение ТАСС

Советская автоматическая станция «Вега-1», полет которой осуществляется в рамках многоцелевого международного проекта «Венера — комета Галлея», успешно выполнила программу исследований кометы Галлея.

6 марта 1986 года станция «Вега-1» прошла через газопылевую оболочку кометы на расстоянии около десяти тысяч километров от ее ядра и впервые произвела комплексные научные исследования этого небесного тела.

С помощью аппаратуры, созданной совместно учеными и специалистами СССР, Австрии, Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Франции, ФРГ и Чехословакии, впервые получены крупномасштабные изображения ядра кометы, проведены измерения температуры и других физико-химических характеристик кометы. Выполнен анализ химического состава газовой и пылевой составляющей вещества кометы, исследованы электромагнитные поля в ее окрестности и физические процессы, происходящие в оболочке кометы.

Как сообщалось, после доставки спускаемого аппарата на поверхность планеты Венера и аэрократного зонда в ее атмосферу станция «Вега-1» была переведена на траекторию полета к комете Галлея. Преодолев за последующие восемь месяцев 708 миллионов километров, станция приблизилась к комете на расстояние, обеспечивающее проведение запланированных научных измерений.

В сеансе связи 4 марта получены первые телевизионные снимки кометы и начаты ее

исследования с расстояния 14 миллионов километров. При этом следящая платформа с установленными на ней телевизионными камерами и научной аппаратурой автоматически наводилась на ядро кометы. Съемка и исследования кометы Галлея были продолжены 5 марта с расстояния около 7 миллионов километров.

6 марта при прохождении станции «Вега-1» вблизи ядра кометы с относительной скоростью около 80 километров в секунду был осуществлен трехчасовой сеанс научных измерений и съемок. В сеансе связи на Землю передано более 500 телевизионных снимков, снятых через различные светофильтры, что позволило получить цветные изображения кометы и ее ядра.

По данным телеметрической информации, бортовые системы автоматической межпланетной станции «Вега-1» после полета ее через газопылевую оболочку кометы сохраняли работоспособность и функционируют нормально. Заключительные сеансы исследования кометы планируется провести 7 и 8 марта.

В результате телевизионных наблюдений, проведенных с борта автоматической станции «Вега-1», получена информация, позволяющая уточнить траекторию движения кометы. После обработки эти данные будут переданы Европейскому космическому агентству с целью использования их для наведения приближающегося к комете космического аппарата «Джотто».

Станция «Вега-2» пройдет на минимальном расстоянии от ядра кометы 9 марта.

Научная программа проекта «Венера — комета Галлея» координируется с исследованиями кометы Галлея, проводимыми организациями Европейского космического агентства, США и Японии.

Институт космических исследований и другие институты Академии наук СССР, а также научные центры стран — участниц международного проекта «Венера — комета Галлея» ведут обработку полученной информации.

Выполненные автоматической межпланетной станцией «Вега-1» исследования планеты Венера и кометы Галлея являются выдающимися достижениями советской и мировой науки и техники, ярким свидетельством плодотворности международного сотрудничества в мирном освоении космического пространства. Осуществление этого уникального эксперимента значительно расширит границы знаний о происхождении и эволюции Солнечной системы.

Статья из газеты «Ленинградская правда» от 7 марта 1986 года

автоматической межпланетной станции «Вега-2», который был рассчитан, спроектирован и изготовлен специалистами Ленинградского института точной механики и оптики (ЛИТМО). Научное руководство работой творческого коллектива осуществляла Галина Ивановна Цуканова, доцент кафедры оптических приборов, кандидат технических наук. За значительный личный

вклад в осуществление этого эксперимента, за умелую координацию творческих усилий большой группы исследователей Галина Ивановна была удостоена государственной премии СССР.

Проект был осуществлен при широкой международной кооперации и с участием научных организаций многих стран – СССР, Венгрии, Чехословакии, ГДР, Польши, Болгарии, Франции, Австрии, ФРГ. В работах по созданию станций приняло участие 150 советских организаций и предприятий.

Трудно перечислить всех членов творческого коллектива, в состав которого вошли представители кафедр теории оптических приборов, технической механики, теплофизики, опытно-конструкторского бюро, экспериментально-опытного завода: Д. М. Румянцев, под руководством которого в опытно-конструкторском бюро ЛИТМО была спроектирована конструкция телескопа, телевизионные датчики наведения, блоки детекторов; В.П. Егунов, директор экспериментально-опытного завода ЛИТМО, где были изготовлены уникальные приборы; старший научный сотрудник Г.В. Карпова; ассистент Е.В. Кривопуста; доценты Г.В. Кирчин; С.М. Никитин; Г.Н. Лукьянов; старший преподаватель В.В. Биндюк; научные сотрудники Е.Д. Ушаковская; С.Л. Макаров; ведущий конструктор А.И. Коркин; заведующий издательской лабораторией Г.А. Бровцов, инженер-технолог В.П. Кононыхин и многие другие.

Общее руководство комплексной программой осуществлял член Международного координационного комитета проекта «ВЕГА», заслуженный деятель науки и техники России, доктор технических наук, профессор Геннадий Николаевич Дульнев, в то время ректор ЛИТМО.

Выполненные автоматической межпланетной станцией «Вега-1» исследования планеты Венера и кометы Галлея явились выдающимися достижениями советской и мировой науки и техники. Осуществление этого уникального эксперимента значительно расширило границы знаний о происхождении и эволюции Солнечной системы [1, 3, 4, 6, 7, 8].

В первую четверть космических исследований главное внимание обращалось на крупные тела – планеты и их большие спутники. Сейчас (сер. 80-х гг. – прим. ред.) интересы исследователей обратились к малым телам – кометам и астероидам. Дело в том, что из-за малой массы комет их значительной удаленности от Солнца они могли на длительное время законсервировать в себе «первозданное» вещество исходной газовой-пылевой туманности, из которой образовалась Солнечная система, и тем самым сохранить очень важную информацию о начальной стадии ее формирования.

Кометы являются самыми изменчивыми объектами звездного неба. В момент появления в Солнечной системе они не выделяются даже на фоне слабых звезд, но в течение нескольких месяцев отращивают огромный яркий хвост, пересекающий небосклон, и превращают королеву ночи Луну во второстепенную бледную звезду. После мгновенного по космически понятиям всплеска, постепенно уменьшаясь, они вновь исчезают.

Человечество в большей части своей истории появления комет считало предвестником большой беды. Позднее греки словом «комета» называли большие катастрофы. В современной истории человечества самой впечатляющей и одновременной самой зловещей являлась комета Галлея.

Описания ее появления в 912 году сохранились в источниках Китая (самые подробные), Японии, Византии, Руси (заимствованные из византийских хроник), Германии, Швейцарии, Австрии, Франции, Англии, Ирландии, Египта и Ирака. Византийский историк X века Симеон Логофет пишет, что комета имела вид меча.

Комета в 989 году детально описана в астрономических главах китайской династийной «истории Сун», отмечена в Японии, Корее, Египте, Византии и во многих европейских хрониках, где комета часто связывается с последовавшей эпидемией чумы.

В 1066 году комета приближалась к Земле на расстояние 0,1 а.е. Её наблюдали в Китае, Корее, Японии, Византии, Армении,

Египте, на арабском Востоке и на Руси. В Европе это появление является одним из самых упоминаемых в хрониках. В Англии появление кометы было истолковано как предзнаменование скорой смерти короля Эдуарда Исповедника и последующего завоевания Англии Вильгельмом I. Комета описана во многих английских хрониках и изображена на знаменитом ковре из Байё XI века, демонстрирующем события этого времени (рис. 1).

Флорентийский художник Джотто ди Бондоне (1276 – 1336), увидев эту комету в 1301 году, запечатлел ее как Звезду Вифлеема на своей фреске в падуанской капелле дель Арена (рис. 2).



Рис. 1. Появление кометы 1066 года. Фрагмент ковра из Байё, ок. 1070 года



Рис. 2. Джотто ди Бондоне. Поклонение волхвов. 1304 – 1306. Фреска. Капелла Скровеньи, Падуя

Английский астроном Эдмунд Галлей (1656 – 1742), изучая накопленные ранее данные о кометах, с помощью математических методов пришел к выводу, что появление комет в 1531, 1607 и 1682 годы можно приписать одной и то же комете. Галлей предсказал, что эта комета в очередной раз появится зимой 1758 – 1759 годов. Когда предсказание подтвердилось, эту комету называли в его честь кометой Галлея. По расчетам Галлея эта комета приближается к Солнцу каждые 76 лет.

В 1910 году возвращение кометы Галлея вызвало панику и ожидание конца света. Предполагалось, что земля пройдет через газовый хвост кометы, который, как уже было обнаружено, содержит ядовитые цианистые газы. Некоторые ловкачи даже продавали таблетки, нейтрализующие действие кометы.

В 1986 году возвращение кометы Галлея не будет таким впечат-

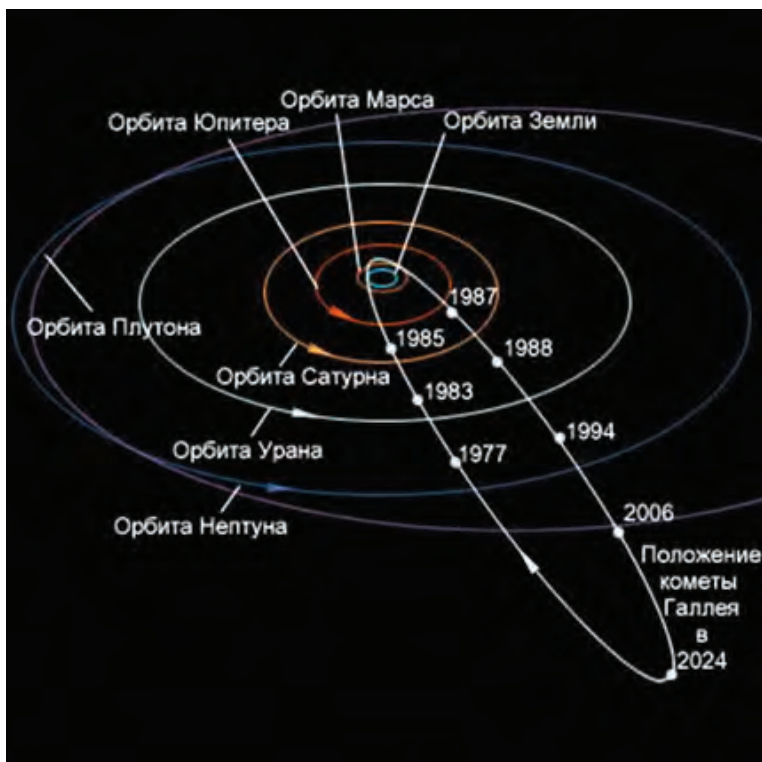


Рис. 3. Траектория движения кометы Галлея

ляющим зрелищем, как в 1910 г. По всей вероятности, на Земле ее не будет видно невооруженным глазом.

Траектория движения кометы Галлея показана на рис. 3. Комета движется по эллиптической орбите в направлении, обратном направлению вращения планет.

На рис. 4 показана структура кометы: голова (ядро и окружающая его кома) и хвост.

Комета становится хорошо видимой, когда она приближается к Солнцу на расстояние, примерно вдвое большее, чем радиус земной орбиты. Она вначале выглядит как круглое светлое пятнышко, потом в сторону от Солнца вытягивается хвост. В самом центре головы находится невидимое тело, которое называется ядром. Главной особенностью ядра является то, что оно содержит много «летучего» вещества. Это обычно водный лед



Рис. 4. Структура кометы

с вкраплением других молекул. Летучий материал перемешан с тугоплавкими частицами - силикатными, углистыми, металлическими. Но по мере приближения к Солнцу испарение льда идет все сильнее и сильнее, потоки газа покидают ядро, увлекая за собой пыль.

Как будто много ясно, но до сих пор не было ответа на главный вопрос – единое ли это тело, рой из многих тел, связанных тяготением или просто летящих рядом. Ученые отдавали предпочтение первой модели, но не было оснований решительно отвергнуть и другие.

Кометы – «снежные комья» из первичной материи Солнечной системы. Вопреки тому, что человечество уже в течение нескольких тысячелетий следит за кометами, мы имеем очень мало данных о них. Даже самые большие наземные телескопы не способные пробиться сквозь кому (атмосферу) комет, поэтому можно только предполагать, что находится внутри комы.

Согласно самым распространенным в настоящее время теориям кометы образовались примерно 4,5 миллиарда лет назад, то есть почти одновременно с остальными частями Солнечной системы на более холодных окраинах досолнечного облака. Кометы – это части, прибывшие с очень далеких окраин Солнечной системы. Предполагается, что около 100 миллиардов комет постоянно «прописано» в кометном облаке, окружающем Солнце на расстоянии в 10 000 раз большем, чем от Солнца до Земли. Судьба их различна. Большинство остается там, а

некоторые переходят во внутреннюю часть Солнечной системы и попадают на орбиты, подобно комете Галлея с относительно небольшим периодом.

Кометы могут состоять из протопланетного вещества, которое как в холодильнике сохранилось до наших дней. Получение информации о кометном веществе имеет особое значения для проверки и развития гипотез о происхождении Солнечной системы.

Ядро кометы считается консолидированным телом с преобладанием или значительным содержанием летучих компонентов, главным среди которых является лед, имеются также тугоплавкие вещества (металлы, силикаты), которые частично или полностью находятся в мелкораздробленном состоянии.

Под воздействием солнечного излучения из ядра летучие вещества испаряются и образуются потоки газа, увлекающие за собой твердые частицы тугоплавкого вещества. Потоки газа и пыли, направленные первоначально по радиусу от ядра, отклоняются и заполняют вытянутый объем, ограниченный поверхностью, которая в первом приближении имеет форму параболоида.

В 1985 – 1986 годах представляется уникальная возможность совместить полет к комете Галлея с облетом планеты Венера и вывести космический аппарат (КА) на траекторию полета к комете Галлея в результате гравитационного маневра в поле тяготения Венеры (рис. 5).

В 1985 – 1986 годах комета пересечет плоскость орбиты Земли дважды: первый раз 9 ноября 1985 года до прохождения перигелия, второй раз 10 марта 1986 года после прохождения (9 февраля) перигелия. Имеющиеся в настоящее время (сер. 80-х гг. – прим. Ред.) средства исследования космоса позволяют запустить космический аппарат со значительной массой лишь на орбиту, близкую к плоскости орбиты Земли, поэтому для встречи с кометой представляются лишь две эти возможности.

Встреча в марте 1986 года имеет два преимущества: а) комета более «активна» после прохождения перигелия, чем до прохождения, то есть испускание газа и пыли больше, следовательно,

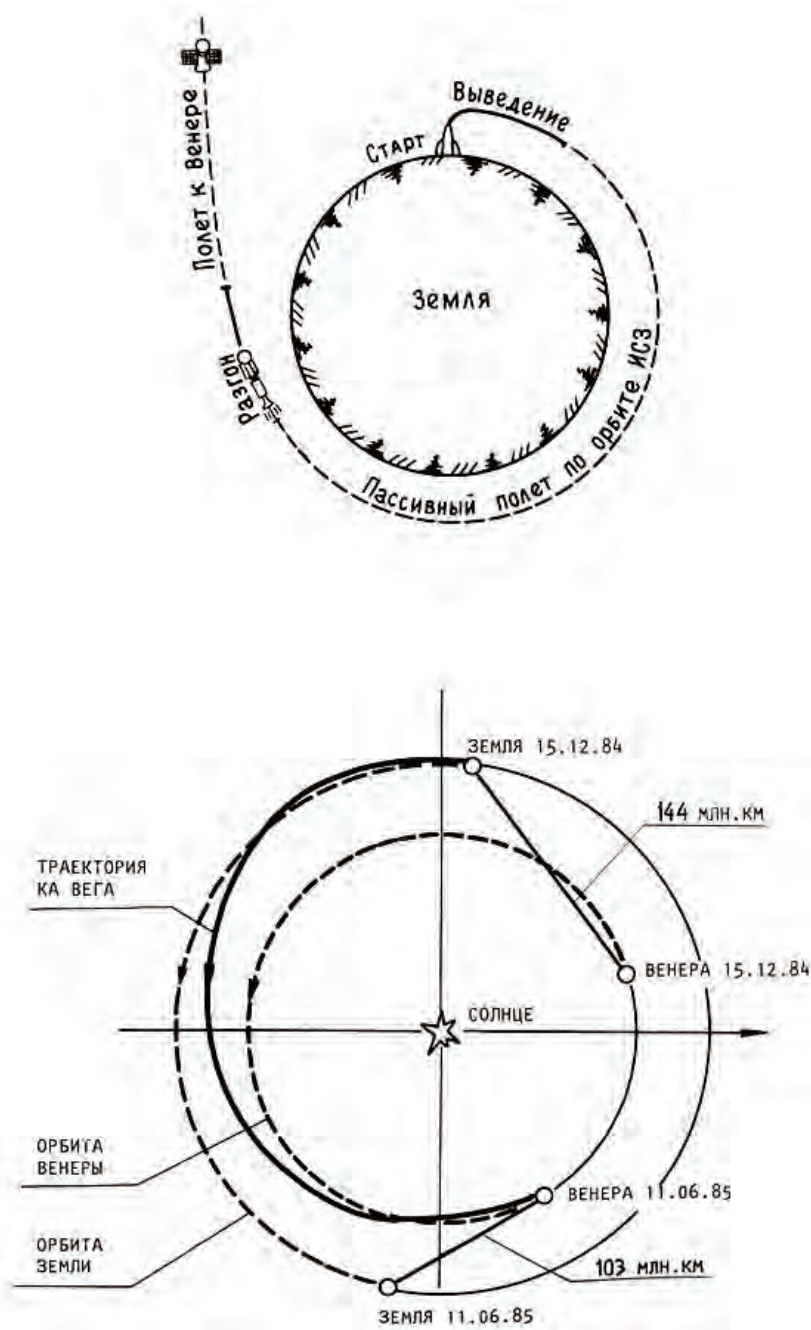


Рис. 5. Схема полета аппарата «Вега» к Венере и комете Галлея

кома и хвост более «развиты». Это упрощает измерения, проводимые с борта космического аппарата, пролетающего с большой скоростью мимо кометы; б) встреча после прохождения перигелия позволяет выбрать такую траекторию космической аппаратуры, которая проходит вблизи Венеры.

Повышенный интерес к кометам не означает, что нечего делать в области исследования планет. Важно сохранить в качестве «космического полигона длительного пользования» те объекты, которые уже начали серьезно изучать. Одним из таких полигонов стала Венера. Это космический полигон для климатологов и метеорологов, получивших еще одну модель, на которой можно «обкатать», проверить сложные теории взаимодействия солнечного излучения с атмосферой, теплового баланса атмосферы и возникающих вследствие этого мощных гидродинамических движений в атмосфере.

Венера стала полигоном для геологов и геохимиков: получены не только панорамы поверхности планеты, но и проведен конкретный геохимический анализ ее вещества. Это крайне важно, поскольку в последние десятилетия были созданы глобальные модели образования Земной коры, формирования ее минерального состава. Теперь необходимо понять, как в эту общую концепцию впишутся условия на Венере. Тем самым можно лучше разобраться, что происходит на Земле.

Проект «Вега» назван таким образом в зависимости от пунктов назначения - «Венера» и «Галлея».

Космический аппарат, выводимый на траекторию полета к планете Венера, по своей конструкции состоит из двух частей: спускаемого и пролетного аппаратов (рис. 6). Спускаемый аппарат предназначен для исследования Венеры, а пролетный – для исследования кометы Галлея. Такая схема полета реализуется в Международном проекте «Венера – Галлей» (ВЕГА), разрабатываемом Советским Союзом на широкой международной основе.

В подготовке научной программы проекта участвовали специалисты Австрии, Франции, ФРГ, Венгрии, Польши, Чехословакии, Болгарии, ГДР. Ее координация осуществлялась Международным научно-техническим комитетом, возглавляемым научным

руководителем проекта академиком Р.З. Сагдеевым.

Аппаратура космического аппарата включает в себя:

- телевизионную систему ТВС с датчиком наведения на комету и вычислительным комплексом обработки видеоинформации ВИК (СССР, Венгрия, Франция);
- инфракрасный спектрометр ТКС (Болгария, СССР, Франция);
- трехканальный спектрометр ТКС (Болгария, СССР, Франция);
- пылеударный масс-анализатор ПУМА (СССР, ФРГ, Франция);
- масс-спектрометр нейтрального газа ИНГ (ФРГ, Венгрия, СССР);
- магнитометр MISCHA (Австрия);
- спектрометр кометной плазмы «Плазмаг-1» (Венгрия, СССР, ФРГ);
- анализатор высокочастотных плазменных волн АПВ-В (СССР, Франция);
- анализатор низкочастотных плазменных волн АПВ-В (Польша, СССР, Чехословакия);
- счетчики пылевых частиц СП-1, СП-2 (СССР, США);
- масс-анализатор пылинок ДУСМА (Венгрия, СССР, ФРГ);
- система управления, сбора и передачи научной информации (СССР);
- блок логики и сбора информации БЛИСИ (Венгрия, СССР);
- автоматическая стабилизированная платформа АСП-Г (Чехословакия, СССР).

В декабре 1984 года с космодрома Байконур стартовали две космические ракеты, на борту каждой из которых установлен космический аппарат «Вега». Таким образом, на траекторию полета к планете Венера выводятся два независимых космических аппарата с целью большей надежности осуществления научной программы исследований.

В июне 1985 года при подлете к Венере от космического аппарата отделяется спускаемый аппарат, который входит в

атмосферу Венеры и совершает посадку на ее поверхности. В процессе спуска на заданной высоте от спускаемого аппарата отделяется аэростатный зонд, совершающий затем дрейф в атмосфере Венеры.

Пролетный космический аппарат продолжает свое движение, и с помощью его радиосистем осуществляется передача данных на Землю во время работы научных приборов, установленных на спускаемом аппарате.

После этого в результате гравитационного маневра и соответствующих коррекций пролетный аппарат направляется для встречи с кометой Галлея, которая состоится 6 – 12 марта 1986 года. Предполагается, что пролет космического аппарата произойдет на расстоянии 10 тыс. километров от ядра кометы.

В целом проект «Вега» предназначен для решения трех основных задач:

- исследования атмосферы Венеры, особенно ее облачного слоя изучение поверхности планеты с помощью посадочного аппарата;
- изучение циркуляции атмосферы Венеры и ее метеорологических параметров с помощью плавающего аэростатного зонда;
- исследование кометы Галлея.
- исследование кометы имеет цель:
- определить физические характеристики ее ядра (размер, форму, свойства поверхности, температуру);
- изучить структуру и динамику околоядерной области комы;
- определить состав газа в околоядерной области;
- определить состав пылевых частиц и их распределение на различных расстояниях от ядра;
- изучить взаимодействие солнечного ветра с атмосферой и ионосферой кометы.

Трехосная система ориентации пролетного аппарата имеет точность около 1°. Он располагает двумя радиолиниями передачи информации.

На борту пролетного аппарата находятся следующие специ-

альные системы:

- автоматическая стабилизированная платформа;
- блок управления научной аппаратурой (БУНА);
- блок логики и сбора информации.

Основная часть научной аппаратуры (оптический комплекс, выключая телевизионную систему), которая требует точного наведения на комету, устанавливается на платформе, остальные научные приборы размещаются на корпусе аппарата.

Специфические условия исследования кометы Галлея (пролет сквозь кому на расстоянии примерно 10 тыс. км от ее ядра) вызвали необходимость установки на станции брони в виде двухслойных, а в некоторых местах и трехслойных экранов, защищающих жизненно важные места станции, а также научной аппаратуры и бортовой кабельной сети.

Однако защита космического аппарата не может полностью предотвратить гибель станции вблизи ядра при бомбардировке ее пылевыми частицами. Это условие заставило отказаться от записи научной информации на запоминающее устройство и перейти на прямую передачу информации на Землю.

Научная аппаратура на пролетном аппарате:

1. датчики группы электромагнитных экспериментов;
2. датчики приборов для контактных измерений частиц и плазмы кометы;
3. оптические средства наблюдения за ядром кометы установлены на автоматической стабилизированной платформе (АСП-Г).

АСП-Г представляет собой точный сервомеханизм с двумя степенями свободы. Во время пролета к комете платформа находится в транспортном положении. За 10-15 дней до момента максимального сближения с кометой платформа переводится в рабочее положение по команде с Земли. Механизмы платформы не герметичны и предназначены для работы в условиях открытого космоса.

АСП-Г работает в следующих режимах:

- разворот в заданное положение по командам с Земли;
- слежение за кометой по сигналам от телевизионной

системы по аналоговому каналу;

- слежение за кометой по сигналам от АДН.

На АСП-Г установлены: телевизионная система (ТВС), инфракрасный спектрометр (ИКС) и трехканальный спектрометр (ТКС).

ИКС служит для исследования излучения внутренних областей кометы в инфракрасном диапазоне 2,5 – 12 мкм. Прибор служит для анализа химического состава вещества комы, для измерения размеров, температуры и излучательной способности ядра.

Научными задачами ТКС являются:

- детальное спектроскопическое исследование химического состава различных областей комы и хвоста кометы;
- спектральное и поляризационное исследование пылевой компоненты;
- получение спектров ядра и околоядерной области.

Одним из основных научных приборов пролетного аппарата является телевизионная система (ТВС). Это «глаза» космического аппарата.

ТВС предназначена для автоматического обнаружения и автосопровождения кометы Галлея, получения и передачи на наземные пункты приема информации монохроматических и спектральнональных изображений кометы.

Получаемая с помощью ТВС информация должна обеспечивать решение следующих научных задач: обнаружение кометы, определение ее размеров и оценка альбедо ее ядра, изучения структуры и динамики центральных областей комы.

Телевизионная система обеспечивает также получение данных, необходимых для формирования сигналов управления движением поворотной платформы АСП-Г. В этом случае ТВС выполняет роль датчика в системе автоматического слежения за кометой, а также обеспечивает геометрическую привязку измерений, проводимых другими научными приборами.

К числу основных съемочных параметров ТВС относятся: разрешающая способность, поле зрения, диапазон измеряемых яркостей объекта исследования, число и расположение

спектральных зон наблюдения.

Пространственное разрешение ТВС определяется ожидаемыми размерами ядра кометы и минимальным расстоянием пролета. При минимальном размере ядра 1 км и расстоянии пролета ядра 10^4 км угловой размер элемента разложения должен составлять 2 – 4 $''$. Требования по углу поля зрения и разрешающей способности с точки зрения наведения АСП-Г на ядро кометы на разных этапах пролета отличаются друг от друга примерно на порядок, поэтому ТВС имеет две камеры с $f' = 1200$ и 150 мм.

Возможное отношение регистрируемых ТВС яркостей комы и ядра оценивается величиной $10^5 - 10^6$, поэтому ТВС обеспечивает более чем 104 – кратную автоматическую смену времени экспонирования (в диапазоне 0,01 – 163 сек), а также в двух из четырех каналов, дополнительное 10^2 – кратное изменение экспозиции сменными фильтрами.

В соответствии с имеющимися сведениями о комете Галлея в рабочем спектральном диапазоне выделены несколько интервалов. По предварительным оценкам съемку ядра целесообразно производить в спектральном интервале 6300 – 7600 $^\circ$, где ожидается наибольший контраст. Определенные спектральные диапазоны выделяются с помощью 6 фильтров.

ТВС реализована как кадровая двухкамерная четырехканальная телевизионная система с накоплением, использующая в качестве приемников изображения матричные охлаждаемые фотопреобразователи с переносом заряда – ПЗС, позволяющие получать изображение форматом 512 x 512 элементов.

В состав ТВС входят узкоугольная камера высокого разрешения (ТВУ), широкоугольная камера – датчик наведения (ТДН), блок электроники. ТВУ обеспечивает получение изображений с максимальным пространственным разрешением, ТДН позволяет получить обзорные изображения.

БЭ ТВС (общий для обеих камер) служит для управления камерами, обработки информации, получаемой ими, передачи информации на радиолиниях на Землю а также реализации алгоритма управления АСП-Г.

В обеих камерах используется по два однотипных приемника изображения. ТВС содержит 4 независимых канала. В трех каналах дозирование времени экспонирования приемников изображения реализуется с помощью электромеханических затворов.

В канале III приемник изображения работает без применения электромеханического затвора. Это приводит к уменьшению в два раза поля зрения. Введенные в канале III отличия вызваны необходимостью организации независимого канала получения изображения, предназначенного для резервного (аналогового) контура управления АСП-Г.

В оптических трактах каналов I и II установлены подвижные турели, обеспечивающие смену светофильтров – по восемь позиций. В ТДН фильтры предназначены для регулирования светового потока, поступающего на приемник изображения.

Сменные фильтры в ТВУ предназначены для получения спектрального изображения кометы.

В канале III во всех режимах работы производится самостоятельный анализ видеосигнала.

Телевизионные каналы I, II, IV имеют равноценный выход на систему обработки данных с выходом на микропроцессор ориентации (СПО) и микропроцессор изображения (МПИ). МПО с рядом периферийных устройств обеспечивает формирование сигналов для управления движением АСП-Г на основе распределения и динамики яркости в поле зрения.

МПН управляет реализацией программы научных съемок и обеспечивает формирование телеметрических кадров для передачи информации на радиолинии на Землю.

Математическое обеспечение МПО позволяет осуществлять автоматическое управление движением АСП-Г на всех этапах пролета кометы.

Канал III образует самостоятельный датчик наведения ТДН-А, обеспечивающий управление АСП-Г в случае выхода из строя МПО.

В штатном режиме осуществляются:

- проведение научных съемок кометы и передача инфор-

мации по радиолинии;

- управление АСП-Г;
- проведение периодических самопроверок технического состояния отдельных устройств и системы в целом и передачи данных на Землю.

В период полета КА к комете периодически проводятся циклы полной автоматической проверки ТВС с передачей результатов на Землю.

За двое суток до пролета кометы, на расстоянии приблизительно $14 \cdot 10^6$ км проводятся первые съемки кометы в научных целях. За одни сутки до пролета, на расстоянии $7 \cdot 10^6$ км, проводится аналогичный сеанс.

При пролете кометы проводится основной сеанс съемки.

Этот сеанс начинается за 2 часа до расчетного момента максимального сближения с ядром кометы. После пролета планируется проведение двух сеансов, в основном, аналогичных первым двум сеансам.

Всего за пять сеансов съемок кометы на Землю будет передано около 1400 изображений (в пересчете на кадры 128×128 элементов), из них за 40 мин пролета зоны максимального сближения с ядром – около 250.

В разработке ТВС принимали участие специалисты трех стран: СССР, Франции и Венгрии. Координация работы осуществлялась Институтом Космических исследований АН СССР. Французские специалисты разрабатывали и изготавливали телескоп, венгерские специалисты – электронное оборудование.

ЛИТМО также был привлечен к выполнению данной работы. Нам нужно было разработать и изготовить оптико-механический комплекс ТВС, который включал три изделия: телескоп, объектив для ТДН и блок детекторов.

К выполнению этой работы были привлечены 4 кафедры ЛИТМО: теории оптических приборов, теплофизики, оптических приборов, технической механики, а также ОКБ и ЭОЗ. Головной в этой работе являлась кафедра теории оптических приборов.

Оптические системы ТВС работают в открытом космосе.

Приборы установлены на платформе, температура которой может меняться в диапазоне -20° до $+40^{\circ}\text{C}$. Для защиты от воздействия окружающей среды телекамеры закрыты снаружи металлическим экраном и экранно-вакуумной тепловой изоляцией (ЭВТИ).

Наблюдение за кометой осуществляется в течение 4-х суток. При этом первые двое суток на внутреннюю поверхность бленды под углом 60° попадает солнечное излучение. Последующие двое суток солнечное излучение внутри прибора не попадает.

В связи с этим возникала задача проектирования оптических систем, не расстраиваемых при изменении температуры и имеющих минимальный вес. Кроме этого, оптические системы

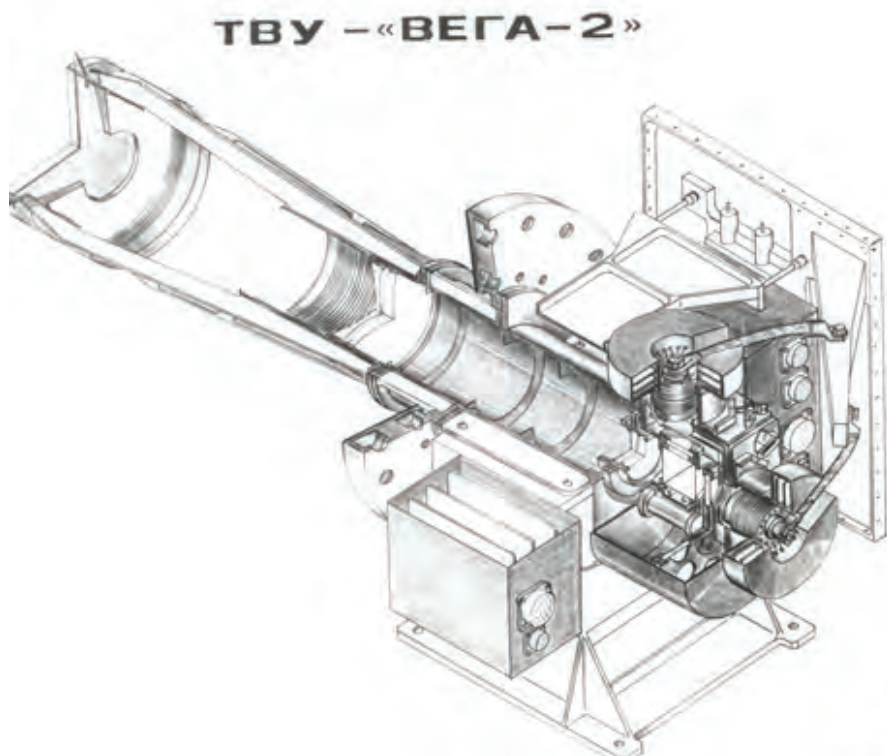


Рис. 7. ТВУ для ВЕГА-2

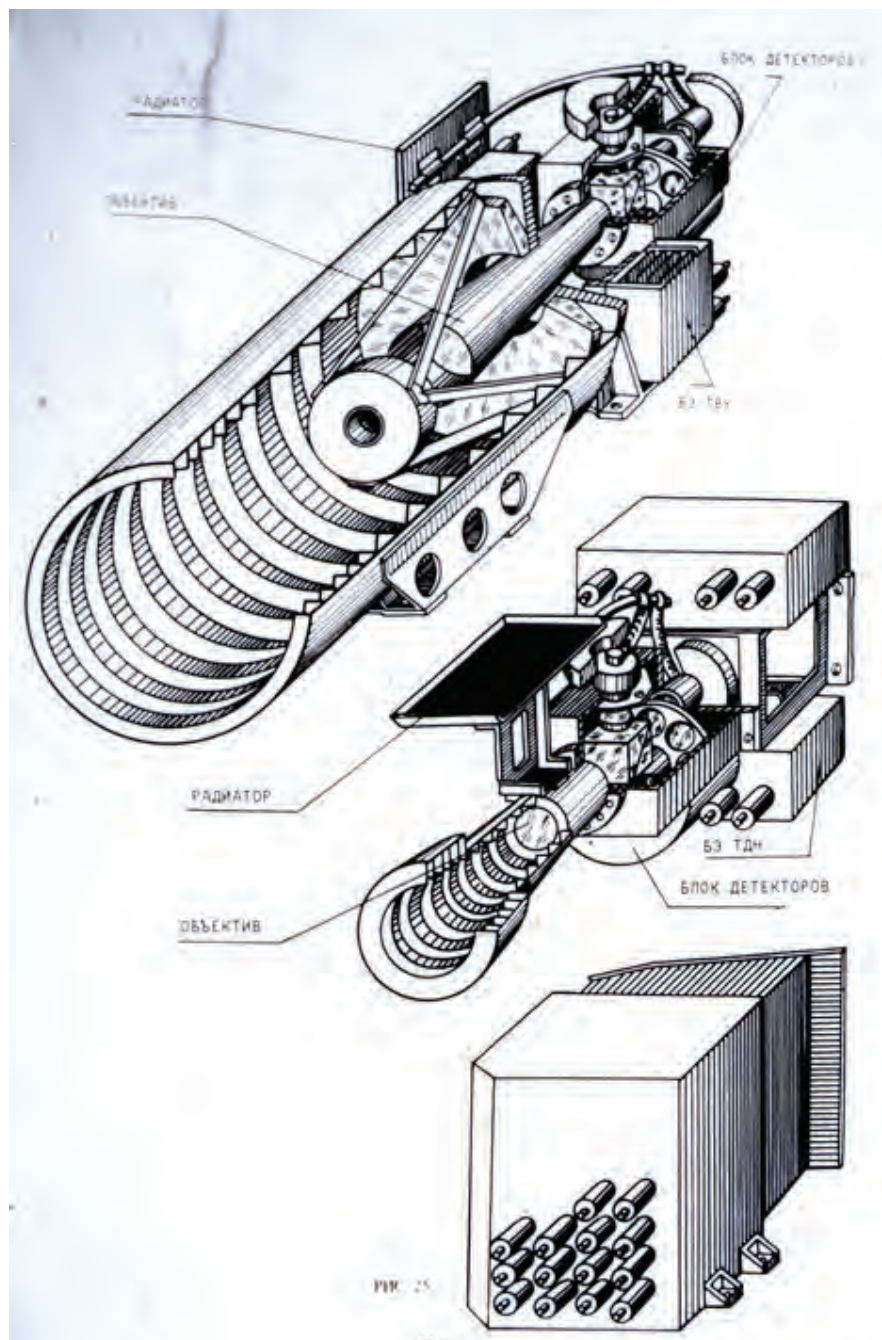


Рис. 8. ТВУ (ТВС) для Вега-2

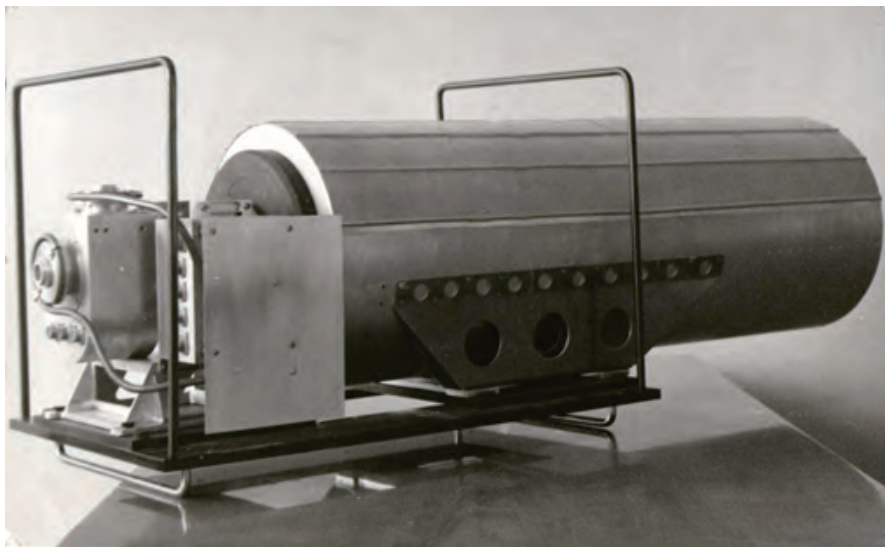


Рис. 9. Телескоп для Вега-2

должны выдерживать соответствующие перегрузки, вибрации, удары.

Телескоп для ТВУ должна была разработать и изготовить ЛКА (Лаборатория космической астрономии) в Марселе. На случай осложнения международных отношений, поскольку телескоп является одним из основных приборов пролетного аппарата, его разработка и изготовления были поручены также ЛИТМО. Для того чтобы системы были взаимозаменяемыми, она должны иметь одинаковые оптические схемы. Характеристики объектива следующие: $f' = 1200$, относительное отверстие 1:5, угловое поле $2\omega = 48'$, что соответствует линейному полю $2y' = 17$ мм, рабочий спектральный диапазон 0,4 – 1,05 мкм, изображение должно создаваться на двух приемниках. Диаметр кружка рассеяния должен быть не более 0,01 мм.

Были рассмотрены две оптические схемы, предложенные сотрудниками Франции и ЛИТМО. Специалисты Франции предложили построить телескоп по схеме Ричи-Кретьена с двухлинзовым компенсатором и наклонной плоскопараллельной пластинкой в качестве светоделителя. Оба зеркала в этой системе асферические. Объектив, предложенный ЛИТМО,

состоял из двух сферических зеркал и двух линзовых компенсаторов, расположенных в сходящемся пучке лучей, в качестве светоделиителя использовался кубик.

В первой схеме содержатся сложные для изготовления асферические зеркала и, кроме того, плоскопараллельные пластинки, наклоненные под большим углом к оптической оси, вносят в систему асимметрию, и на оси появляются аберрации, свойственные только наклонным пучкам: кома, астигматизм, дисторсия. В этом случае даже очень тонкие пластинки заметно портят качество изображения. Если применить в качестве светоделиителя кубик, а линзы выполнить из одной марки стекла с целью получения анохроматической коррекции, то тогда останется неисправленным хроматизм увеличения.

В объективе, предложенном ЛИТМО, все поверхности сферические, линзы компенсатора выполнены из одной марки стекла и за счет подбора оптических сил компонентов компенсатора можно полностью исправить хроматизм положения и хроматизм увеличения в широком спектральном диапазоне.

В результате обсуждения была принята схема ЛИТМО.

Расчетное качество изображения близкое к дифракционному.

Задача создания оптических приборов, не расстраиваемых при изменении температуры решалась путем соответствующего выбора материалов зеркал, корпуса объектива и оправ линз, а также за счет уменьшения диапазона изменения температуры оптической системы и перепада температур между ее элементами путем специальных мер, применяемых при конструировании. Использование активных систем термостатирования было исключено ввиду жестких требований к массе прибора и энергопотреблению.

В результате анализа различных вариантов материалов зеркал и корпуса был принят вариант с металлостеклянными зеркалами из титана. Корпус объектива, оправы линз и блок детекторов также выполнены из титана. Металлостеклянные зеркала были изготовлены кафедрой оптических приборов по технологии, разработанной профессором Крыжановским. В данном объективе, выполненном полностью из титана, смещение изображения

за счет термической расфокусировки компенсируется смещением приемника изображения. Если принять, что температура платформы – 20° - $+40^{\circ}\text{C}$, и вся конструкция имеет температуру платформы, то термическая расфокусировка составляет всего 1 мкм.

Следующий этап проектирования включал в себя тепловой расчет, который выполнялся с целью определения температур на элементах конструкции и создания такого теплового режима, при котором искажение качества изображения оптической системы не превышает допустимых значений.

Расчет температур проводился для восьми стационарных режимов, отличающихся температурой платформы и наличием или отсутствием солнечного излучения. Расчет выполнялся на кафедре теплофизики.

Анализ результатов показал, что температуры элементов оптической системы незначительно отличаются от температуры платформы. Максимальный перепад между температурами главного и вторичного зеркал не превышает $2,3^{\circ}\text{C}$, радиальный перепад температуры в главном зеркале не превышает $0,1^{\circ}\text{K}$, во вторичном $0,005^{\circ}\text{K}$. Перепад температуры по корпусу объектива составляет 5 - 6°K . Термическая расфокусировка при этом не превышает 0,02 мм.

Французский объектив содержит зеркала из стекла, а корпус объектива выполнен из углепластика. Коэффициенты линейного расширения материалов практически близки к нулю. Для того, чтобы вообще не было термической расфокусировки, блок детекторов должен быть изготовлен из инвара, но поскольку блок детекторов изготовлен из титана, имеет место небольшая расфокусировка, не выходящая за пределы допустимых значений.

Конструкция объектива состоит из двух частей, соединенных друг с другом болтами через кольцо.

Основная несущая часть объектива – корпус, выполненный в виде жесткой ребристой трубы, во внутренней части которой установлены диафрагмы. Труба с обеих сторон имеет фланцы. Круглый для соединения с корпусом вторичного зеркала и прямоугольный для крепления блока детекторов.

На внешней специально обработанной поверхности установлено первичное зеркало. Кроме того, на наружной поверхности имеются 2 продольных жестких фланца для крепления всего объектива к кронштейну. Для однозначного ориентирования объектива относительно корпуса во фланцах сделано отверстие под фиксацию.

Корпус вторичного зеркала выполнен в виде двух труб, которые выполняют роль бленд, соединенных четырьмя ножами. Корпус имеет посадочные и резьбовые поверхности для установки и крепления оптических элементов. Со стороны вторичного зеркала на корпус устанавливается экран ЭВТИ. Фланец трубы имеет посадочную поверхность и резьбовые отверстия для крепления с несущим корпусом. На поверхности корпусов имеется три ряда поперечных пазов для разворота оптических элементов при юстировке и резьбовые отверстия для стопорных винтов.

Первичное зеркало фиксируется на корпусе с помощью восьми титановых винтов и восьми специальных резьбовых втулок, имеющих опорные фланцы и пропущенных в отверстия зеркала. Размер втулок от опорного фланца до торца, опирающегося на корпус, подобран таким образом, чтобы при затягивании винтов зеркало не имело деформаций. Винты предохранены от самоотвинчивания клеем АК-20. В свободные отверстия на крепежном фланце зеркала запущен герметик, который дополнительно фиксирует зеркало относительно корпуса. Центрировка зеркала относительно оптической оси обеспечивается посадочным пояском на несущем корпусе. Вторичное зеркало с целью предохранения от деформаций при затягивании окружено тонким титановым кольцом, в которое упирается резьбовое кольцо, фиксирующее зеркало. Резьбовое кольцо предохранено от самоотвинчивания с помощью 4-х стопорных винтов, поставленных на клей АК-20, а зеркало относительно резьбового кольца дополнительно фиксировано герметиком.

Расчеты конструкции и вибрационные испытания были выполнены на кафедре технической механики. Следует признать, что конструкция объектива оказалась удачной. Вес объектива

5,1 кг, объектив прошел полную программу испытаний и был признан годным для установки на космическом аппарате.

Конструкция французского объектива иная при одной и той же оптической схеме. Он также прошел все испытания, однако, по просьбе французских специалистов нагрузки при виброиспытаниях были снижены.

Вследствие того, что объектив получился удачным и благодаря принципиальной и настойчивой позиции, занятой ректором ЛИТМО Г.Н. Дульневым и научным руководителем проекта академиком Сагдеевым Р.З., несмотря на упорное сопротивление руководителей проекта со стороны Франции, удалось перевести советский телескоп из резервного в летный. И он был установлен на втором космическом аппарате, который стартовал 21 декабря 1984 года.

ТВУ включает в себя кроме объектива блок детекторов, кронштейн и противосолнечную бленду.

Блок детекторов как для французского, так и для советского телескопа изготовлен в ЛИТМО. Блок детекторов предназначен для обеспечения функционирования оптической, кинематической и электрической схем оптико-механического устройства.

Блок детекторов включает:

- корпус, передний фланец которого имеет резьбовые отверстия для соединения с объективами ТВУ и ТДН;
- призму-куб, разделяющую световой поток на два канала, в одном из которых установлен узел светофильтров, а в другом постоянный светофильтр;
- контрольный источник свет, обеспечивающий контроль функционирования системы;
- узел светофильтров с системой управления;
- электромагнитные затворы.

Блоки детекторов изготавливаются в двух модификациях, для ТВУ и ТДН. В блоке детекторов для ТВУ установлены два электромеханических затвора, а в блоке детекторов для ТДН только в боковом канале. В ТВУ установлены фильтры для различных участков спектра от 0,4 до 1,05 мкм, а в ТДН только для области 0,69 – 0,76 нм разной плотности.

Объектив типа «Таир» с характеристиками $f' = 150$, $1:3$, $2\omega = 6^\circ 40'$.

Блоки детекторов и объектив для ТДН прошли полную программу испытаний и были установлены на двух космических аппаратах.

4 – 6 марта 1985 года проводился сеанс связи с космическим аппаратом, контроль функционирования системы с помощью контрольных источников света показал, что все в порядке.

Кроме советского проекта «Вега» существуют еще два проекта исследования кометы Галлея: «Джотто» и «Планета-А». Проект «Джотто» разрабатывается Европейским космическим агентством. Космический аппарат будет запущен в июле 1985 года. Встреча с кометой произойдет 13 марта 1986 года.

Проект «Планета-А» осуществляется японскими учеными. Этот космический аппарат стартует в августе 1985 года.



*Сотрудники ЛИТМО после награждения медалями за достижения в области освоения космического пространства:
доц. В.Н. Васильев (с 1996 года — ректор Университета), гл. конструктор
Г.А. Бровцинов, н.с. Д.М. Румянцев, проф. М.М. Русинов, доц. Г.И. Цуканова,
А.И. Коркин. Третий слева - Председатель Федерации космонавтики СССР,
космонавт Н.Н. Рукавишников. Справа – Н.А. Агальцова,
проф. Г. Н. Дульнев (ректор ЛИТМО 1974 – 1986 гг.), 1985 год*

Аппарат «Вега» должен встретиться с кометой раньше двух других кораблей. Они являются как бы «лоцманами» для зарубежных аппаратов, а это связано с определенными трудностями. Сильные испарения льда в районе перигелия могут довольно сильно изменить орбиту кометы Галлея: соответственно, возникает риск «промахнуться». Поэтому будет проводиться несколько коррекций траектории с учетом новых сведений об орбите кометы.

5 и 6 марта 1985 года состоялся контрольный сеанс связи с космическим аппаратом «Вега-1» и «Вега-2». Поступившая телеметрическая информация подтвердила полную работоспособность установленной на борту научной аппаратуры. Полученная информация не отличалась от информации при испытании ТВС в наземных условиях.

Составлено по рукописи Г. И. Цукановой, 1985 года

Уникальные результаты. Проект «ВЕГА» - наша победа

Проект «Вега» (название образовано от пунктов назначения «Венера» и «Галлей») был одним из самых сложных в истории исследований Солнечной системы при помощи космических аппаратов. Он состоял из двух частей, которые были предназначены для решения следующих задач: 1) изучение атмосферы и поверхности Венеры с помощью посадочных аппаратов и изучение динамики атмосферы Венеры с помощью аэростатных зондов; 2) пролет через кому кометы Галлея.

Автоматическая межпланетная станция «Вега-1» стартовала с космодрома Байконур 15 декабря 1984 года, через 6 дней за ней последовала «Вега-2». Курс был взят на планету Венера (рис.1). В июне 1985 года они прошли вблизи Венеры. Перед пролетом планеты от них отделились спускаемые аппараты, каждый из них разделился на 2 части: посадочный аппарат и аэростатный зонд. Программа по исследованию Венеры была успешно выполнена.

Самой интересной была вторая часть проекта – исследование кометы Галлея. Встреча аппаратуры и кометы должна была



Рис. 1. Схема полета станции «Вега» к Венере и комете Галлея



Рис. 2. Межпланетная станция «Вега»

состояться в марте 1986 года. Все так и произошло.

Космические аппараты впервые «увидели» ядро кометы. Встреча «Веги-1» с кометой произошла 6 марта, а «Веги-2» - 9 марта 1986 года (рис. 2). Они прошли на расстоянии 8890 и 8030 км от ее ядра.

Кроме этого к комете Галлея были направлены еще три космических аппарата: «Джотто», снаряженный Европейским космическим агентством, и 2 маленьких японских аппарата.

Проект был осуществлен при широкой международной кооперации и с участием научных организаций многих стран – СССР, Венгрии, Чехословакии, ГДР, Польши, Болгарии, Франции, Австрии, ФРГ. В работах по созданию станций приняло участие 150 советских организаций и предприятий.

Самой важной задачей в проекте «Вега» было исследование физических характеристик ядра кометы: размеров, строения, температуры, состава и характеристик поверхностного слоя.

Мы не нашли и долго еще не будет иметь технической

возможности совершить посадку на ядро кометы. Слишком велика скорость встречи – 78 км/сек. Опасно и пролетать на слишком близком расстоянии, так как кометная «пыль» очень опасна для космического аппарата. Расстояние пролета было примерно 10 тыс. км. Как исследовать ядро с такого расстояния? Использовались 2 подхода: 1) измерения с помощью оптических приборов; 2) прямые измерения вещества (газы, пыли), покидающего ядро и пересекающего траекторию, по которой движется аппарат.

Оптические приборы были размещены на специальной платформе (АСП), которая поворачивалась во время пролета и отслеживала направление на ядро.

Платформа была разработана и изготовлена в ЧССР. На платформе были установлены:

1. сложный телевизионный комплекс, который служил для получения изображения ядра кометы в различных спектральных диапазонах и наведения оптических приборов на ядро кометы;
2. инфракрасный спектрометр ИКС, который использовался для определения температуры ядра и состава комы. Изготовлен во Франции;
3. трехканальный спектрометр ТКС, изготовленный и разработанный совместно СССР, Болгарией, Францией.

На космическом аппарате были установлены также:

1. приборы для электромагнитных измерений;
2. приборы для контактных измерений.

Одним из основных научных приборов космического аппарата являлась телевизионная система, так как она давала изображения ядра кометы и наводила оптические приборы на ядро кометы.

В разработке и изготовлении ТВС принимали участие специалисты СССР, Венгрии, Франции.

Ленинградский институт точной механики и оптики принимал участие в проекте «Вега» в части разработки и изготовления оптико-механической аппаратуры для ТВС. Работа выполнялась в тесном контакте с ИКИ АН СССР.

Участие в столь важном международном проекте было для нас

одновременно и очень почетным и очень ответственным. Сроки выполнения работ были очень сжатыми. Старт космического аппарата не мог быть отодвинут.

Задача, которую нам предстояло решить, была не из легких. За сравнительно короткий срок нужно было спроектировать и изготовить: телескоп с диаметром главного зеркала $\varnothing$ 240 мм и с фокусным расстоянием $f' = 1200$ мм, объектив для телевизионного датчика наведения, блок детекторов, обеспечивающий функционирование камер и получение изобретений в различных зонах спектра.

Приборам предстояло работать в открытом космосе в условиях вакуума и космического излучения, они должны выдерживать значительные перепады температур, быть легкими, устойчивыми к механическим перегрузкам, вибрациям, ударам при старте и сохранить работоспособность после 440 дней полета.

Для выполнения этой работы нужны были специалисты разного профиля. К работе были привлечены сотрудники кафедр теории оптических приборов (ТОП), теплофизики (ТФ), оптических приборов (ОП), технической механики (ТМ), опытно-конструкторского бюро (ОКБ), экспериментально-опытного завода (ЭОЗ).

Наиболее сложным и ответственным прибором ТВС являлся телескоп, который должен был давать высококачественные изображения ядра кометы на двух приемниках. Поскольку телескоп являлся центральным прибором ТВС, то его разработка была поручена двум организациям: ЛИТМО и Лаборатории космической астрономии в Марселе, которая разрабатывала телескоп и для проекта «Джотто».

Разработка оптических схем телескопа велась параллельно двумя организациями. Но поскольку советскому и французскому телескопам следовало быть взаимозаменяемыми и занимать на платформе одно и то же место, то они должны были работать на одинаковой оптической схеме. Для обсуждения и выбора были предложены две схемы. Схема объектива ЛИТМО содержала два сферических зеркала и два небольших двухлинзовых компенсатора, схема французов содержала асферические зеркала и

двухлинзовый компенсатор. После обсуждения для дальнейшего проектирования была принята схема ЛИТМО как наиболее технологичная и дешевая, позволявшая получить очень высокое качество изображения. Оптическая схема телескопа ЛИТМО оригинальная и защищена авторскими свидетельствами. При разработке объектива была решена теоретическая задача получения очень высокого качества изображения в широком спектральном диапазоне от 0,4 мкм до 1,1 мкм.

Дальнейшая работа по проектированию велась параллельно и независимо специалистами Франции и ЛИТМО. В результате были созданы два телескопа, которые отличались конструкцией и примененными материалами.

При этом пришлось решить немало теоретических и практических вопросов. Одним из таких вопросов было создание термостабильного телескопа, который сохранял бы качество изображения при перепадах температуры более 60°C. Из-за жестких требований по весу система активного термостатирования исключалась. В результате работы была создана методика синтеза термостабильного телескопа. Объектив ЛИТМО выполнен полностью из титана с металlostеклянными зеркалами по технологии, разработанной профессором Крыжановским.

Ряд сложившихся вопросов пришлось решить разработчикам конструкции телескопа. Нужно было создать такую конструкцию, которая была бы легкой и в то же время выдерживала значительные перегрузки, удары, вибрации. Была разработана методика прогностных расчетов, которая полностью себя подтвердила при проведении испытаний. Разработанная конструкция телескопа оригинальна и защищена авторскими свидетельствами.

Телескоп, разработанный во Франции, несмотря на то, что выполнен по расчету ЛИТМО, резко отличался от советского примененными материалами и конструктивным решением. В нем использовались для зеркал и конструкции материалы с практически нулевым коэффициентом линейного расширения. Конструкция телескопа выполнена по классической схеме.

Проведенные наземные испытания показали, что телескопы

советский и французский имеют одинаковое качество изображения, однако советский телескоп благодаря удачному конструктивному решению позволял выдерживать большие механические нагрузки. С целью увеличения надежности эксперимента на «Вега-1» был установлен французский телескоп, а на «Вега-2» советский. Другая оптико-механическая аппаратура, разработанная и изготовленная в ЛИТМО, устанавливалась на двух космических аппаратах.

Работа параллельно с французскими коллегами над решением одной и той же задачи была очень полезной, хотя и не простой, как для советских, так и для французских специалистов. Взаимная оценка работы, сравнение результатов требовали высокой квалификации исполнителей, применения современных достижений оптического приборостроения. Сравнение готовых телескопов и их испытания проводились в Венгрии при участии венгерских специалистов-оптиков. И нам было приятно, что мы выглядели по сравнению с французами на хорошем уровне.

Легко представить, какую большую радость принесло исполнителям работы по «Вега» сообщение из Института космических исследований АН СССР о том, что по результатам тестовой проверки по Юпитеру телескоп на «Вега-2» показал высокое качество изображения, и с его помощью даже различались спутники Юпитера. Полученные снимки ядра кометы также подтвердили высокое качество изображения советского телескопа.

Другие оптико-механические системы – объектив широкоугольной камеры и блоки приемников изображения, включающие в себя светоделитель, затворы, механизмы смены фильтров и контрольные источники света – потребовали решения тех же вопросов, что и основной телескоп. Проведенные тестовые испытания по Юпитеру, а также полученные изображения ядра кометы подтвердили их надежность и высокое качество работы.

ЛИТМО совместно со специалистами из ИКИ АН СССР и ВНР была проделана большая работа по проектированию и изготовлению контрольно-юстировочной аппаратуры для проведения сборки и юстировки телевизионных камер в ВНР. Была разра-

ботана также измерительная система и методика проведения тепловакуумных испытаний в ИКИ АН СССР.

Что позволило точно в сроки хорошо выполнить поставленную Институтом космических исследований задачу? Во-первых, высокий профессиональный уровень специалистов, привлеченных к работе по проекту «Вега», во-вторых, очень тесный контакт со специалистами из ИКИ АН СССР, совместная работа с которыми позволяла очень быстро решать многие вопросы. На начальной стадии работы с их помощью к работе были привлечены необходимые специалисты с различных кафедр, был создан временный рабочий коллектив. Высокий уровень организации работы по проекту «Вега» в ИКИ АН СССР был примером для ЛИТМО.

Успешная работа по созданию оптико-механической аппаратуры для телевизионной системы проекта «Вега» была бы невозможна без использования опыта и помощи, особенно, в плане разработки и испытания противосолнечных бленд, нанесения покрытий на оптические и механические детали и измерения оптических параметров объективов Государственного оптического института им. С.И. Вавилова и Ленинградского оптико-механического объединения им. В.И. Ленина.

Успеху работы способствовал энтузиазм исполнителей: научных сотрудников, инженеров, рабочих. В течение нескольких лет эта работа для многих была самым главным делом, ради которого переносились не неопределенное время отпуска и выходные. В течение 3,5 лет это была наша общая работа, затем была наша общая ПОБЕДА.

Каковы же итоги экспедиции к комете Галлея? В октябре 1986 года в Гейдельберге (ФРГ) состоялся международный симпозиум, на котором ученые поделились своими выводами.

Итоги исследования ядра кометы Галлея. Это монолитное тело неправильной формы размером приблизительно 8х8х16 км. Выброс пыли происходит только с освещенной части ядра. Имеется несколько областей, из которых пыль уходит сравнительно узкими потоками (джетами). Покидает она поверхность и вне джетов. Над кометным телом имеется слой около 1 км

толщиной, внутри которого истекающий из ядра газ разгоняет пыль до нескольких км/сек. Температура поверхности оказалась почти в 2 раза больше ожидавшейся $380 \pm 30^\circ$ по Кельвину. Столь высокая температура, похоже, обусловлена тем, что ледяное ядро покрыто черным пористым слоем, как это бывает весной со снежными сугробами. Расчет показывает, что такой слой может быть всего несколько мм или и того меньше. Это объясняется тем, что кометный лед перемешан с частицами тугоплавких веществ и при испарении некоторая их доля остается на поверхности. Анализируя состав газа и пыли, удалось многое узнать о кометном веществе. Наиболее обильными его компонентами являются водяной пар и углекислый газ.

Итоги по Сагдееву: размеры ядра, каждую секунду комету покидают 40 т вещества, определив приблизительно массу ядра и скорость потери можно оценить время жизни кометы. Ее век порядка 20 000 лет. Приборы установили, что поверхность ядра черная ($d < 5\%$) и горячая ($380 \pm 30^\circ$ по Кельвину). Эта, казалось бы, невероятная картина, укладывается в простую модель, которую можно сравнить с мартовским сугробом: конгломератом льда и тугоплавких частиц, отделенных от внешнего пространства слоем черного пористого вещества с низкой теплопроводностью. Этот слой принимает солнечное излучение, часть его переизлучает в инфракрасном диапазоне, часть передает ледяному конгломерату. Молекулы водяного пара диффундируют сквозь пары вверх и покидают комету.

Важные данные были получены о составе комы. В патоке газа, уходящего от кометы, больше всего водяного пара, но есть много других компонентов: атомных (водород, кислород, углерод) и молекулярных (моноокись и двуокись углерода, циан и другие). Имеется косвенное указание на присутствие в ядре сложных органических молекул. Есть частицы с преобладанием металлов, таких как натрий, магний, кальций, железо и других с примесью силикатов.

Основные результаты: впервые получены крупномасштабные изображения ядра кометы (рис.3), произведены измерения температуры и других физико-химических характеристик,

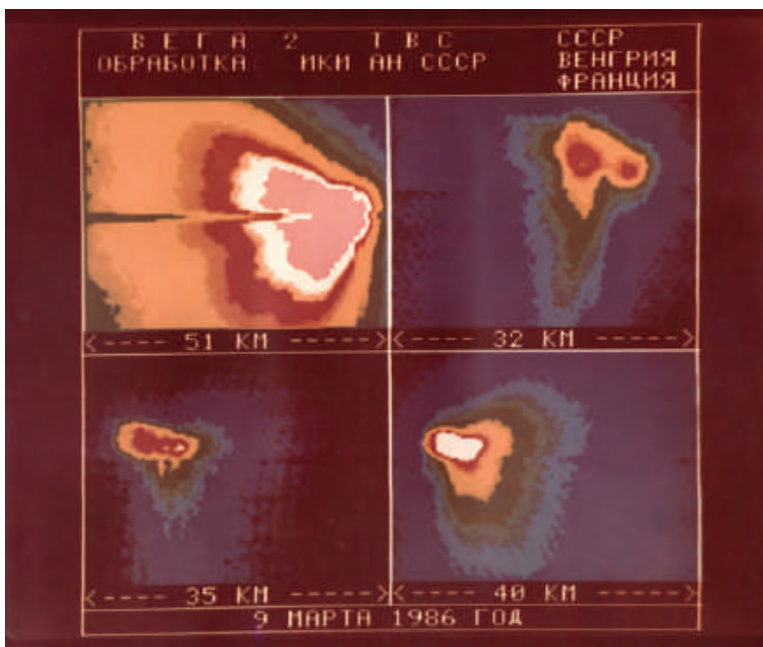
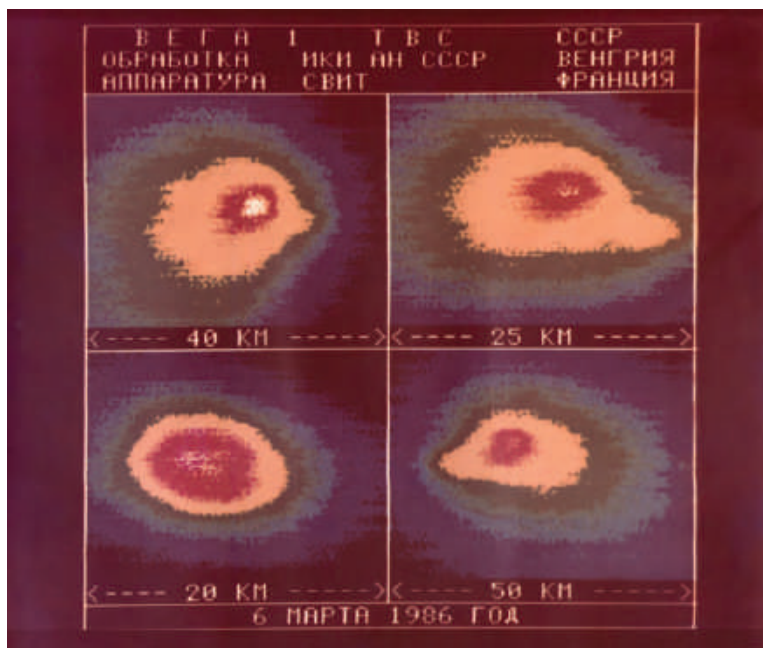


Рис. 3. Изображения ядра кометы Галлея с помощью аппаратов «Вега-1»
и «Вега-2»

выполнен анализ химического состава газовой и пылевой составляющих кометы, изучены электромагнитные поля и физические процессы.

Успешно были решены проблемные вопросы встречи станции с кометой с высокой точностью (в условиях недостаточного знания ее координат), безотказного функционирования станции в условиях интенсивного метеоритно-пылевого воздействия, проведения съемок кометы в различных спектрах, надежной передачи снимков и информации на Землю в реальном времени.

Результаты работы космических аппаратов «Вега-1» и «Вега-2» в СССР были очень высоко оценены. В сообщении ТАСС отмечалось, что при осуществлении эксперимента «были решены проблемные вопросы встречи станции с кометой Галлея с высокой точностью, безотказного функционирования станции в условиях интенсивного метеоритно-пылевого воздействия проведения съемок кометы в различных спектрах, надежной передачи снимков и информации на Землю в реальном масштабе времени».

Эксперимент по проекту «Вега» завершен. Успешное завершение работы имеет для института очень большое значение. Решены многие теоретические вопросы, созданные конструкторские и технологические решения используются и будут использоваться в других проектах, появился опыт участия в работе над сложным международным проектом.

Ученые обрабатывают богатейшую научную информацию эксперимента, а новый творческий коллектив ЛИТМО уже на более высоком организационном уровне совместно с коллегами из других учреждений под руководством Института космических исследований работает над новым космическим проектом «Фобос».

Составлено по рукописи Г. И. Цукановой, 1987 года

Часть вторая. ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Исследование и расчет астрономических асферических объективов с коррекцией полевых аберраций

Г.И. Цуканова

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Специальность 0530. Оптические приборы и спектроскопия

Работа выполнена на кафедре теории оптических приборов Ленинградского института точной механики и оптики.

Научный руководитель — заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор В.Н. Чуриловский.

Официальные оппоненты:

заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор физико-математических наук, профессор Г. Г. Слюсарев,

старший научный сотрудник, кандидат технических наук П.Д. Иванов.

Ведущее предприятие — Ленинградское оптико-механическое объединение.

Автореферат разослан 11 декабря 1968 г.

Защита диссертации состоится в феврале 1969 г. на заседании Совета оптического факультета в Ленинградском институте точной механики и оптики (Ленинград, Центр, пер. Гривцова, 14).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваши отзывы и замечания по автореферату (в 2-х экземплярах) просим направлять в адрес института.

Ученый секретарь

совета оптического факультета

кандидат физ.-мат. наук, доцент

(И. М. Нагибина)

Введение

В развитии крупного телескопостроения в настоящее время намечаются следующие основные тенденции: увеличение действующего отверстия телескопов, широкое применение фотографических, электронно-оптических, телевизионных и других приемников лучистой энергии, увеличение светосилы и полей зрения телескопов, вытеснение линзовых объективов зеркальными и зеркально-линзовыми системами.

Существующие зеркальные и зеркально-линзовые системы не могут в достаточной степени удовлетворить всем требованиям, предъявляемым к современным телескопам. Классические зеркальные объективы имеют чрезвычайно маленький угол поля зрения, совершенно недостаточный для ведения фотографических наблюдений. Созданные в первой половине века зеркально-линзовые системы с компенсатором аберраций в параллельном пучке лучей имеют высокие относительные отверстия и большие поля зрения, однако линзовые коррекционные элементы в них имеют размеры, приблизительно равные диаметру главного зеркала. Поэтому создание телескопов с входным отверстием в несколько метров по этим схемам невозможно.

В системах с компенсатором аберраций в сходящемся пучке лучей линзовые элементы в несколько раз меньше диаметра главного зеркала, что особенно важно для больших телескопов. Существующие сферические компенсаторы аберраций в сходящемся пучке лучей или не позволяют осуществить достаточно хорошей коррекции аберраций или состоят из большого числа линз (до 5—6).

Поэтому в настоящее время является актуальной задача по созданию телескопов с большими входными отверстиями в несколько метров, которые при высоких относительных отверстиях $1 : 2,5 - 1 : 3$ имели бы большой угол поля зрения, т. е. таких систем, в которых исправлены не только сферическая аберрация и кома, но и полевые аберрации, причем число линз компенсатора желательно иметь как можно меньше.

Целью данной работы была разработка новых типов астрономических телескопов с высокими оптическими характе-

ристиками, в которых осуществлена не только апланатическая коррекция, но и исправлены полевые аберрации. Для выполнения этой задачи применены новые типы несферических компенсаторов в сходящемся пучке лучей и рассмотрен новый тип трехзеркального объектива.

Диссертация состоит из пяти глав и отдельного приложения, содержащего 101 рисунок и 80 таблиц.

.....

Выводы

В работе рассмотрены следующие новые типы астрономических объективов:

1. Однозеркальные системы с концентрическим несферическим компенсатором в сходящемся пучке лучей. Компенсаторы данного типа не вносят ни хроматизма положения, ни хроматизма увеличения. В качестве параметров для исправления аберраций используются деформации одной из поверхностей каждого мениска. Наибольший интерес представляют системы с гиперболическим главным зеркалом и двухлинзовым концентрическим несферическим компенсатором. Угол поля зрения этих систем в 20—25 раз больше угла поля зрения классических зеркальных объективов.

2. Двухзеркальные системы типа Кассегрена с концентрическими несферическими компенсаторами. Из этих систем представляют интерес системы с однолинзовым и двухлинзовым компенсаторами. В первом случае, если исправлены сферическая аберрация, кома, астигматизм и кривизна изображения, оба зеркала гиперболические, во втором случае главное зеркало может быть гиперболическим, параболическим или эллиптическим, а второе — сферическим.

3. Однозеркальные системы с несферическим мениском, имеющим равные радиусы кривизны при вершине. Этот компенсатор не вносит хроматизма положения, а хроматизм увеличения его зависит от толщины. Объективы, рассчитанные с этим компенсатором, могут иметь при фокусных расстояниях от 10 м и выше относительные отверстия $1 : 2,5$ — $1 : 3,33$ и поля зрения

порядка $2\beta = 40' \div 50'$.

4. Двухзеркальные системы с несферическим мениском с равными радиусами кривизны при вершине. В системах данного типа исправлены сферическая аберрация, кома, астигматизм и кривизна изображения. Главное зеркало может быть параболическим или эллиптическим, а второе – сферическим.

Угол поля зрения этих объективов в 15 – 20 раз больше угла поля зрения классических зеркальных объективов.

5. Однозеркальные системы с двухлинзовым компенсатором, у которого передняя поверхность первого мениска и задняя поверхность второго мениска концентричны ходу параксиального луча, радиусы кривизны при вершине второй поверхности первого мениска и первой поверхности второго мениска равны междусобой. Этот компенсатор не вносит хроматизма положения. Задняя поверхность первого мениска и передняя поверхность второго мениска несферические. В системах с гиперболическим главным зеркалом и данным компенсатором можно исправить сферическую аберрацию, кому и астигматизм. Если фокусные расстояния систем от 10 м и больше, то относительные отверстия могут быть 1 : 2,5—1 : 3,33. Однако угол поля зрения меньше, чем в системах с рассмотренными выше компенсаторами.

6. Системы типа Кассегрена с третьим типом компенсатора. Оптические характеристики этих систем приблизительно такие же, как и у двухзеркальных систем с предыдущими компенсаторами.

7. Трихзеркальные системы, в которых главное зеркало параболическое, а второе и третье – сферические. Эти системы при $f' = -10$ м и выше могут иметь относительные отверстия 1 : 2,5 и поля зрения порядка $2\beta = 40'$. Коэффициент экранирования по диаметру не превосходит $\eta = 0,35$, осевая длина этих телескопов $0,7 — 0,9 f'$.

8. Трихзеркальные системы с плоским полем, в которых главное зеркало параболическое, второе — эллиптическое или имеет поверхность высшего порядка, близкую к эллиптической, а третье — сферическое. Эти системы могут иметь относительные отверстия от 1 : 2,5 и выше, поля зрения до $1,5^\circ$ при фокусных

расстояниях от 10 м и больше. Аберрации в этих системах чрезвычайно малы, поле абсолютно плоское. Особый интерес представляет система с минимальной осевой длиной ($0,536 f$). Экранирование и виньетирование имеют вполне допустимые величины. Плоскость изображения надежно защищена от постороннего света.

9. Трехзеркальные системы с вынесенной плоскостью изображения, в которых главное зеркало параболическое, второе – эллиптическое или имеет поверхность высшего порядка, близкую к эллиптической, а третье — сферическое. В этих системах коррекция аберраций хуже, чем в системах с плоским полем. Увеличению угла поля зрения препятствует кривизна изображения.

10. Исследование влияния изменения параметров на аберрации показало, что системы, рассмотренные в работе, могут быть изготовлены при современном уровне технологии изготовления и контроля песферических поверхностей.

11. Сравнение систем, рассчитанных в данной работе, с американскими системами Росса, Винна, Мейнела говорит за то, что наши системы не только не уступают им, но и превосходят, особенно чисто зеркальные, по оптическим характеристикам и качеству изображения.

Основные разделы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Тихомирова Г. И. Трехзеркальные астрономические объективы. Известия вузов СССР — «Приборостроение», 1967, № 12.

2. Тихомирова Г. И. Зеркально-линзовые астрофотографические объективы с сферическим мениском для коррекции полевых аберраций. Известия вузов СССР — «Приборостроение», 1968, № 3.

3. Тихомирова Г. И. Концентрические асферические компенсаторы комы и астигматизма для больших телескопов. Известия вузов СССР — «Приборостроение», 1968, № 10.

4. Чуриловский В. И., Тихомирова Г. И. Компенсатор аберраций зеркально-линзовой системы. Решение Комитета по

делам изобретений и открытий при СМ СССР от 1 августа 1968 г. о выдаче авторского свидетельства по заявке № 1170465/18-10.

5. Цуканова Г. И. Астрономические объективы с асферическими компенсаторами. Тезисы докладов к межвузовской научной конференции по технической оптике. Март, 1968 г.

6. Тихомирова Г. И. Астрономические зеркальные объективы с коррекцией полевых аберраций. XVIII итоговая научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава. Тезисы докладов, Л., сентябрь 1967 г.

По материалам диссертации были сделаны доклады:

1) на XVIII итоговой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава. ЛИТМО, сентябрь, 1967 г.

2) на межвузовской научной конференции по технической оптике. Март. 1968 г. [10].

*Впервые опубликовано:
Цуканова Г.И. Исследование и расчет
астрономических асферических объек-
тивов с коррекцией полевых аберраций:
автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических
наук – Ленинград, 1963 г.*

Исследование трехзеркальных плананастигматов без промежуточного изображения

Г.И. Цуканова

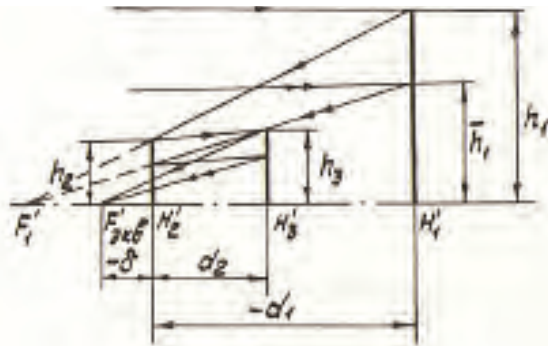
Для решения многих задач, выдвигаемых космической астрономией, требуются оптические системы, работающие в широком спектральном диапазоне, в том числе и в невидимой области спектра. При значительных диаметрах входного зрачка задача может быть решена только с применением зеркальных систем. Одновременно с расширением спектрального диапазона в объективах выросли угловые поля и относительные отверстия.

В связи с этим становится актуальной задача исследования зеркальных объективов с целью поиска оптимальных конструкций для светосильных и широкоугольных систем.

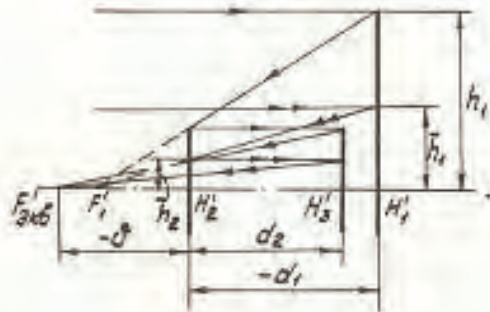
В данной работе выполняется исследование объективов первого типа без промежуточного изображения с исправленными сферической аберрацией, комой, астигматизмом и кривизной изображения.

Коррекция аберраций в трёхзеркальных объективах осуществляется довольно легко, три асферические поверхности используются для коррекции трех аберраций. Однако при этом могут получиться системы с большими экранированием или виньетированием, а также системы, в которых невозможно защитить плоскость изображения от постороннего света или пропустить свет на приемник изображения.

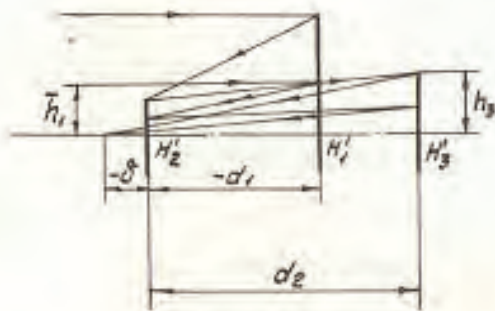
В трёхзеркальных системах, в отличие от двухзеркальных, коэффициент экранирования не всегда определяется высотой падения осевого луча на второе зеркало, а зависит также от положения плоскости изображения и третьего зеркала. Обратимся к рис. 1, из него видно, что если третье зеркало расположено перед первым, то экранирование может вызываться третьим зеркалом и минимальная высота падения осевого луча на первое зеркало $\bar{h}_1$ зависит от h_3 .



a)



б)



в)

Рис.1

Примем условие масштаба: $h_1 = 1$, $\alpha_4 = -1$, $f' = -1$; тогда из рис. 1 а) следует:

$$\frac{\overline{h_1}}{-f_1} = \frac{h_3}{-f_1 + d_1 + d_2}, \quad (1)$$

где
$$f_1' = \frac{d_1}{1 - h_2} \quad (2)$$

После преобразования (1) получаем:

$$\overline{h_1} = \frac{d_1 h_3}{h_2 d_1 - (1 - h_2) d_2} \quad (3)$$

Из рис. 1 б) видно, что экранирование может вызываться также отверстием во втором зеркале. Высота нулевого луча, имеющего на первом зеркале $h_1 = I$, после отражения от третьего зеркала на втором равна $\overline{h_2} = -\delta$. Учитывая, что $\overline{h_2} = \overline{h_1} h_2$, получим

$$\overline{h_1} = \frac{-\delta}{h_2} \quad (4)$$

Если третье зеркало расположено за первым и $h_3 > h_2$, тогда, как видно из рис. 1 в), экранирование определяется отверстием в главном зеркале и равно:

$$\overline{h_1} = h_2 + \frac{h_2 - h_3}{d_2} d_1 \quad (5)$$

Если h_1 , полученное по формулам (3,4,5), меньше h_2 , тогда экранирование будет определяться вторым зеркалом и $\overline{h_1} = h_2$.

Определим диапазон параметров δ , h_2 , d_1 , d_2 для анастигматов с плоским полем изображения при условии, что $\overline{h_1} \geq 0,65$, осевая длина системы не более двух фокусных расстояний, а δ принимает следующие значения: - 0,15; - 0,1; - 0,07; - 0,03; 0; 0,05; 0,1; 0,3; 0,4; 0,5; . Значения h_2 изменились в диапазоне $h_2 = 0,3 - 0,5$.

На рис. 2 даны графики зависимости $|d_1|$ от d_2 для различных значений δ и h_2 . Из графиков видно, что одному и тому же значению d_1 соответствует два значения d_2 , то есть имеет место

два вида систем. Один вид систем имеет выпуклое второе и вогнутое третье зеркала, эти системы расположены на графиках справа. Второй вид систем с вогнутым вторым и выпуклым третьим зеркалами расположен на графиках слева. Поскольку существует два вида систем, то возможны варианты систем с planoидными зеркалами – вторым или третьим. Системы с planoидными зеркалами находятся в левой нижней части графиков. Наиболее обширный класс систем – это системы с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами.

Теперь нужно из огромного количества систем, представленных на рис. 2 выделить те, в которых меньше виньетирование и можно защитить плоскость изображения от постороннего света.

При предварительном расчете виньетирование в исследуемых системах можно оценить по взаимному расположению поверхностей в пространстве предметов. Как показывает опыт расчета подобных систем, диаметр третьего зеркала не может быть значительно увеличен по сравнению с диаметром, найденным по осевому лучу, по атому при исследовании примем, что апертурная диафрагма расположена на третьем зеркале. Для этого случая получена формула для определения положения входного зрачка:

$$S_p = \frac{d_2 - d_1(d_2 - \delta)}{h_2(d_2 - \delta)} \quad (6)$$

Если принять, что диаметр главного зеркала во всех системах может быть увеличен на одну и ту же величину, то наименьшее виньетирование будет в системах с $\delta = -0,15 - 0$; $h_2 = 0,5$.

Теперь нужно выделить системы, в которых можно защитить плоскость изображения от постороннего света. Расчет защитных бленд в двухзеркальных системах изучен достаточно подробно.

В трёхзеркальных объективах все обстоит гораздо сложнее, т.к. здесь нужно защитить плоскость изображения не только от прямой засветки, но также и от света, отраженного не от задан-

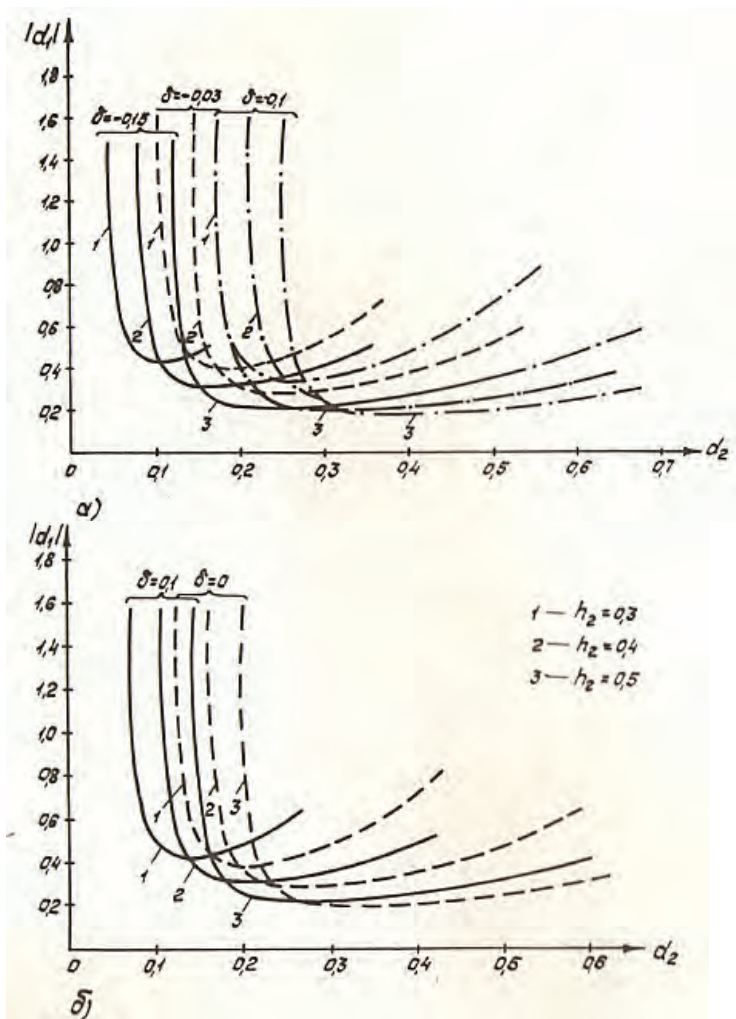


Рис. 2

ной последовательности зеркал.

На плоскость изображения может попасть следующий посторонний свет (рис. 3):

- 1) отраженный от третьего зеркала (I),
- 2) отраженный от первого зеркала (II),
- 3) отраженный от последовательности зеркал: первое – второе – первое.

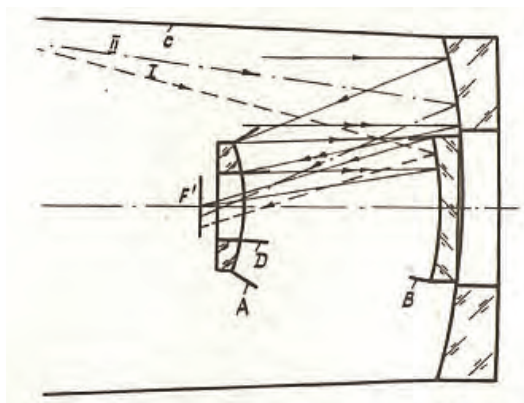


Рис. 3

Бленды А, В, С срезают свет, отраженный только от третьего зеркала, а бленды В, С, Д защищают от постороннего света, отраженного от первого зеркала. Общий метод расчета защитных бленд от постороннего света, претерпевшего как однократное, так и многократное отражение на зеркалах заключается в том, что все зеркала от которых может отражаться посторонний свет, плоскость изображения, которую нужно защитить, а также бленды, препятствующие попаданию на плоскость изображения постороннего света, переносятся в одно пространство, например, в пространство предметов, в котором и рассматривается ход «паразитных» лучей.

Оценивая возможности защиты от постороннего света, можно сделать вывод о том, что в системах с малыми значениями h_2 ($h_2 = 0,3$) возникают трудности с защитой от постороннего света, отраженного только от первого зеркала, а в системах с большими значениями h_2 ($h_2 = 0,5$) трудно защитить плоскость изображения от постороннего света, отраженного только от третьего зеркала, хотя в этих системах минимальное виньетирование.

Решение этих вопросов зависит от угловых полей и относительных отверстий систем. Чем выше относительное отверстие и меньше угловое поле объектива, тем меньше проблем возникает с виньетированием и защитой от постороннего света.

Рассмотрим теперь aberrации высших порядков в системах с наиболее благоприятными значениями δ и h_2 с точки зрения экранирования, защиты от постороннего света и виньетирования. Aberrации высших порядков имеют системы, в которых наблюдается переход от первого вида систем ко второму. В системах первого вида с выпуклыми вторым и вогнутым третьим зеркалами aberrации высших порядков значительно меньше, чем в системах второго вида с вогнутым вторым и выпуклым третьим зеркалами.

При исследовании систем первого вида, представляющих наибольший практический интерес, было выявлено, что главное зеркало почти всегда гиперболическое и только в системах с положительными значениями δ форма главного зеркала меняется от гиперболической до эллиптической (близкой к параболической). Второе и третье зеркала меняют форму от гиперболоида до сплюснутого эллипсоида. Возможны варианты систем со сферическими вторым или третьим зеркалами. Однако в системах со сферическим вторым зеркалом возникают трудности с защитой плоскости изображения от постороннего света. Наибольший практический интерес представляют системы со сферическим третьим зеркалом. Исследование aberrаций высших порядков в этих системах показало, что они одного порядка с aberrациями систем содержащих три асферические поверхности.

*Впервые опубликовано:
Г.И. Цуканова Исследование трехзеркаль-
ных плананастигматов без
промежуточного изображения // 31 inter-
nationales wissenschaftliches koloquium, 23 –
27.10.1989, Technische hochschule Ilmenau .
DDR – s. 225*

Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория»

М.С. Чубей., Г.И. Цуканова, А.В. Бахолдин

М.С. Чубей*, к.ф.-м.н.; Г.И. Цуканова**, к. т. н.; А.В. Бахолдин**, к.т.н.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

**Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий механики и оптики, Санкт-Петербург

Определены требования к оптической системе астрографа для Межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории. Рассмотрены варианты ортоскопических оптических систем объективов телескопов, приведена методика расчета трехзеркальных объективов с исправленными сферической аберрацией, комой, астигматизмом, кривизной изображения и дисторсией. Определено экранирование в полученных системах. В качестве примера приведены результаты расчета астрографа с фокусным расстоянием 5 м, диафрагменным числом 10, угловым полем в пространстве предметов 1°

Оценки возможностей создания «космического стереоскопа» с базой, равной $\sqrt{3}a$, где a - среднее расстояние от Земли до Солнца, и обсуждение его потенциала для выполнения программ фундаментальных исследований изложены в работах [1-4] и др. Уровень требований к полезной нагрузке, ее состав и предварительный дизайн проекта изложены в работе [5].

Задача телескопа-астрографа в проекте Межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории (МССО) — основного инструмента для решения задач астрометрии, звездной астрономии и астрофизики — обеспечить построение изображений точечных и протяженных небесных объектов с прониканием до 22-й звездной величины при отношении сигнал/шум не менее 2. Этот прибор должен позволять вести измерения положений контрастных элементов изображения и положений

максимумов интенсивности точечных источников на пиксельном поле ПЗС-матрицы с точностью до долей миллисекунды.

Возможны разные варианты создания полностью зеркальной оптической системы, которая должна удовлетворять главному требованию — обеспечить дифракционное качество изображения точечного объекта во всем поле. Требования к основным характеристикам:

1. диаметр входного зрачка $D \geq 500$ мм, фокусное расстояние $f' \geq 5000$ мм, относительное отверстие $D/f' \approx 1:10$;
2. приемник – ПЗС-матрица, размер пиксела 16×16 мкм;
3. угловое поле в пространстве предметов $2\omega \geq 45^\circ$.

Необходимость проведения измерений определяет дополнительные требования к оптической системе телескопа: дисторсия должна быть исправлена во всем поле изображения, а ее остаточная величина не должна превышать 1 мкм.

Рассмотрим варианты оптической системы для телескопа-астрографа, обладающего этими свойствами, главными из которых являются дифракционное качество изображения и фактически нулевая дисторсия

Задача по созданию телескопа с нулевой дисторсией уже ставилась при разработке космической астрометрической системы «Струве» [6], где в качестве объектива первоначально был принят зеркально-линзовый объектив Шмидта с диаметром главного зеркала 0,4 м, фокусным расстоянием 2,5 м и угловым полем около 2° . Рассматривались также зеркальные системы: зеркальный объектив Шмидта и трёхзеркальный объектив (система Корша) [7]. В последнем для коррекции дисторсии вблизи плоскости изображения была установлена линза Смита.

Поскольку требуемые оптические характеристики телескопа для проектов МССО и «Струве» существенно отличаются, опыт разработки систем для проекта «Струве» может быть использован лишь частично.

Самое существенное отличие состоит в том, что в проекте «Струве» телескопы имели относительные отверстия $1:6$ — $1:4$, а в МССО $1:10$ — $1:20$. При таких малых относительных отверсти-

ях применение зеркального телескопа Шмидта становится, по результатам расчетных оценок, нецелесообразным из-за резкого увеличения габаритов. В семействе известных зеркальных систем только зеркальный объектив Шмидта не имеет дисторсии. Таким образом, следует разработать зеркальный телескоп, в котором исправлены сферическая аберрация, кома, астигматизм, кривизна изображения и дисторсия. Поскольку в двухзеркальных телескопах это сделать невозможно, было проведено исследование трехзеркальных систем.

При небольших относительных отверстиях целесообразно применение трехзеркальных систем с промежуточным изображением после отражения от двух зеркал [7—12]. Варианты системы такого типа показаны на рис. 1.

Теоретически исправить аберрации всех пяти видов можно в любой из рассмотренных систем. Однако большинство решений оказываются конструктивно неосуществимыми либо из-за большого экранирования, либо из-за того, что свет вообще может не попасть на плоскость изображения. Даже если исправить четыре вида аберраций: сферическую, кому, астигматизм и кривизну изображения, конструктивно приемлемых систем остается очень немного, а если добавляется условие устранения дисторсии, то круг систем еще более сужается.

Исправления сферической аберрации, комы и астигматизма можно добиться изменением формы зеркал. Таким образом, для окончательной коррекции остаются три параметра: α_2 и α_3 — углы первого параксиального луча после отражения от первого зеркала и второго зеркала соответственно и h_3 — высота первого параксиального луча на третьем зеркале. Параметр определяет относительное отверстие главного зеркала, делать которое больше 1:1 нецелесообразно из-за сложностей изготовления и контроля.

Варьируя параметрами из α_3 и h_3 , можно получить систему с допустимым экранированием и, кроме того, исправить кривизну изображения и дисторсию.

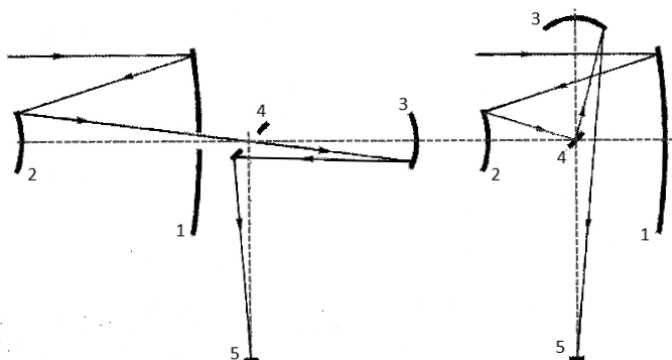


Рис. 1. Варианты трехзеркальных систем.

1 — главное зеркало, 2 — второе зеркало, 3 — третье зеркало, 4 — дополнительное плоское зеркало, 5 — плоскость изображения.

Экранирование в системах данного типа возникает, как и в обычных двухзеркальных системах, из-за применения второго зеркала, экранирующего входной пучок лучей. Кроме этого, самое большое экранирование вносит дополнительное плоское зеркало, причем оно экранирует дважды: сначала в пучке лучей, отраженных от главного, а затем от третьего зеркала.

Поэтому при конструировании оптической системы должны быть выполнены также следующие требования:

- третье зеркало не должно попасть в параллельный ход лучей,
- плоскость изображения также не должна попасть в ход лучей,
- лучи, отраженные от третьего зеркала, не должны «врезаться» ни во второе, ни в третье зеркало.

Если ко всем этим требованиям добавить условие исправления дисторсии, то круг решений становится еще меньше.

Расчет и исследование систем удобно вести с применением теории аберраций третьего порядка.

Условия устранения сферической аберрации, комы, астигматизма, кривизны изображения и дисторсии для системы из трех зеркал определяются системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_I = h_1(P_1 + B_1) + h_2(P_2 + B_2) + h_3(P_3 + B_3) = 0, \\ S_{II} = y_2(P_2 + B_2) + y_3(P_3 + B_3) + 0,5 = 0, \\ S_{III} = y_2^2(P_2 + B_2)/h_2 + y_3^2(P_3 + B_3)/h_3 + 2y_2W_2/h_2 + 2y_3W_3/h_3 + \\ + (\alpha_2/n_2 - \alpha_1/n_1)/h_1 + (\alpha_3/n_3 - \alpha_2/n_2)/h_2 + (\alpha_4/n_4 - \alpha_3/n_3)/h_3 = 0, \\ S_{IV} = (\alpha_2n_2 - \alpha_1n_1)/h_1n_1n_2 + (\alpha_3n_3 - \alpha_2n_2)/h_2n_2n_3 + \\ + (\alpha_4n_4 - \alpha_3n_3)/h_3n_3n_4 = 0, \\ S_V = y_2^3(P_2 + B_2)/h_2^2 + y_3^3(P_3 + B_3)/h_3^2 + 3y_2^2W_2/h_2^2 + 3y_3^2W_3/h_3^2 + \\ + 2y_2(\alpha_3 + \alpha_2)/h_2^2 - 2y_3(\alpha_4 + \alpha_3)/h_3^2 = 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

Основные параметры зеркал определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} P_1 &= -0,25 \alpha_2^3, \\ P_2 &= 0,25 (\alpha_3 - \alpha_2)^2 (\alpha_3 + \alpha_2), \\ P_3 &= -0,25 (\alpha_4 - \alpha_3)^2 (\alpha_4 + \alpha_3), \\ B_1 &= -0,25 b_1 \alpha_2^3, \\ B_2 &= 0,25 b_2 (\alpha_3 + \alpha_2)^3, \\ B_3 &= -0,25 b_3 (\alpha_4 + \alpha_3)^3, \\ W_1 &= 0,5 \alpha_2^2, \\ W_2 &= 0,5 (\alpha_3^2 - \alpha_2^2), \\ W_3 &= 0,5 (\alpha_4^2 - \alpha_3^2), \end{aligned}$$

где $b_i = -e_i^2$ – коэффициент деформации поверхности зеркала (e_i – эксцентриситет), α – угол осевого параксиального луча с оптической осью ($\alpha_1 = 0, \alpha_4 = -1$), h – высота первого параксиального луча ($h_1 = 1$), y – высота второго параксиального луча ($y_1 = 0$).

В результате подстановок и преобразований системы уравнений (1) определяем условия, выполнение которых необходимо при расчете оптической системы телескопа-астрографа.

Условие исправления сферической аберрации ($S_I = 0$):

$$\alpha_2^3(b_1 + 1) - h_2(\alpha_3 + \alpha_2)((\alpha_3 - \alpha_2)^2 + b_2(\alpha_3 + \alpha_2)^2) + h_3(1 + \alpha_3)[(1 - \alpha_3)^2 + b_3(1 + \alpha_3)^2] = 0$$

Условие коррекции комы ($S_{II} = 0$):

$$\alpha_3(1 - h_2)(\alpha_3 + \alpha_2)(\alpha_3 + \alpha_2(1 - h_2))((\alpha_3 - \alpha_2)^2 + b_2(\alpha_3 + \alpha_2)^2) - (1 + \alpha_3)(\alpha_2 - (\alpha_2^2 - \alpha_3^2 - \alpha_3)(1 - h_2))(1 - \alpha_3)^2 + b_3(1 + \alpha_3)^2 = 0$$

Условие исправления астигматизма ($S_{III} = 0$):

$$\begin{aligned} & \alpha_3^2(1-h_2)^2(1+\alpha_3)(\alpha_2+\alpha_3)(\alpha_3+\alpha_2(1-h_2))((\alpha_3-\alpha_2)^2 + \\ & + b_2(\alpha_3+\alpha_2)^2 - (\alpha_3-1)(\alpha_2-(\alpha_2^2-\alpha_3^2-\alpha_3)(1-h_2))^2((\alpha_3+1)^2 + \\ & + b_3(\alpha_3-1)^2) + 4\alpha_2\alpha_3^2(1-h_2)(1+\alpha_3)(\alpha_3+\alpha_2(1-h_2))(\alpha_3^2-\alpha_2^2) + \\ & + 4\alpha_2\alpha_3(1-\alpha_3^2)(\alpha_2-(\alpha_2^2-\alpha_3^2-\alpha_3)(1-h_2)) = 0 \end{aligned}$$

Условие коррекции кривизны изображаемого
ства ($S_{IV} = 0$):

$$\alpha_2 - (\alpha_3 + \alpha_2)/h_2 + (1 + \alpha_3)/h_3 = 0$$

Условие исправления дисторсии ($S_V = 0$):

$$\begin{aligned} & \alpha_3^3(1-h_2)^2(\alpha_2+\alpha_3)(1+\alpha_3)^2(\alpha_3+\alpha_2(1-h_2))((\alpha_3-\alpha_2)^2 + \\ & b_2(\alpha_3+\alpha_2)^2) - (\alpha_3-1)(\alpha_3+1)^2(\alpha_2-(\alpha_2^2-\alpha_3^2-\alpha_3)(1-h_2))^3 \times \\ & \times ((\alpha_3+1)^2 + b_3(\alpha_3-1)^2) + 6\alpha_2\alpha_3^3(1+\alpha_3)^2(\alpha_3^2-\alpha_2^2)(\alpha_3+\alpha_2(1-h_2)) + \\ & + 6\alpha_2\alpha_3(1-\alpha_3^2)(\alpha_3+\alpha_2(1-h_2))(\alpha_2-(\alpha_2^2-\alpha_3^2-\alpha_3)(1-h_2))^2 + \\ & + 8\alpha_2^2\alpha_3^2(1-h_2)(\alpha_2+\alpha_3)(1+\alpha_3)^2(\alpha_3+\alpha_2(1-h_2)) - \\ & - 8\alpha_2^2\alpha_3^2(1+\alpha_3)(\alpha_3+\alpha_2(1-h_2))^2(\alpha_2-(\alpha_2^2-\alpha_3^2-\alpha_3)(1-h_2)) = 0 \end{aligned}$$

В качестве начальных данных задавались значения параметра α_2 , который определяет относительное отверстие главного зеркала, характеризующее технологическую осуществимость и трудоемкость изготовления главного зеркала, а также один из трех параметров: h_3 , h_2 , или α_3 . Решая систему уравнений численным методом с помощью программных средств, например, Mathcad, можно получать различные варианты схем. Среди возможных вариантов решений отбираются те, которые конструктивно осуществимы и имеют допустимое экранирование.

Используя выведенные формулы, рассчитан ряд систем с устраненными пятью видами aberrаций третьего порядка. Наиболее интересные решения приведены в таблице. Расчет проводился для объективов с относительными отверстиями 1:10 и экранированием по диаметру не более 0,3. Определены максимальные угловые поля для систем, в которых главное зеркало имеет диафрагменное число 1, 1,25, 1,5. Значения величин

h_3, h_2, s'_2, d_1 и d_2 отнесены к фокусному расстоянию всей системы.

Исследование показало, что угловое поле при одинаковом экранировании получается больше в системах с высокими относительными отверстиями главного и остальных зеркал.

На основании выполненного исследования рассчитан ряд систем, оптическая схема, одной из которых показана на рис.2. Основные характеристики этой системы: фокусное расстояние $f' = 5000$ мм, относительное отверстие $D/f' = 1/10$, угловое поле $2\omega = 1^\circ$. Габариты системы не превышают 500мм в диаметре и 1300 мм по длине, расстояние между первым и вторым зеркалами $d_1=390$ мм, между вторым и третьим — $d_2=1210$ мм; расстояние от плоского зеркала до промежуточного изображения $s'_2=1030$ мм, расстояние от второго зеркала до промежуточного изображения $s'_2 = 589$ мм. Система имеет дифракционное качество изображения и нулевую дисторсию. Экранирование по площади порядка 10%.

Главное зеркало в телескопе является близким к параболоиду эллипсоидом, вторичное зеркало — гиперболическое, а третье имеет эллиптическую форму.

Конструкторские проработки показали, что при использовании в трехзеркальной системе новых оптических и конструкционных материалов реализуемые массогабаритные характеристики астрографа не превысят заданных.

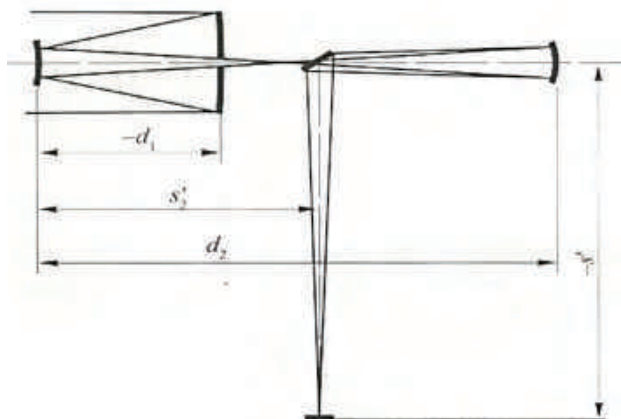


Рис. 2. Трехзеркальная ортоскопическая система (пояснения в тексте)

k_1	α_2	α_3	h_3	h_2	s'_2	d_1	d_2	2 ω , угл. мин	При меч.*
1	-10	3,800	-0,1	0,107	0,028	-0,089	0,054	28	1
1	-10	3,332	-0,2	0,211	0,063	-0,079	0,123	47	
1	-10	2,920	-0,3	0,307	0,105	-0,069	0,208	60	2
1,25	-8	3,255	-0,1	0,094	0,029	-0,113	0,060	23	1
1,25	-8	2,914	-0,2	0,184	0,063	-0,102	0,132	38	
1,25	-8	2,611	-0,3	0,269	0,103	-0,091	0,218	48	2
1,25	-8	2,475	-0,35	0,308	0,125	-0,086	0,266	52	2
1,5	-6,67	2,883	-0,1	0,083	0,029	-0,137	0,064	19	1
1,5	-6,67	2,622	-0,2	0,163	0,062	-0,125	0,139	32	
1,5	-6,67	2,388	-0,3	0,238	0,100	-0,114	0,225	43	
1,5	-6,67	2,282	-0,35	0,273	0,120	-0,109	0,273	46	3
1,5	-6,67	2,241	-0,37	0,287	0,128	-0,107	0,293	48	2,3

* 1 — третье зеркало попадает в ход лучей; 2 — вариант может быть реализован, 3 — если допустить экранирование по диаметру $\eta = 0,4$, то угловое поле может быть увеличено до 1°

ЛИТЕРАТУРА

1. Grigoryev V.M. Space-born solar stereoscope experiment in solar physics // Solar Phys. 1993. V. 148. P. 386-391
2. Grigoryev V.M., Papushev P.G., Chubey M.S., Kopylov I. M., Eroshkin G.I., Ilin A.E., Gorshanov D.L., Pashkevich V. V., Savastanya A.V. Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory (ISSO): scientific objectives and facilities // Astronomy & Astrophysics Trans. 2000. V. 19. № 3 – 4. P. 646—661.
3. Abalakin V.K., Chubey M.S., Eroshkin G.I., Kopylov I.M. Triangulation measurements in the Solar System // Proc. of IAU Coll. 2000. V. 180. P. 132 – 149.
4. Chebolarev V.E., Grigoryev V.M., Konovalov V.S., Papushev P.G., Uspensky G.R. The problem of Designing of a Solar Stereoscopic Observatory // Phys. Chem. Earth. 1997. V. 22. № 5. P. 445 – 449.

5. Григорьев В.М., Папушев П.Г., Чупраков С.А., Чубей М.С., Кулагин Е.С., Ерошкин Г.И., Львов В.Н., Толчельникова С.А., Ягудин Л.И. Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория // Оптический журнал 2006. Т. 73. № 4. С. 43 – 48.
6. Захаренко В.Ф., Стариченкова В.Д., Чубей М.С., Флейшер А.Г., Копылов И.М., Канаев И.И., Цуканова Г.И. Оптическое оснащение орбитального комплекса для глобального обзора неба в проекте Струве // Сб. Трудов междунар. Конф. «Прикладная оптика-2000». Т. 1. СПб.: ГОИ им. С.И. Вавилова, 2000. С. 138 – 140.
7. Korsch D. Anastigmatic three-mirror telescope // Appl. Opt. 1977. № 8. P. 2074 – 2077.
8. Пименов Ю.В. Исследование оптической схемы трехзеркального объектива // ОМП. 1977. № 7. С. 18 – 21.
9. Robb P. Three-mirror telescopes: design and optimization // Appl. Opt. 1978. V. 17. № 17. P. 2677 – 2685.
10. Mikhelson N.N. Three-mirror telescope anastigmats // Opt. Acta. 1982. V. 29. № 7. P. 979 – 983.
11. Цуканова Г.И., Стариченкова В.Д. Исследование конструктивных особенностей трехзеркальных объективов плананастигматов с промежуточным изображением // Оптический журнал. 1997. Т. 64. №7. С. 64 – 67.
12. Цуканова Г.И. Трехзеркальные ортоскопические объективы с промежуточным изображением // Оптический журнал 1999. Т.66. № 12. С. 21 – 23.

Впервые опубликовано:

Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория» // Оптический журнал, том 74, № 7, 2007 - С. 37-41

Защита от прямых засветок в системе астрографа для межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории

М.С. Чубей*, к.ф.-м.н.; Г.И. Цуканова**, к.т.н.; А.В. Баходдин**, к.т.н.

* Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург

** Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий механики и оптики, Санкт-Петербург

Рассмотрены вопросы защиты приемника от прямых засветок в системе астрографа для Межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории. Предложена методика и рассмотрен расчет бленда для защиты от «паразитного» света для трех вариантов астрографа, отличающихся конструктивными параметрами и оптическими характеристиками.

Ключевые слова: астрограф, бленда.

Астрограф Межпланетной солнечной системы стереоскопической обсерватории (МССО) устанавливается на борту космического аппарата и предназначен для решения задач астрометрии, небесной механики, астрофизики и звездной астрономии по программам фундаментальных исследований в дальнем космосе. Объектами наблюдения астрографа являются звезды, внегалактические объекты и все тела Солнечной системы, за исключением Солнца. Различные этапы разработки рассмотрены в статьях [1,2]. Специфика расчета оптической системы астрографа изложена в [3,4].

Оптическая схема прибора построена на основе трехзеркальной системы с промежуточным изображением между вторым и третьим зеркалами и может быть исполнена в двух вариантах, представленных на рис.1.

Рассмотрим защиту от построенного излучения для трех вариантов телескопов: 1) два телескопа выполнены по схемам, показанным на рис. 1а и 1б, и имеют следующие оптические характеристики: фокусное расстояние 10 м, относительное отверстие 1/10, угловое поле в пространстве предметов 1°; 2) телескоп выполнен по схеме рис. 1б с промежуточным изображением

перед главным зеркалом и имеет следующие характеристики: фокусное расстояние 20 м, относительное отверстие $1/20$, угловое поле в пространстве предметов 1° . В последнем случае вследствие большого заднего отрезка для уменьшения габаритов целесообразно ввести дополнительные плоские зеркала 6 (на рис. 1 в качестве примера показано одно зеркало 6).

Организация защиты от постороннего света в двухзеркальных системах рассмотрена в работах [5, 6]. На рис. 2 приведена система Ричи-Кретьена с оптическими характеристиками, совпадающими с параметрами первых двух телескопов. Показан ход лучей рабочего пучка, падающего на главное зеркало под полевым углом $-\omega$. «Паразитный» луч, проходящий мимо второго зеркала через отверстие в главном зеркале прямо на приемник изображения, показан штриховой линией.

Для срезания постороннего излучения в системах Ричи-Кретьена устанавливаются внутренние бленды АА, ВВ и внешняя бленда СС. Как видно из рис. 2, введение бленды АА сильно увеличивает экранирование системы. Рассмотрим часто встречающийся вариант, когда в системе отсутствует виньетирование, для исправления астигматизма использован афокальный компенсатор, а за счет равенства радиусов кривизны зеркал устранена кривизна изображения. При минимальном для этого случая экранировании по диаметру, равном $\eta = 0,5$, длина внешней бленды СС составляет несколько метров.

Защита плоскости изображения от постороннего света в трехзеркальных системах без промежуточного изображения рассматривалась в работах [7,8]. В них предложен подход к организации системы защиты приемника от «паразитного» излучения в многозеркальных системах.

Изучим защиту от засветок в трехзеркальных системах с промежуточным изображением между вторым и третьим зеркалами. Обратимся сначала к варианту с расположением промежуточного изображения за первым зеркалом. В этой системе на плоскость приемника может попасть свет, прошедший через отверстие в плоском зеркале и отраженный только от третьего зеркала. На рис. 1 такой луч показан штриховой линией.

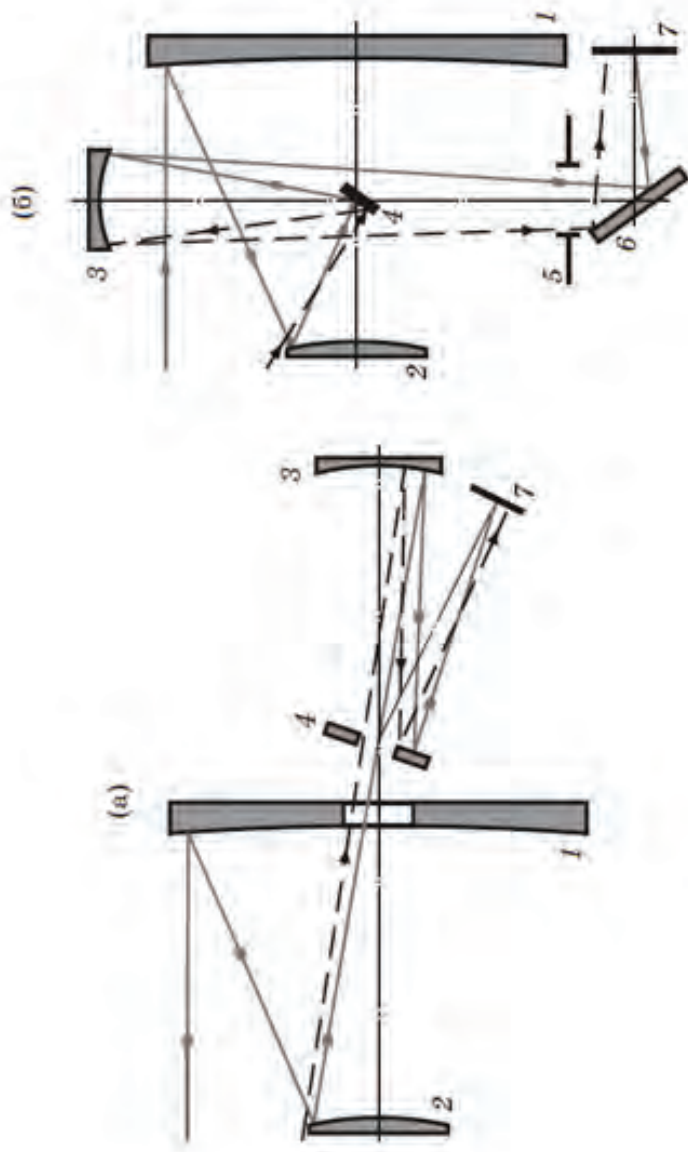


Рис. 1. Два варианта ((a) и (б)) исполнения трехзеркальной системы с промежуточным изображением после второго зеркала. (пояснения в тексте). 1 - первое зеркало, 2 - второе зеркало, 3 - третье зеркало, 4 - плоское зеркало, 5 - плоскости промежуточного изображения, 6 - дополнительное плоское зеркало, 7 - плоскость изображения.

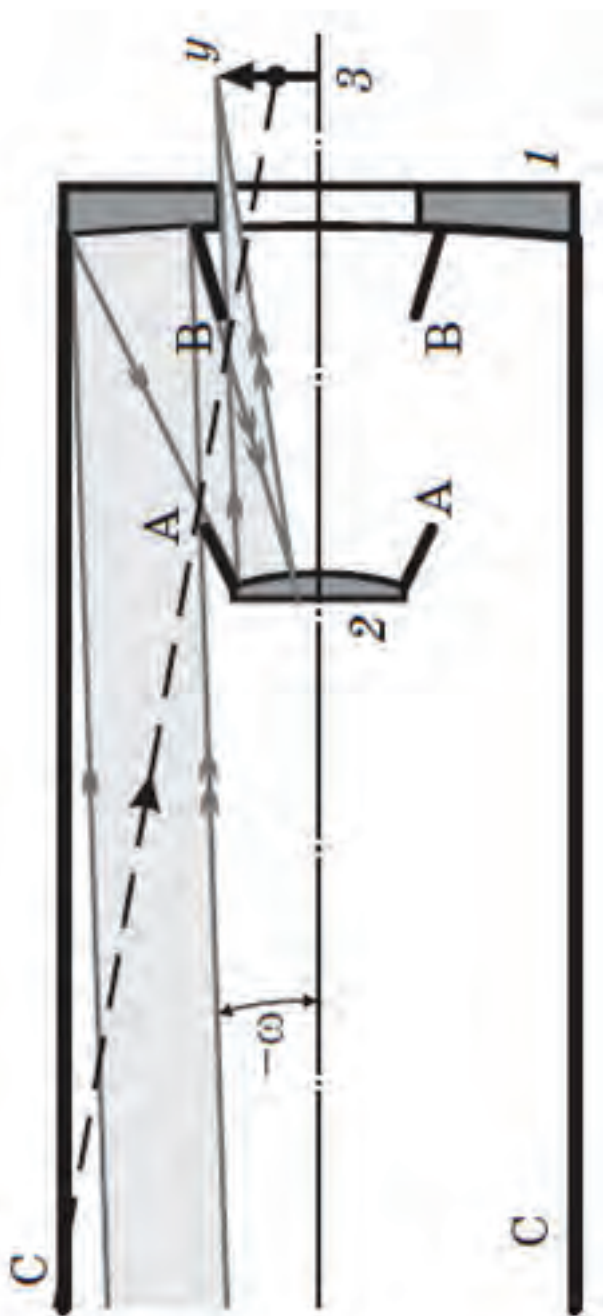


Рис. 2. Двухзеркальная система Ричи—Кретьена с защитными блендами. 1 - первое зеркало, 2 - второе зеркало, 3 - плоскость изображения.

Для рассмотрения работы защитных бленд воспользуемся методом, предложенным в работах [7, 8]. Спроецируем в одно пространство, например в пространство предметов, изображения всех зеркал, диафрагм и плоскости приемника.

Поскольку в данном случае рассеянный свет отражается только от третьего зеркала, найдем положение изображений всех элементов в пространстве предметов третьего зеркала. Определим размеры и расположение изображений приемника и плоского зеркала с отверстием через третье зеркало в обратном ходе лучей.

Расположение отверстий, экранов и их изображений в пространстве предметов третьего зеркала в первом варианте (рис. 1а) исполнения астрографа представлено на рис.3. Посторонний свет может пройти только через отверстие в первом зеркале 1. Второе зеркало 2 является экраном на пути постороннего излучения. Плоскость предметов для третьего зеркала 3 совпадает с отверстием в наклонном плоском зеркале 4. Само третье зеркало 3 представляет собой отверстие для «паразитного» излучения. Изображение 5 плоского зеркала в обратном ходе лучей через третье зеркало также является отверстием для постороннего света. В этом случае отверстие в плоском зеркале выполняет функцию экрана для «паразитных» лучей.

На плоскость приемника может попасть посторонний свет, показанный на рис.1 штриховой линией. «Паразитные» лучи проходят выше второго зеркала, через отверстие в первом зеркале, далее через отверстие в плоском зеркале и после отражения в третьем зеркале попадают на приемник. Эти лучи могли бы быть срезаны диафрагмой, установленной на месте входного зрачка третьего зеркала. Однако по конструктивным соображениям этого сделать невозможно. Но поскольку выходной зрачок находится вблизи плоского зеркала с отверстием, особых трудностей с защитой от постороннего света не возникает.

Для того чтобы полностью защитить плоскость приемника от постороннего света, необходимо срезать луч, проходящий через края диафрагм 4 и 5. (Он показан на рис.3 штриховой линией). На срезание этого луча можно повлиять, выполняя следующие

требования:

1. диаметр отверстия в плоском зеркале (зеркало 4 на рис 1а) не должен иметь размеры больше, чем необходимо для пропускания рабочих пучков;
2. диаметр отверстия в первом зеркале (зеркало 1 на рис. 1а) также не должен быть больше расчетного для прохождения рабочего пучка лучей;
3. размеры плоского зеркала 4 не должны быть больше необходимых для пропускания лучей, создающих изображение.

Остальные «паразитные» лучи будут иметь большие углы падения, и поэтому их не пропустит второе зеркало.

Если при выполнении всех перечисленных выше требований свет попадает на третье зеркало, тогда нужно, поставить у второго зеркала дополнительную бленду, которая позволит защитить плоскость приемника. Экранирование в этом случае увеличивается незначительно и все равно остается меньше, чем в системе Ричи- Кретьена. Длинной бленды у главного зеркала не требуется.

Может возникнуть вопрос, а не попадет ли на плоскость изображения постороннее излучение, отраженное от третьего зеркала, прошедшее через отверстие в плоском зеркале, отраженное от второго зеркала, и снова отраженное от третьего зеркала (рис. 4)? Опасный луч проходит через края диафрагмы 4 и экрана 5 и показан на рис. 3 сплошной линией. Как видно из рисунка, все посторонние лучи срезаются вторым зеркалом как экраном.

Во втором варианте исполнения (рис. 16), когда промежуточное изображение находится перед первым зеркалом, опасным является свет, попавший на плоское зеркало, затем на третье зеркало и после отражения от него на приемник изображения. На рис. 16 такой луч показан штриховой линией.

Перенесем в пространство предметов третьего зеркала изображение плоскости приемника и дополнительную диафрагму 5 (рис. 16), расположенную вне хода лучей между первым и вторым зеркалами. Как показано на рис. 5, второе зеркало 1 играет роль

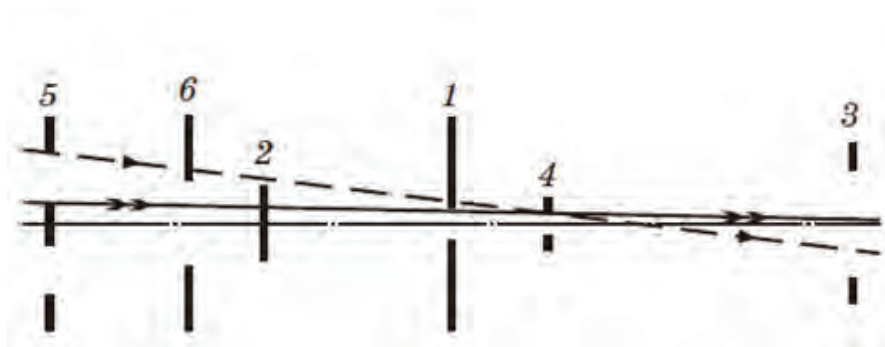


Рис. 3. Расположение отверстий, экранов и их изображений в пространстве предметов третьего зеркала в первом варианте исполнения астрографа.

1 - первое зеркало, 2 - второе зеркало, 3 - третье зеркало, 4 - плоскость предметов для третьего зеркала, 5 — изображение плоского зеркала третьим зеркалом в обратном ходе лучей, 6 - входной зрачок для третьего зеркала.

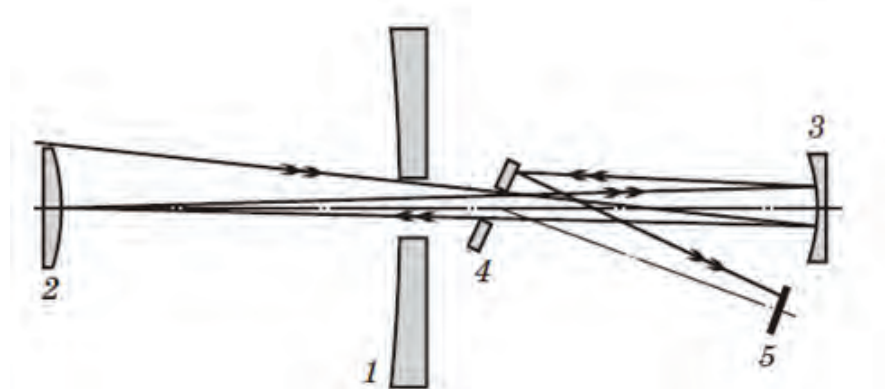


Рис. 4. Ход «паразитного луча» с многократным отражением. 1 - первое зеркало, 2 - второе зеркало, 3 - третье зеркало, 4 - плоское зеркало вблизи плоскости промежуточного изображения, 5 — плоскость приемника изображения.

экрана для «паразитного» излучения. Плоское зеркало 2 расположено вблизи или совпадает с предметной плоскостью третьего зеркала 3. Изображение дополнительной диафрагмы 4 является отверстием для постороннего излучения.

Опасный луч (на рис. 5 показан штриховой линией) проходит через края плоского зеркала 2 и экрана I (второе зеркало). Все «паразитные» лучи с большими углами падения будут беспрепятственно попадать на плоскость приемника. Для срезания этих лучей ставится дополнительная диафрагма (на рис. 1 диафрагма 5, на рис. 5 диафрагма 4). Края бленд 2, 4 и экрана 1 должны находиться на одной прямой. Диаметр дополнительной диафрагмы 4 определяется из основного хода рабочих лучей. Если эта диафрагма не полностью срезает посторонний свет, тогда нужно увеличивать диаметр бленды у второго зеркала (экран 1 на рис. 5), но это увеличение незначительное.

Рассмотрим систему защиты приемника от засветок в телескопе с дополнительными плоскими зеркалами, имеющем фокусное расстояние 20 м, относительное отверстие $1/20$, угловое поле в пространстве предметов 1° . Известно, что уменьшение

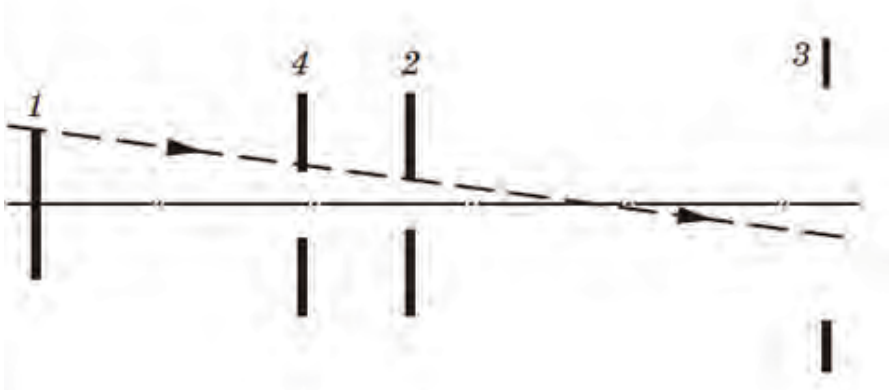


Рис. 5. Система защиты от постороннего излучения во втором варианте исполнения астрографа. 1 – второе зеркало как экран, 2 – плоское зеркало, совпадающее с плоскостью предметов для третьего зеркала, 3 – третье зеркало, 4 – изображение дополнительной диафрагмы, перенесенное в пространство предметов третьего зеркала.

относительного отверстия усложняет защиту от постороннего света. Расположение экранов и отверстий в пространстве предметов третьего зеркала идентично показанному на рис. 5. Дополнительное плоское зеркало в пространстве изображений расположено вблизи выходного зрачка системы и в данной схеме выполняет роль реальной диафрагмы 5 (рис. Г). Эта диафрагма позволяет полностью устранить «паразитный» свет даже при малых значениях относительного отверстия.

Приведенные расчеты выполнены в параксиальной области. После определения всех защитных бленд необходимо выполнить контрольный расчет реальных лучей и при необходимости внести изменения.

В трехзеркальных системах с промежуточным изображением после второго зеркала выходной зрачок является действительным, и это обстоятельство значительно облегчает защиту плоскости приемника от посторонних засветок без увеличения экранирования, что представляет большое преимущество по сравнению с системами Ричи-Кретъена. К достоинствам этих систем относится также отсутствие длинной бленды у первого зеркала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grigiryev V.M. Space-born solar stereoscope experiment in solar physics // *Solar Phys.* V. 148. 1993 - P. 386-391,
2. Grigiryev V.M., Papushev P.G., Chubey M.S., Kopylov I.M., Eroshkin G.I., Ilin A.E., Gorshanov D.L., Pashkevich V.V., Savsstenya A.V. Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory (ISSO): scientific objectives and facilities // *Astronomy and Astrophysics Trans.* V. 19. № 3-4. 2000 - P. 646-661,
3. Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Трехзеркальный квазиортоскопический телескоп для космической обсерватории // Тр. 7-й Междунар. Конф. «Прикладная оптика 2006». СПб., 2006. С. 132-134,
4. Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерва-

- тория» // Оптический журнал. Т. 74. № 7. 2007 - С. 37-41,
5. Чуриловский В.Н. Теория оптических систем. М.-Л.: Машиностроение, 1966. 564 с.
 6. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. М.: Наука, 1976. 512 с.
 7. Цуканова Г.И. Вопросы экранирования и защиты плоскости изображения от постороннего света в трехзеркальных длиннофокусных объективах // Изв. ВУЗов. Сер. «Приборостроение». 1971. №9. С. 1-3.
 8. Цуканова Г.И. Расчет защитных бленд от постороннего света в многозеркальных системах // Изв. ВУЗов. Сер. «Приборостроение». 1977. №6. С. 1-4.

*Впервые опубликовано в издании:
Цуканова Г.И., Чубей М.С., Бахолдин А.В.
Защита от прямых засветок в системе
астрографа для межпланетной солнечной
стереоскопической обсерватории //
Оптический журнал, том 76, № 8, 2009 –
С. 70 - 73*

Оптические системы крупногабаритных многоспектральных телескопов

Г.И. Цуканова, к.т.н.; А.В. Бахолдин, к.т.н.
НИУ ИТМО, Санкт-Петербург

В работе представлены два варианта оптических систем телескопов для одновременной работы в нескольких спектральных диапазонах. Оптическая система по первому варианту — это сложный шестиканальный телескоп, осуществляющий дневное и ночное наблюдение одновременно в трех спектральных диапазонах: видимом и двух инфракрасных. Оптическая система по второму варианту — это двухканальный телескоп дневного наблюдения, работающий одновременно в двух спектральных диапазонах: видимом и дальнем инфракрасном. Приводится оптическая система зеркального телескопа для видимого диапазона и характеристики качества изображения.

Ключевые слова: крупногабаритный телескоп, многоспектральный объектив, видимый и инфракрасный диапазоны.

Оптические системы для контроля обстановки в околоземном космическом пространстве работают в широком спектральном диапазоне. Можно сделать несколько оптических систем для более узких спектральных диапазонов и получить хорошее качество изображения [1—3], а можно создать одну систему, работающую в нескольких диапазонах, но в этом случае в зависимости от задач и условий наблюдения необходимо менять приемники излучения [4] или применять спектроделители, что не всегда возможно.

В работе была поставлена задача изучить возможность создания крупногабаритного телескопа (с диаметром главного зеркала 2,5 м, угловым полем $2\omega = 1,2^\circ$, осевой длиной не более 4 м), осуществляющего дневное и ночное наблюдение одновременно в трех спектральных диапазонах: видимом и двух инфракрасных (ИК).

Основные характеристики для всех каналов телескопа приведены в таблице, принципиальная схема телескопа с четырьмя

спектральными каналами - приведена на рис. 1, где компоненты 1,2,4- зеркальные, 19—22 — спектроделители, остальные компоненты линзовые.

Главное зеркало диаметром 2,5 м является общим для всех каналов. Сложность задачи заключается в том, что в ИК каналах должен быть действительный выходной зрачок, расположенный на сравнительно небольшом расстоянии от плоскости изображения. Поэтому в ИК каналах необходимо иметь промежуточное изображение. Вблизи промежуточных изображений устанавливаются коллективные линзы (6, 10) для согласования зрачков.

Общая часть для каналов дневного и ночного наблюдения представляет собой зеркальную систему, близкую к телескопической системе Мерсенна. Видимое увеличение общей для всех каналов насадки 1 порядка 2. Плоское зеркало 18 вводится в ход лучей при работе дневного канала и выводится при ночном наблюдении.

Компоновка канала ночного наблюдения приведена на рис. 2. (При описании рис. 2 позиции элементов соответствуют обозначениям на рис. 1) Объектив, работающий в видимом диапазоне, является трехзеркальным. 1 – первое и второе зеркала телескопа, 4 - третье зеркало. Спектроделитель (21), расположенный вблизи отверстия в главном зеркале, отражает излучение видимого диапазона на приемник (5), находящийся вблизи отверстия третьего зеркала (4), и пропускает ИК диапазон. Промежуточное ИК изображение находится вблизи отверстия во втором зеркале. В плоскости промежуточного изображения располагается коллектив, работающий в диапазоне 1,5—11 мкм и согласующий зрачки ИК каналов. ИК каналы выводятся через отверстие во втором зеркале и располагаются перед вторым зеркалом. В ИК каналах три линзовых объектива: первый — общий на весь ИК диапазон, после него в параллельном пучке лучей расположен спектроделитель, отражающий ближнюю ИК часть спектра и пропускающий дальнейшее ИК излучение. В каждом из ИК диапазонов свой объектив с соответствующим фокусным расстоянием.

В трехзеркальном объективе для видимого диапазона все три поверхности должны быть асферическими. Главное зеркало

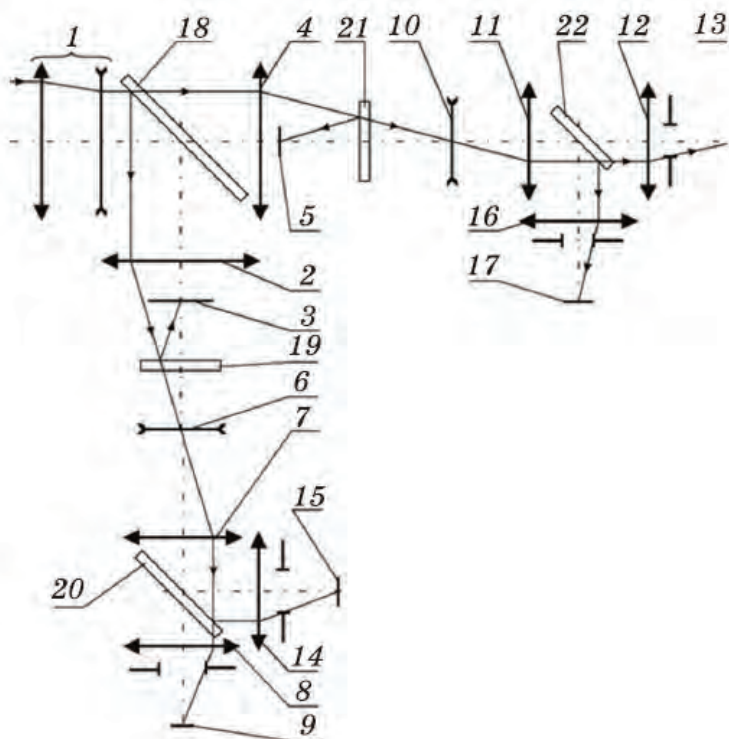


Рис. 1. Принципиальная схема компоновки оптической системы телескопа. Приемники для дневного наблюдения: 3 (0,45–0,8 мкм), 9 (7–11 мкм), 15 (1,5–3,0 мкм). Приемники для ночного наблюдения: 5 (0,5–0,9 мкм), 13 (7–11 мкм), 17 (1,5–3,0 мкм).

имеет асферическую поверхность высшего порядка, близкую к гиперболической, второе зеркало гиперболическое, а третье — эллиптическое. Экранирование по диаметру в телескопе из-за необходимости размещения между главным и третьим зеркалами наклонного зеркала, которое вводится в ход лучей при работе канала дневного наблюдения, составляет 0,48, а из-за необходимости защиты плоскости изображения от постороннего света, отраженного только от третьего зеркала, оно возрастает до 0,55. Телескоп имеет дифракционное качество изображения. Число Штреля для всего поля при $\lambda = 0,546$ мкм не менее 0,9.

Компоновка канала дневного наблюдения приведена на рис. 3. Объектив для видимого диапазона зеркальный и содержит пять «силовых» зеркал и два плоских зеркала. Первая часть телескопа

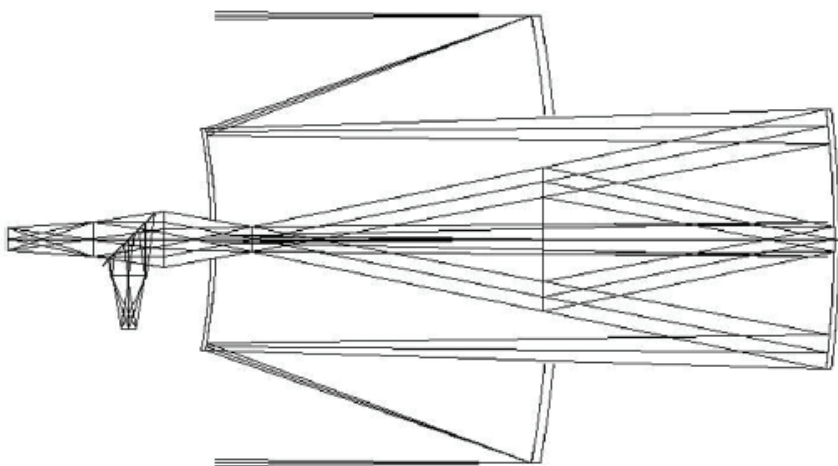


Рис. 2. Компоновка канала ночного видения

представляет собой телескопическую насадку от трехзеркального объектива для ночного наблюдения в видимом диапазоне, а вторая часть телескопа (2) — систему с фокусным расстоянием порядка 10 м, угловым полем более 2° и относительным отверстием 1:9,4. Наиболее подходящей оптической системой при таких оптических параметрах является трехзеркальная система с промежуточным изображением после второго зеркала [5, 6]. Обычно в таких системах три асферические поверхности второго порядка, в данном случае удалось рассчитать систему с двумя асферическими зеркалами. Первое вогнутое зеркало эллиптическое, второе - выпуклое гиперболическое, а последнее вогнутое зеркало — сферическое. Промежуточное изображение находится в отверстии плоского зеркала, выходной зрачок всей системы расположен вблизи поверхности плоского зеркала.

Возможна и другая компоновка системы. Последнее плоское зеркало не пропускает пучок лучей от промежуточного изображения, как в предыдущем варианте, а отражает.

Качество изображения телескопа дифракционное, среднеквадратическая деформация волнового фронта для $\lambda = 0,546$ мкм составляет $0,03\lambda$, число Штреля для всего поля - более 0,9.

Спектроредитель (19) отражает видимый диапазон и пропу-

Канал	Спектральный диапа-зон, мкм	Фокусное рас-стояние, мм	Относительное отвер-стие (при диаметре входного зрачка 2500 мм)	Линейное иоле (при угло-вом поле 1,2°), мм	Позиции (по рис. 1)
Дневного видения	0,45-0,8	23500	492,2	1:9,4	1-2-3
Ночного видения	0,5-0,9	6500	1:2,6	136,14	1-4-5
Длинноволновый ИК	7-11	4500	1:1,8	94,25	1-2-6-7-8-9 1-4-10-11- 12-13
Коротковолновый ИК	1,5-3,0	6250	1:2,5	130,9	1-2-6-7-14-15 1-4-10-11- 16-17

скает инфракрасный. В данном канале из-за большого размера изображения (порядка 0,5 м), соизмеримого с размерами зеркал, невозможно установить спектроделитель перпендикулярно оптической оси, как это сделано в канале ночного наблюдения. Угол наклона спектроделителя будет порядка 17° - 18° , что приведет к появлению aberrаций нецентрированной системы, но поскольку относительное отверстие системы невелико, это мало ухудшит качество изображения. После спектроделителя в плоскости промежуточного изображения расположен коллектив

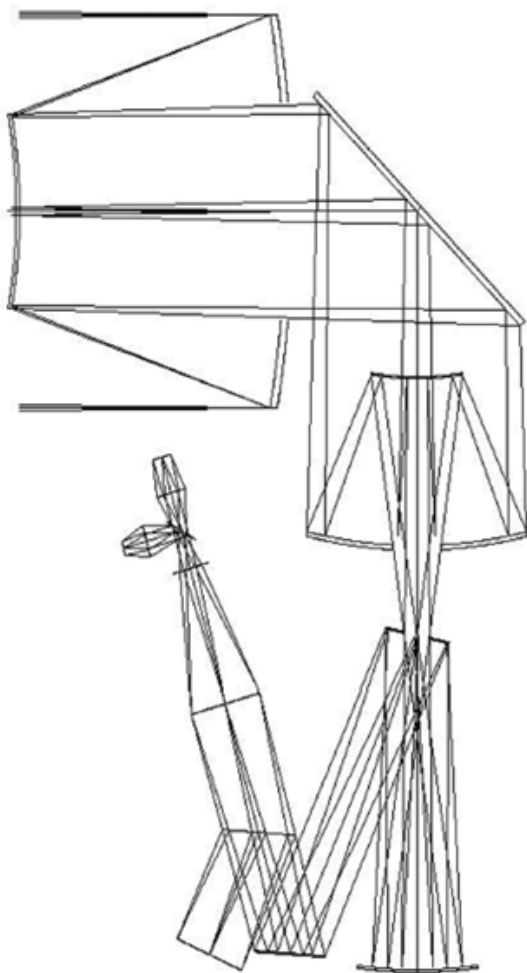


Рис. 3. Компонировка канала дневного видения

(6), служащий для согласования зрачков. Первый ИК объектив (7) является общим для двух ИК каналов, за ним в параллельном пучке лучей расположен спектроделитель (20), отражающий ближнее ИК излучение и пропускающий дальний ИК диапазон. Объективы 8 и 14 для ближнего и дальнего ИК диапазонов имеют разные фокусные расстояния.

В целом исследование показывает, что задача создания крупногабаритного телескопа, осуществляющего ночное и дневное наблюдение одновременно в трех спектральных диапазонах, может быть решена и может быть достигнуто качество изображения, близкое к дифракционному как в видимом, так и в ИК каналах, но система получается сложная и ее габариты в поперечном направлении в полтора раза больше, чем в продольном.

Был рассмотрен вариант построения телескопа только для дневного наблюдения и только с двумя спектральными каналами — видимым и дальним инфракрасным. Фокусное расстояние телескопа для видимого диапазона приблизительно в 5 раз больше фокусного расстояния для ИК диапазона.

Объектив для видимого диапазона длиннофокусный (23,5 м) и несветосильный, но со значительным угловым полем, поэтому его целесообразно строить по трехзеркальной схеме с промежуточным изображением после отражения от двух зеркал [5, 6]. Компоновка системы осуществлялась исходя из заданных значений экранирования (не более 0,3 по диаметру), осевой длины и максимального значения дисторсии.

Оптическая схема объектива показана на рис. 4. Объектив содержит три асферических зеркала второго порядка, из которых первое эллиптическое, близкое к параболическому, второе выпуклое гиперболическое, а третье вогнутое эллиптическое с небольшим коэффициентом деформации. Наклонное плоское зеркало расположено вблизи плоскости промежуточного изображения, созданного первым и вторым зеркалами, и имеет отверстие, диаметр которого приблизительно равен диаметру промежуточного изображения. Выходной зрачок объектива находится вблизи плоского зеркала.

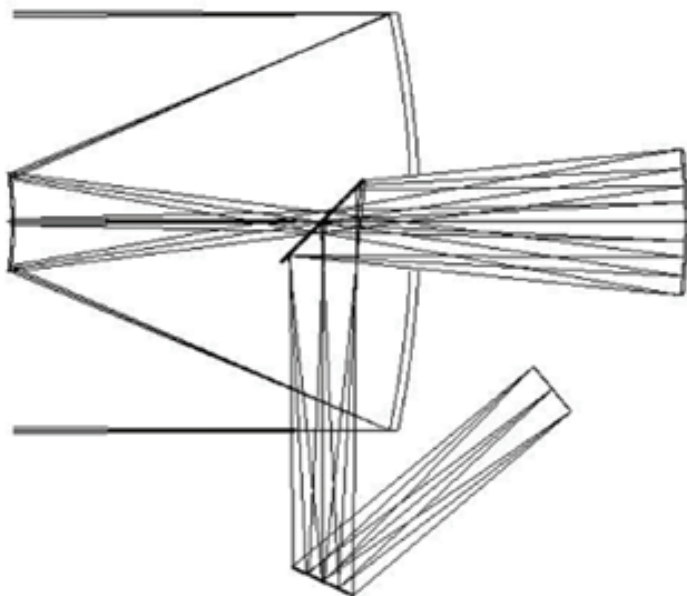


Рис. 4. Оптическая система видимого канала двухканального телескопа с характеристиками: фокусное расстояние 23,5 м, относительное отверстие 1:9,4, угловое поле 2ω — $1,2^\circ$

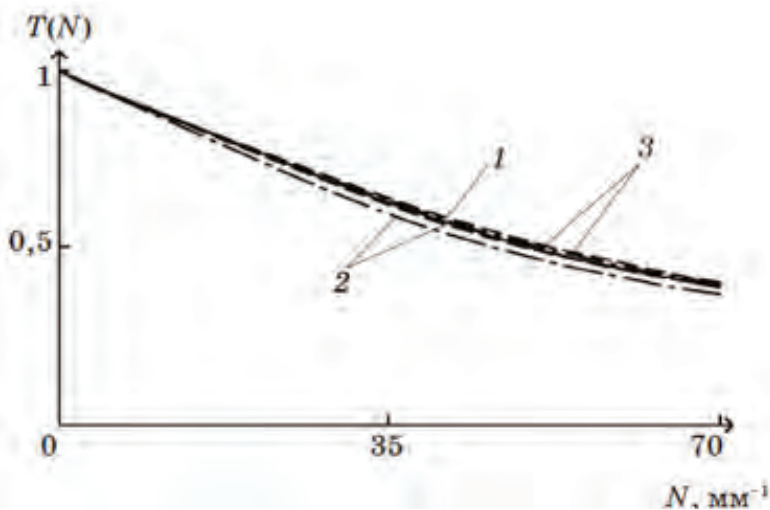


Рис. 5. ЧКХ оптической системы видимого канала двухканального телескопа для разных точек поля: 1 - $2\omega = 0^\circ$, 2 - $2\omega = 0,84^\circ$, 3 - $2\omega = 1,2^\circ$.

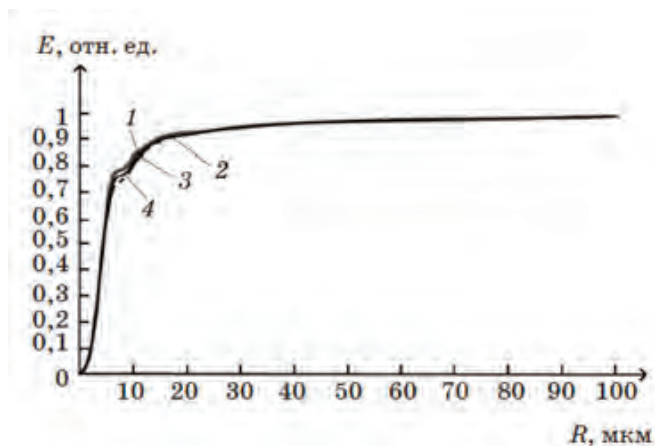


Рис. 6. Зависимость концентрации энергии (E) оптической системы видимого канала двухканального телескопа от радиуса кружка рассеяния (R) для разных точек поля: 1 — дифракционная кривая, 2- $2\omega = 0^\circ$, 3- $2\omega = 0,84^\circ$, 4- $2\omega = 1,2^\circ$.

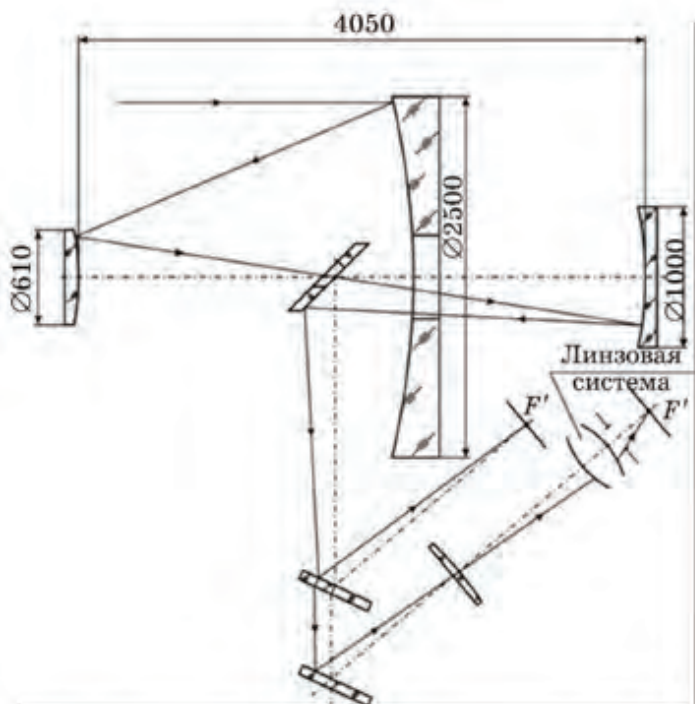


Рис. 7. Принципиальная оптическая схема двухканальной оптической системы телескопа

На рис. 5, 6 приведены функция передачи модуляции и концентрация энергии с учетом дифракции и экранирования для объектива видимого диапазона.

Рассмотрим проектирование ИК канала. На рис. 7 представлена принципиальная схема компоновки двухканальной оптической системы телескопа.

Общими для двух каналов являются три асферических зеркала и одно плоское зеркало с отверстием, расположенное вблизи промежуточного изображения, создаваемого двумя зеркалами. Разделение пучков лучей осуществляется спектроделителем, представляющим собой плоскопараллельную пластинку, наклоненную на угол 25° к оптической оси. Видимое излучение отражается, а ИК - проходит. Наклон пластинки на угол 45° не желателен из-за несимметричных аберраций, вносимых наклонной плоскопараллельной пластинкой в сходящемся пучке лучей. Чтобы не вносить в ИК систему несимметричных аберраций, оптимально было бы выполнить спектроделитель в виде кубика, однако размер кубика должен быть порядка 0,5 м, что нереально. Для сокращения габаритов в ИК канале используется еще одно плоское зеркало. Для согласования зрачков в оптической системе ИК канала в плоскости промежуточного изображения расположена линза из германия. Линзовый объектив с действительным выходным зрачком содержит четыре линзы с одной асферической поверхностью. Качество изображения во многом зависит от угла наклона и толщины спектроделителя, но даже при угле наклона 25° и толщине пластинки 40 мм качество изображения в ИК канале может быть близким к дифракционному. Задача минимизации массогабаритных характеристик космических оптических систем приводит к необходимости проведения исследований и поиску оптимальных схемных решений построения многоканального оптического тракта. В работе представлен подход к решению данной задачи. На сложном примере шестиканальной системы, с одновременной работой трех спектральных каналов, а также на примере двухканальной системы представлено решение с дифракционным качеством изображения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. М.: Наука, 1976. 512 с.
2. Теребиж В.Ю. Современные оптические телескопы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 80 с.
3. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка, Л.'Машиностроение, 1968. 312 с.
4. Лебедев О А., Сабинин В.Е., Солк С.В. Крупногабаритный многоспектральный объектив //Оптический журнал. 2011. Т. 78. ШЬ С. 24-27.
5. Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория» //Оптический журнал. Т. 74. №7. 2007 - С. 37-41.
6. Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Защита от прямых засветок в системе астрографа для Межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории // Оптический журнал Оптический журнал, Т. 76. № 8. 2009 - С. 70-73

*Впервые опубликовано в издании:
Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Оптические
системы крупногабаритных многоспек-
тральных телескопов // Оптический
журнал, том 80, № 12, 2013 – С. 37-41*

Исследование исходных систем ортоскопических астрономических объективов в спектральном диапазоне 0,2 – 1 мкм

Г. И. Цуканова, к.т.н.; А. В. Бахолдин, к.т.н.

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

Выполнено исследование зеркальных систем с промежуточным изображением после отражения от двух зеркал, рассчитанных для области аберраций третьего порядка. Цель исследования – поиск вариантов с исправленной дисторсией, приемлемыми значениями относительного отверстия главного зеркала и экранирования входного зрачка. Исследование проведено для систем с относительным отверстием 1:6 и угловым полем $2\omega = 2^\circ$. Выполнен сравнительный анализ зеркальных и зеркально-линзовых объективов с одинаковыми оптическими характеристиками.

Ключевые слова: ортоскопические объективы, зеркальные системы, зеркально-линзовые телескопы, исправление дисторсии, аберрации.

В оптических системах для астрометрических и фотометрических исследований особое внимание уделяется исправлению комы, дисторсии и хроматизма увеличения. Из зеркальных и зеркально-линзовых систем эту задачу успешно решает система Шмидта, как классическая с линзовой коррекционной пластиной, так и зеркальный Шмидт [1, 2]. Однако при небольших относительных отверстиях телескопов длина зеркально-линзовой системы Шмидта получается большой. Даже зеркальный Шмидт с дополнительным плоским зеркалом, расположенным между planoидным зеркалом и сферическим, будет иметь осевую длину больше фокусного расстояния. Возможны два варианта построения малогабаритных оптических систем с небольшими относительными отверстиями, значительными угловыми полями и широким спектральным диапазоном:

- а) зеркально-линзовая система с двумя асферическими зерка-

лами и двухлинзовым афокальным компенсатором из кварца или флюорита (рис. 1а), известная как система Ричи-Кретьена [3],

б) трехзеркальная система с промежуточным изображением после второго зеркала, в которой главное зеркало эллиптическое, близкое к параболическому, вторичное – выпуклое гиперболическое и третье – вогнутое эллиптическое с небольшим коэффициентом деформации (рис.1б) [4].

Исследование и специфика расчета системы типа Ричи-Кретьена с двухлинзовым компенсатором и исправленной дисторсией в данной работе не приводятся, а выполняется только сравнение одного из рассчитанных объективов с зеркальным вариантом.

В работе выполнен расчет в области аббераций третьего порядка трехзеркальных объективов с промежуточным изображением после отражения от двух зеркал и поиск вариантов с исправленной или малой дисторсией и приемлемыми величинами относительного отверстия главного зеркала и экранирования входного зрачка.

В трехзеркальном телескопе экранирование входного зрачка происходит по двум причинам. Первое экранирование – это экранирование вторым зеркалом, как в системах Кассегрена и Ричи-Кретьена. Это экранирование не зависит от относительного отверстия и углового поля системы. Второе экранирование входного зрачка происходит из-за отверстия в плоском зеркале. Вблизи отверстия находится промежуточное изображение, которое и определяет размер отверстия. Второе экранирование зависит прямо пропорционально от относительного отверстия и углового поля системы. Чем меньше относительное отверстие системы и больше угловое поле, тем экранирование больше.

Важным параметром является и относительное отверстие главного зеркала, так как оно определяет трудность изготовления зеркала с высокой степенью точности и допуски на изготовление и сборку. Поэтому исследование этих систем необходимо выполнять для каждого конкретного сочетания величин относительного отверстия и углового поля. В работе

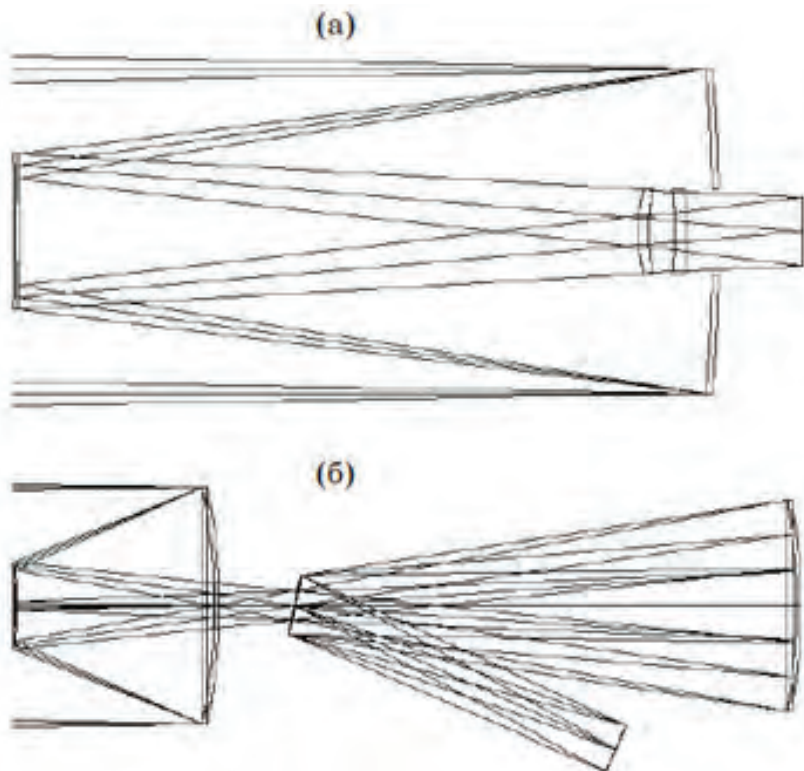


Рис. 1. Оптические схемы ортоскопических систем длиннофокусных объективов. а – двухзеркальная система Ричи-Кретьена с двухлинзовым афокальным компенсатором, б – трехзеркальная система с промежуточным изображением после второго зеркала

рассматриваются только центрированные системы, работающие полным полем. В таблице приведены основные данные систем, рассчитанных для области aberrаций третьего порядка с исправленными сферической aberrацией, комой, астигматизмом и кривизной изображения: K_1 – диафрагменное число главного зеркала, d_1 – расстояние между первым и вторым зеркалами при $f' = 1$, d_2 – расстояние между вторым и третьим зеркалами при $f' = 1$, α_3 – увеличение третьего зеркала, h_3 – отношение диаметра осевого пучка третьего зеркала к диаметру входного зрачка, S_v – коэффициент дисторсии 3-го порядка, h_2 – экранирование по диаметру зрачка, вносимое вторым зеркалом, ϵ – экранирование, вносимое отверстием в плоском зеркале при $2\omega = 2^\circ$

и относительном отверстии системы 1:6. При исследовании рассматривались только системы, коэффициент экранирования которых по диаметру не превышает 0,5. Из таблицы следует, что первое экранирование вторым зеркалом (h_2) меньше, чем второе экранирование отверстием в четвертом зеркале (ϵ).

При относительном отверстии главного зеркала 1:1,4–1:1,3 зеркальные системы с исправленной дисторсией имеют коэффициент экранирования ϵ больше 0,5. Если требования к величине остаточной дисторсии ослаблены, то могут быть получены системы с экранированием по диаметру меньше 0,5. Системы с относительным отверстием главного зеркала 1:1,25 могут иметь $S_v = 0$ и экранирование не более 0,5. Одна из систем, показанная на рис. 16 (№ 20 в таблице), имеет практически нулевое значение дисторсии ($S_v = 0,034$).

Функции концентрации энергии этого варианта зеркальной системы и зеркально-линзовой системы Ричи-Кретьена, показанной на рис. 1а, при одинаковых оптических характеристиках (фокусном расстоянии 3000,0 мм, относительном отверстии 1:6, угловом поле $2\omega = 2^\circ$) для спектрального диапазона 0,21–1,0 мкм показаны на рис. 2.

На рис. 3 приведены графики дисторсии, из которых следует, что остаточная дисторсия в системе Ричи-Кретьена (рис. 3а) имеет разные значения для разных длин волн и значительно больше, чем в зеркальной системе (рис. 3б). Если сравнивать эти две системы, то преимуществом зеркально-линзовой системы является меньшая осевая длина (порядка 0,45f') и существенно меньшее относительное отверстие главного зеркала. Преимуществом зеркальной системы является полное отсутствие хроматических aberrаций, более высокое качество изображения по всему полю и независимость дисторсии от длины волны.

Важным преимуществом зеркальной системы является отсутствие длинной бленды у главного зеркала и надежная защита плоскости изображения от постороннего света (выходной зрачок находится вблизи плоского зеркала).

Основные данные вариантов рассчитанных систем

№	K_1	d_1	d_2	α_3	h_3	S_V	h_2	ε
1	1,4	-0,181	0,362	2,0	-0,5	3,14	0,223	0,418
2	1,4	-0,177	0,388	1,9	-0,5	1,96	0,238	0,464
3	1,4	-0,174	0,418	1,8	-0,5	0,792	0,253	0,522
4	1,4	-0,170	0,452	1,7	-0,5	-0,391	0,268	0,60
5	1,3	-0,164	0,373	2,0	-0,5	2,392	0,245	0,418
6	1,3	-0,161	0,40	1,9	-0,5	1,347	0,260	0,464
7	1,3	-0,158	0,430	1,8	-0,5	0,294	0,274	0,522
8	1,3	-0,154	0,465	1,7	-0,5	-0,783	0,29	0,60
9	1,25	-0,154	0,380	2,0	-0,5	1,988	0,259	0,418
10	1,25	-0,151	0,407	1,9	-0,5	1,013	0,274	0,464
11	1,25	-0,148	0,438	1,8	-0,5	0,022	0,288	0,522
12	1,25	-0,145	0,473	1,7	-0,5	-0,998	0,304	0,60
13	1,3	-0,158	0,435	2,0	-0,6	2,661	0,270	0,348
14	1,3	-0,155	0,466	1,9	-0,6	1,853	0,286	0,387
15	1,3	-0,152	0,501	1,8	-0,6	1,038	0,302	0,435
16	1,3	-0,148	0,540	1,7	-0,6	0,206	0,319	0,498
17	1,25	-0,149	0,443	2,0	-0,6	2,434	0,286	0,348
18	1,25	-0,146	0,474	1,9	-0,6	1,588	0,301	0,387
19	1,25	-0,142	0,509	1,8	-0,6	0,822	0,317	0,435
20	1,25	-0,139	0,549	1,7	-0,6	0,034	0,333	0,498

В системе Ричи-Кретьена требуются большая внешняя бленда у главного зеркала и внутренние бленды для защиты от прямой засветки плоскости изображения, что приводит к увеличению экранирования и виньетирования. Если сравнивать трехзеркальную систему с зеркальной системой Шмидта, то она приблизительно в два раза короче и имеет существенно меньший вес. Асферические поверхности в трехзеркальной системе только второго порядка и их контроль не представляет проблем.

Преимущества зеркальной системы перед зеркально-линзовой системой Ричи-Кретьена будут в большей степени проявляться при уменьшении относительного отверстия оптической системы и увеличении углового поля, так как в системе Ричи-Кретьена

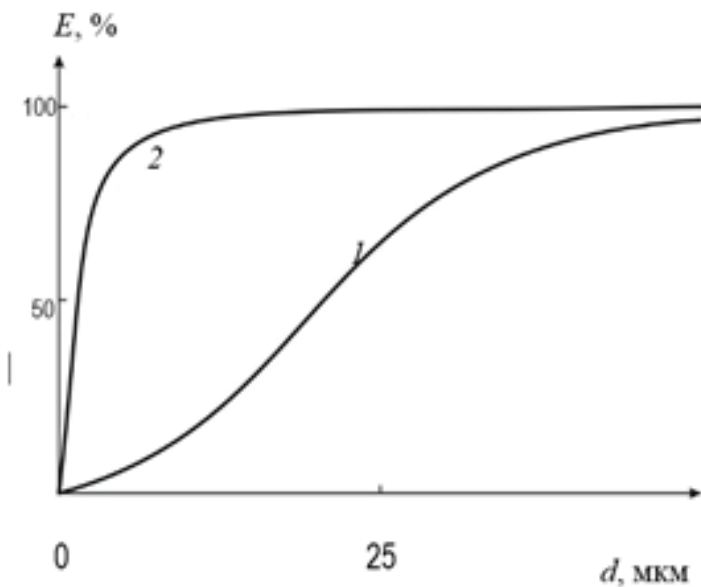


Рис. 2. Функции концентрации энергии для осевой точки зеркально-линзовой (1) и трехзеркальной (2) систем

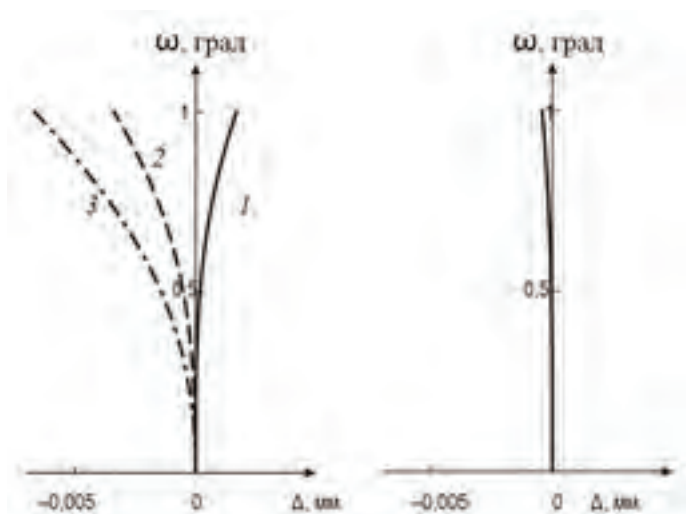


Рис. 3. Графики дисторсии. а – зеркально-линзовая система ($1 - l = 0,21$ мкм, $2 - l = 0,3$ мкм, $3 - l = 1,05$ мкм), б – трехзеркальная система.

возникнут проблемы с защитой плоскости изображения от прямой засветки. Если же плоскость изображения защитить от постороннего света, тогда экранирование входного зрачка и виньетирование по полю станут неприемлемыми.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаренков В.Ф., Стариченкова В.Д., Чубей М.С., Канаев И.И., Цуканова Г.И. Космический астрометрический эксперимент «Струве» // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 8. С. 67–74.
2. Ершов В.Н., Стариченкова В.Д., Захаренков В.Ф., Цуканова Г.И. Новая оптическая техника для космического астрометрического проекта «Струве» // J. Korean Astron. Soc. 1996. V. 29. suppl.-s. 425–426.
3. Михельсон Н.Н. Оптические телескопы. Теория и конструкция. М.: Наука, 1976. 512 с.
4. Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория» // Оптический журнал. Т. 74. № 7. 2007 - С. 37-41

*Впервые опубликовано в издании:
Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Исследование
исходных систем ортоскопических астро-
номических объективов в спектральном
диапазоне 0,2 – 1 мкм // Оптический
журнал, том 79, № 5, 2012 - С. 15-18*

Расчет исходных систем для ортоскопических зеркально-линзовых объективов

Ю.В. Горбатенко, студент; Г.И. Цуканова, к.т.н.

СПбГУ ИТМО, Санкт-Петербург

Получены формулы для расчета ортоскопических систем типа Ричи-Кретьена с компенсатором в области аберраций третьего порядка. Приведены результаты расчета нескольких оптических систем в области аберраций третьего порядка которые являются исходными для дальнейшей оптимизации с помощью известных программ CAPO, OPAГ ZEMAX.

Ключевые слова: ортоскопические объективы, зеркально-линзовые системы типа Ричи-Кретьена, исправление дисторсии, аберрации.

Для выполнения астрометрических и фотометрических исследований в широком спектральном диапазоне требуются оптические системы, в которых исправлены хроматизм положения, хроматизм увеличения, а также сферическая аберрация, кома, астигматизм, кривизна поля изображения и дисторсия. Особенно жесткие требования предъявляются к устранению дисторсии, комы и хроматизма увеличения.

Из зеркальных и зеркально-линзовых систем для астрометрических измерений хорошо подходят оптические системы Шмидта как классическая с линзовой коррекционной пластиной, так и ее зеркальный аналог [1]. Классическая зеркально-линзовая система Шмидта состоит из плоскопараллельной пластинки со сложной асферической поверхностью, расположенной в плоскости апертурной диафрагмы, и сферического зеркала. Центр апертурной диафрагмы совпадает с центром кривизны сферического зеркала и в результате этого в системе устраняются кома, дисторсия и астигматизм. Для устранения сферической аберрации используется пластина с поверхностью сложной формы, размещенная в плоскости апер-

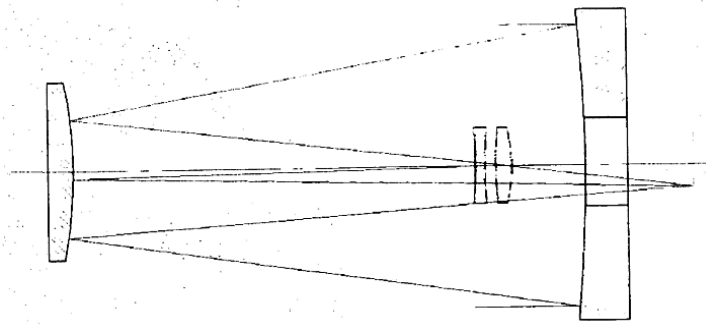
турной диафрагмы. В результате у этой оптической системы существует единственная неисправленная аберрация кривизна поля изображения. Осевая длина зеркально-линзовой системы Шмидта равна двум фокусным расстояниям, что является существенным недостатком, особенно если речь идет о длиннофокусных объективах.

Зеркальная версия системы Шмидта отличается от классической заменой в ней коррекционной пластины зеркалом сложной формы. Коррекционное зеркало наклонено так, чтобы главное зеркало не заслоняло входной пучок. Но и зеркальный аналог оптической системы Шмидта будет иметь осевую длину, равную примерно двум фокусным расстояниям. Существуют несколько модификаций зеркальной системы Шмидта, в которых путем добавления плоского зеркала и изменения наклона зеркал добиваются примерного равенства длины системы фокусному расстоянию. Применение как линзового, так и зеркального вариантов системы Шмидта целесообразно, если относительные отверстия и угловые поля довольно большие. Если же относительное отверстие меньше 1:4-1:5, то тогда система будет иметь большую осевую длину и целесообразно использование другой схемы [2].

В предлагаемой работе рассмотрена возможность замены системы Шмидта, имеющей большую осевую длину, на зеркально-линзовую систему с исправленной дисторсией и уменьшенной осевой длиной. В настоящее время при создании крупногабаритных оптических систем широкое применение получила система Ричи-Кретьена (рисунок) с компенсатором в сходящемся пучке лучей.

В этой системе оба зеркала имеют форму гиперболоидов. Ее достоинством является небольшая осевая длина не более половины фокусного расстояния. Дисторсия в получивших широкое распространение системах Ричи-Кретьена с компенсатором, как правило, не исправляется.

В данной работе выведены формулы для получения ортоскопических систем типа Ричи-Кретьена с компенсатором в



Система Ричи-Критъена

третьего порядка, которые можно рассматривать как исходные для дальнейшей оптимизации. Для получения исходной системы с исправленной дисторсией был выбран алгебраический метод. Он предполагает использование теории aberrаций третьего порядка и дает хорошие результаты для систем из бесконечно-тонких компонентов с небольшими относительными отверстиями и угловыми полями. Особенность бесконечно-тонких оптических систем заключается в том, что толщины компонентов не являются параметрами для коррекции aberrаций, и при переходе к конечным значениям толщины aberrации меняются незначительно.

В статье используются обозначения, принятые в работе [3].

Условие масштаба

$$f' = 1, \quad h_1 = 1, \quad \alpha_1 = 0, \quad \alpha_3 = \alpha_7 = 1$$

Толщины линз и промежутки между ними принимаются равными нулю

$$d_3 = d_4 = d_5 = 0$$

Значения показателей преломления материала линз

$$n_1 = n_3 = n_5 = n_7, \quad n_2 = -1, \quad n_4 = n_6 = n$$

Составляем систему уравнений, в которую входят только внешние параметры. Это условия исправления хроматизма положения (1), хроматизма увеличения (2) и кривизны поля изображения (3)

$$L_0 = \sum_{s=1}^{s=6} h_s U_s = 0 \quad (1)$$

$$F_0 = \sum_{s=1}^{s=6} h_s S_s U_s = 0 \quad (2)$$

$$0,5 \sum_{s=1}^{s=6} (v_s \alpha_{s+1} - v_{s+1} \alpha_s) / h_s = 0 \quad (3)$$

где

$$U_s = \left[\frac{\alpha_{s+1} - \alpha_s}{v_{s+1} - v_s} \right] * \left[\frac{1 - v_{s+1}}{\mu_{s+1}} - \frac{1 - v_s}{\mu_s} \right],$$

$$S_s = \sum_{k=1}^{k=s-1} v_{k+1} d_k / h_k h_{k+1}$$

Коэффициент дисперсии

$$\mu_s = \frac{n_s - 1}{dn_s},$$

где h_s - высота нулевого луча на главной плоскости, α_s — тангенс угла нулевого луча с оптической осью, v_s — величина, обратная показателю преломления.

В результате решения системы уравнений получаем:

- Условие исправления хроматизма положения — $\alpha_3 = \alpha_7$; оптическая сила компенсатора равна нулю.
- Хроматизм увеличения тонкой системы исправляется при исправлении хроматизма положения. Однако опыт и расчет показывают, что введение в конце расчета малых толщин линз приводит к ощутимому нарушению коррекции хроматизма увеличения.
- Условие исправления кривизны поля изображения

$$d_1 = -(1 - h_2)^2 \quad \text{или} \quad r_1 = r_2$$

Составляем систему уравнений из условий исправления сферической аберрации, комы, астигматизма и дисторсии третьего порядка. Параметрами для исправления аберраций являются коэффициенты деформации зеркал σ_1, σ_2 и углы в компенсаторе α_4, α_6 .

$$\left\{ \begin{array}{l} B_0 = 0,5 \sum_{s=1}^{s=m} h_s Q_s = 0 \\ K_0 = -0,5 \sum_{s=1}^{s=m} W_s + 0,5 \sum_{s=1}^{s=m} h_s Q_s S_s = 0 \\ C_0 = 0,5 \sum_{s=1}^{s=m} \frac{v_{s+1} \alpha_{s+1} - v_s \alpha_s}{h_s} - \sum_{s=1}^{s=m} W_s S_s + \\ + 0,5 \sum_{s=1}^{s=m} W_s S_s + 0,5 \sum_{s=1}^{s=m} h_s S_s^2 Q_s = 0 \\ E_0 = -0,5 \sum_{s=1}^{s=m} \frac{v_s^2 - v_{s+1}^2}{h_s^2} + 0,5 \sum_{s=1}^{s=m} \frac{S_s (v_s \alpha_{s+1} - v_{s+1} \alpha_s)}{h_s} + \\ + 1,5 \sum_{s=1}^{s=m} \frac{v_{s+1} \alpha_{s+1} - v_s \alpha_s}{h_s} - 1,5 \sum_{s=1}^{s=m} W_s S_s^2 + 0,5 \sum_{s=1}^{s=m} W_s S_s^2 + \\ + 0,5 \sum_{s=1}^{s=m} h_s S_s^2 Q_s + 0,5 \sum_{s=1}^{s=m} h_s S_s^3 Q_s = 0 \end{array} \right. , \quad (4)$$

где

$$T_s = \frac{(v_s \alpha_{s+1} - v_{s+1} \alpha_s)^3}{v_s v_{s+1} (v_{s+1} - v_s)^2}, \quad Q_s = T_s \sigma_s + P_s,$$

$$P_s = \left(\frac{\alpha_{s+1} - \alpha_s}{v_{s+1} - v_s} \right)^2 (v_{s+1} \alpha_{s+1} - v_s \alpha_s), \quad W_s = \left(\frac{\alpha_{s+1} - \alpha_s}{v_{s+1} - v_s} \right) (v_{s+1} \alpha_{s+1} - v_s \alpha_s)$$

После преобразования системы уравнений (4) получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 + h_2 Q_2 - h_3 p = 0 \\ -0,5 + w + h_2 Q_2 S_2 - h_3 S_3 p = 0 \\ 0,5 \left(\frac{1 + \alpha_2}{h_2} - \alpha_2 \right) - W_2 S_2 + S_3 w + 0,5 h_2 S_2^2 Q_2 - 0,5 h_3 S_3^2 p = 0 \\ \frac{0,5 S_2 (-\alpha_2 - 1)}{h_2} + \frac{1,5 S_2 (1 + \alpha_2)}{h_2} - 1,5 W_2 S_2^2 + 1,5 S_3^2 w + 0,5 h_2 S_2^3 Q_2 - 0,5 h_3 S_3^3 p = 0 \end{array} \right. ,$$

где

$$w = \frac{k - 0,5 S_2 S_3 + W_2 S_2 (2 S_3 - S_2)}{(S_2 - S_3)},$$

$$p = \frac{2(S_2 - 2S_3)(k + 3S_2 W_2 (S_3 - S_2) - S_2 (S_3 - 2W_2 S_2)(2S_2 - 3S_3))}{2S_3^2 (S_2 - S_3)^2 h_3},$$

$$S_2 = -\frac{d_1}{h_2}, \quad S_3 = -\frac{d_1}{h_2} + \frac{d_2}{h_2 h_3}, \quad k = \frac{2S_2(1 + \alpha_2)}{h_2}, \quad W_2 = \frac{1 - \alpha_2^2}{2},$$

$$h_3 = h_2 - d_2$$

После преобразования и решения системы уравнений получаем формулы для определения σ_1 , σ_2 и α_4 , α_6 .

Определение коэффициента деформации первого зеркала σ_1 ($\sigma_1 = -\epsilon^2$, где ϵ – эксцентриситет кривой второго порядка)

$$\sigma_1 = \frac{Q_1 - P_1}{T_1}, \text{ где}$$

$$P_1 = -\frac{\alpha_2^3}{4}, \quad T_1 = -\frac{\alpha_2^3}{4}, \quad Q_1 = b - a,$$

$$a = \frac{3W_2S_2^2 - 4S_2S_3W_2 + 0,5S_3^2 - k}{(S_2S_3 - S_2^2)(S_3 - S_2)},$$

$$b = \frac{2(S_2 - 2S_3)(k + 3S_2W_2(S_3 - S_2) - S_2(S_3 - 2W_2S_2)(2S_2 - 3S_3))}{2S_3^2(S_2 - S_3)^2}.$$

Определение σ_2

$$\sigma_2 = \frac{Q_2 - P_2}{T_2}, \text{ где}$$

$$Q_2 = \frac{a}{h_2}, \quad P_2 = \frac{(1 - \alpha_2^2)(1 - \alpha_2)}{4}, \quad T_2 = \frac{(1 + \alpha_2)^3}{4}.$$

Определение σ_4

$$\sigma_4 = \frac{d - e}{2}, \text{ где}$$

$$e = \frac{w(1 - v)}{(1 - \alpha_5)(v + 1)}, \quad d = \frac{p(v + 1)(1 - v)}{w} - \frac{(1 + \alpha_5)(v + 2)}{-(2v + 1)}$$

Определение σ_6

$$\alpha_6 = \frac{d + e}{2}$$

На основании полученных формул была составлена программа в Excel для определения конструктивных данных зеркально-линзовой оптической системы с исправленными хроматизмом положения и хроматизмом увеличения первого порядка, кривизной поля изображения, а также сферической аберрацией, комой, астигматизмом и дисторсией третьего порядка. Задаются: коэффициент экранирования, который приблизительно равен высоте нулевого луча на втором зеркале, расстояние от второго зеркала до компенсатора, показатель преломления материала линз, тангенс угла нулевого луча между линзами. Полученные результаты приведены в таблице.

Исходные данные				Рассчитываемые данные								
n	h ₂	d ₂	α ₅	d ₁	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	σ ₁	σ ₂
1,4698	0,4	0,3	0,5	-0,360	-1,20	-1,20	-0,10858	0,698	0,19544	-0,18096	-1,97959	-58,0
1,4698	0,4	0,3	1,5	-0,360	-1,20	-1,20	0,08174	0,62821	-0,47797	0,11695	-1,97959	-58,0
1,4698	0,4	0,3	2	-0,360	-1,20	-1,20	0,04952	-0,9161	-0,34088	0,05449	-1,97959	-58,0
1,4698	0,45	0,3	0,5	-0,3025	-1,10	-1,10	-0,13026	-1,71907	0,28929	-0,27484	-2,29761	-48,32720
1,4698	0,45	0,3	1,5	-0,3025	-1,10	-1,10	0,12192	0,90345	-0,34111	0,24018	-2,29761	-48,32720
1,4698	0,45	0,3	2	-0,3025	-1,10	-1,10	0,07626	-0,72791	-0,3229	0,09014	-2,29761	-48,32720
1,4698	0,4	0,35	0,5	-0,360	-1,20	-1,20	-0,07176	0,13604	0,09702	-0,09109	-1,70038	-44,04080
1,4698	0,4	0,35	1,5	-0,360	-1,20	-1,20	0,04074	0,30694	3,32381	0,04533	-1,70038	-44,04080
1,4698	0,4	0,35	2	-0,360	-1,20	-1,20	0,02405	-0,99386	-0,40246	0,02495	-1,70038	-44,04080
1,4698	0,45	0,35	0,5	-0,3025	-1,10	-1,10	-0,11354	0,54491	0,19725	-0,17943	-1,96362	-36,91840
1,4698	0,45	0,35	1,5	-0,3025	-1,10	-1,10	0,08205	0,64725	-0,59183	0,11169	-1,96362	-36,91840
1,4698	0,45	0,35	2	-0,3025	-1,10	-1,10	0,04396	-0,97453	-0,37829	0,05364	-1,96362	-36,91840
1,5187	0,4	0,3	0,5	-0,360	-1,20	-1,20	-0,11436	1,11714	0,21508	-0,19953	-1,97959	-58,0
1,5187	0,4	0,35	0,5	-0,360	-1,20	-1,20	-0,07715	0,15829	0,10737	-0,10035	-1,70038	-44,04080
1,5187	0,45	0,3	0,5	-0,3025	-1,10	-1,10	-0,13548	-1,04745	0,31876	-0,30402	-2,29761	-48,32720
1,5187	0,4	0,3	1,5	-0,360	-1,20	-1,20	0,08485	0,4659	-0,6304	0,12417	-1,97959	-58,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Теребиж В.Ю. Современные оптические телескопы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 80 с.
2. Бахолдин А.В., Цуканова Г.И. Ортоскопические телескопы для астрономических исследований в широком спектральном диапазоне // Сб. IX Междунар. конф. «Прикладная оптика», Т. 1. М 1. 2010 - С. 66—69.
3. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. Л.: Машиностроение, 1968. 312 с. [15]

*Впервые опубликовано в издании:
Цуканова Г.И., Горбатенко Ю.В. Расчет
исходных систем для ортоскопических
зеркально-линзовых объективов // Опти-
ческий журнал, том 79, № 4, 2012– С.13–16*



*Доцент Г.И. Цуканова с магистрами после защиты диссертаций
на кафедре ПиКО, июнь 2012 года*

Светосильные трехзеркальные объективы без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами

Г.И. Цуканова, к.т.н.; К. Д. Бутылкина, студент
НИУ ИТМО, Санкт-Петербург

В работе рассматривается габаритный и аберрационный расчет трехзеркальных объективов без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами. Выполняется исследование систем, приводится пример расчета одного из объективов.

Ключевые слова: зеркальные системы, трехзеркальные объективы, аберрации, качество изображения.

Для решения многих астрономических задач, в том числе для глубокого обзора неба, требуются светосильные крупногабаритные зеркальные системы с угловым полем не менее 3° . Поскольку системы крупногабаритные, то решение может быть найдено в области зеркальных систем или зеркально-линзовых систем с компенсатором в сходящемся пучке лучей. Чисто зеркальные объективы, безусловно, обладают преимуществом перед зеркально-линзовыми системами, так как могут работать в широком спектральном диапазоне от ультрафиолетовой области до инфракрасной.

Среди зеркальных систем задачу могут решить зеркальная система Шмидта или многозеркальные плананастигматы. Зеркальная система Шмидта имеет осевую длину не менее фокусного расстояния (даже с учетом введения дополнительного плоского зеркала). Остается неисправленной кривизна изображения. Что касается многозеркальных систем, то наиболее простыми из них являются трехзеркальные. Классификация трехзеркальных систем приведена в работах [1, 2]. В соответствии с классификацией и исследованием трехзеркальных систем без промежуточного изображения [2–7] наиболее пер-

спективными для создания светосильных и широкоугольных крупногабаритных телескопов являются трехзеркальные системы с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами. Эти системы различаются по взаимному расположению зеркал:

- третье зеркало расположено между первым и вторым зеркалами, это системы типа систем Пихта [3] (рис. 1),
- третье зеркало вблизи первого (рис. 2),
- третье зеркало вне пространства между первым и вторым зеркалами [3] (рис. 3); системы этого типа с параллельным ходом лучей между вторым и третьим зеркалами исследованы проф. А. П. Грамматиным.

Система с третьим зеркалом вне пространства между первым и вторым зеркалами используется в проекте LSST [8]. Характеристики зеркального телескопа: диаметр главного зеркала 8,4 м, эффективный диаметр входного зрачка 6,5 м, длина порядка 10 м, угловое поле 3° и относительное отверстие 1:1,25. Все зеркальные поверхности телескопа высшего порядка; вблизи плоскости изображения имеется трехлинзовый компенсатор, у которого также все поверхности асферики высшего порядка. Телескоп имеет большой коэффициент экранирования, который ещё увеличится из-за необходимости защиты плоскости изображения от постороннего света.

В рассмотренной ранее трехзеркальной системе [6] для организации защиты от постороннего света определяется оптимальное положение апертурной диафрагмы и в отверстие главного зеркала устанавливается внутренняя бленда. Внешние бленды есть также у второго и первого зеркал.

В данной работе для широкого круга систем без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами (рис. 1–3), которые могут быть практически реализованы, выполнен габаритный и абберрационный расчет в области абберраций третьего порядка с коррекцией сферической абберрации, комы, астигматизма и кривизны изображения.

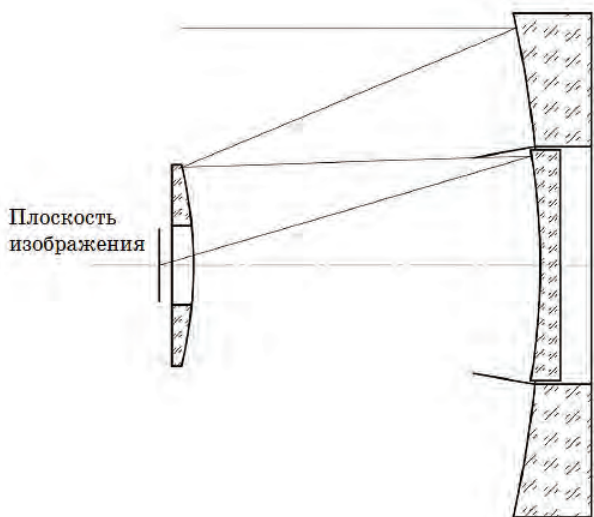


Рис. 1 Оптическая схема трехзеркальной системы без промежуточного изображения с третьим зеркалом между первым и вторым зеркалами.

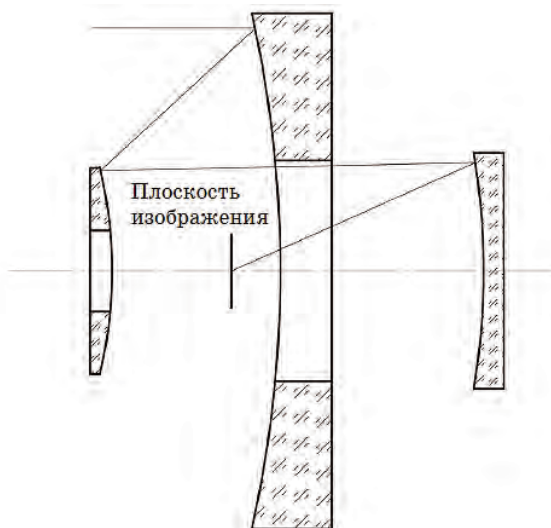


Рис. 2 Оптическая схема трехзеркальной системы без промежуточного изображения с третьим зеркалом внутри первого зеркала.

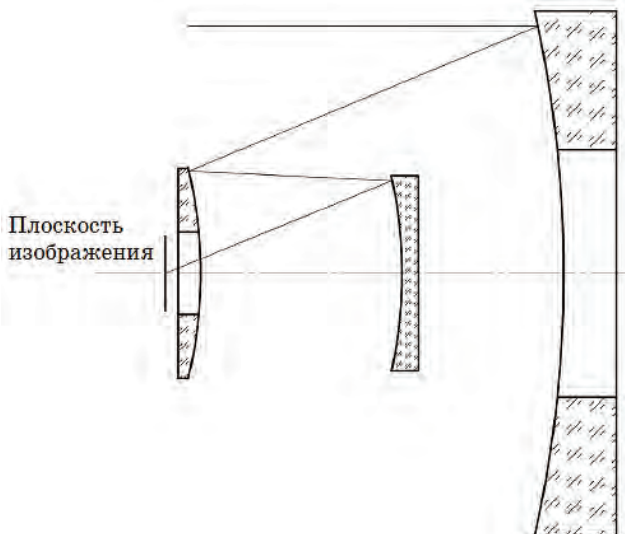


Рис. 3 Оптическая схема трехзеркальной системы без промежуточного изображения с третьим зеркалом вне пространства между первым и вторым зеркалами.

При расчете зеркальных систем радиусы кривизны поверхностей зеркал и расстояния между ними используются для устранения кривизны изображения, получения приемлемых значений расстояний между зеркалами, а также удобного положения плоскости изображения и допустимого экранирования.

В работе на стадии габаритного расчета задаются значения следующих параметров: α_2 (связано с относительным отверстием главного зеркала), h_2 (определяет экранирование системы) и α_3 . Значение h_3 определяется из условия устранения кривизны изображения –

$$h_2 = \frac{h_2(\alpha_4 + \alpha_3)}{\alpha_3 - \alpha_2 h_2 + \alpha_2},$$

где h_s – высоты нулевых лучей на главных поверхностях зеркал,

α_s – углы нулевых лучей с оптической осью,

$\alpha_4 = -1,0$,

значения приводят к увеличению экранирования, бóльшие положительные значения – к неудобному положению плоскости изображения.

Полученные значения высот и углов позволяют найти радиусы поверхностей зеркал, расстояния между зеркалами (d_1 , d_2) и положение плоскости изображения (δ – расстояние от второго зеркала до плоскости изображения).

Однако устранение кривизны изображения возможно не при любых сочетаниях α_2 , α_3 и h_2 . Некоторые варианты оказываются конструктивно неосуществимыми: например, расстояние между вторым и третьим зеркалами получается или очень большим, или отрицательным.

При значении $\alpha_3 = 0$ ($h_2 = h_3$), т.е. при параллельном ходе лучей между вторым и третьим зеркалами, условие устранения кривизны изображения принимает вид $\alpha_2 = -1/(1 - h_2)$, и тогда расстояние между первым и вторым зеркалами определяется выражением

$$d_1 = -\frac{1 - h_2}{\alpha_2} = -(1 - h_2)^2.$$

В этом случае расстояние между первым и вторым зеркалами зависит только от h_2 . Радиусы кривизны зеркал рассчитываются как

$$\begin{aligned} r_1 &= -2(1 - h_2), \\ r_2 &= -2h_2(1 - h_2), \\ r_3 &= 2h_2. \end{aligned}$$

Расстояние между вторым и третьим зеркалами d_2 может задаваться из конструктивных соображений исходя из возможности защиты плоскости изображения от постороннего света, отраженного только от третьего зеркала, экранирования, вносимого третьим зеркалом, и удобного положения плоскости изображения.

Для исправления аберраций третьего порядка (сферической аберрации, комы, астигматизма) в рассматриваемых системах не остается иных параметров, кроме эксцентриситетов зеркал

e^2 . При определенном сочетании h_2 , α_2 , α_3 могут получиться системы со сферическими вторым или третьими зеркалами. С точки зрения защиты от постороннего света, более приемлемыми являются системы со сферическим третьим зеркалом.

Для определения квадратов эксцентриситета зеркал получены следующие формулы:

$$e_1^2 = 1 - \frac{2S_2 + 2S_3 - 8a}{S_2 S_3 \alpha_2^3}, \quad (1)$$

$$e_2^2 = \frac{(\alpha_3 - \alpha_2)^2}{(\alpha_3 + \alpha_2)^2} - \frac{2S_3 - 8a}{h_2 S_2 (S_3 - S_2)(\alpha_3 + \alpha_2)^3}, \quad (2)$$

$$e_3^2 = \frac{(\alpha_4 - \alpha_3)^2}{(\alpha_4 + \alpha_3)^2} - \frac{2S_2 - 8a}{h_3 S_3 (S_3 - S_2)(\alpha_4 + \alpha_3)^3}, \quad (3)$$

где

$$a = \frac{1}{2} [S_2(\alpha_3^2 - \alpha_2^2) + S_3(\alpha_4^2 - \alpha_3^2)],$$

$$S_2 = \frac{-d_1}{h_2},$$

$$S_3 = \frac{d_2}{h_2 h_3}.$$

С помощью полученных формул рассчитан ряд исходных систем для в таблице 2. Рассчитанные системы могут быть исходными для расчета неэкранированных систем [9].

Из таблиц видно, что среди систем, представляющих практический интерес, есть системы со сферическим вторым или третьим зеркалами. Например, среди систем с параллельным ходом лучей между вторым и третьим зеркалами при значениях $h_2 = 0,2$, $d_1 = -0,64$, $d_2 = 0,73$ второе зеркало становится сферическим. Если увеличивается h_2 , то увеличивается и значение d_2 , при котором второе зеркало становится сферическим, и система может получиться очень длинной.

Систем со сферическим третьим зеркалом при приемлемых габаритах гораздо больше, чем систем со сферическим вторым

зеркалом. Например, среди систем с параллельным ходом лучей между вторым и третьим зеркалами при значениях $h_2 = 0,3-0,4$ имеется по два значения d_2 , при которых третье зеркало сферическое.

В табл. 1 и 2 для рассчитанных систем определены значения коэффициентов экранирования по диаметру ϵ . В трехзеркальных системах без промежуточного изображения экранирование могут вызывать следующие элементы:

- второе зеркало;
- третье зеркало, если оно расположено между первым и вторым (рис. 1), так как лучи, отраженные от первого зеркала, могут экранироваться третьим зеркалом;
- отверстие в главном зеркале, если между вторым и третьим зеркалами расходящийся пучок лучей. С учетом этих факторов для всех систем определены коэффициенты экранирования по диаметру ϵ .

Фактические значения коэффициентов экранирования по диаметру будут больше указанных в таблицах. Они будут зависеть от относительных отверстий систем и угловых полей, так как экранирование могут вызывать, последующей автоматизированной коррекции (табл. 1). Системы с параллельным ходом лучей между вторым и третьим зеркалами приведены кроме указанных выше элементов, также отверстия для вывода изображения во втором зеркале, приёмники изображения, если они расположены между зеркалами, или наклонные плоские зеркала для вывода изображения вбок. Защита плоскости изображения от постороннего света также внесёт дополнительное экранирование.

Для системы № 16 (табл. 1) выполнена оптимизация при фокусном расстоянии 1200 мм, относительном отверстии 1 : 1,7 и угловом поле $2\omega = 3^\circ$. В данной системе первая поверхность высшего порядка, близкая к гиперболической, вторая – гиперболическая, третья – эллиптическая.

На рис. 4 и 5 приведены частотно-контрастные характери-

стики и функции концентрации энергии для рассчитанной системы.

Проведенное исследование показало, что системы без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами позволяют получить в длиннофокусных системах с высокими относительными отверстиями (более 1 : 2) и угловыми полями порядка 3–4 градусов высокое качество изображения.

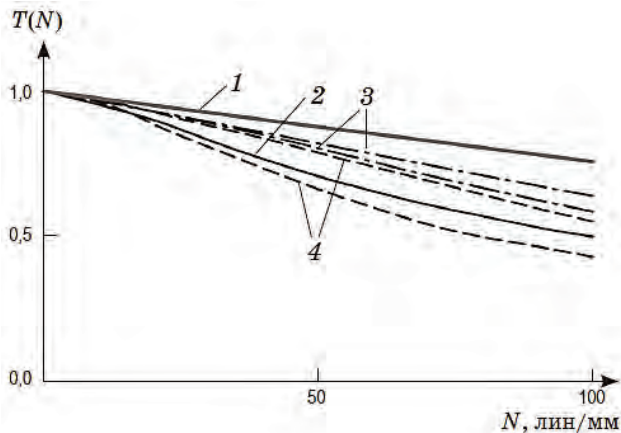


Рис. 4 Частотно-контрастные характеристики.
1 - Дифракционная, 2 - $\omega=0^\circ$, 3 - $\omega=1,06^\circ$, 4 - $\omega=1,06^\circ$

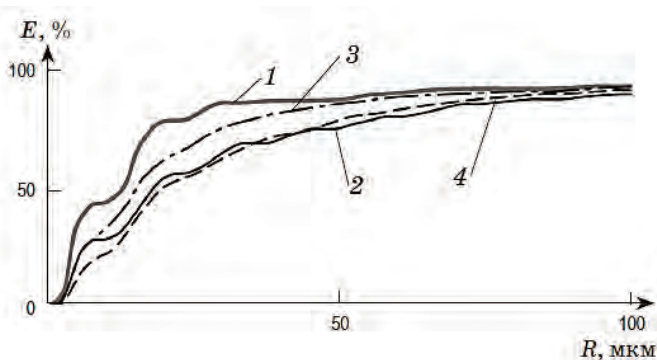


Рис. 5 Функции концентрации энергии.
1 - Дифракционная, 2 - $\omega=0^\circ$, 3 - $\omega=1,06^\circ$, 4 - $\omega=1,06^\circ$

Таблица 1. Примеры рассчитанных систем без промежуточного изображения с вытуклым 2 и вогнутым 3 зеркалами.

№	α_2	α_3	h_2	h_3	d_1	d_2	r_1	r_2	r_3	e_1^2	e_2^2	e_3^2	δ	ε
1	-1,2	-0,02	0,2	0,2082	-0,667	0,408	-1,667	-0,328	-0,408	0,994818	0,340738	-0,01415	0,2	0,29
2	-1,2	-0,0191	0,2	0,2082	-0,667	0,428	-1,667	-0,328	-0,409	0,98297	0,293596	-0,00034	0,22	0,28
3	-1,2	-0,01	0,2	0,2082	-0,667	0,825	-1,667	-0,331	-0,412	0,846945	-0,18996	0,282552	0,62	0,21
4	-1,2	-0,05	0,25	0,2763	-0,625	0,526	-1,667	-0,4	-0,526	0,982571	0,22688	-0,03295	0,25	0,28
5	-1,2	-0,0455	0,25	0,2764	-0,625	0,581	-1,667	-0,401	-0,529	0,950184	0,135593	-0,00041	0,3	0,26
6	-1,2	-0,03	0,25	0,2769	-0,625	0,896	-1,667	-0,407	-0,538	0,828493	-0,18736	0,187067	0,62	0,27
7	-1,2	-0,09	0,35	0,4385	-0,542	0,983	-1,667	-0,543	-0,805	0,826408	-0,17071	0,019757	0,54	0,4
8	-1,2	-0,094	0,35	0,4381	-0,542	0,937	-1,667	-0,541	-0,801	0,848942	-0,13229	0,000202	0,5	0,4
9	-1,2	-0,095	0,35	0,438	-0,542	0,926	-1,667	-0,541	-0,8	0,854539	-0,12274	-0,00444	0,49	0,4
10	-1,5	0,05	0,2	0,1652	-0,533	0,696	-1,333	-0,276	-0,348	0,916174	0,464103	0,297972	0,53	0,2
11	-1,5	0,1	0,2	0,1636	-0,533	0,364	-1,333	-0,286	-0,364	1,017921	1,114796	0,106598	0,2	0,27
12	-1,5	0,065	0,25	0,2205	-0,5	0,454	-1,333	-0,348	-0,472	1,024407	0,998934	0,059836	0,23	0,27
13	-1,5	0,09	0,25	0,2198	-0,5	0,335	-1,333	-0,355	-0,483	1,109448	1,50392	0,187517	0,12	0,33
14	-1,5	-0,01	0,35	0,3589	-0,433	0,888	-1,333	-0,464	-0,711	0,913647	0,45481	0,057977	0,53	0,35
15	-1,5	-0,02	0,35	0,3588	-0,433	0,44	-1,333	-0,461	-0,704	1,209331	1,261378	0,079035	0,08	0,36
16	-1,5	-0,1	0,4	0,44	-0,4	0,4	-1,333	-0,5	-0,8	1,411523	1,449219	0,210285	-0,04	0,4
17	-1,5	-0,079	0,4	0,4409	-0,4	0,517	-1,333	-0,507	-0,817	1,241648	1,071335	-0,00064	0,08	43
18	-1,5	-0,07	0,4	0,4412	-0,4	0,589	-1,333	-0,51	-0,825	1,163241	0,905062	-0,04773	0,15	0,42
19	-1,5	-0,09	0,45	0,5361	-0,367	0,956	-1,333	-0,566	-0,984	0,964493	0,427621	-0,06522	0,42	0,48

№	α_2	α_3	h_2	h_3	d_1	d_2	r_1	r_2	r_3	e_1^2	e_2^2	e_3^2	δ	ε
20	-1,8	0,09	0,2	0,1348	-0,444	0,724	-1,111	-0,234	-0,296	0,936185	0,744218	0,398799	0,59	0,2
21	-1,8	0,07	0,35	0,2959	-0,361	0,773	-1,111	-0,405	-0,636	0,972517	0,919805	0,104398	0,48	0,35
22	-1,8	0,0801	0,35	0,2954	-0,361	0,682	-1,111	-0,407	-0,642	1,00778	1,054045	0,090104	0,39	0,35
23	-1,8	0,06	0,4	0,3686	-0,333	0,523	-1,111	-0,46	-0,784	1,176605	1,478677	0,220066	0,15	0,4
24	-1,8	0,07	0,4	0,3683	-0,333	0,453	-1,111	-0,462	-0,792	1,248451	1,743459	0,452984	0,08	0,4
25	-1,8	-0,01	0,45	0,4545	-0,306	0,45	-1,111	-0,497	-0,9	1,385944	1,741202	0,502998	0	0,45

Таблица 2. Примеры рассчитанных систем без промежуточного изображения с выпуклым 2 и вогнутым 3 зеркалами с параллельным ходом лучей между вторым и третьим зеркалами.

№	α_2	α_3	h_2	h_3	d_1	d_2	r_1	r_2	r_3	e_1^2	e_2^2	e_3^2	δ	ε
1	-1,25	0	0,2	0,2	-0,64	0,4	-1,6	-0,32	-0,4	1	0,488	2,2E-16	0,2	0,29
2	-1,25	0	0,2	0,2	-0,64	0,5	-1,6	-0,32	-0,4	0,94904	0,2704	0,07261	0,3	0,24
3	-1,25	0	0,2	0,2	-0,64	0,6	-1,6	-0,32	-0,4	0,91209	0,12533	0,15018	0,4	0,21
4	-1,25	0	0,2	0,2	-0,64	0,7	-1,6	-0,32	-0,4	0,88406	0,02171	0,22153	0,5	0,2
5	-1,3333	0	0,25	0,25	-0,5625	0,4	-1,5	-0,375	-0,5	1,06936	0,84766	-0,01879	0,15	0,32
6	-1,3333	0	0,25	0,25	-0,5625	0,5	-1,5	-0,375	-0,5	1	0,57813	0	0,25	0,27
7	-1,3333	0	0,25	0,25	-0,5625	0,6	-1,5	-0,375	-0,5	0,94937	0,39844	0,05415	0,35	0,25
8	-1,3333	0	0,25	0,25	-0,5625	0,7	-1,5	-0,375	-0,5	0,91078	0,27009	0,11577	0,45	0,25
9	-1,4286	0	0,3	0,3	-0,49	0,4	-1,4	-0,42	-0,6	1,15356	1,1855	0,04845	0,1	0,35
10	-1,4286	0	0,3	0,3	-0,49	0,5	-1,4	-0,42	-0,6	1,06491	0,8684	-0,01453	0,2	0,3

№	α_2	α_3	h_2	h_3	d_1	d_2	r_1	r_2	r_3	e_1^2	e_2^2	e_3^2	δ	ε
11	-1,4286	0	0,3	0,3	-0,49	0,6	-1,4	-0,42	-0,6	1	0,657	0	0,3	0,3
12	-1,4286	0	0,3	0,3	-0,49	0,7	-1,4	-0,42	-0,6	0,95041	0,506	0,04166	0,4	0,3
13	-1,5385	0	0,35	0,35	-0,4225	0,4	-1,3	-0,455	-0,7	1,24914	1,49441	0,20825	0,05	0,36
14	-1,5385	0	0,35	0,35	-0,4225	0,5	-1,3	-0,455	-0,7	1,14046	1,13553	0,03218	0,15	0,35
15	-1,5385	0	0,35	0,35	-0,4225	0,6	-1,3	-0,455	-0,7	1,06084	0,89627	-0,01067	0,25	0,35
16	-1,5385	0	0,35	0,35	-0,4225	0,7	-1,3	-0,455	-0,7	1	0,72538	-2,2E-16	0,35	0,35
17	-1,6667	0	0,4	0,4	-0,36	0,4	-1,2	-0,48	-0,8	1,35294	1,768	0,47059	0	0,4
18	-1,6667	0	0,4	0,4	-0,36	0,5	-1,2	-0,48	-0,8	1,2236	1,3744	0,14534	0,1	0,4
19	-1,6667	0	0,4	0,4	-0,36	0,6	-1,2	-0,48	-0,8	1,12903	1,112	0,02509	0,2	0,4
20	-1,6667	0	0,4	0,4	-0,36	0,7	-1,2	-0,48	-0,8	1,05687	0,92457	-0,00745	0,3	0,4
21	-1,8182	0	0,45	0,45	-0,3025	0,4	-1,1	-0,495	-0,9	1,46165	2,00066	0,84839	-0,05	0,45
22	-1,8182	0	0,45	0,45	-0,3025	0,5	-1,1	-0,495	-0,9	1,31126	1,58053	0,33185	0,05	0,45
23	-1,8182	0	0,45	0,45	-0,3025	0,6	-1,1	-0,495	-0,9	1,20173	1,30044	0,11131	0,15	0,45
24	-1,8182	0	0,45	0,45	-0,3025	0,7	-1,1	-0,495	-0,9	1,1184	1,10038	0,02183	0,25	0,45

ЛИТЕРАТУРА

1. Цуканова Г.И. Классификация трехзеркальных объективов // 31 Internationales Wissenschaftliches Kolloquium. Technische Hochschule Ilmenau. 1986. Н. 3. S. 225.
2. Михельсон Н.Н. Оптика астрономических телескопов и методы ее расчета // М.: Физматлит, 1985. 333 с.
3. Чуриловский В.Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка // Л.: Машиностроение, 1968. 312 с.
4. Цуканова Г.И. Исследование экранирования, виньетирования и аберраций высших порядков в трехзеркальных плананастигматах // Оптико-механическая промышленность. 1991. № 3. С. 37–40.
5. Цуканова Г.И. Конструктивные особенности трехзеркальных плананастигматов без промежуточного изображения // Оптико-механическая промышленность. 1991. № 6. С. 33–35.
6. Тихомирова Г.И. Трехзеркальные астрономические объективы // Известия вузов. Приборостроение. 1967. № 12. С. 70–75.
7. Грамматин А.П. Трехзеркальный астрономический объектив // Оптический журнал. 1997. № 3. С. 45–47.
8. Теребиж В.Ю. Современные оптические телескопы // М.: Физматлит, 2005. 80 с.
9. Грамматин А.П., Сычева А.А. Трехзеркальный объектив телескопа без экранирования // Оптический журнал. 2010. Т. 77. № 1. С. 24–27. [14]

*Впервые опубликовано в издании:
Цуканова Г.И., Бутылкина К.В. Светосильные трехзеркальные объективы без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами // Оптический журнал, том 81, № 3, 2014 – С. 3-7*

Особенности построения и расчета крупногабаритных многоспектральных оптических систем

А. С. Гаршин, аспирант; Г. И. Цуканова, к.т.н.

НИУ ИТМО, Санкт-Петербург

Проведен анализ известных схем построения многоспектральных оптических систем. Предложены перспективная схема построения оптической системы, работающей одновременно в трех спектральных диапазонах, и методика синтеза многоспектральных оптических систем. Приведен пример рассчитанной оптической системы.

Ключевые слова: многоспектральные оптические системы, охлаждаемая диафрагма, инфракрасный диапазон.

Введение

Многоспектральные оптические системы (МОС) находят широкое применение в медицине, астрономии, экологии, военной технике, промышленном и техническом контроле. Во всех этих областях существуют задачи, требующие получения изображения одного и того же объекта в разных спектральных диапазонах. Крупногабаритные МОС, рассматриваемые в данной работе, требуются в первую очередь в астрономии и военном деле. В случае крупногабаритных МОС наиболее остро встает вопрос выбора оптической схемы.



Рис. 1. Оптическая схема крупногабаритного многоспектрального объектива

Простейший принцип - использование нескольких автономных оптических систем с отдельными приемниками, в случае большой апертуры прибора конструктивно и экономически не оправдан.

Отдельно стоит отметить, что работа в среднем и дальнем инфракрасных (ИК) диапазонах, где используются приемники охлаждаемой диафрагмой, добавляет сложности при построении схемы МОС. В данной работе наибольшее внимание уделено именно МОС, содержащим ИК каналы, как наиболее сложным.

На данный момент известны три основные схемы построения МОС: оптические системы с общим входным компонентом и сменными фильтрами/приемниками, системы с многодиапазонными приемниками и системы с общим входным компонентом и спектроделителями.

Рассмотрение особенностей каждой из схем построено наиболее удобно и наглядно осуществить на примерах известных научных статей и патентов.

Анализ схем построения многоспектральных оптических систем

Объектив [1], схема построения которого относится к первому типу, представляет собой модифицированную схему Ричи-Кретьена с линзовым корректором (рис. 1).

Система работает в широком спектральном диапазоне (0,5–10 мкм). Переход от одного рабочего диапазона к другому происходит сменой или переключением фотоприемников (с учетом смещения фокальной плоскости).

Линзовый корректор изготавливается из фторида бария, имеющего высокое пропускание во всем рабочем спектральном диапазоне. К достоинствам схемы можно отнести минимальное использование элементов при большом спектральном диапазоне. С другой стороны, такое построение системы не позволяет работать более чем в одном диапазоне одновременно, что явл

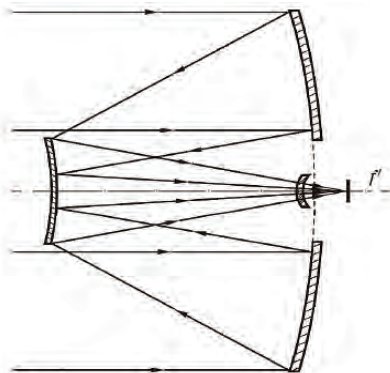


Рис. 2. Оптическая схема двухспектрального инфракрасного объектива с вынесенной в пространство изображений апертурной диафрагмой:

1 - плоскость промежуточного изображения,

2 - плоскость изображений.

Кроме этого, в данной системе отсутствует возможность использования фотоприемников с охлаждаемой диафрагмой для среднего и дальнего ИК диапазонов, что может ограничить потенциальные характеристики прибора, построенного на базе такого объектива.

Объектив [2], построенный по схеме второго типа (рис. 2), скорректирован одновременно в спектральных областях 3– 5 и 8–12 мкм и предназначен для работы с двухдиапазонным фотоприемником с охлаждаемой диафрагмой. Система содержит достаточно много элементов, что необходимо для обеспечения одновременной коррекции хроматических аберраций в двух диапазонах. Кроме того, на данный момент в нашей стране не производятся двухспектральные приемники, что не позволяет считать данную схему перспективной в ближайшее время.

Двухспектральный объектив [3], оптическую схему которого можно отнести к третьему типу, работает в двух спектральных диапазонах: 0,6–0,9 и 8–12 мкм. В данной схеме нет общего силового компонента, общим является лишь входное окно из селенида цинка, имеющего хорошее пропускание во всем требуемом диапазоне. Разделение спектральных каналов происходит

с помощью германиевого спектроделителя, установленного под углом 45° к оптической оси. К недостаткам такой схемы можно отнести большое количество элементов и невозможность применения фотоприемника с охлаждаемой диафрагмой в длинноволновом канале.

Практически такая оптическая система является примером простейшего принципа механического объединения нескольких систем, работающих в различных диапазонах.

Объектив [4], схему построения которого можно отнести к третьему типу, изображен на рис. 3. Система, состоящая из общего зеркального объектива и линзовых каналов, работает одновременно в видимой и средней ИК областях спектра (в ИК канале используется приемник с охлаждаемой диафрагмой).

К недостаткам системы можно отнести использование наклонного спектроделителя в сходящемся пучке, вносящего абберрации, которые не могут быть скомпенсированы абберациями центрированных элементов. В этом случае необходимо использование цилиндрических линз, что увеличивает количество компонентов системы и уменьшает ее пропускание. Несмотря на эти недостатки, именно эта схема видится перспективной для создания МОС, поскольку все эти недостатки могут быть устранены. А именно: спектроделитель, стоящий под углом к оптической оси, должен устанавливаться в параллельном пучке лучей. В этом случае он не будет вносить

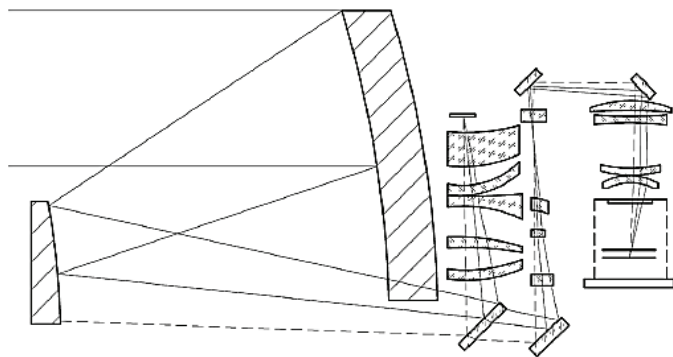


Рис. 3. Схема двухспектрального объектива (Патент US 5841574 А)

аббераций нецентрированной системы, что позволит отказаться от использования лишних элементов (цилиндрических линз).

Также представляется возможным добавление третьего канала, работающего в дальней ИК области спектра с охлаждаемым приемником.

Предлагаемая схема построения и методика ее расчета

На рис. 4 представлена схема предлагаемой МОС. Система имеет общий входной компонент - зеркальный объектив Ричи-Кретьена. Спектроредитель 3 (установлен перпендикулярно оптической оси и не вносит aberrаций, которые невозможно скомпенсировать центрированной системой) отражает видимую часть спектра и пропускает излучение в средней и дальней ИК областях. Линзовый компенсатор 4 позволяет получить необходимое качество изображения на приемнике 5. Компонент 7 работает в обоих ИК диапазонах, формируя параллельный ход лучей, в который устанавливается спектроредитель 8. Объективы 9 и 11 формируют изображения на ИК фотоприемниках с охлаждаемыми диафрагмами 10 и 12. Коллектив 6 служит для согласования входного зрачка, расположенного в вершине главного зеркала, и выходного зрачка, совпадающего с охлаждаемой диафрагмой приемника. Благодаря использованию коллектива появляется возможность изменять расстояние между компонентами 7 и 11. Таким образом, система позволяет одновременно работать в трех спектральных диапазонах.

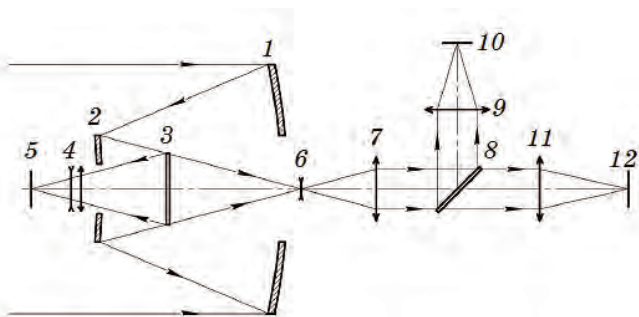


Рис. 4. Схема построения многоспектральной оптической системы.

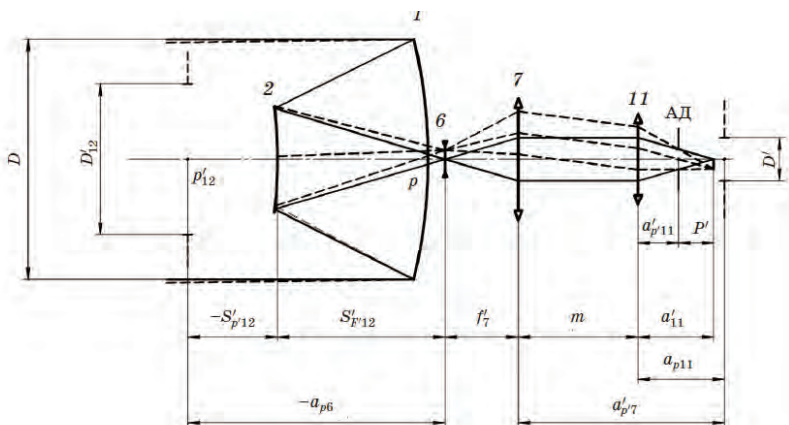


Рис. 5. Иллюстрация габаритного расчета предлагаемой схемы

Рассмотрим методику габаритного расчета предлагаемой оптической системы. Зеркальный объектив 1-2, компоненты 6 и 7 образуют телескопическую систему типа системы Кеплера. Ее угловое увеличение γ задается исходя из конструктивных соображений, параметров фотоприемников и коррекционных возможностей телескопической системы. Габаритный расчет проводится исходя из условия, что известно эквивалентное фокусное расстояние всей системы f'_{EQ} , диаметры входного D и выходного D' зрачков, а также расстояние от апертурной диафрагмы до плоскости изображения p' .

Эквивалентное фокусное расстояние системы f'_{EQ}

$$f'_{EQ} = \gamma f'_{11} \quad (1)$$

Угловое увеличение телескопической системы

$$\gamma = f'_1 - 2/f'_7 \quad (2)$$

Фокусное расстояние объектива 11 определяется из формул (1, 2).

Определяем положение выходного и входного зрачков объектива 11

$$a'_{p11} = f'_{11} - p', \quad (3)$$

$$a_{p11} = \frac{a'_{p'11} f'_{11}}{f'_{11} - a'_{p11}} \quad (4)$$

Затем находим положение выходного и входного зрачков общего компонента 7. Расстояние m между компонентами 7 и 11 выбираем из конструктивных соображений (т.е. достаточное для установки наклонного спектроделителя)

$$a'_{p',7} = a_{p11} + m \quad (5)$$

$$a_{p7} = a'_{p',7} f'_7 / (f'_7 - a'_{p',7}) \quad (6)$$

Определяем положение выходного и входного зрачков коллектива 6

$$a'_{p',6} = a_{p7} + f'_7, \quad (7)$$

$$a_{p6} = S'_{p'1-2} - S'_{F'1-2}, \quad (8)$$

где $S'_{p'1-2}$ – положение выходного зрачка системы Ричи-Кретьена.

Выражение (8) справедливо только в случае, когда компонент 1—2 представляет собой двухзеркальный объектив. В случае тонкого компонента имеем

$$a_{p6} = -f'_{1-2}. \quad (9)$$

Фокусное расстояние коллектива 6 находится по формуле отрезков

$$f_6 = a_{p6} a'_{p',6} / (a_{p6} - a'_{p',6}) \quad (10)$$

Аберрационный расчет такой системы наиболее удобно проводить по частям: сначала расчеты зеркального объектива и общего объектива 7, затем расчеты телескопической системы зеркального объектива 1—2, коллектива 6 и общего объектива 7 и, наконец, расчет формирующих объективов 9 и 11. После этого все части собираются в единую систему и выполняется финальная коррекция.

Расчет зеркального объектива проводится по известным методикам. В общем случае наиболее удачной стартовой точкой будет классический объектив Кассегрена. Для устранения кри-

визны поля изображения выбирается вариант с равными радиусами кривизны главного и вторичного зеркал. Квадраты эксцентриситетов зеркал в дальнейшем расчете могут быть использованы как оптимизационные параметры, но в этом случае полезно оставить условие коррекции сферической аберрации для осевой точки двухзеркальной системы (для удобства сборки и юстировки).

При расчете общего объектива 7 наибольшее внимание следует уделить коррекции хроматизма положения. Так как объектив работает в двух спектральных диапазонах, необходим подбор материалов, обеспечивающий устранение хроматизма положения в двух спектральных диапазонах. Поскольку объектив 7 играет роль окуляра в телескопической системе Кеплера, он работает с достаточно большими угловыми полями, т.е. необходима коррекция астигматизма и кривизны поля изображения (помимо сферической аберрации, комы и хроматизма положения). Принимая эти условия, можно утверждать, что объектив должен состоять как минимум из трех линз. При габаритном расчете такой объектив можно считать тонким, тогда оптические силы компонентов можно вычислить исходя из следующих условий.

Условие масштаба:

$$F_1 + F_2 + F_3 = 1 \quad (11)$$

Условие исправления хроматизма положения в двух спектральных диапазонах:

$$F_1/v_{11} + F_2/v_{21} + F_3/v_{31} = 0 \quad (12)$$

$$F_1/v_{12} + F_2/v_{22} + F_3/v_{32} = 0 \quad (13)$$

где F_1, F_2, F_3 — оптические силы компонентов, v_{11}, v_{21}, v_{31} — коэффициенты дисперсии оптических материалов компонентов в первом спектральном диапазоне, v_{12}, v_{22}, v_{32} — коэффициенты дисперсии оптических материалов компонентов во втором спектральном диапазоне.

При нахождении оптических сил компонентов целесообразно

но оценивать кривизну поля изображения по формуле:

$$S_4 = F_1/n_1 + F_2/n_2 + F_3/n_3 \quad (14)$$

где n_1 , n_2 , n_3 — показатели преломления оптических материалов компонентов.

Подбор материалов для общего объектива можно осуществлять, проанализировав значения коэффициентов дисперсии в обоих рабочих спектральных диапазонах. Первый вариант: использование пары материалов, каждый из которых имеет либо очень близкие значения коэффициентов дисперсии в двух диапазонах (например, КРС5 – ИКС32 в среднем и дальнем ИК диапазонах), либо пропорционально изменяющиеся. В этом случае можно решить систему уравнений для двух линз, а затем разбить компонент с большей силой на два, т.е. использовать только два материала, либо найти третий материал подбором, добиваясь получения наименьших значений оптических сил компонентов. Второй вариант: возможно использование материалов с обратно пропорциональными отношениями коэффициентов дисперсии в двух диапазонах (например, в паре германий – селенид цинка, в среднем ИК диапазоне германий играет роль флинта, а в дальнем – крона). В этом случае необходимо использование трех материалов для взаимной компенсации в двух диапазонах.

На следующем этапе рассчитывается коллектив и проводится коррекция аберраций телескопической системы. Коллектив может быть рассчитан как плосковогнутая линза, устанавливаемая в плоскость промежуточного изображения. При расчете предпочтение стоит отдать материалам с максимально близкими значениями коэффициентов дисперсии в обоих диапазонах.

Далее осуществляется совместная оптимизация телескопической системы. Для коррекции сферической аберрации и комы могут быть использованы квадраты эксцентриситетов зеркал (возможно введение коэффициентов высших порядков в случаях больших диаметров и высоких относительных отверстий), при этом желательно придерживаться условия устранения сфе-

рической аберрации в отдельной зеркальной системе; для коррекции дисторсии может быть использован прогиб коллектива.

Расчет компонента 4 в общем случае сводится к расчету компенсатора зеркального объектива. Он может быть рассчитан как корректор, состоящий из двух линз из одного материала, обладающий нулевой оптической силой, а потому не вносящий хроматизма положения, а также исправляющий кому и астигматизм зеркального объектива. В случае если фокусное расстояние в этом канале отличается от фокусного расстояния зеркального объектива, в компенсаторе в первую очередь необходимо предусмотреть возможность коррекции хроматизма положения и увеличения.

Расчет объективов 9 и 11 представляет наибольшую сложность, поскольку они должны обладать высоким уровнем коррекции всех аберраций, а также иметь необходимое взаимное положение зрачков. Входной зрачок должен совпадать с выходным зрачком телескопической системы (при этом расстояние между телескопической системой и объективом равно m), а положение выходного зрачка задается конфигурацией используемого фотоприемника. Исходя из этого можно сделать вывод, что такой объектив должен рассчитываться не как тонкий, а как система из тонких линз, разделенных конечными воздушными промежутками. Принимая во внимание необходимость анастигматической коррекции аберраций, за базовую схему целесообразно принять систему из трех тонких линз с оптическими силами F_1, F_2 и F_3 , разделенных промежутками конечной длины d_1 и d_2 . В этом случае габаритный расчет проводится с выполнением следующих условий.

Условие масштаба:

$$F_1 h_1 + F_2 h_2 + F_3 h_3 = 1 \quad (15)$$

где h_1, h_2, h_3 — высоты первого вспомогательного нулевого луча на компонентах, равные

$$h = 1, \quad h_2 = h_1 - F_1 d_1, \quad (16)$$

$$h_3 = h_2 - d_2(F_1 + F_2 - F_1 F_2 d_1)$$

Условие получения необходимого заднего фокального отрезка

Длина заднего фокального отрезка объектива, работающего с фотоприемником с охлаждаемой диафрагмой, определяется выражением

$$a'_{p'} = a'_{p'} + p' \quad (17)$$

Расстояние p' известно для конкретного приемника, длина $a'_{p'}$ может быть выбрана из конструктивных соображений, принимая во внимание необходимость соединения корпусов объектива и приемника.

Задний фокальный отрезок трехкомпонентной системы, при условии нормировки (16), равен высоте на последнем компоненте h_3

$$a'_{F'} = 1 - F_1(d_1 + d_2) + F_2 d_2 (F_1 d_1 - 1) \quad (18)$$

Тогда условие получения заданного заднего фокального отрезка записывается в виде

$$1 - F_1(d_1 + d_2) + F_2 d_2 (F_1 d_1 - 1) = a'_{p'} + p' \quad (19)$$

Условие взаимного положения входного и выходного зрачков объектива

Положения входного и выходного зрачков связаны формулой Ньютона

$$z_p z'_{p'} = -f'^2. \quad (20)$$

Длина $z'_{p'} = -p'$ известна для заданного фотоприемника. Размер z_p определяется выражением

$$z_p = a_p - a_F \quad (21)$$

Положение входного зрачка a_p известно, поскольку известно положение выходного зрачка предыдущей системы. Передний фокальный отрезок трехкомпонентной системы a_F

$$a_z = -1 + F_2(d_1 + d_2) + F_2 d_1 (1 - F_2 d_2) \quad (22)$$

Таким образом, условие согласования зрачков трехкомпо-

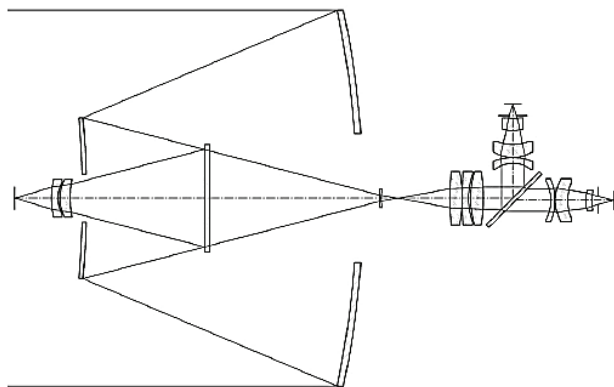


Рис. 6. Схема трехканальной зеркально-линзовой оптической системы

нентной системы можно записать в виде выражения

$$p'[a_p + 1 - F_3(d_1 + d_2) - F_2d_1(1 - F_3d_2)] = 1. \quad (23)$$

Условие исправления хроматизма положения

$$F_1h_1^2/v_1 + F_2h_2^2/v_2 + F_3h_3^2/v_3 = 0 \quad (24)$$

**Условие исправления кривизны поля изображения,
определяемое выражением (14)**

Выражения (14, 15, 19, 23, 24) составляют систему из пяти уравнений с пятью неизвестными. Решив ее, получим оптические силы компонентов и расстояния между ними для дальнейшего абберационного расчета.

На рис. 6 представлен пример оптической схемы объектива [5], построенного по предлагаемой схеме. Габаритный расчет системы и синтез ее компонентов приводились по приведенной выше методике. Качество изображения во всех каналах близко к дифракционному. Характеристики системы приведены в таблице.

Диаметр входного зрачка, мм	Относительное отверстие	Угловое поле 2ω , град	Спектральные диапазоны, мкм
700	1 : 2	0,84	1 – 1,4; 3 – 5; 8 – 12

Заключение

Проведенный анализ МОС отражает актуальное состояние развития данного класса оптических систем. На его основе предложена новая схема построения, а также методика ее синтеза, которая является универсальным и эффективным инструментом для расчета систем нового типа, что подтверждается приведенным примером рассчитанной светосильной системы с высоким качеством изображения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев О.Л., Сабинин В.Е., Солк С.В. Крупногабаритный многоспектральный объектив // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 11. С. 24-27.
2. Хацевич Т.Н., Терешин Е.Л. Двухспектральный инфракрасный объектив с вынесенной в пространство изображений апертурной диафрагмой // Патент РФ № 2410733. 2010.
3. Kyle R.B. Common-aperture multispectral objective // US Patent 7248401 B2. 2005.
4. Gilbert W.W. Multi-spectral decentered catadioptric optical system // US Patent 5841574. 1998.
5. Попова И.В., Цуканова Г.И., Гаршин А.С., Курнелъ Г.И., Егорова М.Г. Трехкайальная зеркально-линзовая оптическая система // Патент РФ №136198. 2013.[2]

*Впервые опубликовано в издании:
Гаршин А.В., Цуканова Г.И. Особенности
построения и расчета крупногабаритных
многоспектральных оптических систем //
Оптический журнал, том 82, № 6, 2015–
С. 42 - 47*

АВТОРСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА И ПАТЕНТЫ Г.И. ЦУКАНОВОЙ

1967 г.

Компенсатор аберраций зеркально-линзовой системы

(Авт.свид. № 243878, соавтор – Чуриловский В.Н., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 11 июля 1967 г.)

Изобретение предназначено для исправления аберраций зеркально-линзовых систем, в частности объективов телескопов.

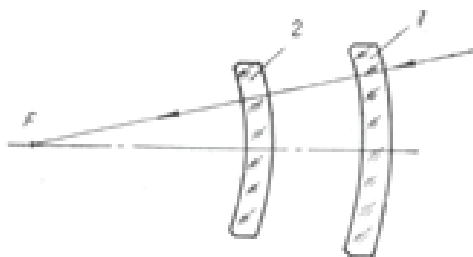
Известны компенсаторы аберраций зеркально-линзовых систем, устанавливаемые в сходящемся пучке лучей, содержащие не более двух одиночных менисков.

Описываемый компенсатор отличается от известных тем, что в нем мениски выполнены отрицательными, концентричными относительно заднего фокуса зеркально-линзовой системы, и имеют по одной асферической поверхности не более третьего порядка, а также тем, что в него введен дополнительный отрицательный мениск, концентричный относительно заднего фокуса зеркально-линзовой системы, имеющий асферическую поверхность третьего порядка.

Такие отличия позволяют улучшить качество аберрационной коррекции зеркально-линзовых систем.

На чертеже представлена оптическая схема описываемого компенсатора, содержащего отрицательные мениски 1 и 2, концентричные относительно заднего фокуса зеркально-линзовой системы (центры кривизны их поверхностей находятся в заднем фокусе). Параксиальный луч, отраженный от зеркала (на чертеже не показано), проходит через мениски, не преломляясь, следовательно, компенсатор не вносит ни хроматизма положения, ни хроматизма увеличения. Параметрами для исправления аберраций являются деформации одной из поверхностей каждого мениска.

Компенсатор дает возможность рассчитать зеркально-линзовые объективы, угол поля зрения которых превышает



угол поля зрения классических систем зеркальных телескопов в 15—20 раз. Компенсатор может состоять из одного, двух или трех concentрических менисков. Чтобы осуществить только апланатическую коррекцию, достаточно иметь два мениска или даже один мениск, а в качестве второго параметра использовать деформацию главного зеркала объектива.

Если нужно осуществить коррекцию трех аберраций, например сферической аберрации, комы и астигматизма, требуется иметь три мениска. Исследование показало, что наилучшие результаты в аберрационном отношении получаются при использовании в качестве третьего параметра деформации главного зеркала, если это однозеркальная система, или расстояния между менисками, если система двухзеркальная типа Кассегрена, имеющая главное зеркало параболическое и второе — сферическое

Предмет изобретения

1. Компенсатор аберраций зеркально-линзовой системы, устанавливаемый в сходящемся пучке лучей, содержащий не более двух одиночных менисков, отличающийся тем, то, с целью улучшения аберрационной коррекции, мениски компенсатора выполнены отрицательными concentричными относительно заднего фокуса зеркально-линзовой системы и имеют по одной асферической поверхности не более третьего порядка.
2. Компенсатор по п. 1, отличающийся тем, что в него введен дополнительный отрицательный мениск, concentричный относительно заднего фокуса зеркально-линзовой системы, имеющий одну асферическую поверхность третьего порядка.

1969 г.

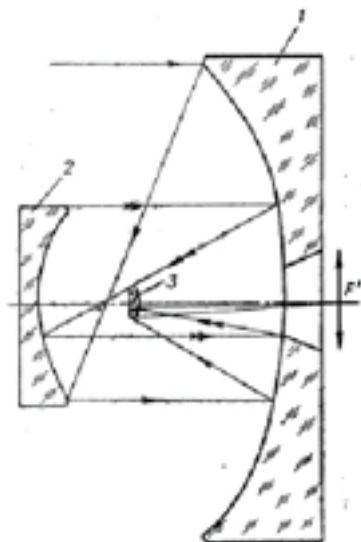
Объектив

(Авт.свид. № 297021, соавтор – Русинов М.М., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 31 октября 1969 г.)

Изобретение относится к трехзеркальным объективам и может найти применение в телескопостроении при проектировании новых телескопов, а также может быть использовано как длиннофокусный фотообъектив.

Известные объективы, содержащие три зеркала, имеют неисправленную кривизну поля изображения, исправление которой приводит к размещению плоскости изображения между вторым и третьим зеркалами.

Предлагаемый объектив имеет плоское поле зрения, причем плоскость изображения (при одновременном исправлении сферической аберрации, комы и астигматизма) размещена вне системы зеркал (позади первого зеркала), а осевая длина объектива может быть меньше 0,05 его фокусного расстояния. Это достигается благодаря тому, что второе зеркало выполнено вогнутым гиперболическим, образующим с эллиптическим первым зеркалом телескопическую систему, а размещенное



между ними третье зеркало – выпуклым параболическим.

На чертеже приведена принципиальная оптическая схема предлагаемого объектива.

Объектив состоит из первого 1 (от которого лучи отражаются дважды) и второго 2 вогнутых зеркал, образующих телескопическую систему, и размещенного между ними выпуклого зеркала 3, причем зеркало 1 выполнено эллиптическим, а зеркала 2 и 3 – гиперболическими.

Вариантом выполнения предлагаемого объектива может быть объектив, у которого отражающие поверхности имеют уравнения выше второго порядка с небольшими, однако, отступлениями от эллипса и гиперболы.

Предмет изобретения

1. Объектив, содержащий три зеркала, первое из которых выполнено вогнутым, отличающийся тем, что, с целью уменьшения габаритов с одновременным получением плоского поля изображения, второе зеркало выполнено вогнутом гиперболическим и образует с эллиптическим первым зеркалом телескопическую систему, а размещенное между ними третье зеркало выполнено выпуклым гиперболическим.
2. Объектив по п. 1, отличающийся тем, что поверхности зеркал деформированы и имеют уравнение выше второго порядка.

Оптическая схема телескопа

(Авт.свид. № 308402, соавтор – Русинов М.М., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 31 октября 1969 г.)

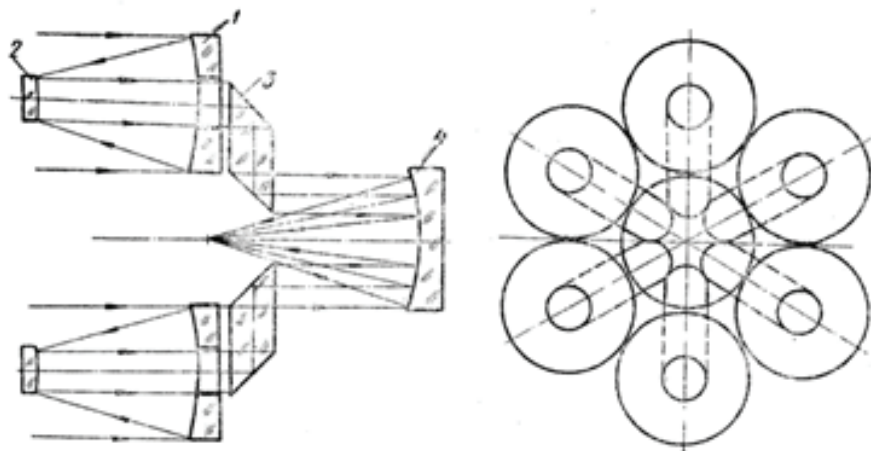
Изобретение относится к области астрономического приборостроения.

Известные оптические системы телескопов, содержащие несколько объективов с общим окуляром и оптическими элементами между ними для совмещения изображений в поле зрения

окуляра, не обеспечивают хорошего качества изображения, имеют довольно большой вес и сложны по конструкции.

Предложенная оптическая схема телескопа отличается тем, что в систему введен дополнительный зеркальный объектив, установленный между оптическими элементами для сведения пучков и общим окуляром, а также тем, что оптические элементы для сведения пучков выполнены поворотными, а телескопическая система каждой секции выполнена в виде зеркальной системы Мерсенна.

Оптическая схема телескопа содержит несколько входных оптических каналов, каждый из которых содержит телескопическую систему большого параболического зеркала 1, малого параболического зеркала 2, образующих систему Мерсенна, и установленный с возможностью поворота оптический элемент в виде ромбической призмы 3. Параллельные пучки лучей каждой секции с помощью ромбических призм направляются на зеркало 4, фокус которого совмещен с фокусом окуляра. Выполняя каждую секцию в виде телескопической системы Мерсенна, автоматически избавляются от сферической аберрации, комы, астигматизма и единственной аберрацией выходящего после каждой секции пучка является кривизна изображения.



Выполнение оптической системы с несколькими входными каналами и общим окуляром дает возможность заменить сплошное зеркало большого диаметра несколькими маленькими, что обеспечивает значительное снижение веса конструкции и упрощение технологии изготовления при сохранении высокой разрешающей способности.

Например, телескоп с шестью входными секциями с зеркалами 1 диаметром D заменит телескоп со сплошным зеркалом диаметром $3D$, при этом эквивалентное фокусное расстояние всей системы будет равно произведению увеличения секции на фокусное расстояние четвертого зеркала $f'_{\text{общ}} = \Gamma_c * f'_4$

Для оценки соотношения веса можно воспользоваться формулой отношения объемов. Если считать, что толщина зеркал составляет 1/8 от их диаметра, то объем будет равен

$$V = \frac{\pi R^3}{4}$$

Считая, что наибольшая доля веса в каждой секционной системе приходится на параболические зеркала 1, получим соотношений веса сплошного зеркала и шестисекционного телескопа

$$\eta = \frac{R_{\text{спл}}^3}{6R_{\text{секц}}^3} \cong 4 * 5$$

С целью компенсации возможного несовпадения разностей фаз падающих на плоскость изображения параллельных пучков, вследствие которого может наступить гашение света (например, когда разность хода равна $\lambda/2$), ромбические призмы установлены с возможностью поворота на небольшой угол. Разность фаз также можно компенсировать введением в ход лучей компенсационной пластинки, поворотом или смещением плоскости изображения.

Приведенная на схеме оптическая схема телескопа является одноступенчатой. Возможен и другой вариант, когда оптическая схема может быть выполнена многоступенчатой. В этом случае дополнительное зеркало 4 первой ступени будет одним из больших зеркал следующей ступени, снижение веса будет еще ощутимей. Если телескоп двухступенчатый, то при замене одного сплошного зеркала шестью зеркалами снижение веса

для всех конструкций будет в $4,5^2$ раза.

Предмет изобретения

1. Оптическая схема телескопа, выполненная в виде n -ного количества секций с общей окулярной частью, каждая из которых содержит телескопическую зеркальную систему и оптический элемент для сведения пучков в общее поле зрения, отличающаяся тем, что, с целью повышения качества изображения с сохранением высокой разрешающей способности, между оптическими элементами для сведения пучков и окулярной частью установлен дополнительный объектив, фокус которого совмещен с фокусом окулярной части.
2. Оптическая схема телескопа по п. 1, отличающаяся тем, что оптические элементы для сведения пучков в одно поле зрения выполнены, например, в виде установленных с возможностью поворота ромбических призм, компенсационных пластинок и т.д.
3. Оптическая схема телескопа по пп. 1 и 2, отличающаяся тем, что дополнительный объектив является главным зеркалом телескопической системы следующей ступени.

Оптическая схема телескопа по пп. 1, 2 и 3, отличающаяся тем, что телескопическая система каждой секции выполнена в виде системы Мерсенна.

1970 г.

Репродукционный объектив

(Авт.свид. № 314183, соавторы – Русинов М.М., Курчинская Л.Н., Бакланова Ю.П., Благовещенская Е.Н., приоритет - 8 мая 1970 г.)

Изобретение относится к объективам, а точнее к репродукционным объективам.

Известны объективы, содержащие две одиночные плоско-выпуклые линзы, положительный двухсклеенный и отрицательный одиночный мениски, обращенные вогнутостью

к диафрагме. Предлагаемый объектив отличается от известных тем, что он снабжен двумя плосковыпуклыми линзами, установленными позади одиночного мениска.

Это позволяет улучшить коррекцию aberrаций и повысить апертуру.

На чертеже представлена схема предлагаемого репродукционного объектива.

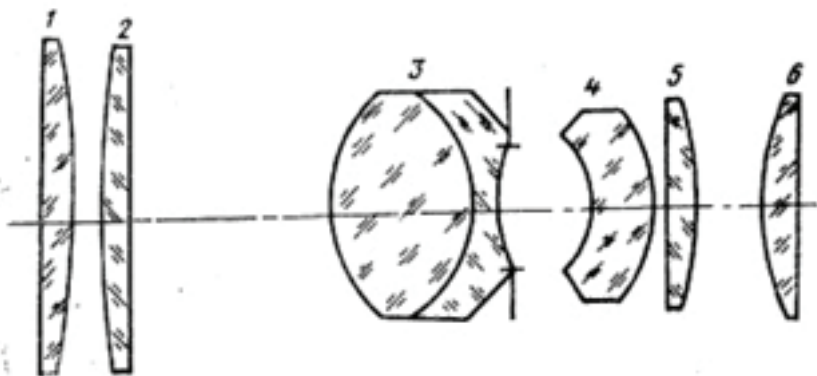
Объектив состоит из двух одиночных плоско-выпуклых линз 1 и 2, положительного двухскленного 3 и одиночного отрицательного 4 менисков и двух плоско-выпуклых линз 5 и 6.

Фокусные расстояния линз 5 и 6 пропорциональны фокусным расстояниям линз 1 и 2 соответственно, причем коэффициент пропорциональности равен произведению показателя преломления отрицательной линзы двухсклеенного мениска на линейное увеличение всей системы.

Такая конструкция объектива позволяет улучшить качество изображения и повысить относительное отверстие.

Предмет изобретения

Репродукционный объектив, содержащий две одиночные плоско-выпуклые линзы, положительный двухсклеенный и отрицательный одиночный мениски, обращенные вогнутой к диафрагме, отличающийся тем, что, с целью улучшения коррекции aberrаций и повышения апертуры, он снабжен двумя плосковыпуклыми линзами, установленными позади одиночного мениска.



Длиннофокусный зеркальный объектив

(Авт.свид. № 337749, соавтор – Русинов М.М., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 6 июля 1970 г.)

Изобретение относится к зеркальным объективам.

Известны зеркальные длиннофокусные объективы, содержащие два асферических зеркала.

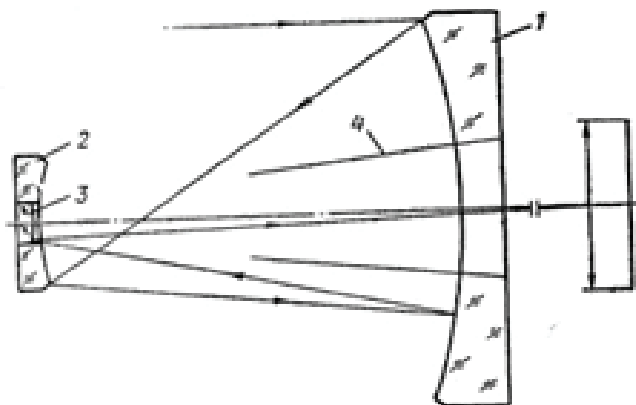
Предлагаемый объектив отличается от известных тем, что он снабжен третьим гиперболическим зеркалом, а расстояние между первым эллиптическим зеркалом, от которого лучи отражаются дважды, и вторым меньше суммы фокусных расстояний этих зеркал.

Это позволило увеличить поле зрения и улучшить коррекцию аберраций.

На чертеже представлена схема предлагаемого объектива.

Объектив состоит из трех зеркал 1, 2 и 3: зеркало 1 – вогнутое эллиптическое, зеркало 2 – вогнутое гиперболическое, зеркало 3 – выпуклое гиперболическое.

Зеркала 1 и 2 образуют рассеивающую систему, фокусное расстояние которой значительно меньше фокусного расстояния всей системы. После отражения от зеркала 2 лучи попадают снова на зеркало 1, а затем на зеркало 3, причем зеркало 3 расположено вблизи зеркала 2. Для защиты плоскости изображения от постороннего света устанавливают бленду 4 у отверстия в



главном зеркале 1.

Такая конструкция объектива позволила уменьшить продольные габариты объектива до 0,02 фокусного расстояния объектива, увеличить поле зрения, улучшить коррекцию абберраций.

Предмет изобретения

Длиннофокусный зеркальный объектив, содержащий два вогнутых асферических зеркала, отличающийся тем, что, с целью увеличения поля зрения и улучшения коррекции абберраций, он снабжен третьим гиперболическим зеркалом, а расстояние между первым эллиптическим зеркалом, от которого лучи отражаются дважды, и вторым меньше суммы фокусных расстояний этих зеркал.

1971 г.

Зеркальная телескопическая система

(Авт.свид. № 396663, соавтор – Русинов М.М., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 1 февраля 1971 г.)

Изобретение относится к телескопическим системам.

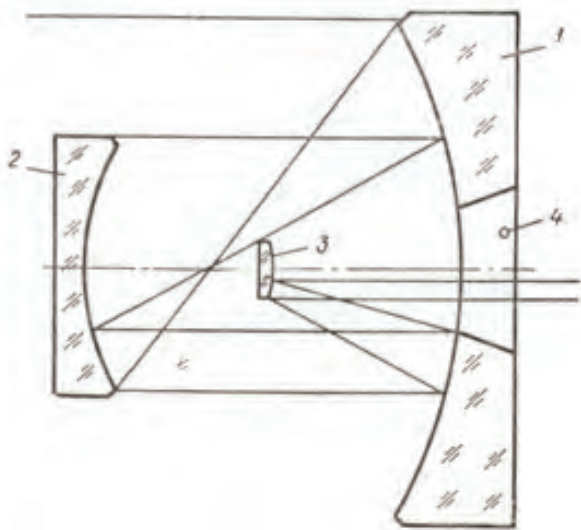
Известны зеркальные телескопические системы, содержащие два вогнутых параболических зеркала, фокусы которых совмещены.

Цель изобретения — создание зеркальной телескопической системы с укороченными продольными размерами и плоской поверхностью изображения.

Это достигается тем, что система снабжена выпуклым параболическим зеркалом, фокус которого совмещен с фокусами остальных зеркал системы.

Система состоит из первичного вогнутого зеркала 1, вторичного вогнутого зеркала 2 и выпуклого зеркала 3. Отражающие поверхности зеркал 1, 2 и 3 имеют формулу параболоидов вращения.

Пучок лучей (не обозначен), отражаясь от зеркала 1, попадает



на зеркало 2 и после повторного отражения от зеркала 1 — на зеркало 3 и через отверстие 4, выполненное в зеркале 1 на его оптической оси, выводится из оптической системы.

На чертеже показана принципиальная оптическая схема зеркальной телескопической системы.

Предмет изобретения

Зеркальная телескопическая система, содержащая два вогнутых параболических зеркала, фокусы которых совмещены, отличающаяся тем, что, с целью сокращения продольных размеров с одновременным получением плоской поверхности изображения, она снабжена выпуклым параболическим зеркалом, фокус которого совмещен с фокусами указанных зеркал.

Зеркальный объектив

(Авт.свид. № 459750, патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 16 марта 1971 г.)

Изобретение относится к оптическому приборостроению.

Известны зеркальные объективы, содержащие первичное вогнутое гиперболическое зеркало и расположенный перед его фокусом компенсатор из вогнутого и выпуклого зеркал.

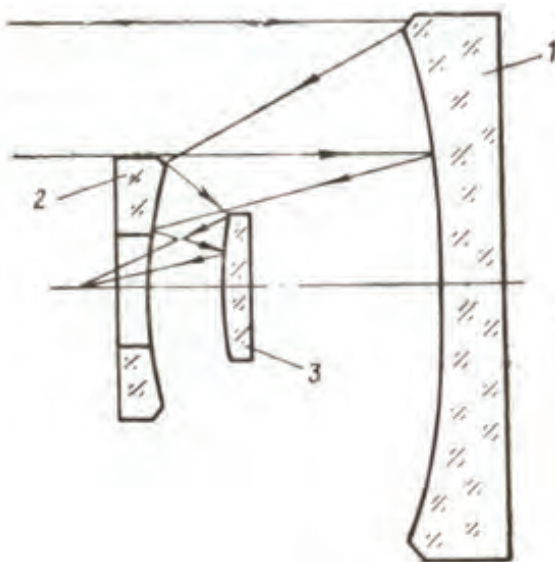
С целью улучшения коррекции аберраций с одновременным увеличением размера кривизны первичного зеркала в предлагаемом объективе первое и второе зеркала выполнены вогнутым и выпуклым соответственно, причем профилем поверхности одного из них служит сечение конуса плоскостью, наклонной к его оси на угол, меньший 90° .

На чертеже изображена оптическая схема предлагаемого объектива.

Объектив состоит из первичного вогнутого гиперболического зеркала 1 и компенсатора, образованного выпуклым 2 и вогнутым 3 зеркалами, причем зеркало 2 компенсатора размещено перед фокусом первичного зеркала 1.

Одно из зеркал 2 или 3 может быть сферическим, профилем поверхности другого зеркала служит сечение конуса плоскостью, наклоненной к его оси на угол, меньший 90° .

В частности, в том случае, если зеркало 2 в зависимости от его расстояния до зеркала 3 меняет свою форму от сплюснутой



эллиптической до гиперболической.

Дальнейшее укорочение системы может быть достигнуто за счет асферизации обоих зеркал компенсатора.

Увеличение светосилы системы может быть достигнуто выполнением профилей поверхности зеркал 2 и 3, удовлетворяющими уравнения выше второго порядка.

Предмет изобретения

Зеркальный объектив, содержащий первичное вогнутое гиперболическое зеркало и размещенный перед его фокусом компенсатор из вогнутого и выпуклого зеркал, отличающийся тем, что, с целью улучшения коррекции аберраций с одновременным увеличением радиуса кривизны первичного зеркала, первое и второе зеркала выполнены вогнутым и выпуклым соответственно, причем профилем поверхности одного из них служит сечение конуса плоскостью, наклоненной к его оси на угол, меньший 90° .

Зеркально-линзовый объектив

(Авт.свид. № 391523, соавторы – Русинов, М.М. Хуршудян Х.Л., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 19 июля 1971 г.)

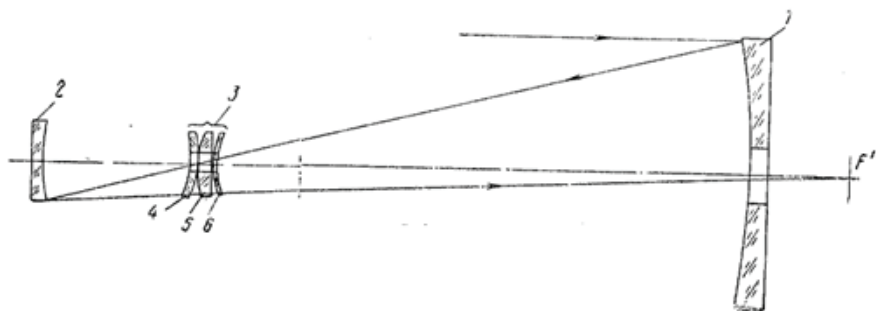
Изобретение относится к зеркально-линзовым объективам.

Известны зеркально-линзовые объективы, содержащие два вогнутых сферических зеркала и афокальный компенсатор между ними, выполненные из материала с одинаковым показателем преломления.

Однако качество аберрации в известном объективе, а следовательно, и качество изображения недостаточно высоки.

Целью изобретения является коррекция сферической аберрации.

Для этого афокальный компенсатор расположен на месте промежуточного изображения первого зеркала, созданного вторым, и выполнен в виде трех линз, из которых первая – отрицательный мениск, обращенный вогнутостью к объективу,



вторая - двояковыпуклая, а третья – отрицательный мениск, обращенный вогнутостью к изображению.

На чертеже приведена принципиальная конструктивная схема объектива.

Объектив состоит из двух сферических вогнутых зеркала 1 и 2, между которыми на месте изображения первого зеркала, созданного вторым, помещен афокальный компенсатор 3 из трех линз, выполненный из материала с одинаковым показателем преломления. Компенсатор содержит отрицательный мениск 4, обращенный вогнутостью к объективу, двояковыпуклую линзу 5, и отрицательный мениск 6, обращенный вогнутостью к изображению. Улучшение качества изображения достигнуто за счет использования афокального компенсатора.

Предмет изобретения

Зеркально-линзовый объектив, содержащий два вогнутых сферических зеркала и афокальный компенсатор, выполненный из материала с одинаковым показателем преломления, отличающийся тем, что, с целью коррекции сферической аберрации, афокальный компенсатор расположен на месте промежуточного изображения первого зеркала, созданного вторым, и выполнен в виде трех линз, из которых первая – отрицательный мениск, обращенный вогнутостью к объективу, вторая - двояковыпуклая, а третья – отрицательный мениск, обращенный вогнутостью к изображению.

1973 г.

Оптическая схема киноаппарата с непрерывным движением киноплёнки

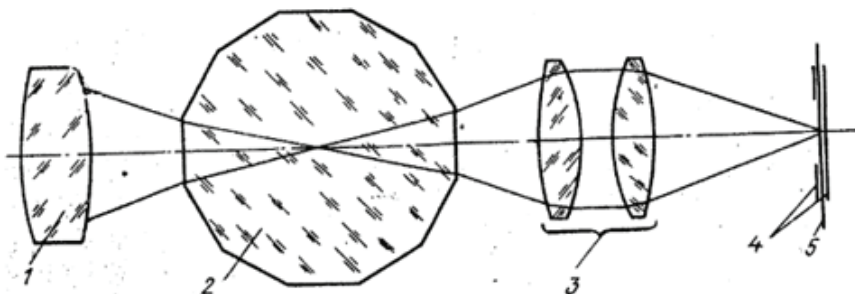
(Авт.свид. № 496528, соавторы – Крыжановский И.И., Яшкин Ю.Н., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 22 марта 1973 г.)

Известны оптические схемы киноаппаратов с непрерывным движением киноплёнки, содержащие объектив, призмный компенсатор и фильмовый канал.

В предлагаемой схеме улучшено качество изображения и увеличено действующее относительное отверстие системы тем, что между призмным компенсатором и фильмовым каналом установлена с возможностью перемещения вдоль оси оборачивающая система, фокальная плоскость которой сопряжена с фокальной плоскостью объектива и проходит через ось вращения призмного компенсатора.

На чертеже представлена описываемая оптическая схема, где 1 – съёмочный (проекционный) объектив; 2 – вращающаяся призма компенсатора; 3 – оборачивающая система; 4 – фильмовый канал; 5 – плоскость изображения (киноплёнка).

Рассмотрим работу схемы в режиме киносъёмки. Съёмочный объектив 1 строит действительное изображение в сопряженной плоскости, проходящей через ось вращения призмы 2 компенсатора, которое оборачивающей системой 3 переносится на киноплёнку 5, движущуюся в фильмовом канале 4 с постоянной скоростью. Движение киноплёнки и вращение призмы строго



согласованы. При вращении призмы 2 компенсатора изображение перемещается в направлении перемещения киноплёнки.

Предмет изобретения

Оптическая схема киноаппарата с непрерывным движением киноплёнки, содержащая объектив, призмённый компенсатор и фильмовый канал, отличающаяся тем, что, с целью улучшения качества изображения, увеличения действующего относительного отверстия системы, между призмённым компенсатором и фильмовым каналом установлена с возможностью перемещения вдоль оси оборачивающая система, фокальная плоскость которой сопряжена с фокальной плоскостью объектива и проходит через ось вращения призмённого компенсатора.

Зеркальный объектив

(Авт.свид. № 472319, соавторы – Крыжановский И.И., Мирошников М.М., Зандин Н.Г., Карапетян К.С., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 30 июля 1973 г.)

Изобретение относится к оптическому приборостроению и может найти применение в телевизорах.

Известны зеркальные объективы, содержащие первичное и вторичное вогнутые зеркала и третье выпуклое зеркало с центральным отверстием.

Известны также системы с качающимся плоским зеркалом, расположенным в сходящемся пучке лучей вблизи плоскости изображения. Однако вследствие того, что известные объективы имеют плоское поле зрения или небольшую кривизну изображения при повороте плоского зеркала неизбежно увеличение кружка рассеяния, он тем больше, чем больше угол поля зрения системы.

Вследствие этого такие системы могут работать только при малых углах поля зрения.

Предлагаемый зеркальный объектив отличается от известного тем, что он снабжен расположенным между вторичным

и выпуклым зеркалами плоским зеркалом, установленным с возможностью поворота вокруг двух ортогональных осей, перпендикулярных к оптической оси объектива и проходящих через центр кривизны поверхности изображения.

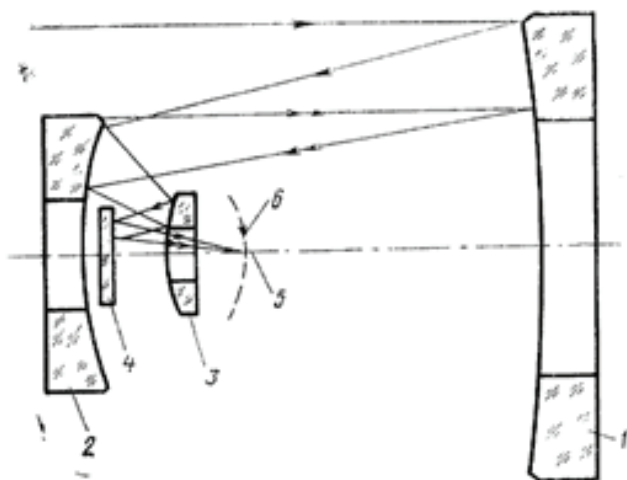
Это позволяет устранить перефокусировку, упростить конструкцию, и повысить точность сканирования.

На чертеже показана принципиальная схема объектива.

Объектив состоит из первичного вогнутого несферического зеркала 1, вторичного вогнутого зеркала 2, выпуклого зеркала 3 и плоского качающегося зеркала 4. Зеркало 4 установлено с возможностью поворота вокруг двух ортогональных осей перпендикулярных к оптической оси объектива и проходящих через центр 5 кривизны поверхности 6 изображения. Поскольку система работает при больших углах поля зрения и имеет высокое относительное отверстие, форма поверхностей зеркал и радиусы кривизны должны быть такими, чтобы можно было не только исправить сферическую aberrацию и астигматизм, но и получить поверхность изображения, обращенную вогнутостью к плоскому зеркалу, радиус кривизны, который равен расстоянию от плоского зеркала до приемника изображения.

При небольших углах поля зрения и невысоких относительных отверстиях второе и третье зеркала могут быть сферическими.

В предлагаемой системе величина угла поворота сканиру-



ющего зеркала во столько раз больше угла поворота внешнего сканирующего зеркала, во сколько раз фокусное расстояние объектива больше радиуса кривизны поверхности изображения.

Следовательно, при одних и тех же погрешностях сканирующего механизма точность сканирования значительно увеличивается, что позволяет более грубым механизмом получить высокую точность сканирования.

Предмет изобретения

Зеркальный объектив, содержащий первичное и вторичное вогнутые зеркала и третье выпуклое зеркало с центральным отверстием, отличающийся тем, что, с целью устранения перефокусировки, упрощения конструкции и повышения точности сканирования, он снабжен расположенным между вторичным и выпуклым зеркалами плоским зеркалом, установленным с возможностью поворота вокруг ортогональных осей, перпендикулярных к оптической оси объектива и проходящих через центр кривизны поверхности изображения.

1974 г.

Зеркальный объектив

(Авт.свид. № 492842, соавторы – Крыжановский И.И., Русинов М.М., Монастырский А.В., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 7 июня 1974 г.)

Изобретение относится к оптическому приборостроению и может найти применение в сканирующих системах тепловизоров, а также может быть использовано как длиннофокусный зеркальный объектив.

Известны различные оптические системы, осуществляющие просмотр исследуемого объекта с помощью сканирующего устройства, например системы с качающимся наклонным зеркалом, расположенным перед объективом. Однако размеры подвижных сканирующих элементов в этих системах очень велики.

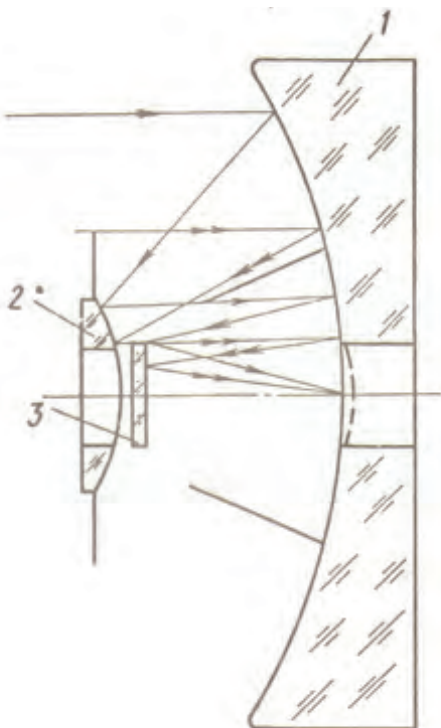
Известны также системы с качающимся плоским зеркалом, расположенным в сходящемся пучке лучей. Однако вследствие того, что известные объективы имеют или плоское поле или небольшую кривизну изображения при повороте плоского зеркала неизбежно увеличение кружка рассеивания, поэтому системы могут работать при небольших углах поля зрения.

Цель изобретения – сокращение осевых габаритов, повышение качества изображения и упрощение сканирования.

Для этого в предлагаемом объективе поверхности вогнутых асферических зеркал совмещены, расстояние между ними и выпуклым зеркалом составляет порядка 0,2 – 0,3 фокусного расстояния системы, а в центре кривизны поверхности изображения размещено поворотное плоское зеркало.

На чертеже изображена принципиальная оптическая схема предлагаемого объектива.

Объектив содержит первое и третье зеркала 1, второе зеркало 2, поворотное зеркало 3.



Предлагаемая система может быть использована и как зеркальный объектив. Кривизна может быть значительно уменьшена за счет изменения радиусов кривизны зеркал или исправлена с помощью линзы, расположенной вблизи плоскости изображения. Если приемник изображения расположен перед системой, то плоское зеркало отсутствует.

Предмет изобретения

Зеркальный объектив, содержащий первое и третье вогнутые асферические зеркала, а второе выпуклое асферическое зеркало, отличающийся тем, что, с целью сокращения осевых габаритов, повышения качества изображения и упрощения сканирования, отражающие поверхности вогнутых асферических зеркал совмещены, расстояние между ними и выпуклым зеркалом составляет порядка 0,2 – 0,3 фокусного расстояния системы, а в центре кривизны поверхности изображения размещено поворотное плоское зеркало.

1975 г.

Зеркальный объектив

(Авт.свид. № 491911, соавторы – Крыжановский И.И., Русинов М.М., Шевченко А.И., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 30 июля 1975 г.)

Изобретение относится к области оптического приборостроения и может найти применение как длиннофокусный светосильный зеркальный объектив.

Известны различные трехзеркальные светосильные объективы с плоским полем изображения. Однако в одних из них при сферическом третьем зеркале плоскость изображения расположена в неудобном месте между зеркалами, а в других – при удобном положении изображения недостаточно высокое качество изображения и форма всех зеркал асферическая.

Для получения высокого качества изображения и выноса плоскости изображения за пределы объектива в предлагаемом

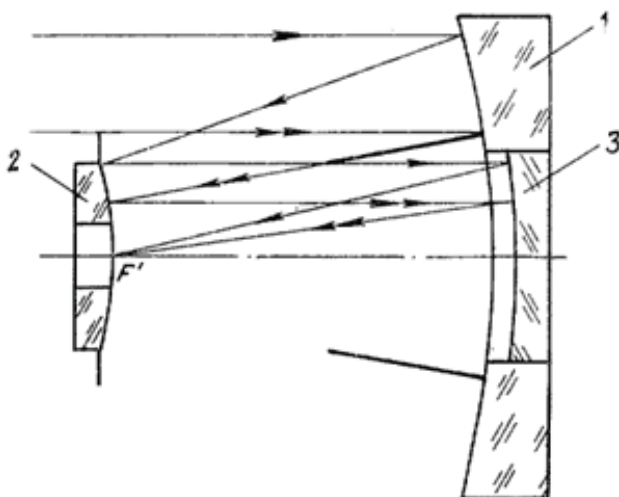
устройстве профиль поверхности выпуклого асферического зеркала удовлетворяет уравнению гиперболы не менее второго порядка, а его расстояние от первого вогнутого гиперболического зеркала не превышает разности фокусных расстояний зеркал.

На чертеже представлена принципиальная оптическая схема зеркального описываемого объектива, содержащего вогнутое гиперболическое зеркало 1, выпуклое зеркало 2, профиль поверхности которого удовлетворяет уравнению гиперболы не менее второго порядка, и вогнутое сферическое зеркало 3.

В рассчитанном варианте объектива с углом поля зрения 4° , относительным отверстием 1:2 и фокусным расстоянием 1500 мм профиль поверхности выпуклого зеркала 2 удовлетворяет уравнению гиперболы третьего порядка. Аберрации системы при этом по всему полю зрения находятся в пределах 0,01 мм.

Формула изобретения

Зеркальный объектив, содержащий вогнутое гиперболическое, выпуклое асферическое и вогнутое сферическое зеркала, отличающийся тем, что, с целью получения высокого качества изображения и выноса плоскости изображения за пределы



объектива, профиль поверхности выпуклого асферического зеркала удовлетворяет уравнению гиперболы не менее второго порядка, а его расстояние от первого вогнутого гиперболического зеркала не превышает разности фокусных расстояний зеркал.

1978 г.

Зеркальный объектив

(Авт.свид. № 720396, соавторы – Крыжановский И.И., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 17 июля 1979 г.)

Изобретение относится к оптическому приборостроению, а более конкретно к зеркальным объективам, и может найти применение в системах, работающих во всех областях спектра.

Известны различные конструкции трехзеркальных и четырехзеркальных объективов [1] и [2].

Однако в одних из них при хорошем качестве изображения имеет место довольно большое виньетирование из-за блендов, защищающих плоскость изображения от постороннего света, других – виньетирование сравнительно небольшое, но зато диаметр главного зеркала в несколько раз превышает диаметр входного зрачка.

Наиболее близок по технической сущности к предлагаемому зеркальный объектив, состоящий из первого и третьего вогнутых зеркал и строго выпуклого зеркала, оптическая сила системы из первого и второго зеркал в два раза больше оптической силы всего объектива, а эквивалентный фокус системы из первых двух зеркал расположен между вторым и третьим зеркалом [3].

Такая конструкция получается только при очень маленьком диаметре второго зеркала, т.е. при малом коэффициенте экранирования и очень малой осевой длине, что в некоторых случаях является преимуществом. Однако для создания системы с углом поля зрения, превышающим $2-3^\circ$, эта конструкция совершенно не годится: во-первых, изображение выводится через отверстие во втором зеркале, а если диаметр зеркала очень мал, то и размер

отверстия и, соответственно, размер изображения будут очень малы; во-вторых, очень малая осевая длина приводит к очень высоким относительным отверстиям зеркал по сравнению с эквивалентным относительным отверстием всей системы.

Таким образом, рассмотренная система может применяться только при высоких относительных отверстиях и малых углах поля зрения.

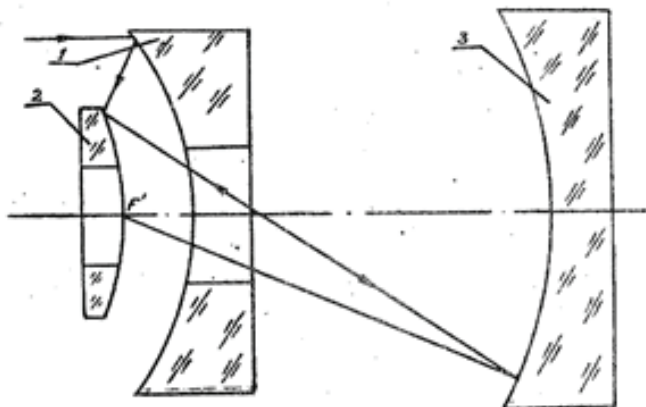
Цель изобретения – увеличение поля зрения и повышение относительного отверстия.

Указанная цель достигается за счет того, что эквивалентный фокус системы, образованной первым и вторым зеркалами, расположен между отражающими поверхностями первого и третьего зеркал, а отношение оптической силы этой системы к оптической силе всего объектива не превышает двух.

На чертеже представлена оптическая схема объектива.

Зеркальный объектив состоит из главного вогнутого зеркала 1, вторичного выпуклого зеркала 2 и третьего вогнутого зеркала 3. Фокус системы, образованной зеркалами 1 и 2, расположен между отражающими поверхностями зеркал 1 и 3.

В объективе форма поверхностей зеркал может быть различной в зависимости от положения плоскости изображения и расстояний между зеркалами. Возможны варианты со сферическим зеркалом 1 и асферическими зеркалами 2 и 3, а также со сферическим зеркалом 2 и асферическими 1 и 3. В системах с очень высокими относительными отверстиями и большими



полями зрения все поверхности могут быть асферическими высшего порядка. Поверхность изображения в объективе искривлена.

В предполагаемом объективе диаметр зеркала 2 увеличен, что дает возможность увеличить угол поля зрения. Благодаря тому, что отношение оптической силы системы из зеркал 1 и 2 к оптической силе всего объектива составляет от 1,2 до 1,9, зеркала в объективе имеют невысокие относительные отверстия, что позволяет поднять относительное отверстие всей системы.

Таким образом, объектив имеет небольшие габариты и значительно увеличенные угол поля зрения и относительное отверстие.

Формула изобретения

Зеркальный объектив, содержащий три зеркала, из которых первое и третье вогнутые, а второе выпуклое, отличающийся тем, что, с целью увеличения поля зрения и повышения относительного отверстия, эквивалентный фокус системы, образованной первым и вторым зеркалами расположен между отражающими поверхностями первого и третьего зеркал, а отношение оптической силы этой системы к оптической силе всего объектива не превышает двух.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Авторское свидетельство СССР № 491911, кл. G02 В 17/06, 1974.
2. Авторское свидетельство СССР № 551591, кл. G02 В 17/06, 1975.
3. Авторское свидетельство СССР № 470775, кл. G02 В 17/06, 1975.

Фотографический объектив

(Авт.свид. № 664140, соавтор – Крыжановский И.И., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 12 января 1978 г.)

Изобретение относится к оптическому приборостроению и может найти применение в любительской фотосъемке, а также

в качестве зеркального объектива для внеатмосферных исследований и для зрительных труб.

Известны различные длиннофокусные зеркально-линзовые объективы [1]. Во всех этих конструкциях зеркала выполнены из стекла и требуют специальных оправ, что утяжеляет и усложняет весь объектив. Кроме того, все эти объективы имеют линзовые компенсаторы и в параллельном и в сходящемся пучках лучей, поэтому при больших фокусных 15 расстояниях конструкция получается тяжелой и довольно длинной.

Наиболее близок к предлагаемому изобретению зеркальный объектив, содержащий первое и второе вогнутые и -выпуклое асферические зеркала [2].

В этом объективе все зеркала выполнены из стекла и требуют специальных оправ, что утяжеляет и усложняет всю конструкцию, узел крепления вогнутого и выпуклого зеркал, расположенных перед главным зеркалом, получается довольно сложным.

Цель изобретения - уменьшение габаритов объектива.

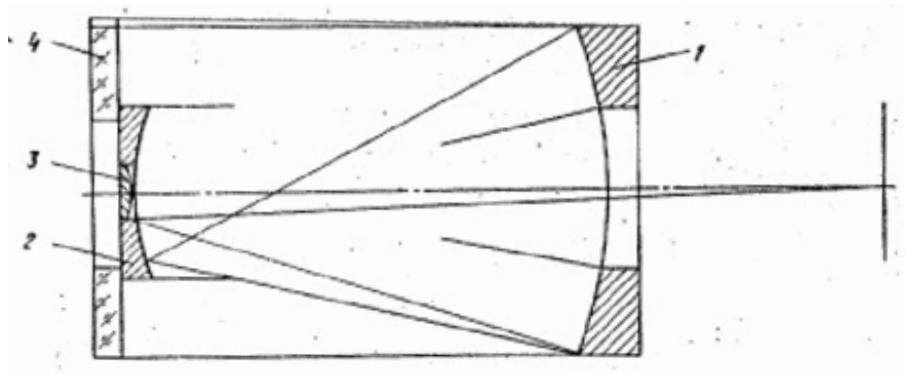
Это достигается тем, что фотографический объектив, содержащий первое и второе вогнутые и выпуклое асферические зеркала, снабжен установленной перед первым вогнутым зеркалом плоскопараллельной пластиной с центральным отверстием, на которой закреплены второе вогнутое и выпуклое зеркала.

На чертеже дана оптическая схема объектива.

Объектив содержит два вогнутых асферических зеркала 1 и 2 и одно асферическое выпуклое зеркало 3. Зеркала 2 и 3 закреплены на плоскопараллельной пластине 4.

Лучи света, отражаясь от зеркала 1, создают промежуточное изображение в его фокальной плоскости. После отражения от зеркала 2 свет снова попадает на зеркало 1, а затем на зеркало 3. Объектив дает прямое изображение. Зеркала 1-3 выполнены на металлической основе, спеченной со стеклянным слоем, толщиной порядка 0,3-0,5 мм.

Благодаря выполнению всех зеркал из металла, спеченного с тонким слоем стекла, и закреплению двух зеркал на стеклянной



плоскопараллельной пластине, которая одновременно является и защитным стеклом, получается легкий и малогабаритный объектив.

Если вся конструкция объектива выполнена из одного материала, то при работе системы в условиях значительного перепада температур не требуется установка компенсатора.

Формула изобретения

Фотографический объектив, содержащий первое и второе вогнутые и выпуклое асферические зеркала, отличающиеся тем, что, с целью уменьшения габаритов, он снабжен установленной перед первым вогнутым зеркалом плоскопараллельной пластиной с центральным отверстием, на которой закреплены второе вогнутое и выпуклое зеркала.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Новик Ф.С. и др. Киносъемочная оптика. М., Искусство, 1968, с. 201.
2. Авторское свидетельство СССР №337749, кл. G02 В 17/08, 1972.

1979 г.

Зеркальный объектив

(Авт.свид. № 838320, соавторы – Карапетян К.С., Кудрявцева В.А., Крыжановский И.И., Никитин С.М., патентообла-

датель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 19 февраля 1979 г.)

Изобретение относится к оптическому приборостроению, конкретнее к объективам, и может найти применение в сканирующих системах. Наиболее эффективным является применение этого объектива в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах спектра.

Известны зеркальные оптические системы, осуществляющие просмотр исследуемого объекта с помощью сканирующего устройства, например, системы с наклонным зеркалом перед объективом. К таким системам можно отнести и зеркальный аналог системы Шмидта [1]. Однако в этих системах размеры подвижного сканирующего элемента очень велики.

Известна также зеркальная система с внутренним сканированием, однако, в ней невозможно получить большой угол поля зрения из-за сильного виньетирования [2] .

Известный зеркальный объектив с внутренним сканированием, выбранный в качестве прототипа, состоит из первого вогнутого асферического зеркала, второго вогнутого, которое может быть как сферическим, так и асферическим, третьего выпуклого асферического зеркала и плоского, расположенного между вторым и третьим зеркалами и установленным с возможностью поворота вокруг ортогональных осей, перпендикулярных к оптической оси объектива и проходящих через центр кривизны поверхности изображения [3] .

Этот объектив в силу конструктивных особенностей из-за значительных аберраций высшего порядка не может обеспечить высокого качества изображения при больших относительных отверстиях, угол поля зрения этого объектива не более 5—6°.

Целью изобретения является улучшение качества изображения и увеличение угла поля зрения.

Достигается это за счет того, что плоское зеркало сканирующего элемента жестко скреплено с перпендикулярным к нему дополнительным плоским зеркалом и установлено с возможностью возвратно-поступательного перемещения перпендикулярно

к оптической оси, а второе и третье зеркало объектива выполнены выпуклым и вогнутым соответственно.

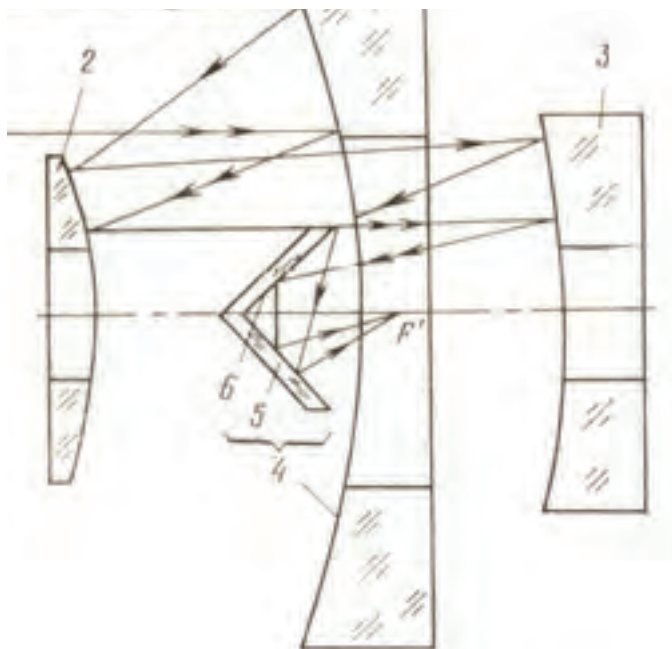
Конструкция объектива с выпуклым асферическим вторым зеркалом, вогнутым третьим и перемещающимся зеркальным блоком имеет небольшие aberrации высших порядков и уменьшенное виньентирование, что позволяет обеспечить высокое качество изображения и увеличить угол поля зрения.

На чертеже показана оптическая схема объектива.

Оптическая схема объектива состоит из асферического вогнутого зеркала 1, гиперболического выпуклого зеркала 2, сферического вогнутого зеркала 3 и сканирующего блока 4 перпендикулярно к оптической оси, выполненного в виде двух жестко соединенных и взаимноперпендикулярных плоских зеркал 5 и 6.

Формула изобретения

Зеркальный объектив, содержащий два вогнутых и одно выпуклое зеркало и сканирующий элемент в виде плоского зеркала, отличающийся тем, что, с целью улучшения качества



изображения и увеличения поля зрения, плоское зеркало сканирующего элемента жестко скреплено с перпендикулярным к нему дополнительным плоским зеркалом и установлено с возможностью возвратно-поступательного перемещения перпендикулярно к оптической оси, а второе и третье зеркало объектива выполнены выпуклыми и вогнутыми соответственно.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Чуриловский В.Н. Зеркальные объективы, основанные на применении планоидных зеркал. – Л., Известия вузов «Приборостроение», 1959, № 2.
2. Авторское свидетельство СССР № 492842, кл. G 02B 17/08? 1974.
3. Авторское свидетельство СССР № 472319, кл. G 02B, 1973 (прототип).

Фурье-спектрометр

(Авт.свид. № 838320, соавторы – Станский Л.И., Крыжановский И.И., Горбунов Г.Г., Джарамян А.Л., Нерсисян Э.Б., Едигарян Ю.А., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет полезной модели – 25 июня 1979 г.)

Изобретение относится к технической физике, предназначено для определения спектральных характеристик излучения, и может найти применение при проведении научных исследований, связанных со спектральным анализом.

Известен Фурье-спектрометр, содержащий линзовый входной объектив, интерференционный модулятор и линзовый выходной объектив [1].

Недостатком этого Фурье-спектрометра является узкий спектральный диапазон его использования, обусловленный ограниченной спектральной полосой пропускания линзовых объективов.

Наиболее близким к изобретению является Фурье-спектрометр, содержащий расположенные последовательно входной параболический зеркальный объектив, интерферен-

ционный модулятор и выходной параболический зеркальный объектив [2].

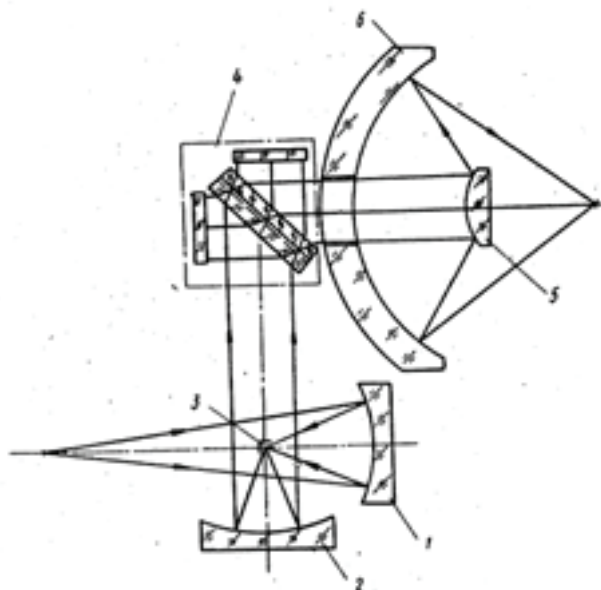
Недостатком известного Фурье-спектрометра является сравнительно низкая точность измерений при увеличении светосилы прибора, обусловленная внеосевыми абберациями параболических объективов.

Цель изобретения – повышение точности измерений.

Цель достигается тем, что входной объектив выполнен в виде двух вогнутых зеркал и плоского зеркала, установленного в вершине угла, образованного пересечением оптических осей вогнутых зеркал, перпендикулярно его биссектрисе, а выходной объектив выполнен в виде выпуклого сферического зеркала и установленного концентрично ему вогнутого сферического зеркала с отверстием.

На чертеже представлена функциональная схема Фурье-спектрометра.

Фурье-спектрометр содержит установленные последовательно входной объектив, включающий два вогнутых зеркала 1 и 2 и плоское зеркало 3, интерференционный модулятор 4 и выходной объектив, включающий выпуклое сферическое зеркало



5 и вогнутое сферическое зеркало 6. Плоское зеркало 3 установлено в вершине угла, образованного пересечением оптических осей вогнутых зеркал 1 и 2 перпендикулярно его биссектрисе и служит для излома оптической оси устройства.

Вогнутое сферическое зеркало 6 имеет отверстие и установлено концентрично выпуклому сферическому зеркалу 5, за счет чего в выходном объективе исправлены сферическая аберрация, кома и астигматизм, а неисправленной остается только кривизна изображения.

Выполнение входного объектива в виде системы двух вогнутых зеркал 1 и 2 позволяет осуществить в нем апланатическую коррекцию за счет деформации одного из зеркал 1 и 2, а также компенсировать кривизну изображения выходного объектива. Вогнутое зеркало 1 может быть эллиптическим, тогда вогнутое зеркало 2 – сферическое. Если вогнутое зеркало 1 сферическое, то вогнутое зеркало 2 должно быть гиперболическим.

Фурье-спектрометр работает следующим образом.

Исследуемое излучение коллимируется входным объективом, состоящим из вогнутых зеркал 1 и 2 и плоского зеркала 3, проходит интерференционный модулятор 4 и фиксируется выходным объективом, состоящим из выпуклого сферического и вогнутого сферического зеркал 5 и 6 на фотоприемник (на чертеже не показан). Получаемое изображение свободно от аберраций в широком поле зрения.

Таким образом, выполнение объективов Фурье-спектрометра двухзеркальными увеличивает точность измерений за счет коррекции внеосевых аберраций формирующей оптики.

Формула изобретения

Фурье-спектрометр, содержащий расположенные последовательно входной параболический зеркальный объектив, интерференционный модулятор и выходной параболический зеркальный объектив, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерений, входной объектив выполнен в виде двух вогнутых зеркал и плоского зеркала, установленного

в вершине угла, образованного пересечением оптических осей вогнутых зеркал, перпендикулярно его биссектрисе, а выходной объектив выполнен в виде выпуклого сферического зеркала и установленного концентрично ему вогнутого сферического зеркала с отверстием.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе

1. Мертц Л. Интегральные преобразования в оптике. М., «Мир», 1969, с. 91.

2. Федотов Г.И. и др. Лабораторные оптические приборы. М., «Машиностроение», 1979, с. 431-432 (прототип)

1981 г.

Зеркально-линзовый объектив

(Авт.свид. № 1016756, соавторы – Русинов М.И., Иванов П.Д., Макеев П.Н., Аванесов Г.А., Костенко В.И., Тарнопольский В.И., патентообладатель – Ленинградский институт точной механики и оптики и Институт космических исследований АН СССР, приоритет полезной модели – 6 ноября 1981 г.)

Зеркально-линзовый объектив, содержащий два сферических зеркала, одно из которых вогнутое, а второе выпуклое, и компенсатор, состоящий из двух компонентов, установленных после второго зеркала, первый из которых состоит из отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к объекту, а положительного мениска, обращенного вогнутостью к изображению, а второй - из отрицательного мениска и положительной линзы, причем все линзы выполнены из одной марки стекла, отличающийся тем, что целью улучшения коррекции хроматических аберраций в широкой области спектра, первый компонент выполнен положительным, второй - отрицательным, а эквивалент оптическая сила компенсатора отрицательная, причем мениск второго компонента обращен вогнутостью к изображению, а противоположная линза выполнена двояковыпуклой.

Изобретение относится к оптическому приборостроению, а именно к зеркально-линзовым объективам, и может найти применение в системах, работающих в широкой области спектра

и создающих изображение на нескольких приемниках.

Известен зеркально-линзовый объектив, содержащий два зеркала и линзовый компенсатор, установленный в сходящемся пучке лучей. Объектив исправлен на сферическую абберацию, кому, астигматизм и кривизну изображения [1].

Однако одна из поверхностей зеркал асферическая, что усложняет изготовление данного объектива.

Известен зеркально-линзовый объектив, содержащий зеркало и двухкомпонентный линзовый компенсатор [2].

Этот объектив имеет высокое качество изображения, однако его задний отрезок очень мал, что не позволяет после него установить призму-куб для получения нескольких изображений.

Известен зеркально-линзовый объектив, содержащий два сферических зеркала, одно из которых вогнутое, а второе выпуклое, и компенсатор, состоящий из двух афокальных компонентов, установленных после второго зеркала, первый из которых состоит из отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к объекту, и положительного мениска, обращенного вогнутостью к изображению, а второй - из отрицательного мениска и положительной линзы [3].

Известный объектив при работе в широкой спектральной области имеет ощутимый хроматизм увеличения, который еще больше возрастает при введении призмы-куба. Известная рекомендация устранения хроматизма увеличивается за счет подбора толщины линз и воздушных промежутков ведет к отрицательным толщинам. Таким образом, устранение хроматизма увеличения за счет введения толщины линз возможно лишь при нарушении афокальности второго компонента, что ведет в свою очередь к возникновению хроматизма положения, который может быть устранен нарушением афокальности первого компонента.

Цель изобретения - коррекция хроматических аббераций в широкой области спектра.

Поставленная цель достигается тем, что в зеркально-линзовом объективе, содержащем два сферических зеркала, одно из которых вогнутое, а второе выпуклое, и компенсатор,

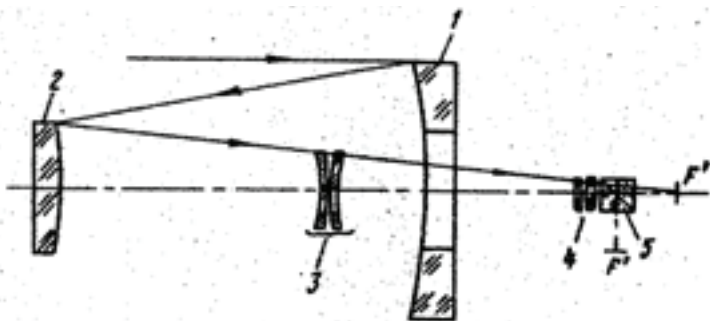
состоящий из двух компонентов, установленных после второго зеркала, первый из которых состоит из отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к объекту, и положительного мениска, обращенного вогнутостью к изображению, а второй - из отрицательного мениска и положительной линзы, причем все линзы выполнены из одной марки-стекла, первый компонент выполнен положительным, второй - отрицательным, а эквивалентная оптическая сила компенсатора отрицательная, причем мениск второго компонента обращен вогнутостью к изображению, а положительная линза выполнена двояковыпуклой.

На чертеже представлена принципиальная оптическая схема объектива.

Объектив состоит из вогнутого 1 и выпуклого 2 сферических зеркал и двухкомпонентного компенсатора 3 и 4, первый из которых состоит из отрицательного и положительного менисков, а второй - из отрицательного мениска и двояковыпуклой линзы, и призмы-куба 5.

По сравнению с объективом МТО-1000, который принят за базовый, предлагаемый, объектив имеет более высокое относительное отверстие, улучшенное качество изображения в широкой области спектра, и может работать с несколькими приемниками. Кроме того, базовый объектив по сравнению с предлагаемым имеет большой вес.

1. Слюсарев Г.Г. Методы расчета оптическим систем. Л., «Машиностроение», 1975, .с. 340-341.
2. Авторское свидетельство СССР № 723481, кл. G 02 в 17/08, 1978.



3. Чуриловский В. И. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. Л., «Машиностроение», 1968, с. 255 (прототип).

1992 г.

Зеркально-линзовый объектив

(Авт.свид. № 2003146, соавтор – Демидов Н.В., патентообладатель – Институт точной механики и оптики г. Санкт-Петербурга, приоритет полезной модели – 7 апреля 1992 г.)

Использование: в оптическом приборостроении, в частности в оптико-электронных системах, работающих в широкой спектральной области, для формирования изображения на выпуклой светочувствительной поверхности фотоприемника. Сущность изобретения: зеркально-линзовый объектив содержит афокальный из положительной и отрицательной линз компенсатор, вогнутое и плоское зеркала и близфокальный отрицательный компенсатор. Положительная линза афокального компенсатора выполнена двояковыпуклой, отрицательная – в виде мениска, обращенного вогнутостью к пространству предметов, близфокальный компенсатор выполнен в виде отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к пространству изображений и двояковогнутой линзы. На второй поверхности двояковогнутой линзы нанесен светочувствительный слой.

Изобретение относится к оптическому приборостроению, а конкретно к зеркальнолинзовым объективам, и может найти применение в оптико-электронных системах, работающих в широкой спектральной области, для формирования изображения на выпуклой светочувствительной поверхности фотоприемника; например, на фотокатоде ЭОПа.

Известны различные конструкции светосильных и широкоугольных зеркально-линзовых систем, содержащих линзовые элементы в параллельном и сходящемся пучках лучей. Однако все они являются достаточно сложными и имеют плоскую поверхность изображения, что приводит при работе с ЭОПом, имеющим фотокатод, к значительному ухудшению качества

изображения на краю поля.

Известен также зеркально-линзовый объектив с положительной кривизной пространства изображения, предназначенный для получения изображения на сферическом катоде ЭОПа. Однако он не позволяет получить изображение на поверхности, радиус которой в несколько раз (например, в 4 раза) меньше f' объектива. С другой стороны, мениск в близфокальном компенсаторе, обращенный выпуклостью к изображению, вносит значительный хроматизм увеличения, поэтому применять этот объектив для широкой спектральной области невозможно.

Известный фотографический объектив, выбранный авторами в качестве прототипа содержит компенсатор, состоящий из двояковыпуклой линзы и отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к предмету, вогнутое и плоское зеркала и второй двухлинзовый компенсатор. Этот объектив является фотографическим и создает изображение на плоской поверхности. При работе с ЭОПом, имеющим выпуклый фотокатод, качество изображения по полю а значительно ухудшается.

Решается задача устранения указанного недостатка и создания объектива с хорошим качеством изображения в широком спектральном диапазоне на выпуклой поверхности фотокатода ЭОПа, радиус которой в несколько раз меньше f' объектива.

Это достигается тем, что зеркально-линзовый объектив содержит афокальный компенсатор, выполненный из двояковыпуклой линзы и отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к предмету, вогнутое и плоское зеркала и близфокальный двухлинзовый компенсатор, имеющий отрицательную оптическую силу, выполненный в виде отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к изображению, и двояковогнутой линзы. Двояковогнутая линза может являться деталью фотокатода и изображение создается на второй ее поверхности, на которую нанесен фоточувствительный слой. Совокупность существенных признаков, которыми обладает заявленный объектив, позволяет по сравнению с прототипом обеспечить высокое качество изображения в широком спектральном диапазоне на выпуклой сферической поверхности фотокатода ЭПОа,

радиус кривизны которой в несколько раз меньше фокусного расстояния объектива, а такая форма фотокатода дает возможность существенно повысить разрешение ЭОПа и всей оптико-электронной системы в целом.

На фиг. 1 приведена оптическая схема объектива ; на фиг. 2 – графики aberrаций.

Оптическая схема объектива состоит из последовательно расположенных по ходу лучей афокального компенсатора, содержащего положительную линзу 1 и отрицательную 2, сферического зеркала 3, плоского зеркала 4, отрицательного компенсатора, содержащего отрицательный мениск 5 и двояковогнутую линзу 6.

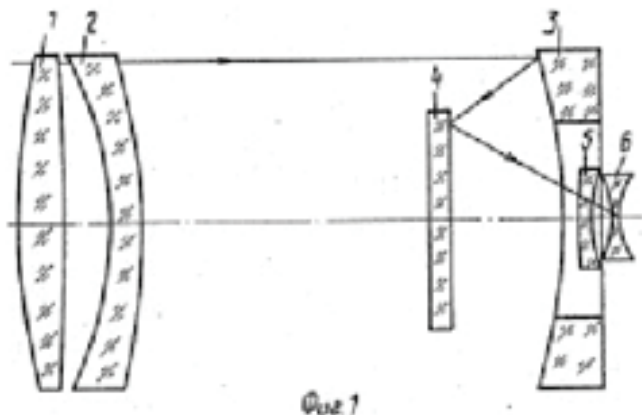
Объектив ахроматизован для диапазона 0,23 - 0,32 мкм.

Радиус кривизны поверхности изображения 17,5 мм.

Компенсатор в параллельном пучке лучей выполнен из одного и того же материала, а близфокальный компенсатор может быть выполнен как из одного материала, так и из разных.

Изображение формируется на выпуклой поверхности, расположенной вблизи второй поверхности линзы 6. В рассчитанном объективе поверхность изображения совпадает со второй поверхностью двояковогнутой линзы. Если линза 6 является деталью ЭОПа, то изображение формируется на светочувствительном слое, который наносится на вторую поверхность линзы 6.

В предлагаемом объективе диаметр кружка рассеяния на краю поля примерно в 7 раз меньше, чем в прототипе.



Патент США М 4666259, кл. G 02 В 17/08, 1987.

Авторское свидетельство СССР N 417759, кл. G 02 В 17/08, 1970.

Авторское свидетельство СССР N 73168, кл. G 02 В 17/08, 1948.

Формула изобретения

1. Зеркально-линзовый объектив, содержащий афокальный компенсатор, выполненный из двояковыпуклой линзы и отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к предмету, вогнутое и плоское зеркала и близфокальный двухлинзовый компенсатор, отличающийся тем, что близфокальный компенсатор имеет отрицательную оптическую силу и выполнен в виде отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к изображению, и двояковогнутой линзы.
2. Объектив по п.1. отличающийся тем, что на второй поверхности двояковогнутой линзы нанесен фоточувствительный слой.

2013 г.

Трехканальная зеркально-линзовая оптическая система

(Патент на полезную модель № 136198, соавторы – Попова И.В., Гаршин А.С., Курнель Г.И., Егорова М.Г., патентообладатель – ОАО «ГИРООПТИКА», приоритет полезной модели – 27 июня 2013 г.)

Полезная модель относится к области оптико-электронного приборостроения, в частности, к многоканальным оптико-электронным системам и может быть использована в тепловизионных приборах. Трехканальная зеркально-линзовая оптическая система содержит зеркальный объектив, включающий главное вогнутое асферическое зеркало и вторичное выпуклое асферическое зеркало, линзовый компенсатор для видимого или ближнего ИК диапазона, первый спектроделитель, линзу-коллектив, общий объектив для среднего и дальнего ИК диапазона, формирующий параллельный пучок лучей, второй спектроделитель, объективы среднего и дальнего ИК каналов,

приемник видимого или ближнего ИК диапазона, приемники среднего и дальнего ИК диапазона с охлаждаемыми диафрагмами. Технические результаты: получение изображения на трех приемниках одновременно, увеличение светосилы, получение качества изображения, близкого к дифракционному, уменьшение количества линз, получение возможности работы с охлаждаемым приемником в дальнем ИК диапазоне. 5 з.п. ф-лы, 1 ил.

Полезная модель относится к области оптико-электронного приборостроения, в частности, к многоспектральным оптико-электронным системам, и может быть использована в тепловизионных приборах.

Известен многоспектральный объектив [Лебедев О.А., Сабинин В.Е., Солк С.В. Крупногабаритный многоспектральный объектив. Оптический журнал, т. 78, № 11, 2011 г., с. 24-27], содержащий главное вогнутое асферическое зеркало, вторичное выпуклое асферическое зеркало, линзовый компенсатор, приемник излучения. Объектив может работать в диапазоне 0.4-10 мкм.

Признаки аналога совпадают со следующими признаками полезной модели: объектив содержит главное вогнутое и вторичное выпуклое асферические зеркала, линзовый компенсатор и может работать в видимом диапазоне, а также ближнем, среднем и дальнем инфракрасном (ИК) диапазонах.

К недостаткам известного аналога можно отнести следующее: во-первых, невозможно получить изображения одновременно на нескольких приемниках, во-вторых, невозможно работать с охлаждаемыми приемниками ИК излучения.

Другим аналогом может служить многоспектральная оптическая система [Патент ЕР 1862837 В1, опубл. 08.08.2012], содержащая главное вогнутое асферическое зеркало, вторичное выпуклое асферическое зеркало, двухлинзовый компенсатор, общий объектив, спектроделитель в виде наклонной плоскопараллельной пластинки, приемники изображения.

Признаки данного аналога совпадают со следующими характеристиками полезной модели: оптическая система содержит главное вогнутое и вторичное выпуклое асферические зеркала,

общий объектив, спектроделитель и три приемника изображения. В качестве спектроделителя использована наклонная плоскопараллельная пластина.

К недостаткам можно отнести следующее: во-первых, оптическая система не может одновременно создавать изображения на трех приемниках (работает либо приемник видимой или ближней ИК области спектра, либо два приемника: средней и дальней ИК областей спектра), во-вторых, спектроделитель размещен в сходящемся пучке лучей и вносит aberrации, которые сложно исправить.

Наиболее близким аналогом к предлагаемой полезной модели по совокупности существенных признаков является многоспектральная зеркально-линзовая оптическая система [United States Patent № 5,841,574 от Nov.24, 1998 г.], содержащая главное вогнутое асферическое зеркало, вторичное выпуклое асферическое зеркало, спектроделитель в виде наклонной плоскопараллельной пластины, установленной перед фокальной плоскостью двухзеркальной системы, децентрированный входной зрачок, использующий неэкранированную часть зеркальной системы, и оптические системы в видимом и ИК каналах. В ИК канале используется охлаждаемый приемник изображения с апертурной диафрагмой внутри приемника.

Признаки прототипа совпадают со следующими признаками предлагаемой полезной модели:

- оптическая система содержит главное вогнутое и вторичное выпуклое асферические зеркала;
- спектроделитель представляет собой наклонную плоскопараллельную пластину;
- один из каналов - средней ИК области (3-5 мкм) - содержит охлаждаемый приемник изображения.

К недостаткам прототипа можно отнести следующее:

- использование в качестве спектроделителя наклонной плоскопараллельной пластины в сходящемся пучке лучей вносит aberrации нецентрированной системы, которые не могут быть скомпенсированы aberrациями центрированной системы. Для их исправления необходим

компенсатор, у которого одна из поверхностей имеет цилиндрическую или торическую форму.

- использование наклонной плоскопараллельной пластины в качестве спектроделителя в сходящемся пучке лучей усложняет линзовую систему после спектроделителя в ИК каналах с охлаждаемыми приемниками изображения. В прототипе только в одном канале (3-5 мкм) линзовая часть содержит восемь линз, и это при относительном отверстии 1:5. В видимом канале, который работает на отражение от спектроделителя, пять линз. Всего в прототипе тринадцать линз на два канала. В предлагаемой полезной модели двенадцать линз на три канала.

Задачей полезной модели, как технического решения, является получение изображения на трех приемниках одновременно. Кроме этого, заявляемая полезная модель должна обеспечить увеличение светосилы, получение качества изображения, близкого к дифракционному, уменьшение количества линз при увеличении количества одновременно работающих каналов, а также получение возможности работы с охлаждаемыми приемниками изображения не только в среднем, но и в дальнем ИК диапазоне (8-12 мкм).

Технические результаты получены за счет того, что в трехканальную зеркально-линзовую оптическую систему, содержащую зеркальный объектив, включающий главное вогнутое асферическое зеркало и вторичное выпуклое асферическое зеркало, линзовый компенсатор зеркального объектива для видимого или ближнего инфракрасного диапазона, объектив для среднего инфракрасного диапазона, первый спектроделитель, выполненный в виде плоскопараллельной наклонной пластинки, приемник излучения видимого или ближнего инфракрасного диапазона, приемник излучения среднего инфракрасного диапазона с охлаждаемой диафрагмой может быть введен общий для среднего и дальнего инфракрасных диапазонов объектив, включающий последовательно расположенные по ходу лучей первую двояковыпуклую линзу, выпукло-вогнутую линзу, вторую двояковыпуклую линзу, и расположенный таким

образом, что его передняя фокальная плоскость совпадает с задней фокальной плоскостью зеркального объектива. Кроме этого, может быть введена линза-коллектив, расположенная в непосредственной близости перед задней фокальной плоскостью зеркального объектива. Также может быть введен второй спектроделитель, выполненный в виде плоскопараллельной пластинки и установленный между главным вогнутым и вторичным выпуклым зеркалами, перпендикулярно оптической оси. Первый спектроделитель может быть расположен после общего объектива в параллельном пучке лучей. Также может быть введен объектив для дальнего инфракрасного диапазона, установленный после первого спектроделителя и включающий последовательно расположенные по ходу лучей три одиночные линзы в форме менисков, причем первый мениск обращен к плоскости изображения выпуклой стороной, второй и третий - вогнутой. Кроме этого может быть введен приемник излучения дальнего инфракрасного диапазона с охлаждаемой диафрагмой.

При введении общего для среднего и дальнего ИК диапазонов объектива, формирующего параллельный пучок лучей, введении линзы-коллектива, введении второго спектроделителя, расположении первого спектроделителя в параллельном пучке лучей, введении объектива и приемника для дальнего ИК диапазона достигается:

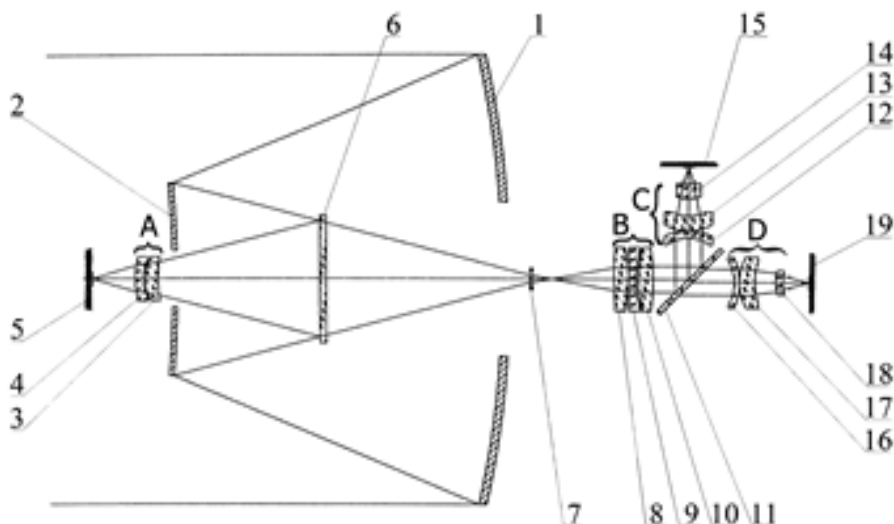
- получение изображения на трех приемниках одновременно;
- увеличение светосилы;
- получение качества изображения, близкого к дифракционному;
- уменьшение количества линз при увеличении количества одновременно работающих каналов;
- получение возможности работы с охлаждаемым приемником в дальнем ИК диапазоне.

На чертеже представлена оптическая схема трехканальной зеркально-линзовой оптической системы.

Трехканальная зеркально-линзовая оптическая система содержит следующие элементы: зеркальный объектив, включающий главное вогнутое асферическое зеркало 1 и вторичное

выпуклое зеркало 2; линзовый компенсатор А зеркального объектива для видимого или ближнего ИК диапазона, включающий положительный мениск 3 и отрицательный мениск 4, обращенные к плоскости изображения выпуклой стороной; приемник изображения 5 видимого или ближнего ИК диапазона, второй спектроделитель 6, линза-коллектив 7, общий для среднего и дальнего ИК диапазонов объектив В, включающий двояковыпуклую линзу 8, выпукло-вогнутую линзу 9 и двояковыпуклую линзу 10; первый спектроделитель 11, объектив С для среднего ИК диапазона, включающий отрицательный мениск 12, обращенный к плоскости изображения выпуклой стороной, положительный мениск 13 и отрицательный мениск 14, обращенные к плоскости изображения вогнутой стороной; приемник изображения среднего ИК диапазона 15 с охлаждаемой диафрагмой, объектив D для дальнего ИК диапазона, включающий отрицательный мениск 16, обращенный к плоскости изображения выпуклой стороной, положительный мениск 17 и отрицательный мениск 18, обращенные к плоскости изображения вогнутой стороной; приемник изображения дальнего ИК диапазона 19 с охлаждаемой диафрагмой.

Предложенная оптическая система работает следующим образом. Излучение от удаленного объекта отражается после-



довательно от главного вогнутого асферического зеркала 1 и вторичного выпуклого асферического зеркала 2 и попадает на спектроделитель 6. Отраженные от спектроделителя 6 лучи после прохождения линз 3 и 4 компенсатора А формируют изображение в плоскости приемника 5. Преломленные спектроделителем 6 лучи создают изображение в задней фокальной плоскости зеркального объектива, а затем преобразовываются в параллельные пучки с помощью линз 8, 9 и 10 общего объектива В. После полученной таким образом телескопической системы параллельные пучки лучей попадают на спектроделитель 11. Отраженные спектроделителем 11 лучи, проходя через линзы 12, 13 и 14 объектива С, формируют изображение в плоскости приемника 15. Преломленные спектроделителем 11 лучи, проходя через линзы 16, 17 и 18 объектива D, формируют изображение в плоскости приемника 19. Линза-коллектив 7 служит для согласования входного зрачка, расположенного на главном зеркале, с апертурными диафрагмами, являющимися выходными зрачками в среднем и дальнем ИК каналах.

Разработанная и предложенная заявителем трехканальная зеркально-линзовая оптическая система обладает следующими техническими характеристиками:

- | | |
|---|-----------|
| • Диаметр входного зрачка | 700 мм |
| • Угловое поле в пространстве предметов | 0.84° |
| • Относительное отверстие | 1:2 |
| • Спектральный диапазон | 1-1.8 мкм |
| | 3-5 мкм |
| | 8-12 мкм |

Таким образом, может быть осуществлена трехканальная зеркально-линзовая оптическая система.

Заявленная трехканальная зеркально-линзовая оптическая система позволяет:

- получить изображения на трех приемниках одновременно;
- увеличить светосилу;
- получить качество изображения, близкое к дифракционному;
- уменьшить количество линз при увеличении одновре-

менно работающих каналов;

- получить возможность работы с охлаждаемым приемником не только в среднем, но и в дальнем ИК диапазоне (8-12 мкм).

Трехканальная зеркально-линзовая оптическая система, содержащая зеркальный объектив, включающий главное вогнутое асферическое зеркало и вторичное выпуклое асферическое зеркало, линзовый компенсатор зеркального объектива для видимого или ближнего инфракрасного диапазона, объектив для среднего инфракрасного диапазона, первый спектроделитель, выполненный в виде наклонной плоскопараллельной пластинки, приемник излучения видимого или ближнего инфракрасного диапазона, приемник излучения среднего инфракрасного диапазона с охлаждаемой диафрагмой, отличающаяся тем, что введен общий для среднего и дальнего инфракрасных диапазонов объектив, включающий последовательно расположенные по ходу лучей первую двояковыпуклую линзу, выпукло-вогнутую линзу, вторую двояковыпуклую линзу, и расположенный таким образом, что его передняя фокальная плоскость совпадает с задней фокальной плоскостью зеркального объектива; введена линза-коллектив, расположенная в непосредственной близости перед задней фокальной плоскостью зеркального объектива; введен второй спектроделитель, выполненный в виде плоскопараллельной пластинки и установленный между главным вогнутым и вторичным выпуклым зеркалами, перпендикулярно оптической оси; первый спектроделитель расположен после общего объектива в параллельном пучке лучей; введен объектив для дальнего инфракрасного диапазона, установленный после первого спектроделителя и включающий последовательно расположенные по ходу лучей три одиночные линзы в форме менисков, причем первый мениск обращен к плоскости изображения выпуклой стороной, второй и третий - вогнутой; введен приемник излучения дальнего инфракрасного диапазона с охлаждаемой диафрагмой.

2014 г.

Теплопеленгатор-дальномер

(Патент на полезную модель № 150182, соавторы Попова И.В., Егорова М.Г., Митин В.П., Шулекин С.Ф., Николаева М.В., Гаршин А.С., Егоров Д.И., патентообладатель – ОАО «ГИРООПТИКА», приоритет полезной модели – 23 сентября 2014 г.)

Полезная модель относится к области оптико-электронного приборостроения, в частности, к многоканальным оптико-электронным системам и может быть использована в тепловизионных приборах. Теплопеленгатор-дальномер содержит зеркальный объектив, включающий главное вогнутое асферическое зеркало и вторичное выпуклое асферическое зеркало, объектив приемного канала лазерного дальномера, первый спектроделитель, линзу-коллектив, общий объектив для среднего и дальнего ИК диапазона, формирующий параллельный пучок лучей, второй спектроделитель, объективы среднего и дальнего ИК каналов, иммерсионный приемник отраженного лазерного излучения, приемники среднего и дальнего РЖ диапазона с охлаждаемыми диафрагмами. Технические результаты: повышение дальности действия лазерного дальномера, расширение функциональных возможностей теплопеленгатора. 1 ил.

Полезная модель относится к области оптико-электронного приборостроения, в частности, к многоканальным оптико-электронным системам, и может быть использована в тепловизионных приборах и оптико-электронных устройствах измерения дальности.

Известна многоспектральная зеркально-линзовая оптическая система [United States Patent № 5,841,574 от Nov. 24, 1998 г.], содержащая главное вогнутое асферическое зеркало, вторичное выпуклое асферическое зеркало, спектроделитель в виде наклонной плоскопараллельной пластины, установленной перед фокальной плоскостью двухзеркальной системы, децентрированный входной зрачок, использующий неэкранированную часть зеркальной системы, и оптические системы в видимом и

РЖ каналах. В ИК канале используется охлаждаемый приемник изображения с апертурной диафрагмой внутри приемника.

Признаки аналога совпадают со следующими признаками полезной модели: объектив содержит главное вогнутое и вторичное выпуклое асферические зеркала, спектроделитель представляет собой наклонную плоскопараллельную пластину, один из каналов — среднего ИК диапазона (3-5 мкм) - содержит охлаждаемый приемник изображения.

К недостаткам известного аналога можно отнести следующее: во-первых, использование в качестве спектроделителя плоскопараллельной пластины в сходящемся пучке лучей вносит aberrации нецентрированной системы, во-вторых, система имеет невысокую светосилу (относительное отверстие 1:5), в-третьих, система не имеет приемного канала отраженного лазерного излучения.

Другим аналогом может являться оптическая система [Патент на ПМ № 118079 Респ. Беларусь, МПК G02B 23/00 / В.В. Щановский, О.С. Завойчинская, Н.А. Черняк, Л.В. Анохина; заявитель и патентообладатель ОАО «Пеленг»], содержащая главное вогнутое асферическое зеркало, вторичное выпуклое асферическое зеркало, трехлинзовый компенсатор, три преобразователя фокусного расстояния и фотоприемники.

Признаки данного аналога совпадают со следующими характеристиками полезной модели: оптическая система содержит главное вогнутое и вторичное выпуклое асферические зеркала.

К недостаткам можно отнести следующее: во-первых, оптическая система не имеет каналов среднего и дальнего ИК диапазонов, во-вторых, система имеет невысокое значение относительного отверстия (1:1.46).

Наиболее близким аналогом к предлагаемой полезной модели по совокупности существенных признаков является трехканальная зеркально-линзовая оптическая система [Патент на ПМ № 136198 РФ, МПК G02B 17/00 / Попова И.В., Цуканова Г.И., Гаршин А.С., Курнель Г.И., Егорова М.Г.; заявитель и патентообладатель ОАО «ГИРООПТИКА»], содержащая главное вогнутое асферическое зеркало, вторичное выпуклое асфери-

ческое зеркало, первый спектроделитель в виде наклонной плоскопараллельной пластины, установленной перед фокальной плоскостью двухзеркальной системы, второй спектроделитель, выполненный в виде плоскопараллельной пластины, установленный между главным и вторичным зеркалами зеркальной системы, общий объектив для среднего и дальнего инфракрасных диапазонов, линзу коллектив и объективы среднего и дальнего ИК диапазонов. В ИК каналах используются охлаждаемые приемники изображения с апертурной диафрагмой внутри приемника.

Признаки прототипа совпадают со следующими признаками предлагаемой полезной модели:

- оптическая система содержит главное вогнутое и вторичное выпуклое асферические зеркала;
- первый спектроделитель представляет собой наклонную плоскопараллельную пластину;
- второй спектроделитель представляет собой плоскопараллельную пластину, установленную перпендикулярно оптической оси в сходящемся пучке лучей;
- каналы среднего (3-5 мкм) и дальнего (8-12 мкм) диапазонов содержат охлаждаемые приемники изображения.

К недостаткам прототипа можно отнести следующее: система не может использоваться для измерения дальности (расстояние до наблюдаемого объекта, как правило, определяется отдельным прибором - лазерным дальномером).

Задачей полезной модели, как технического решения, является расширение функциональных возможностей системы путем введения в ее состав приемного канала лазерного дальномера, с целью измерения дальности.

Технические результаты получены за счет того, что в зеркально-линзовую оптическую систему, содержащую зеркальный объектив, включающий главное вогнутое асферическое зеркало и вторичное выпуклое асферическое зеркало, линзу-коллектив, расположенную в непосредственной близости перед задней фокальной плоскостью зеркального объектива, общий объектив

для среднего и дальнего инфракрасных диапазонов, первый спектроделитель, выполненный в виде наклонной плоскопараллельной пластинки, расположенный после общего объектива в параллельном пучке лучей, объектив среднего инфракрасного диапазона, установленный после первого спектроделителя, приемник излучения среднего инфракрасного диапазона с охлаждаемой диафрагмой, объектив дальнего инфракрасного диапазона, установленный после первого спектроделителя, приемник излучения дальнего инфракрасного диапазона с охлаждаемой диафрагмой, второй спектроделитель, выполненный в виде плоскопараллельной пластинки и установленный между главным вогнутым и вторичным выпуклым зеркалами перпендикулярно оптической оси, может быть введен объектив приемного канала лазерного дальномера, установленный после второго спектроделителя и включающий последовательно расположенные по ходу лучей первую, вторую и третью одиночные линзы, причем первая и вторая одиночные линзы могут быть выполнены в виде положительных менисков, обращенных к плоскости изображения вогнутой стороной, а третья линза может быть выполнена плосковыпуклой и обращена к изображению плоской стороной. Кроме этого, может быть введен иммерсионный приемник отраженного лазерного излучения, выполненный в виде плоскопараллельной пластины, на первую поверхность которой напылен фоточувствительный слой.

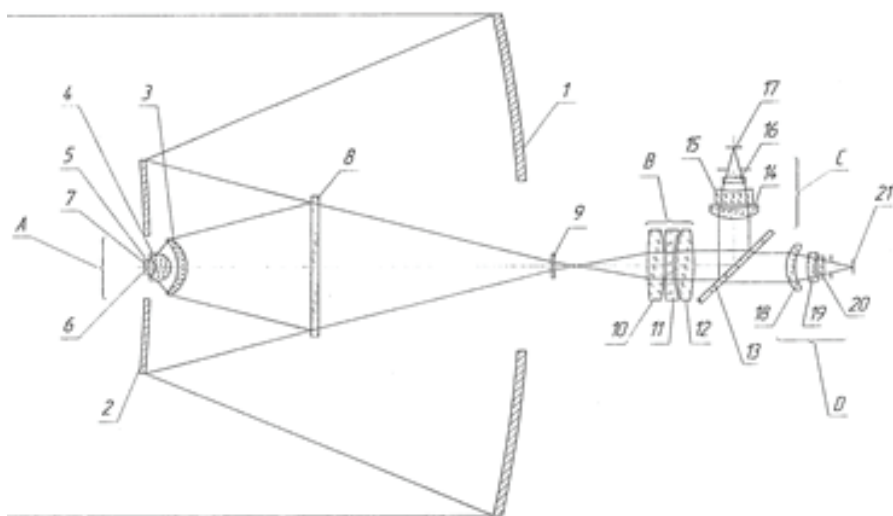
При введении объектива приемного канала лазерного дальномера и иммерсионного приемника отраженного лазерного излучения достигается не только прием отраженного лазерного излучения, но и увеличение дальности работы лазерного дальномера, за счет увеличения относительного отверстия системы.

На чертеже представлена оптическая схема тепlopеленгатора-дальномера.

Тепlopеленгатор-дальномер содержит следующие элементы: зеркальный объектив, включающий главное вогнутое асферическое зеркало 1 и вторичное выпуклое зеркало 2; линзовый объектив А приемного канала лазерного дальномера, включающий положительные мениски 3 и 4, обращенные к плоскости

изображения вогнутой стороной, и плосковыпуклую линзу 5, обращенную к изображению плоской стороной; иммерсионный приемник отраженного лазерного излучения 6, выполненный в виде плоскопараллельной пластины 7, на первую поверхность которой напылен фоточувствительный слой; второй спектроделитель 8; линзу-коллектив 9, общий для среднего и дальнего ИК диапазонов объектив В, включающий двояковыпуклую линзу 10, выпукло-вогнутую линзу 11 и двояковыпуклую линзу 12; первый спектроделитель 13, объектив С для среднего ИК диапазона, включающий положительный мениск 14 и отрицательный мениск 15, обращенные к плоскости изображения вогнутой стороной, и положительный мениск 16, обращенный к плоскости изображения выпуклой стороной; приемник изображения среднего ИК диапазона 17 с охлаждаемой диафрагмой, объектив D для дальнего ИК диапазона, включающий положительный мениск 18, отрицательный мениск 19 и положительный мениск 20, обращенные к плоскости изображения вогнутой стороной; приемник изображения дальнего ИК диапазона 21 с охлаждаемой диафрагмой.

Предложенная оптическая система работает следующим образом. Излучение от удаленного объекта и отраженное лазерное излучение отражаются последовательно от главного



вогнутого асферического зеркала 1 и вторичного выпуклого асферического зеркала 2 и попадают на второй спектроделитель 8. Отраженное от спектроделителя 8 лазерное излучение после прохождения линз 3, 4 и 5 объектива А формируют изображение в плоскости приемника 6. Преломленные вторым спектроделителем 8 лучи создают изображение в задней фокальной плоскости зеркального объектива, а затем преобразовываются в параллельные пучки с помощью линз 10, 11 и 12 общего объектива В. После полученной таким образом телескопической системы параллельные пучки лучей попадают на первый спектроделитель 13. Отраженные спектроделителем 13 лучи, проходя через линзы 14, 15 и 16 объектива С, формируют изображение в плоскости приемника 17. Преломленные спектроделителем 13 лучи, проходя через линзы 18, 19 и 20 объектива D, формируют изображение в плоскости приемника 21. Линза-коллектив 9 служит для согласования входного зрачка, расположенного на главном зеркале, с апертурными диафрагмами, являющимися выходными зрачками в среднем и дальнем ИК каналах.

Разработанный и предложенный заявителем тепlopеленгатор-дальномер обладает следующими техническими характеристиками:

Характеристики двухспектрального тепlopеленгатора

- Диаметр входного зрачка 700 мм
- Угловое поле в пространстве предметов 0.84°
- Относительное отверстие 1:2
- Спектральный диапазон 3-5 мкм
8-12 мкм

Характеристики приемного канала лазерного дальномера

- Диаметр входного зрачка 700 мм
- Относительное отверстие 1:0.21
- Угловое поле в пространстве предметов 10
- Диаметр площадки приемника 0.5 мм
- Концентрация энергии на площадке приемника >90%
- Рабочая длина волны 1.06 мкм

Таким образом, может быть осуществлен тепlopеленгатор-дальномер.

Заявленная конструкция тепlopеленгатора-дальномера позволяет:

- повысить дальность действия лазерного дальномера;
- расширить область применения устройства.

Тепlopеленгатор-дальномер, содержащий зеркальный объектив, включающий главное вогнутое асферическое зеркало и вторичное выпуклое асферическое зеркало, линзу-коллектив, расположенную в непосредственной близости перед задней фокальной плоскостью зеркального объектива, общий объектив для среднего и дальнего инфракрасных диапазонов, первый спектроделитель, выполненный в виде наклонной плоскопараллельной пластинки, расположенный после общего объектива в параллельном пучке лучей, объектив среднего инфракрасного диапазона, установленный после первого спектроделителя, приёмник излучения среднего инфракрасного диапазона с охлаждаемой диафрагмой, объектив дальнего инфракрасного диапазона, установленный после первого спектроделителя, приёмник излучения дальнего инфракрасного диапазона с охлаждаемой диафрагмой, второй спектроделитель, выполненный в виде плоскопараллельной пластинки и установленный между главным вогнутым и вторичным выпуклым зеркалами, перпендикулярно оптической оси, отличающийся тем, что введён объектив приёмного канала лазерного дальномера, установленный после второго спектроделителя и включающий последовательно расположенные по ходу лучей первую, вторую и третью одиночные линзы, причём первая и вторая одиночные линзы выполнены в виде положительных менисков, обращенных к плоскости изображения вогнутой стороной, а третья линза выполнена плосковыпуклой и обращена к изображению плоской стороной; введён иммерсионный приёмник отражённого лазерного излучения, выполненный в виде плоскопараллельной пластины, на первую поверхность которой напылён фоточувствительный слой.

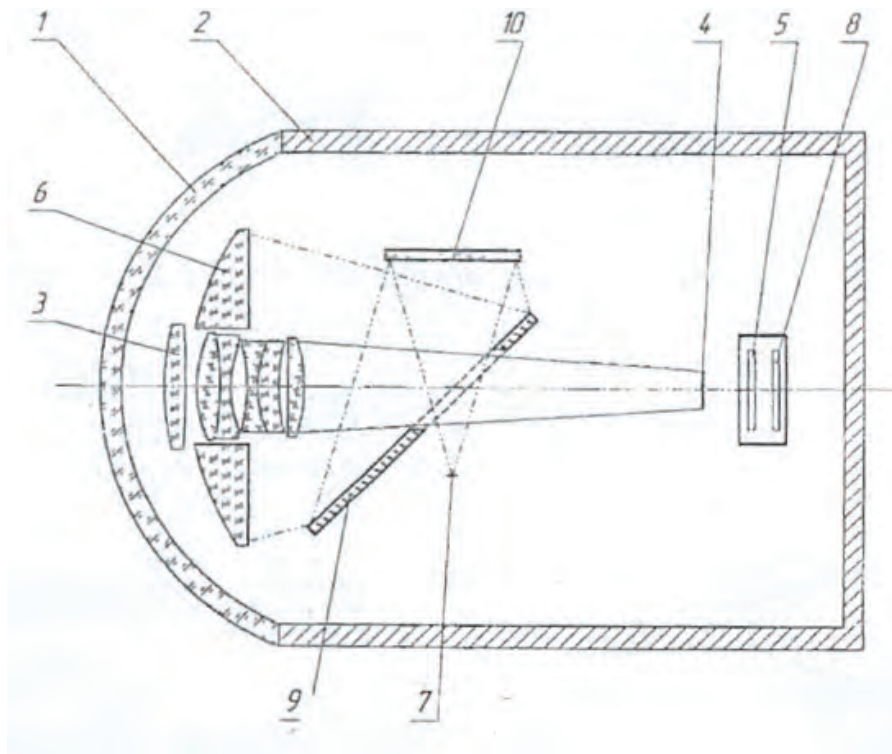
2015 г.

Оптико-электронный модуль

(Патент на полезную модель № 159107, соавторы – Попова Ирина Валерьевна, Егорова Марина Германовна, Цуканова Галина Ивановна, Мишин Владимир Павлович, Шулекин Сергей Федорович, Николаева Марина Викторовна, Гаршин Алексей Сергеевич, Егоров Дмитрий Игоревич, патентообладатель Министерство Обороны РФ (Российская Федерация), приоритет полезной модели – 31 августа 2015 г.)

Формула полезной модели

1. Оптико-электронный модуль, содержащий входное окно, корпус, в котором размещены телевизионная камера, включающая телевизионный объектив, фотоприемную матрицу и плату формирования видеосигнала, лазерный дальномер, включающий приёмный объектив, фотопри-



емник и плату обработки информации, отличающийся тем, что в центральной части приёмного объектива лазерного дальномера выполнено сквозное отверстие, в котором размещён телевизионный объектив: введено первое плоское зеркало, расположенное в корпусе под углом 45° к главной оптической оси, в центральной части которого выполнено сквозное отверстие; введено второе плоское зеркало, расположенное в корпусе параллельно главной оптической оси устройства: входное окно выполнено общим как для телевизионной камеры, так и для лазерного дальномера.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что оптические оси телевизионной камеры и лазерного дальномера совпадают с главной оптической осью устройства.

Часть третья. СИМФОНΙΑ ЖИЗНИ

«... и в Советском Союзе, и в нынешней России спутники Земли смотрят на Землю глазами Галины Ивановны»

Краткая биография

Галина Ивановна Цуканова (Тихомирова) родилась 26 февраля 1942 года в деревне Мануйлово Калининской области.

Отец — Иван Арсеньевич Тихомиров (1907 – 1981), жил и работал слесарем в дер. Мануйлово Калининской области, в качестве рядового участвовал в Великой Отечественной войне.

Мать — Александра Васильевна Бабаева (1903 – 1955), жила и работала директором магазина в дер. Мануйлово Калининской области.

В 1955 году Г.И. Тихомирова после смерти матери переехала в г. Ленинград к тете Клавдии Васильевне Яковлевой. В 1959 году закончила школу № 80. За отличную учебу в школе Галина Тихомирова была премирована путевкой в детский лагерь «Артек». В 1959 году поступила в Ленинградский институт точной механики и оптики.



*Сестры: Галина Тихомирова
(справа) и Галина Голубова,
г. Ленинград, 1959 год*



*Тихомирова Г.И.
Из альбома выпускника ЛИТМО,
г. Ленинград, 1965 год*

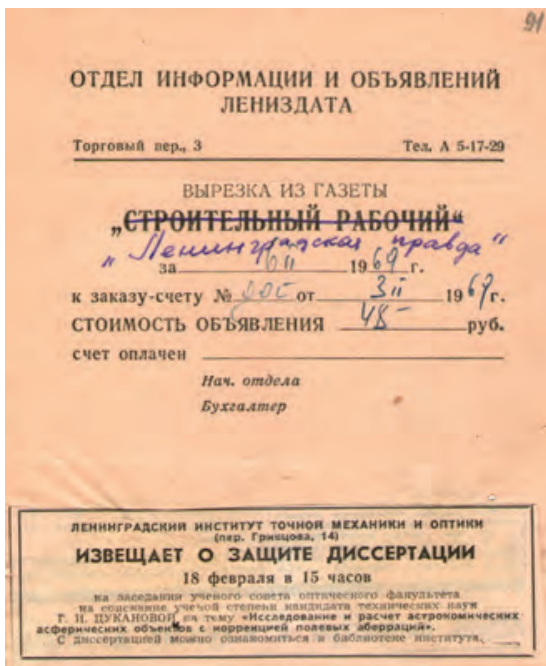


*Фотография Галины Тихомировой
в газете «Кадры приборостроению» от 16 июня 1963 года*

Г.И. Тихомирова окончила ЛИТМО в 1965 году по специальности «Оптические приборы», получив диплом с отличием. Во время обучения в институте являлась Ленинской стипендиаткой.

В 1967 году Галина Ивановна вышла замуж за Анатолия Анатольевича Цуканова, выпускника ЛИТМО 1963 г.

В 1968 году после окончания аспирантуры Г.И. Цуканова была зачислена на должность инженера кафедры оптико-механических приборов. В 1969 году ею была защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Исследование и расчет астрономических асферических объективов с коррекцией полевых аберраций», научный руководитель — д.т.н., профессор В. Н. Чуриловский, Г.И. Цуканова на протяжении многих лет работала в ЛИТМО на кафедре теории оптических приборов под руководством профессора М.М. Русинова: инженер НИЧ (1968-70), старший научный сотрудник НИЧ (1970-72), доцент кафедры Теории оптических приборов (с 1972 года; с 1996 года — кафедры Прикладной и компьютерной оптики).



*Вырезка из газеты «Ленинградская правда»
от 6 февраля 1969 года: извещение о защите
диссертации Г.И. Цукановой*

В течение ряда лет Г.И. Цуканова была председателем профбюро и членом партбюро Оптического Факультета. С 1978 по 1980 год работала заместителем секретаря парткома института, а затем парторгом кафедры.

В 1971 – 1972 годах прошла научную стажировку в ГДР в Высшей технической школе города Ильменау.

Г.И. Цуканова была награждена нагрудным значком «За отличные успехи в работе», а также знаками «Победитель социалистических соревнований», «Ударник одиннадцатой пятилетки», дипломом Минвуза СССР «За лучшую научную работу».

В 1985 году награждена медалью С.П. Королева.

Галина Ивановна внесла существенный вклад в разработки международного космического проекта «Вега», возглавив творческую группу сотрудников ЛИТМО, перед которой была



*Доцент кафедры ПиКО Галина Ивановна Цуканова
на празднике «Просвящение в студенты» факультета оптико-информационных систем и технологий 1 сентября 2002 года*



*Г.И. Цуканова зачитывает оценки за защиту магистерских диссертаций
студентам кафедры ПиКО. Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 2011 год*



*Преподаватели кафедры ПиКО Н.Д. Толстоба и Г.И. Цуканова. на вручении документов первокурсникам 1 сентября 2011 года.
Университет ИТМО, Санкт-Петербург*



*Государственная экзаменационная комиссия кафедры ПиКо
(Г.И. Цуканова - слева в I ряду). Университет ИТМО, 2011 год*

«Посланцы» НИУ ИТМО в космосе

НЕБЕСНЫЙ УТИЛЬ Сонет

Летит глуп в небе, зная, летит,
И как, зная, и как сонет.
Он летит, он летит, он летит,
Как бы былого в небе море лет!

Мне жаль бездельника и шута,
Вот он, который кружит (а бегит)
Иногда, разлетаясь в угол,
Который в деле приключения лет.

Земля, утиль, утиль, утиль,
Вот он, он, он, он, он, он, он, он,
И напарнику, напарнику, напарнику,
И напарнику, напарнику, напарнику.

Какой же так в небе, утиль,
Утиль, утиль, утиль, утиль,
Он - в космосе, в космосе, в космосе,
Он - в космосе, в космосе, в космосе!

1987 год
В. И. ЧЕРНЫШОВСКИЙ,
профессор ИТМО



В 1985-86 годах был осуществлен международный космический проект «Спейс».
Он был выполнен в рамках системы, которая позволяла впервые увидеть космос в цвете, были разработаны и ИТМО при участии академика Леонидова в Государственной академии СССР, исследовании летательных аппаратов и космоса. Профессор Чернышровский, профессор Митинский, профессор Рудневский.



1987 год. Академик Леонидов (1-й слева) и другие члены группы, участвовавшие в проекте «Спейс».
Проф. Чернышровский (2-й слева), проф. Митинский (3-й слева), проф. Рудневский (4-й слева), проф. Чирков (5-й слева), проф. Леонидов (6-й слева), проф. Чернышровский (7-й слева), проф. Митинский (8-й слева), проф. Рудневский (9-й слева), проф. Чирков (10-й слева).



В рамках международного проекта «Спейс» в космосе, осуществленного в рамках системы, которая позволяла впервые увидеть космос в цвете, были разработаны и ИТМО при участии академика Леонидова в Государственной академии СССР, исследовании летательных аппаратов и космоса. Профессор Чернышровский, профессор Митинский, профессор Рудневский.

В рамках ИТМО, осуществленного в рамках системы, которая позволяла впервые увидеть космос в цвете, были разработаны и ИТМО при участии академика Леонидова в Государственной академии СССР, исследовании летательных аппаратов и космоса. Профессор Чернышровский, профессор Митинский, профессор Рудневский.

Спутник Марса - Фобос



Фобос - спутник Марса, открытый в 1878 году. Он является вторым по размеру спутником Марса. Его диаметр составляет около 22 км. Фобос вращается вокруг Марса за 7 часов 39 минут. Он находится на расстоянии около 9 378 км от поверхности Марса.



Модель спутника Марса - Фобоса. Фото: ИТМО.



Модель спутника Марса - Фобоса. Фото: ИТМО.

Плакат, посвященный 50-летию первого полета человека в космос. Университет ИТМО, 2011 год



Г.И. Цуканова в день своего 70-ти летия, февраль 2012 года



Награждение Г. И. Цукановой на Ученом Совете Университета ИТМО, 2014 год



Г.И. Цуканова выступает с докладом «Оптические системы в астрономии» на пленарном заседании Международного оптического семинара OS-2014, 19 мая 2014 года, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия



*Фотография на память, сотрудники кафедры ПиКО:
Сидят (слева направо): доценты Т.И. Иванова, Г.И. Цуканова и
Н.Д. Толстоба; стоят: доценты А.В. Белозубов и В.М. Домненко,
профессор А.А. Шехонин, доцент А.В. Бахолдин*

поставлена задача создания оптической аппаратуры космического корабля. За участие в проекте награждена Государственной премией СССР (1986 г.). С помощью аппаратуры, созданной творческой группой под руководством Галины Ивановны, были созданы уникальные снимки кометы Галлея.

Г.И. Цуканова — автор создания зеркально-линзового объектива.

В 2003 году награждена нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», в 2004 году медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга».

Г.И. Цуканова работала в должности главного специалиста с 2007 по 2012 год в филиале ОАО «ПО УОМЗ» «Урал-ГОИ» (Уральский Оптико-Механический Завод, занимается разработкой оптико-электронных приборов и комплексов для оборонных задач), с 2013 по 2014 год - в АО «ГИРООПТИКА». Галина Ивановна занималась расчётами оптических систем для многоспектральных оптико-электронных систем (пеленгации, обнаружения, распознавания и сопровождения). Принимала участие в 13 опытно-конструкторских и научно-исследовательских работах, стала соавтором 2-х патентов.

Супруг Г.И. Цукановой – Анатолий Анатольевич Цуканов (1938 – 2004), родился в г. Ленинграде в семье капитан-лейтенанта, в 1955 году поступил в военное училище им. Макарова в г. Севастополь, в 1958 году перевелся в Ленинградский институт точной механики и оптики и окончил его в 1963 году по специальности «Приборы точной механики». В 1975 году защитил кандидатскую диссертацию (к.т.н.).

В 1981 г. А.А. Цуканову присвоено ученое звание доцента по кафедре Оптических приборов. С 1978 года по 2004 год - доцент кафедры Теории оптических систем (Прикладной и компьютерной оптики). А.А. Цуканов - известный специалист в области высокоскоростной киносъемки и оптических приборов.

Дочь – Ольга Анатольевна Цуканова (род. в 1980 г.) – доктор экономических наук, профессор каф. Экономики и стратегического менеджмента НИУ ИТМО, ученое звание - профессор.

Закончила Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики (ТУ) в 2002 г. по специальности «Информационные системы в экономике».

СТУДЕНЧЕСКИЕ ГОДЫ

Г.И. Войтченко (Фаломеева)

С Галиной Тихомировой мы жили в общежитии все годы учебы. Надо сказать, что мы были большие лентяйки по поводу приготовления пищи: ели сгущенку из дырки в баночке, пили кефир прямо из бутылки и т.п., в отличие от некоторых порядочных девиц, которые готовили обед на всю комнату.

После 2-го курса у нас с Галиной было небольшое приключение. Мы уже собирались разъезжаться на летние каникулы, как познакомились с двумя рижскими парнями (Сережа и Юра), которые приехали поступать в наш институт (ЛИТМО). Я через день уезжала к бабушке в деревню, снабдив всех своим адресом (деревенским) и дней через 15 получаю огромное на



Наша компания на 5 студенческих лет: вторая слева – Г.И. Тихомирова, вторая справа – Г.И. Фаломеева, 1963 год

7-8 страницах письмо от Галки. Это было что-то! Она всегда была довольно сдержана в проявлении своих чувств, а тут такие страсти у них с Сережей разгорелись, что был достоин самого лучшего любовного романа. Я это письмо хранила многие годы и года 2 назад по Галкиной просьбе выслала его ей.

Естественно, какое тут поступление в вуз! Они оба провалились на экзаменах. Кстати говоря, я впоследствии вышла замуж за этого Юру, и он мне тоже сказал, что они (Галки и Сережа) сразу влюбились друг в друга. Не помню уже почему, но этот страстный роман продолжения не имел.

Потом мы с Галкой после 4-го курса поехали вместе отдыхать в Сухуми на месяц. У нас там уже была знакомая хозяйка, к которой мы ездили с мамой и братом раньше. На фото члены семьи хозяйки показывают нам местные достопримечательности.

Поскольку мы были девушки молодые и симпатичные, вниманием тоже не были обделены, но без «постелей», тогда это было не принято. В Сухуми мы ездили на экскурсии, были на озере Рица и в каком-то ущелье.

После окончания ЛИТМО я с мужем Юрой уехала жить в Ригу и прожила там все советские годы. С Галей общались редко, так как у меня был принцип: хочешь переписываться – пиши



*Галина Тихомирова и Ася Дугарева у дверей общежития ЛИТМО
на Вяземском переулке, 1963 год*



Г.И. Цуканова (первая слева) и Г.И. Фаломеева (вторая справа) во время поездки в Сухуми, 1963 год



Г.И. Цуканова (третья справа) и Г.И. Фаломеева (четвертая справа) в Сухуми, 1963 год



*Здание ЛИТМО по переулку Гривцова, 14, где находилась кафедра Теории
оптических приборов, 1980 год*

ответы на письма, а не раз в год, ну а ей, понятно – было некогда. Переписываясь в последние годы мы печалились о судьбе ГОИ, ГОМЗа и вообще оптики, жалели своих руководителей-старичков (В.Н. Чуриловского, М.М. Русинова и Г.Г. Слюсарева). В последние годы нас объединяла любовь к путешествиям, только я путешествовала в основном в своем регионе, а Галка по всему миру.

В 2012 году я ездила из дома в Армавире на свадьбу к сыну брата в Санкт-Петербург. Галка пришла меня проводить. Конечно, выглядела она прекрасно, почти как в молодости, видно, сказывается работа с молодежью. Рядом с ними и сам молодеешь.

Январь 2016 г.



*Встреча одноклассников, спустя 47 лет после выпуска из
института: Г.И. Войченко (Фаломеева) и
Г.И. Цуканова (справа), Санкт-Петербург, 2012 год*

Из альбома выпускника ЛИТМО 1965 года.



Страница с фотографией Галины Тихомировой (Цукановой)



Страница с фотографией Галины Войтченко (Фаломеевой)

УЧИТЕЛЯ

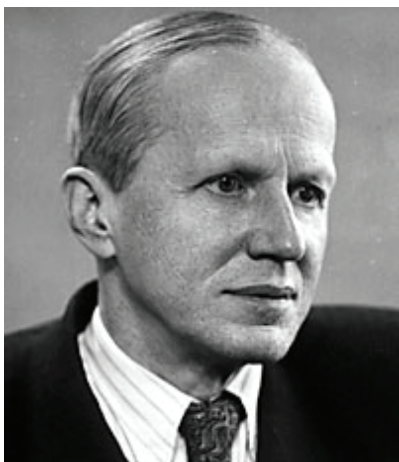
Г.И. Цуканова прошла школу трех выдающихся ученых оптиков: д.т.н., профессора В.Н. Чуриловского, д.т.н., профессора И.И. Крыжановского, д.т.н., профессора М.М. Русинова

ЧУРИЛОВСКИЙ Владимир Николаевич

Закончил Ленинградский техникум точной механики и оптики в 1925 году.

Присвоено звание инженера по оптической специальности в 1930 году. Видный ученый в области теории оптических приборов. Доктор технических наук, профессор.

Декан оптического (1931-32) и оптико-механического факультетов (1942-53). Заведующий кафедрой теории оптических приборов (1930-69). Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1966). Работал в ЛИТМО (1930-1979).



Публикации:

Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов (сокращенное репринтное воспроизведение издания 1966 года) / Серия «Выдающиеся ученые Университета ИТМО» — СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2001. — 274 с.

КРЫЖАНОВСКИЙ Иосиф Иванович

Выпускник ЛИТМО 1937 года, факультет «3» (оптический).

Известный специалист по разработке высокоскоростных киносъемочных камер и технологии изготовления металлоглазковых зеркал. Доктор технических наук, профессор.

Окончил ЛИТМО с отличием. В годы Великой Отечественной войны и блокады Ленинграда работал в институте. После эвакуации ЛИТМО работал начальником цеха в ремонтных мастерских Ленинградского фронта. Работал начальником технологического отдела,



главным инженером УПИМ (1945). Работал в ЛИТМО (1937-79): вел учебно-педагогическую работу на кафедрах теории оптических приборов и технологии приборостроения, работал на кафедре оптико-механических приборов, где вел курс «Приборы научной фотографии и кинематографии» (1962). Декан оптического факультета (1964-67). Заведующий кафедрой оптических приборов (1975).

Под его руководством были разработаны и изготовлены высокоскоростные киносъемочные камеры, отмеченные многочисленными наградами на всесоюзных и международных выставках. Занимался также технологией изготовления металлоглазковых зеркал, которые нашли широкое применение в различных оптических приборах, в том числе в астрономических. С помощью телескопа, изготовленного в ЛИТМО по технологии И.И. Крыжановского, получен лучший снимок ядра кометы Галлея, ставший известным во всем мире (проект «Вега», 1986).

РУСИНОВ Михаил Михайлович

Выпускник Ленинградского техникума точной механики и оптики 1927 года. В 1931 г. закончил оптический факультет.

Выдающийся ученый-оптик, один из пионеров отечественной оптической промышленности, внесший значительный вклад в развитие оптического приборостроения. Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Лауреат Ленинской премии, четырежды лауреат Государственной премии. Лауреат Международной премии имени Э. Лосседа Французской академии наук. Основоположник научно-педагогических школ университета.



Ученик член-корреспондента АН СССР В.С. Игнатовского. Работал в Ленинградском отделении ЦНИИ геодезии, аэросъемки и картографии (1932-42): старший инженер, начальник лаборатории, старший научный сотрудник. Заместитель главного конструктора Завода 393 Народного комиссариата обороны (НКО) (1942-43). Профессор МВТУ им. Баумана (1943-44). Научный руководитель лаборатории Аэрогеодезического предприятия (1944-46). Более пятидесяти лет непрерывно работал в институте-университете: доцент (1931), профессор (1946-47), заведующий кафедрой оптико-механических приборов (позже — теории оптических приборов) (1947-90), заместитель директора по научной работе (1950-51), главный научный сотрудник (1990-94), профессор кафедры теории оптических приборов (1994-2004; с 1996 - кафедры Прикладной и компьютерной оптики).

Добился выдающихся результатов благодаря глубоким теоретическим исследованиям в области теории расчета оптических систем и созданию целого ряда систем с повышенными техниче-

скими характеристиками.

Автор теории расчета объективов, на основе которой разработал широкоугольные и сверхширокоугольные объективы типа «Руссар» для аэрофотосъемки. Создал объективы и конденсоры для сверхширокоугольного мультиплекса, применяемого при обработке аэрофотоснимков, а также для репродукционного аппарата и других фотограмметрических приборов.

Являлся автором более 130 научных трудов, 280 изобретений и 10 патентов. Длительное время состоял членом Пленума Высшей аттестационной комиссии (ВАК), членом экспертной комиссии ВАК. Подготовил 7 докторов и 40 кандидатов наук.



Страница с photographиями преподавателей оптического факультета из альбома выпускника ЛИТМО 1982 года.

Информация по персоналиям в разделе УЧИТЕЛЯ составлена по материалам Виртуального музея Университета ИТМО (<https://museum.ifmo.ru>)

С уходом из жизни профессора М.М. Русинова ушла целая эпоха замечательных достижений нашего Университета в области вычислительной оптики. Ни у кого из преподавателей и сотрудников за всю историю существования института не было такого количества Государственных премий (четыре), а лауреатов Ленинской премии среди сотрудников Университета за весь период существования всего три: проф. С.П. Митрофанов, проф. В.А. Зверев, а из выпускников – Н.А. Агальцова.

Когда мы были студентами, Михаил Михайлович был в зените славы и казался нам недостижимым. Мы слушали его лекции, но мало что в них понимали, частично из-за невнимательности, частично из-за того, что предыдущий материал перед лекцией не просматривали. Сдавать экзамен Михаилу Михайловичу было нетрудно. Главное - списать то, что нужно. Списывали все – и отличники, и троечники. Кто правильно и то, что нужно списал, получал пять, а тот, кто не то списал, получал четыре.

Группа расчетчиков, в которой я училась, была на кафедре «Теории оптических приборов», которую возглавлял профессор Владимир Николаевич Чуриловский, а Михаил Михайлович Русинов руководил кафедрой «Оптико-механических приборов».

Я поступила в аспирантуру к профессору В.Н. Чуриловскому, который являлся одновременно и учителем М.М. Русинова, и его коллегой. Владимир Николаевич Чуриловский был старше Михаила Михайловича на 10 лет. Время в аспирантуре у профессора В.Н. Чуриловского вспоминается как самое лучшее. Он умел убедить «зеленого» аспиранта в том, что тот почти гений и все, что он делает, просто замечательно. От такой похвалы становилось неудобно, а с другой стороны, внушало уверенность в собственные силы и окрыляло.

После окончания аспирантуры я была принята на работу на кафедру «Оптические приборы» к М.М. Русинову. На кафедре «Теории оптических приборов» к тому времени не было

вакантной должности. Помню первый разговор с Михаилом Михайловичем. Он меня спросил, что я хочу. Я ответила, что хочу «получше знать оптику». В ответ на это он сказал, что надеялся услышать от меня, что я хочу «побольше в оптике сделать».

Работать у Михаила Михайловича было интересно. Каждый день он обязательно беседовал с каждым из сотрудников, интересовался, что сделано за день, рассказывал о своих новых идеях. А идей у него было видимо-невидимо. Нужно было только успевать их реализовывать. Я была расчетчицей, но Михаил Михайлович считал, что ограничиваться только расчетом нельзя, старался привлекать к работам на приборах и ставил задачи, связанные с приборами. С какой благодарностью я вспоминала Михаила Михайловича, когда мне пришлось при выполнении проекта «Венера-Галлей» заниматься юстировкой приборов в Венгрии, где консультацию не у кого было получить.

Я благодарна Михаилу Михайловичу за то, что он своих сотрудников и аспирантов или вывозил сам, или посылал в самостоятельные командировки в другие города и страны к знаменитым ученым.

Мы ездили с Михаилом Михайловичем в Сосновый Бор, там только что был создан филиал ГОИ им. С.И. Вавилова. Нас принимал директор филиала, и ему Михаил Михайлович рассказывал, что его сотрудники выполняют важную и нужную работу по созданию новых астрономических систем, а эта работа была всего лишь реализацией идей Михаила Михайловича. Были мы с М.М. Русиновым и в Пулковской обсерватории АН СССР. Михайлович отправил меня также в Бюроканскую обсерваторию в Армении в командировку, где я докладывала академику В. А. Амбарцумяну о расчетах новых телескопов, выполненных нами. Михаил Михайлович сам работал с большим увлечением и интересом и умел увлекать своими изобретениями других. Этому он учил и своих учеников.

Будучи в 1971-72 годах в научной командировке в Германии (Германской Демократической Республике) в Высшей технической школе Ильменау (теперь Технический Университет Ильменау), я регулярно получала письма от Михаила Михайловича. Он

находил время, чтобы написать письмо, интересовался стажировкой, давал советы. В те годы наш институт посылал молодых кандидатов наук по несколько человек в год на стажировку в разные страны в зависимости от знаний иностранного языка, например, во Францию, Германию (ФРГ или ГДР), Австрию, Нидерланды, Швецию, Италию, США и другие страны. Мне очень жаль, что ни одно из этих писем не сохранилось. С каким удовольствием я почитала бы их сейчас.

После стажировки в Германии я прошла по конкурсу на кафедру «Теории оптических приборов», которой, после ухода на пенсию В.Н. Чуриловского, стал заведовать доцент В.В. Хваловский. Но недолго я проработала не у Михаила Михайловича. Произошла реорганизация факультета и заведующим кафедрой «Теории оптических приборов» стал М.М. Русинов. И снова я стала работать у Михаила Михайловича. Это было самое лучшее время в моей жизни. Было много интересных научно-исследовательских работ. Михаилу Михайловичу было в то время 70 лет, но мы не чувствовали его возраста, нам он казался молодым, был всегда здоров, купался в ледяной воде, участвовал в марафонских заплывах, он никогда ничем не болел.

А каким уважением он пользовался! Мы называли его между собой «шеф». Его некоторые фразы я помню до сих пор и студентам рассказываю, что так говорил Михаил Михайлович, например, что «оптику надо считать на пальцах». Это значит, что нужно думать и заранее предусмотреть решение, а не бездумно доверяться компьютеру.

Особенно я благодарна Михаилу Михайловичу за привлечение меня к работе по проекту «Венера-Галлей». В то время на кафедре было много научно-исследовательских работ, и поначалу эта работа ничем особым не выделялась. Институт комических исследований АН СССР привлек наш вуз к работе по проекту в качестве запасного ответственного за оптико-механическую часть телевизионной системы, содержащей телевизионный датчик наведения и телескоп с диаметром главного зеркала 240 мм, который должен был передать изображение ядра кометы Галлея на Землю. Основными ответственными исполнителями

по оптико-механическим приборам были французы. На тот период была непростая политическая обстановка, французы могли отказаться от участия в проекте в любой момент, и тогда бы их место заняли мы. В итоге после изготовления и испытания французской и нашей аппаратуры было принято решение поставить на один космический аппарат французский телескоп, а на второй - наш.

Телескоп, который нужно было рассчитать, изготовить и поставить на борт космического корабля предполагал в первоначальном варианте наличие двух асферических зеркал, то есть должна была быть применена система Ричи-Кретьена с линзовым компенсатором.

Михаил Михайлович поручил мне выполнить предварительный расчет. Я сделала это и задала Михаилу Михайловичу вопрос, а кто нам будет асферики изготавливать: в ЛИТМО асферическую не делают, а на других предприятиях изготовление затянут, и мы не уложимся в сроки. Тогда Михаил Михайлович посоветовал мне взять за базовую систему проф. В.Н. Чуриловского, состоящую из двух сферических зеркал и двух двухлинзовых компенсаторов в сходящемся пучке лучей. Эта система была раскритикована в книге Г.Г. Слюсарева «Расчет оптических систем» как бесперспективная.

Действительно, она для больших относительных отверстий и значительных угловых полей не годилась, а для нашей задачи в модернизированном виде подошла. При этом система, близкая по характеристикам к требуемой для космического телескопа, была за два года до этого рассчитана для высокоскоростной киносъемочной камеры, разработанной в ЛИТМО профессором И.И. Крыжановским.

Расчет длиннофокусного объектива для кинокамеры был непростым и трудоемким, но, в конце концов, получился хороший объектив без асферических поверхностей. Поэтому расчет телескопа для других требуемых характеристик и работы в двухканальном режиме не занял много времени, и мы даже получили на этот объектив авторское свидетельство. Французы согласились с тем, что наш объектив проще и дешевле, чем



*Поздравление проф. М.М. Русинова с 75-ти летием:
(в первом ряду слева направо) - аспирант А.В. Иванов, доц. О.В. Багдасарова,
доц. Г.И. Цуканова, проф. В.В. Хваловский, проф. М.М. Русинов.
ЛИТМО 1984 год*



*На кафедре ТОП в ЛИТМО: (слева - направо) проф. В.В. Хваловский,
доц. Л.М. Еськова, доц. О.В. Багдасарова, проф. А.П. Грамматин,
проф. М.М. Русинов, доценты Г.И. Цуканова и В.Н. Целищев. 1987 год*

телескоп, рассчитанный ими с двумя асферическими зеркалами, и стали делать свой телескоп по нашему расчету. Механическая часть французского телескопа и материал, из которого он был изготовлен, сильно отличались от нашего. В нашем телескопе зеркала были выполнены из титана с напеченным стеклом по технологии, предложенной профессором И.И. Крыжановским. Таким образом, телескоп, снявший комету Галлея, - это памятник проф. В.Н. Чуриловскому и проф. И. И. Крыжановскому.

Работа по проекту «Венера-Галлей» была трудной в организационном плане. Не все можно было сделать на заводе института, нужно было обращаться в другие организации, а сроки были очень жесткими, опаздывать было нельзя. Михаил Михайлович всегда поддерживал и говорил: «Глаза боятся, а руки делают» или «Не боги горшки обжигают». И в том, что в итоге все получилось хорошо, огромная заслуга Михаила Михайловича.

Михаила Михайловича уже нет среди нас, но он как будто незримо всегда присутствует. И на научных конференциях, и на праздничных вечеринках мы всегда вспоминаем о нем.

Мы – дети гнезда Русинова. И этим можно гордиться. Мне повезло быть ученицей и работать с такими замечательными интеллигентными учеными-оптиками, как профессора В.Н. Чуриловский, И.И. Крыжановский, М.М. Русинов. Они были широко эрудированными и талантливыми людьми. Владимир Николаевич писал стихи, а Михаил Михайлович сочинял музыку и стихи. В 60-70-е годы ушедшего столетия в институте проводились конкурсные студенческие вечера, факультеты соревновались между собой, кто лучше подготовит вечер. На вечерах оптического факультета исполнялись песни бывшим студентом, а нынешним профессором В.А. Зверевым на слова проф. В.Н. Чуриловского и музыку проф. М.М. Русинова.

Михаил Михайлович был очень наблюдательным, он всегда все замечал, даже новые элементы в одежде сотрудников, с ним было интересно беседовать, у него был свой оригинальный взгляд на многое. Я благодарна судьбе за то, что мне посчастливилось работать в команде Михаила Михайловича.

Последние десять лет своей жизни Михаил Михайлович

редко бывал в университете, но мы всегда знали, что он есть и с ним можно поговорить. А теперь его нет и это очень печально, но память о нем останется навсегда.

*Впервые опубликовано в книге:
Русинов М.М. / Под общ. ред. проф.
М.И. Потеева. СПб.: СПбГУ ИТМО,
2009. 168 с. – серия «Университет ИТМО:
Годы и люди»*

СОТРУДНИКИ

*Впервые опубликовано
в газете «Кадры Приборостроению»
№38(1315), 30 декабря 1986 г.*

Звездный час

Коллектив кафедры теории оптических приборов получил в предназначенные ноябрьские дни радостное известие. В числе трех преподавателей ЛИТМО, удостоенных Государственной премии СССР в области науки и техники за 1986 год, оказалась представительница нашей кафедры. Высокой наградой Родины была отмечена Галина Ивановна Цуканова, доцент, кандидат технических наук. Галина Ивановна — выпускница Ленинградского института точной механики и оптики. По окончании вуза она была отправлена в аспирантуру. Ей необычайно повезло: научным руководителем её работы стал выдающийся ученый, один из основателей нашего института профессор Владимир Николаевич Чуриловский. Тема первого самостоятельного научного исследования Галины Ивановны была связана с расчетами зеркальных систем. От своего научного руководителя Молодая аспирантка переняла исключительную добросовестность и высокую требовательность к себе.

После успешной защиты кандидатской диссертации Г.И. Цуканова приступила к работе на кафедре теории оптиче-

ских приборов, которую возглавляет основной должностной оклад целого ряда научных направлений в оптике лауреат Ленинской и четырех Государственных премий СССР профессор Михаил Михайлович Русинов.

Здесь она получила навыки применения теоретических знаний в практической деятель-

ности и проявила себя с самой лучшей стороны. Когда нашему институту было предложено принять участие в чрезвычайно престижных работах по международному космическому проекту «Вега», встал вопрос кому возглавить творческую группу сотрудников ЛИТМО, перед которой была поставлена задача сделать космические аппараты «зрячими». Выбор пал на Галину Ивановну Цуканову.

Эксперимент, проводившийся учеными многих стран, блестяще удался. Высокую оценку получила аппаратура созданная в ЛИТМО. С её помощью удалось сделать уникальные снимки «небесной страницы» — кометы Галлея. Изображения были успешно переданы на Землю, в настоящее время продолжают их изучение и научное осмысление.

За большой личный вклад в осуществление этого эксперимента, за умелую координацию творческих усилий большой группы исследователей Галина Ивановна и была удостоена государственной премии СССР. Таким образом, она стала в нашем институте первой женщиной-ученой, добившейся столь высокого общенародного признания. Мы радуемся за Галину Ивановну и еще потому, что она один из наиболее уважаемых и авторитетных членов нашего коллектива. Как бы ни была она занята учебной или научной работой, у неё находилось время заниматься и общественными делами. Была она председателем



Медаль Лауреата Государственной премии СССР

Ленинградцы—лауреаты Государственных

ых премий СССР 1986 года



ЛЕНИНОВ
Геннадий Александрович
доктор философских наук, профессор
Ленинградского государственного
университета, член-корреспондент
Академии наук СССР
Лауреат Государственной премии
СССР 1986 года



КУЗНЕЦОВ
Владимир
доктор физико-математических
наук, профессор
Ленинградского государственного
университета



КУЗНЕЦОВА
Ольга
кандидат технических наук,
доктор биологических наук,
профессор Ленинградского
государственного университета



ЧЕРНЫШЕВ
Борис
кандидат технических наук,
доктор технических наук,
профессор Ленинградского
государственного университета



АЛЕКСАНДРОВ
Геннадий Александрович
доктор технических наук, профессор
Ленинградского государственного
университета, член-корреспондент
Академии наук СССР



ВАСЮКОВ
Владимир
доктор технических наук, профессор
Ленинградского государственного
университета, член-корреспондент
Академии наук СССР

А П 2.12.86

Вырезка из газеты «Ленинградская правда»
от 2 декабря 1986 г.: ленинградцы - лауреаты Государственных премий СССР 1986 года

факультетского профсоюзного бюро, избиралась заместителем секретаря партийного комитета института по идеологической работе. Сейчас Галина Ивановна в ответственный период перестройки является партгруппоргом кафедры. О ней тепло отзываются студенты, а это в условиях вуза дорого стоит.

Поздравляем Галину Ивановну еще раз с высокой наградой, приветствуем её в канун Нового года, желаем ей крепкого здоровья, дальнейших творческих успехов и семейного благополучия.

*В. Карнов,
доцент кафедры теории оптических приборов*

Учебная работа Г.И. Цукановой

Г.И. Цуканова воспитала не одно поколение молодых ученых, специалистов, которые успешно продвигаются по профессиональной карьере. Ее научные достижения явились базой для образовательной деятельности, авторских курсов, учебно-методических трудов.

За период 1969 — 1978 гг. Г.И. Цуканова читала на высоком научном и методическом уровне курсы лекций: «Асферическая оптика», «Прикладная оптика», «Теория оптических приборов», а также вела по этим курсам практические и лабораторные занятия, осуществлялось руководство курсовым и дипломным проектированием, научной работой студентов. Она принимала участие в научно-исследовательской работе в области учебного процесса, ею совместно с двумя соавторами выполнена научно-исследовательская работа на тему: «Определение оптимальных соотношений между различными видами аудиторных занятий по курсу «Теория оптических приборов». Готовился диафильм по курсу «Теория оптических приборов».

Г.И. Цукановой подготовлены конспекты лекций по курсу «Асферическая оптика» и части курса «Теория оптических приборов» для кафедрального пользования, составлены описания лабораторных работ и подготовлены к изданию совместно с соавторами «Руководство к лабораторным работам по курсу «Теория оптических систем», подготовлены

методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Теория оптических систем», написан отчет по теме «Определение оптимальных соотношений между различными видами аудиторных занятий» по курсу «Теория оптических приборов».

За период 1978 – 1983 гг. Г.И. Цуканова читала лекции по следующим курсам: «Теория оптических систем и техническая оптика», «Асферическая оптика». По этим курсам также проводились практические и лабораторные занятия, осуществлялось руководство учебно-исследовательской работой студентов, курсовым и дипломным проектированием, научной работой студентов. За отчетный период обновлен конспект лекций по курсу «Теория оптических систем и техническая оптика» для кафедрального пользования. Подготовлены и изданы совместно с соавторами: Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теория оптических систем и техническая оптика», 1979 г.; Методические указания по выполнению домашних заданий по курсу «Теория оптических систем и техническая оптика», 1981 г.

За период 1983 – 1993 гг. Г.И. Цуканова читала лекции по



На кафедре ПиКО: Е.В. Кривопустова, Г.И. Цуканова, 2007 год



*Слева-направо: Зав. лабораторией А.В. Никулин и доценты
О.В. Багдасарова, В.Г. Карпов, Е.В. Кривопустова, Г.И. Цуканова, 2007 год*



*Слева-направо: доценты О.В. Багдасарова, В.Г. Карпов, Г.И. Цуканова
и профессор В.К. Кирилловский, 2008 год*

курсу «Техническая оптика и теория оптического изображения», «Асферическая оптика», «Прикладная оптика», «Теория и расчет оптических систем», руководила курсовым проектированием, учебно-исследовательской и научно-исследовательской работой студентов, проводила практические и лабораторные занятия. За отчетный период обновлено содержание лекций по курсу «Техническая оптика и теория оптического изображения». Подготовлены и изданы совместно с соавторами: Методические указания по курсовому проектированию по дисциплине «Техническая оптика и теория оптического изображения», 1986 г.; сборник задач по курсу «Техническая оптика», 1986 г.; сборник заданий для самостоятельной работы по курсу «Прикладная оптика». Г.И. Цуканова являлась ответственным исполнителем по госбюджетной НИР в области учебного процесса «Разработка и внедрение методов активизации учебного процесса», 1984 – 1987 гг.

За период 1993 – 2014 гг. Г.И. Цуканова читала лекции и вела лабораторные занятия по курсу «Прикладная оптика» для студентов факультета оптико-информационных систем и технологий, вела лабораторные работы по компьютерному моделированию по курсу «Специальные разделы прикладной оптики», руководила курсовым проектированием. За отчетный период подготовлены и используются в учебном процессе для всего факультета обучающие и аттестационные тесты для дистанционного обучения студентов по дисциплине «Прикладная оптика», опубликованы в соавторстве учебно-методические пособия: «Прикладная оптика» в 2-х частях, 2003 г.; «Специальные разделы прикладной оптики», 2008 г.; сборник заданий для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Прикладная оптика» в 2-х частях, 2009 г.; «Геометрическая оптика», 2002 г.

*О.А. Цуканова,
2017 год*

Сотрудники Государственного Астрономического Института им. П.К.Штернберга МГУ (ГАИШ) о Галине Ивановне

Галина Ивановна Цуканова с 1989 года сотрудничала с коллективом ученых Государственного Астрономического Института им. П.К.Штернберга МГУ им. М.В.Ломоносова. Ею была рассчитана уникальная оптическая схема системы квази-Ричи-Кретьен для 50 см. телескопа, который впоследствии был изготовлен и установлен на народной обсерватории в г. Байя (Венгрия). Этот телескоп в настоящее время работает в автоматическом режиме по исследованию переменных звезд и галактик.

Галина Ивановна рассчитала также оптическую схему для 48-см.телескопа по космическому проекту «Лира» для создания высокоточного фотометрического каталога звезд. Этот телескоп планируется установить на МКС(международная космическая станция).

Для обзорных задач по обнаружению транзиентных источников и гамма-излучений в оптическом диапазоне ею был рассчитан специализированный телескоп со значительным полем зрения. Он в заключительной стадии изготовления, планируется для установки на Крымской астрофизической станции ГАИШ.

Сотрудники ГАИШ благодарны Галине Ивановне Цукановой за ее вклад в развитие Российской астрономической науки, тепло вспоминают об этом высококвалифицированном специалисте в области астрономической оптики и о прекрасном отзывчивом человеке.

А.В. Крылов, А.И. Захаров, В.С. Козырева

Вспомнить Галину Ивановну ...

С чего начать?

Долго не мог вспомнить дату первой встречи с Галиной Ивановной, но хорошо помню обстоятельства, которые привели к этой встрече.

Шел 2008 год, на нашем предприятии («Урал-ГОИ») шла разработка по созданию очень серьезного прибора. Уже тогда

ощущалась острая нехватка специалистов, тем более хороших специалистов. Мне, как разработчику системы, был необходим опытный оптик-расчетчик, но даже в ГОИ это был большой дефицит. Мне предложили поговорить с Галиной Ивановной. Раньше мне с ней встречаться не приходилось. Слышал только фамилию – Цуканова, что она преподает в ЛИТМО – вот и всё.

Сейчас мне трудно вспомнить подробности этой встречи. Помню только, что она мне показалась молодой, красивой, и несколько смущенной незнакомой обстановкой.

Ознакомившись с задачей, Галина Ивановна забеспокоилась, говорила, что такие задачи ей раньше не встречались, и она не знает, что у нее получится. Но уже в тот же день поздно вечером она позвонила мне домой, и сказала, что она нашла решение. Я был поражен. Помню, сколько сил и времени приходилось тратить на согласование технических заданий с сотрудниками оптического отдела. Когда я поделился успехами Галины Ивановны с коллегами, которые знали её давно, на меня посыпалась информация, из которой следовало, что от нее другого не надо и было ждать, и эти мои задачки для нее сущие пустяки, мне объяснили кто она в ЛИТМО, сколько ей лет и другие подробности. Все это так, но, работая с Галиной Ивановной, я увидел, как серьезно и настойчиво она относится к решению любой задачи, сколько сил тратит при этом, и всегда во всех её делах проявлялись опыт и талант.

Я перерыл свои архивы, пытаюсь найти дату, с которой начались наши совместные дела. Получилось, что это было где-то 10...20 января 2008 года, т.е. я знал Галину Ивановну почти семь лет.

В 2012-м году я вместе с группой специалистов перешёл работать на другое предприятие. Оптиков здесь не было вовсе. С целью выбора нужного специалиста-оптика среди желающих, руководителем предприятия был организован своего рода «кастинг». Мы, конечно, стояли только за Галину Ивановну. Когда появилась Галина Ивановна, то сразу все поняли, что для нее конкурентов нет. Она была в брючном костюме и выглядела очень изящной и красивой. Руководитель нашего предприятия – женщина, которая любит и ценит все красивое, и, зная Галину

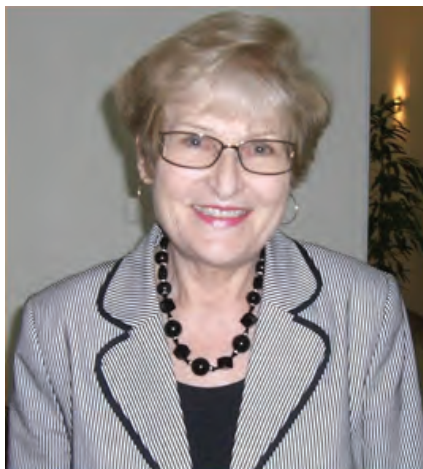
Ивановну по предыдущим работам, по достоинству оценила её, разумеется, не только за красоту.

Основной задачей Галины Ивановны на нашем предприятии было подготовка оптиков-расчетчиков применительно к нашему профилю. Хорошо помню её манеру общения с молодыми специалистами. В спорных вопросах она всегда внимательно выслушивала их соображения. Если она была не согласна, то обстоятельно и спокойно объясняла свои доводы. Иногда её подопечный, что говориться «заводился», но Галина Ивановна всегда терпеливо и спокойно продолжала объяснять, в чем он неправ. Этот процесс иногда длился часами. Галина Ивановна была всегда готова принять участие при решении самых сложных вопросов, которые возникали в нашей работе, в том числе и у меня. Она умела удивительно быстро привести любую сложную задачу к «классическому» виду, когда все ясно и понятно.

Теперь, когда Галины Ивановны нет, можно наблюдать как молодые сотрудники, её бывшие аспиранты, на которых она тратила так много времени, стараясь сделать их сильными в знаниях, сами учат следующее за ними поколение. При этом всё лучшее, что проявляла Галина Ивановна в обучении: терпение, настойчивость, доброжелательность хорошо освоено ее учениками. Я всегда вспоминаю Галину Ивановну, когда вижу, как все эти качества проявляются в ее учениках.

Галина Ивановна вообще была человеком очень внимательным и дружелюбным к окружающим. Помню, идем в столовую, времени уже много и столовая вот-вот закроется. Вдруг ее кто-то окликает. Оказывается – это знакомый, с которым когда-то они вместе работали. Завязывается разговор, который, кажется, никогда не кончится. На вопрос, неужели нельзя было сказать, что очень торопитесь, она отвечала, что ей было приятно с ним работать, что она рада встрече и тому подобное. Таких встреч было немало. Её узнавали, ей улыбались. В ней никогда не было ничего наигранного, притворного.

Однажды, после работы мы вместе отправились в метро – по домам. Уже в вагоне метро, Галине Иванове кто-то позвонил. Оказывается, ей звонил её аспирант, который проживал в



Г.И. Цуканова, 2012 год, г. Санкт-Петербург

Москве. Он приехал в наш город по делам и, когда осталось совсем немного времени до поезда в Москву, он позвонил Галине Ивановне с просьбой встретиться на станции «Площадь Восстания». Когда мы вышли, он уже ждал на скамье в вестибюле. Было далеко за шесть часов вечера, а на следующий день узнал, что они просидели на станции почти до девяти часов.

Галина Ивановна была удивительно скромным человеком. Помню, как я ей рассказывал про свои прошлые дела. Она живо интересовалась, задавала вопросы, а я «заливался» соловьем. Про свои же дела Галина Ивановна говорила буднично, как будто в них не было ничего необычного. Да и не было времени на длинные разговоры, ведь она приходила к нам три-четыре раза в месяц – была очень занята работой на кафедре: лекции, экзамены, административная работа... Наши работы она выполняла в «свободное время».

Только на похоронах Галины Ивановны, со слов её коллег по кафедре, я узнал, какие сложные проблемы она решала в своей жизни. Я был потрясен словами, сказанными о ней:

— и в Советском Союзе, и в нынешней России спутники Земли смотрят на Землю глазами Галины Ивановны.

Эти слова, произнесенные её товарищами, говорят о том, что Галина Ивановна прожила непростую, но завидную творческую

жизнь, оставив после себя и большие дела, и добрую память.

Второй год как Галины Ивановны нет... В памяти до сих пор хранятся, дорогие воспоминания: как она входит к нам, как разговаривает, её глаза, её улыбка...

В. П. Митин, главный специалист АО «ГИРООПТИКА»

2016 год

Работа Г.И. Цукановой в Пулковской обсерватории. Слово о выдающемся оптике и замечательном человеке Цукановой Галине Ивановне (воспоминания М.С. Чубея)

Классический опыт наземной астрометрии, – раздела астрономии, занимающегося построением систем координат и построением орбит тел Солнечной системы, до появления кварцевых часов использовал вращение Земли, как один из самых устойчивых и равномерных процессов, позволяющих определять на небе точное значение координаты «прямое восхождение» из наблюдений точного момента прохождения объектом меридиана обсерватории. Этот же принцип был использован и в европейском проекте HIPPARCOS. Но принцип работает безупречно при идеальном вращении несущего измерительную аппаратуру ИСЗ, что требует осесимметричной компоновки масс спутника. Именно этого не было в проекте HIPPARCOS.

Начиная с 1986 года в Пулковской обсерватории небольшая группа астрономов по моей инициативе начала научно-исследовательскую разработку своего проекта космического эксперимента АИСТ на базе ознакомления и критики проекта HIPPARCOS, научное определение которого, обычно называемое «Фаза А» или «Красная Книга», появилось в 1978 году и в обсерватории в Пулкове.

На борту должен был быть скомпонован двухканальный астрограф, как основной инструмент. Его дизайн в 1988 привел меня с коллегами в Государственный Оптический Институт – знаменитый ГОИ, в комплекс его зданий на Первой линии Васильевского острова. В группе профессора Виталия Филипповича Захаренкова работали оптики-расчетчики. В наше



Г.И. Цуканова, 2014 год

первое появление в кабинете Захаренкова мы застали его заинтересованно рассматривающим формулы и чертежи, которые ему представляла строго одетая, скромная молодая женщина очень приятной наружности, приятным голосом оживленно объясняющая содержимое развернутых бумаг. Виталий Филиппович попросил нас присесть и подождать несколько минут, пока он «не оценит расчеты Галины Ивановны Цукановой», с которой он нас и познакомил.

Память не хранит деталей, но осталось впечатление от того, как серьезно работают профессионалы-оптики. Проект АИСТ в 1991 году, уже будучи на этапе НИОКР, прекратил свое существо-

вание по понятным причинам, связанным с распадом СССР.

К концу XX века заработало технологическое совершенство нового оборудования в астрономии – появились космос, большие телескопы, ПЗС, компьютер, электроника и электронные средства регистрации наблюдений.

Построение серии телескопов с апертурой до 10 метров, устанавливаемых в высокогорной местности, дали возможность отодвинуть границы детально изучаемого космоса до дальностей, преодолеваемых светом за десять-пятнадцать миллиардов лет.

Вывод обсерваторий в открытый космос – за пределы атмосферы Земли, являющейся диспергирующей и поглощающей излучение средой, позволил ввести в научный анализ картину объектов, излучающих во всех диапазонах электромагнитного излучения, доставляющего главную часть информации для научного анализа.

За первенство в достижениях в этой исследовательской деятельности борются развитые страны мира. Ведущие обсерватории мира вовлечены в разработки, в постановку научных и прикладных программ исследования. В России с XIX века ведущей в астрономических исследованиях, фундаментальных и прикладных, стала Пулковская обсерватория, открытая в 1839 году по указу императора Николая I. Под управлением В.Я.Струве и его сына Отто и последующих директоров обсерватория получила научные результаты такого уровня, что была названа астрономической столицей мира. К сожалению, в лихие 90-е страна пережила эпоху разрушения и развала. Это же испытала и обсерватория – вместе со страной. Никакой возможности вести космический проект у обсерватории не было. Нас, астрономов Пулково, сильно угнетало отсутствие российских научноисследовательских ИСЗ.

Такая возможность появилась в 1998 году. Обсерватория была приглашена работать по проекту создания Межпланетной Солнечной Стереоскопической Обсерватории (МССО). Исследователи физики Солнца в Иркутске разобрались в проблеме снижения темпа роста числа открытий в изучении

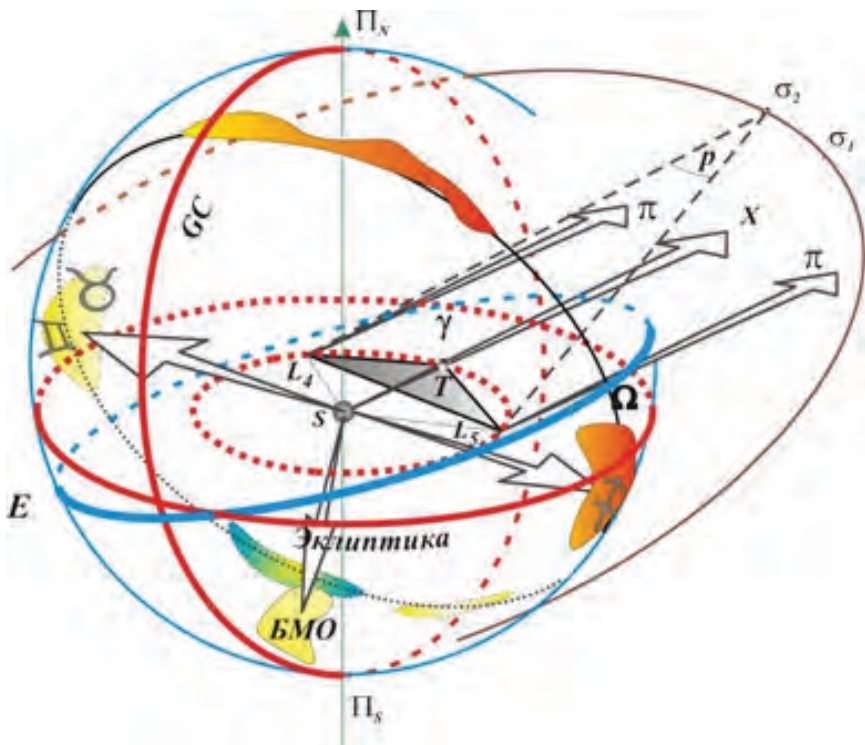


Рис. 1. Пространственная схема космической стереообсерватории

Солнца и предложили создать обсерваторию, два инструмента которой устанавливаются в окрестности круговых центров либрации в системе «Солнце — Земля». Наблюдения Солнца в этом случае возможно вести с трех направлений, отстоящих друг от друга на угловом расстоянии в 60° , — в точках L_4 , L_5 , T на Рисунке 1.

Разработка этой привлекательной идеи в настоящее время ведется в двух вариантах. Исторически первый из них главной целью принял изучение Солнца и солнечно-земных связей. Второй вариант имеет цель вести фундаментальные исследования свойств самой Солнечной системы, а также такие же исследования по проблемам звездной астрономии, небесной механики и астрофизики. По существу, требуется создать Орбитальную Звездную Стереоскопическую Обсерваторию

(ОЗСО), с помощью которой организуется стереобаза, сопоставимая по размеру с размером орбиты Земли. Наблюдения такой обсерватории возможно организовать и вести по принципу работы человеческого зрения: природа снабдила человека стереозрением в его эволюционном развитии двумя глазами, хотя возможно экономичнее было бы снабдить его одним! Схема обсерватории изображена на рисунке 1. На схеме S – Солнце, T – Земля на своей орбите (красный штрих пунктирный эллипс), L4 и L5 – круговые центры либрации, открытые Лагранжем в 1782 году. Именно в окрестности этих центров устанавливаются космические аппараты с астрографами, наведение которых на объекты наблюдений может быть синхронизировано, а сами наблюдения приобретают важное качество трехмерности. Более того, оказывается возможным вести наблюдения по томографической схеме, подключив наблюдения наземных или в околоземном пространстве обсерваторий. Сфера условно отображает небо с расположенными на нем объектами в поясе Галактики. База ОЗСО составляет линейку длиной 259 млн. км. По размеру это составляет 86% от диаметра орбиты Земли и синхронные наблюдения звезд позволяют определять «мгновенные» параллаксы звезд. Обсерватория предоставляет много интересных для фундаментальных исследований возможностей.

Главным в оснащении такой обсерватории является астрограф. Его выбор и разработка и привели вновь нашу небольшую самостоятельную команду в Институт точной механики и оптики — знаменитый Ленинградский ЛИТМО. Судьба вновь свела нас с выдающимся оптиком Галиной Ивановной Цукановой и ее учениками. Произошло это уже в 1998-м году.

В первом же разговоре мы представили идею проекта и изложили просьбу подобрать для такого проекта астрограф. Астрограф должен по качеству изображения равноправно соперничать с астрографами в других, главным образом, зарубежных проектах. Замечательно то, что Галина Ивановна сразу приняла наше предложение работать над идеей понравившейся ей темы, поскольку для оптиков здесь весьма интересная задача, и согласилась оказать нам помощь в содружестве с одним из талант-

ливейших ее учеников Алексеем Валентиновичем Бахолдиным.

Путь длиною в 6 лет в работе над МССО происходил под руководством астрофизиков из Института Солнечно-Земной Физики Сибирского отделения РАН. Астрометристы из Пулково, т.е. небольшая наша группа, надеялись на возможность компоновать на несущем космическом аппарате не только солнечную аппаратуру, но и астрометрическую, поскольку сама идея космической стереообсерватории содержит очень важный новый потенциал для фундаментальных исследований по всем разделам, развитым классической астрономией.

Но дальний космос накладывает более жесткие ограничения на компоновочные решения по весовым и инструментальным характеристикам, по уровню и надежности работы автоматизации. Поэтому наша группа с трудом «отвоевала» у компоновщиков право добавить к 15-ти солнечным инструментам один, хотя бы небольшой, звездный астрограф. Расчетную работу по выбору подходящего варианта астрографа Галина Ивановна с Алексеем выполнили путем испытания множества вариантов. Апертуру нам разрешалось подобрать в 50 см при длине трубы порядка 2.5 м. Опыт Галины Ивановны восходил к ее диссертации, защищенной еще в 1967 году по трехзеркальным оптическим системам.

Эти системы в международной оптической периодике названы именем оптика Шорта. Но практически его работы начали публиковаться после 1974 года, когда в СССР работы Галины Ивановной по трехзеркальным системам уже широко были известны, имели практическую апробацию и разрабатывались и для применения в космических и наземных исследованиях. Безусловно работы Г.И. Цукановой были известны международному сообществу специалистов-оптиков, но в работах Шорта нет ссылок на них. К огромному сожалению, таковы были законы «холодной войны»...

Работа над проектом была доведена нашей самостоятельной межинститутской группой до представления материалов на НТС в НПО им. С.А.Лавочкина в 2007 году. Специальная рабочая группа, включившая нашу научную группу и группу инженеров

НПО им. Лавочкина, предложила на НТС вариант разделенной компоновки, поскольку с одной платформы трудно вести разнообразные наблюдения, имея на борту оборудование того же класса, что и зарубежные проекты.

НТС рассмотрел весьма внимательно наши результаты и в решении привел рекомендацию разделить компоновку на две независимые платформы — «солнечную» МССО, разрабатываемую в ИСЗФ СО РАН, и «звездную» ОЗСО, за разработку которой принялась наша научная команда из ГАО РАН и нескольких научных сотрудников из ЛИТМО, САО РАН и НИИ Телевидения — снова, уже «с чистого листа».

Теперь представилась возможность оптимизировать бортовое оборудование уже по другим критериям. Зная, какие астрографы работали в космосе в это время и какие идеи разрабатываются в зарубежных проектах, мы не могли не пойти на кардинальное улучшение астрографа, который был разработан для МССО.

Для значительного увеличения разрешающей способности в построении астрономического изображения звезд как точечных источников с 2008 года Галина Ивановна с Алексеем Валентиновичем провели подбор астрографа с апертурой в 1 м и фокусными расстояниями в 15, 20 и 30 метров. Анализированы более 40 вариантов расчета трехзеркальной оптической системы.

На рисунке 2 приводится схема трехзеркального астрографа с эквивалентным фокусным расстоянием 30 метров и апертурой 1 м, с угловым полем зрения 40 минут, объектив строит изображение в линейном размере круга диаметром 358 мм. Три поверхности второго порядка позволяют получить такое поле в плоскости, что важно для создания мозаики ПЗС. Применяемая для регистрации мозаика из 49 ПЗС позволяет реализовать точности в определении положения фотоцентра в изображении звезды с точностью в 7–4 десятитысячных угловой секунды. Небольшая статистика позволяет улучшить точность до 1–2 десятитысячных, что достигается и является нормой в других современных проектах.

Три работы в Оптическом Журнале и несколько работ в трудах конференций в СКБ ИКИ в г. Таруса, в периодических изданиях

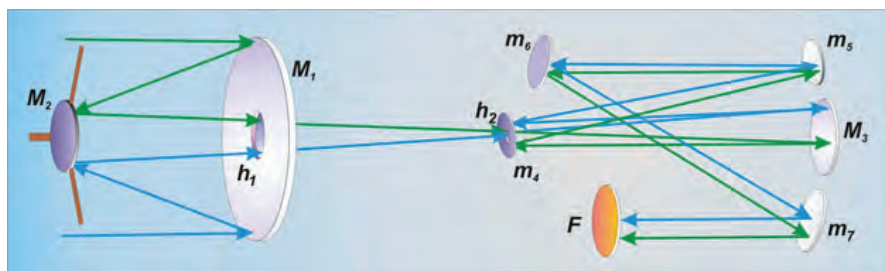


Рис. 2. Стереометрическая центрированная трехзеркальная оптическая схема, рассчитанная Г.И. Цукановой и

А.В. Бахолдиным M_1 , M_2 , M_3 — главное, вторичное и третье зеркала с поверхностями эллиптической и гиперболической формы; m_4 – m_7 — плоские поворачивающие зеркала,

F — фокальная мозаика. Длина между зеркалами M_2 ,

M_3 составляет 4 метра

других институтов и конференций выполненные в 2009–2012 гг., отображали работу нашей группы. Получить финансирование для этого НИР не удалось: академическая комиссия по внеатмосферной астрономии посчитала проект запредельно дорогим и сложным для изготовления и реализации. Всякий раз, когда я упоминал, что работа не имеет финансирования, Галина Ивановна с чарующей улыбкой замечала, что это обычное дело в пионерских работах, и что она работает с удовольствием, поскольку идея проекта ей нравится.

К сожалению, на базе этого решения работу не поддержала и ГАО РАН, по тем же мотивам. Идею поддержал Центр Управления Полетами ЦНИИМаш. Сама идея создания ОЗСО по оценке специалистов Центра оказалась привлекательной и интересной. Проект не повторяет решений, уже известных, оригинален по идее и содержит весьма привлекательный потенциал технологического развития. Это было понятно и всей группой — мы работали за идею, без финансирования, и продолжаем нашу борьбу, разрабатывая все более углубленно идею и ее технологические аспекты для реализации.

К настоящему времени работа над проектом сформирована по ГОСТ 2003. Борьба за проект еще не закончена. Вклад в его развитие, осуществленный Галиной Ивановной и ее сотруд-

ником, имеет неоценимую ценность. Вряд ли было бы возможно бороться за проект, не имея прибора высшего уровня качества.

Группа чтит память Галины Ивановной — выдающегося оптика России, прекрасного воспитателя и человека.

*Руководитель группы, астроном Пулковской обсерватории
Чубей Маркиян Семенович
29 февраля 2016 года*

УЧЕНИКИ

Галина Ивановна глазами ее учеников (А. С. Гаршин)

Как и большинство студентов кафедры, на начальных курсах я слушал лекции Галины Ивановны по геометрической оптике (признаться, не всегда внимательно), писал тесты, сдавал экзамен. Мы знали, что она была первой женщиной-ученым в университете, получившей государственную премию СССР и относились к ней с большим уважением. Лично познакомиться с Галиной Ивановной мне удалось уже после выпуска, когда с её помощью я устроился на работу в Урал-ГОИ (филиал УОМЗа (Уральского Оптико-Механического Завода), предприятие занимается разработкой оптико-электронных приборов и комплексов для оборонных задач), где она работала по совместительству. На первых порах мне, как и большинству молодых специалистов, только окончивших университет, не хватало знаний и практического опыта. Галина Ивановна постоянно поддерживала меня, объясняла, подсказывала. И чем дальше, тем больше меня поражали глубина её знаний и огромный опыт. Также её отличал исключительно профессиональный подход к делу: любые отчеты, статьи, инженерные записки писались и оформлялись на высоком техническом уровне. Такое же отношение к работе она прививала и своим студентам и аспирантам.

Когда в процессе совместной работы у меня появилось желание поступить в аспирантуру, Галина Ивановна поддержала меня, согласилась стать научным руководителем и предложила

тему исследования. Мы стали больше общаться, довольно часто спорили, я не всегда соглашался с ней. Галина Ивановна всегда относилась доброжелательно к своим подопечным, умела выслушать собеседника, и аргументировано объяснить свою позицию, тактично указать на ошибки.

На кафедре Галина Ивановна пользовалась не только огромным уважением, но и любовью преподавателей и студентов. Её отличала невероятная жизненная энергия, благодаря которой Галина Ивановна всегда выглядела молодо, свежо, пребывала в хорошем настроении. Она тепло относилась ко всем коллегам и студентам, всегда улыбалась при встрече – не улыбнуться в ответ было просто невозможно. Наверно, одна из причин такой любви к жизни заключалась в том, что она действительно любила то, чем занималась, даже после многих лет работы нисколько не теряя интереса к науке.

*Алексей Сергеевич Гаршин,
выпускник ИТМО 2012 года, аспирант Г.И. Цукановой
Февраль 2016 года*

Я закончила ЛИТМО в 1985 году. 15-я группа. О Галине Ивановне воспоминания самые замечательные! Кроме того, что она очень хороший педагог и отлично подает материал, она – человек в высшей степени интеллигентный. А еще – прекрасная женщина, которая выглядела всегда потрясающе красиво и стильно, на нее было очень приятно смотреть. Нам – тогдашним девочкам – всегда хотелось на нее равняться. Хочется пожелать ей всего самого лучшего!

Л.Л. Березина

За время учебы в институте запомнилось не очень много преподавателей. Кого-то помнишь зрительно, кого-то по фамилии, а вот Галина Ивановна Цуканова запомнилась как очень близкий человек. Когда я узнала, что ее больше нет, то плакала как-будто потеряла родного человека. Она всегда к нам относилась с большим уважением, даже с какой-то материнской заботой. Галина Ивановна очень любила свое дело, и

очень хотела, чтобы и мы полюбили. К сожалению время, когда мы учились, а это конец 90-х и начало 2000-х, было временем развала промышленности и науки, и из нашей группы никто не пошел по специальности, никто не стал расчетчиком оптических систем. Я очень хотела, чтобы те знания, которые нам давали Галина Ивановна и многие другие преподаватели не пропали, мне повезло устроиться в фирму, которая занимается продажей высокоточной измерительной техники, а это в том числе микроскопы, профильно-измерительные проекторы, измерительные видеосистемы. Очень часто во время работы вспоминала Галину Ивановну добрым словом, за то что она вложила в нас прочную базу знаний. Галина Ивановна была примером профессионала в своем деле, я всегда испытывала чувство гордости от того, что она участвовала в создании телескопа для системы «Венера-Галлей». А с другой стороны она была примером интеллигентного, доброго, понимающего человека. Благодаря тому, что в жизни встречаются такие люди как Галина Ивановна, поднимается и собственная планка в поведении, хочется быть похожим на них.

*Надежда Олейникова (Лаптева), выпускница Университета
ИТМО 2003 года, инженер по специальности
«Оптико-электронные приборы и системы», специализация
Проектирование оптических систем*

Последние две тысячи лет человечество в научно-техническом отношении развивалось спокойно и плавно, перетекая из одного столетия в другое без научных и технических революций, веками используя одни и те же орудия труда и технологии производства. И только в конце второго тысячелетия от Рождества Христова, был совершён скачок, взорвавший земную цивилизацию в считанные десятилетия.

Сейчас, в начале двадцать первого века мы понимаем, что закончилась и уходит в прошлое целая эпоха великих открытий, а с ними и эпоха тех людей, что их творили.

И появление таких людей и новой эпохи, пока, не просматри-

ваются в ближайшем будущем.

Совершив всего три открытия, за пять лет до начала двадцатого столетия, земная наука перепрыгнула в новый век с великим радио, рентгеновскими лучами и кинематографом, которые век двадцатый доведёт до совершенства. А уже через пять лет появится Теория относительности, затем: самолёты, деление урана, фотоэффект, радиолокатор, телевидение, крупнейшие телескопы, ракеты, первый спутник, Гагарин и полёты к другим планетам.

Лёжа на смертном одре, английский астроном Вильям Гершель, тот самый, что открыл планету Уран, мечтал об одном: он очень хотел увидеть обратную сторону Луны. Было это в 1822 году.

Фото обратной стороны Луны люди увидели только через 137 лет.

И сделала это советская автоматическая станция, взглянувшая на обратную сторону Луны глазами объективов, созданных нашими оптиками.

Работы тех первых с успехом продолжили уже молодые учёные, и к далёким планетам полетели межпланетные станции, показывая людям неизведанные миры, глазами, созданными умами и руками наших учёных.

Вот к таким первооткрывателям и относится Галина Ивановна Цуканова, чьи расчёты и позволили создать оптику, открывшую нашему взору глубины Вселенной.

Но вернёмся в ещё более поздние времена, к которым Галина Ивановна имеет самое прямое отношение. В конце семнадцатого века на земном небе появились две кометы, расчётом орбит которых, занялся английский астроном Галлей. И очень скоро, рассчитав орбиты 24 кометы, он приходит к выводу, что одна из них, уже появлялась на нашем небе, и предсказал её появление в 1758 году. Великий астроном не дожил до своего триумфа. Но его имя навсегда увековечили в названии небесной гостьи. И с тех пор, с периодом в 76 лет, она напоминает землянам о своём существовании.

За кометой наблюдали, ею любовались, её боялись в 1910 году, когда Земля проходила сквозь кометный хвост. Но увидеть её

вблизи сумели только в 1986 году, когда межпланетные станции «Вега-1» и «Вега-2» с объективами, рассчитанными Галиной Ивановной, дали прекрасное изображение ядра и газовых кратеров этой самой популярной кометы двух веков.

Рассчитать и изготовить оптику, которая должна устойчиво работать длительное время в открытом космосе – задача сложнейшая и ответственная. В разработке станций участвовали несколько стран, но расчет оптики доверили Галине Ивановне Цукановой, как самой опытной расчетчице и учёной с большим опытом подобных работ.

Именно за это ей и была присуждена Государственная премия, а имя вошло в историю освоения землянами космического пространства!!!

*Валентин Владимирович Пономаренко,
Маргарита Михайловна Пономаренко, выпускники 1976 года
факультета Оптико-механических приборов,
по специальности «Оптические приборы»*



Г.И. Цуканова на занятиях, ЛИТМО, 1989 год

ЛИТМО— Университет ИТМО как малая родина семьи

Анатолий Анатольевич Цуканов – супруг Галины Ивановны



Анатолий Анатольевич ЦУКАНОВ, 1978 год

Цуканов Анатолий Анатольевич (19.08.1938 г. – 25.05.2004 г.) родился в г. Ленинграде. С 1955 года по 1958 год обучался в Высшем военно-морском училище им. П.С. Нахимова в Севастополе, с 1959 года по 1963 год в ЛИТМО, где окончил специальность «Вычислительная техника». Работал на кафедре Оптические приборы с 1961 года сначала техником-конструктором, затем инженером, старшим инженером, ассистентом, с 1978 года по 2004 год – доцентом.

В 1976 году защитил кандидатскую диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Исследование





На фотографии справа А.А. Цуканов - курсант Высшего военно-морского училища им. П.С. Нахимова в г. Севастополь, 1957 год



Г.И. Цуканова и А.А. Цуканов, 1978 год

высокоскоростных съёмочных камер с коммутацией изображения». В 1981 году А.А. Цуканову присвоено ученое звание доцента по кафедре Оптических приборов.

А.А. Цуканов – специалист в области высокоскоростной киносъёмки и оптических приборов. За время работы являлся ведущим преподавателем по курсам «Фотокиноаппаратура», «Киофототехника», «Типовые конструкции оптических приборов», «Прикладная фотография», «Медицинские оптические приборы», «Лазерная офтальмология» и другие.

А.А. Цуканов принимал активное участие в постановке и проведении научно-исследовательской работы студентов на факультете. Под его руководством подготовили и защитили



Коллаж из фотографий преподавателей (из альбома выпускника оптического факультета 1984 года): доц. К.И. Гольдис (теория оптических систем) – в центре сверху, доц. А.А. Цуканов (конструирование) – справа сверху, проф. Л.И. Васильев (материаловедение) – слева в центре, доц. Г.Г. Тенисон (декан) – в центре, Цуканова Г.И. (теория оптических систем) – в центре справа, доц. А.А. Шехонин (декан ОФ) – справа в центре, ст.преп. Н.И. Плоткина (русский язык и литература) – внизу справа.

дипломные проекты несколько десятков выпускников института. А.А. Цукановым разработана методика проведения практик совместно со студенческим КБ и СКБ. А.А. Цуканов являлся руководителем семинаров по конструкторскому циклу для работников промышленности, был председателем методического Совета факультета по конструкторскому циклу.

А.А. Цуканов является автором более 75 научных работ и изобретений (в том числе учебные пособия «Прикладная фотография», «Проектирование оптических приборов», «Проектирование узлов оптических приборов», «Конструирование оптических приборов. Оптико-механические сканирующие устройства»). А.А. Цуканов являлся руководителем и участником НИР (в том числе «Разработка научно-служебных систем телескопа «Содарт» по международной программе «Спектр» и другие).

Награжден медалями ВДНХ, знаком «Изобретатель СССР», в 2004 году – медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга».



*Доц. кафедры ПиКО Анатолий Анатольевич Цуканов и его коллега
Алексей Валентинович Бахолдин, 2004 год*

ИЗОБРЕТЕНИЯ А.А. ЦУКАНОВА

Высокоскоростная камера

(Авт.свид. № 371554, соавторы – Крыжановский И.И., Цуканов А.А., Креопалов В.И., заявитель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет изобретения – 15 октября 1971 г.)

Оптический ускоритель для высокоскоростной кино съемочной камеры

(Авт.свид. № 445014, соавторы – Цуканов А.А., Крыжановский И.И., заявитель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет изобретения – 31 января 1973 г.)

Диафрагма с переменным отверстием

(Авт.свид. № 901978, соавторы – Хваловский В.В., Федоров Ю.В., Натаровский С.Н., Цуканов А.А., заявитель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет изобретения – 20 марта 1978 г.)

Способ изготовления стеклоизделий

(Авт.свид. № 1124000, соавторы – Лазарев В.Е., Натаровский С.Н., Никитин С.М., Цуканов А.А., Филатов М.И., приоритет изобретения – 11 декабря 1981 г.)

Оптическая система объединения световых лучей

(Авт.свид. №1048938, соавторы – Бубнов М.М., Зубаков В.Г., Машехин В.Т., Мельникова Н.В., Натаровский С.Н., Неуструев В.Б., Никитин С.М., Папченко Б.П., Прохоров А.М., Русанов С.Я., Сухоруков С.К., Цуканов А.А., заявитель – Ленинградский ордена Трудового Красного Знамени институт точной механики и оптики, Ордена Ленина физический институт им. П.Н. Лебедева, приоритет изобретения – 30 июня 1982 г.)

Оптическая система лазерного нагревателя

(Авт.свид. № 1055262, соавторы – Акимакина Л.В., Бубнов М.М.,

Зубаков В.Г., Машехин В.Т., Мельникова Н.В., Натаровский С.Н., Неустроев В.Б., Никитин С.М., Папченко Б.П., Прохоров А.М., Русанов С.Я., Сухоруков С.К., Цуканов А.А., заявитель – Ленинградский ордена Трудового Красного Знамени институт точной механики и оптики, Ордена Ленина физический институт им. П.Н. Лебедева и Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский кинофотоинститут, приоритет изобретения – 30 июня 1982 г.)

Способ определения деформации поверхности объекта

(Авт.свид. № 1440148, соавторы – Котов И.Р., Ситник Д.Н., Хопов, Цуканов А.А., заявитель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет изобретения – 24 ноября 1986 г.)

Способ изготовления оптического растра

(Авт.свид. № 1606474, соавторы – Масычев В.И., Натаровский С.Н., Папченко Б.П., Русанов С.Я., Сысоев В.К., Цуканов А.А., заявитель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет изобретения – 29 марта 1988 г.)

Устройство для расшифровки сдвиговых спекл-интерфограмм

(Авт.свид. № 1552005, соавторы – Котов И.Р., Ситник Д.Н., Хопов В.В., Цуканов А.А., Брюшин А.Ю., заявитель – Ленинградский институт точной механики и оптики, приоритет изобретения – 8 июня 1988 г.)

СПИСОК ОСНОВНЫХ ТРУДОВ А.А. ЦУКАНОВОЙ:

1974

- Цуканов А.А. Применение кватернионов Гамильтона к решению задач зеркальной развертки // Приборы и методы высокоскоростной киносъемки. Труды ЛИТМО, вып. 78, под ред. И.И. Крыжановского – Л., ЛИТМО, 1974
- Крыжановский И.И., Цуканов А.А. Высокоскоростная киносъемочная камера с оптическим ускорителем // Приборы и методы высокоскоростной киносъемки. Труды ЛИТМО,

вып. 78, под ред. И.И. Крыжановского – Л., ЛИТМО, 1974

1977

- Федоров Ю.В., Цуканов А.А., Щербаков Г.П., Бусловский О.Е., Меркин С.Ю. Проектор для визуализации фазовых объектов // Оптическое приборостроение. Труды ЛИТМО, вып. 88, под ред. И.И. Крыжановского – Л., ЛИТМО, 1977
- Петровский С.Г., Цуканов А.А. Применение исчисления кватернионов для определения точки изображения// Оптическое приборостроение. Труды ЛИТМО, вып. 88, под ред. И.И. Крыжановского – Л., ЛИТМО, 1977
- Цуканов А.А. Расчет зеркального ускорителя с помощью кватернионного исчисления// Оптическое приборостроение. Труды ЛИТМО, вып. 88, под ред. И.И. Крыжановского – Л., ЛИТМО, 1977

1981

- Цуканов А.А., Цуканова Г.И., Дьяков Н.Ф., Крыжановский И.И., Решёткин В.И., Высокоскоростная киносъемочная камера ВК-12 // Тезисы докладов 10-ой Всесоюзной научно-технической конференции «Высокоскоростная фотография и метрология быстропротекающих процессов» - М, 1981

1984

- Андреев Л.Н., Курчинская Л.Н., Никитин С.М., Цуканов А.А. Учебное пособие по дипломному проектированию и преддипломной практике. – Л., изд. ЛИТМО, 1984, с. 54

2000

- Цуканова Г.И., Чубей М.С., Цуканов А.А. Зеркальный астрономический телескоп для Межпланетной Солнечной Стереоскопической обсерватории // Юбилейная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, посвященная 100-летию университета, 29-31 марта 2000 г.
- Цуканов А.А., Натаровский С.Н., Никитин С.М. Способ изготовления линзовых растров // Юбилейная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, посвященная 100-летию университета, 29-31 марта 2000 г.

- Цуканов А.А., Шумилов Н.К. Прикладная фотография. Часть 1. Фотографическая сенситометрия. Учебное пособие. – СПб ГИТМО (ТУ), 2000

2001

- Цуканов А.А., Дубовиков А.А. Проектирование оптических приборов. Методические указания по выполнению лабораторных работ. – СПб ГИТМО (ТУ), 2001
- Натаровский С.Н., Никитин С.М., Цуканов А.А. Способ изготовления линзовых растров // Оптический журнал, № 5, 2001

2002

- Цуканов А.А., Лобов А.В. Прикладная фотография. Часть 2. Техника фотографической регистрации информации. Лабораторный практикум – СПб ГИТМО(ТУ), 2002
- Натаровский С.Н., Федорова И.Ю., Цуканов А.А. Оптические схемы конденсоров и микрообъективов поляризационного микроскопа с уменьшенным влиянием ложного двойного лучепреломления // Сборник трудов 5 Международной конференции «Прикладная оптика – 2002». Том 1. Санкт-Петербург, 2002
- Цуканов А.А., Натаровский С.Н., Дубовиков А.Л. Исследование светодиодов в осветительных устройствах оптических приборов // Сборник трудов 5 Международной конференции «Прикладная оптика – 2002». Том 3. Санкт-Петербург, 2002

2003

- Цуканов А.А., Толстоба Н.Д. Проектирование узлов оптических приборов. Учебное пособие. – СПб ГУИТМО, 2003



Ольга Анатольевна ЦУКАНОВА, 2011 год

О.А Цуканова родилась в 1980 году в городе Ленинграде, в 1997 году закончила Вторую Санкт-Петербургскую гимназию (математический класс) и поступила в Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики (технический университет), который закончила в 2002 году, получив диплом с отличием по специальности «Информационные системы в экономике».

В 2002 году О.А. Цуканова поступила в аспирантуру, которую успешно завершила защитой кандидатской диссертации (кандидат экономических наук) на тему «Стратегическое управление рекламно-издательскими хозяйствующими субъектами» в 2006 году (научный руководитель – д.э.н., профессор Э.Н. Кроливецкий).

Ученое звание доцента присвоено в 2009 году.

С самого начала обучения в аспирантуре начала вести педагогическую деятельность в ИТМО сначала в должности ассистента (2002 – 2006 гг.), затем доцента (2006 – 2014 гг.) на кафедре Прикладной экономики и маркетинга, а после реорганизации факультета - профессора (с 2014 г.) на кафедре Экономики и

стратегического менеджмента.

В 2012 году О.А. Цуканова защитила докторскую диссертацию (доктор экономических наук) на тему «Формирование системы стратегического управления социально-экономическим развитием продуцентов рекламно-издательских услуг в мегаполисе».

В 2017 году О.А. Цукановой присвоено звание профессора по кафедре Экономики и стратегического менеджмента.

В течение профессиональной деятельности О.А. Цуканова вела лекционные, практические и лабораторные занятия по дисциплинам: «Бизнес-планирование», «Маркетинг», «Математические методы моделирования экономических систем», «Методики моделирования бизнес-процессов», «Методология внедрения информационных систем», «Основы финансовой культуры», «Экономика», «Сетевая экономика», «Ценообразование», «Экономика защиты информации», «Экономика организации», «Экономика приборостроительного предприятия», «Экономика машиностроительного производства», «Управление проектами».

О.А. Цуканова осуществляет руководство бакалаврами и магистрами по направлению Экономика и Бизнес-информатика, аспирантами по направлению «Экономика и управление народным хозяйством». Под руководством профессора защитилось 3 аспиранта (на 2018 год) и несколько десятков магистрантов и бакалавров.

Профессор О.А. Цуканова – победитель внутривузовских конкурсов: «Молодые ученые Университета ИТМО - 2015», «Молодые ученые НИУ ИТМО 2013 года», обладает почетным званием «Заслуженный работник науки и образования Российской Академии Естествознания», награждена Почетной грамотой Минобрнауки России.

Участник более 10-ти научно-исследовательских проектов, автор более 70-ти научных статей (в т.ч. статей Скопус и WoS, ВАК), 4-х монографий и 6-ти учебных пособий. Участник международных и всероссийских конференций.

Прошла стажировку в Университете CNAM и Университете Дидро (Сорбонна) – Франция, Париж, в Карловом университете – Прага, Чехия,



*Ученый совет Университета ИТМО: диплом доцента О.А. Цукановой
вручает ректор, проф. В.Н. Васильев, 2009 год*



*После защиты докторской диссертации: к.э.н., доц. О.А. Цуканова и ее
научный консультант д.э.н., проф. Э.Н. Кроливецкий
29 мая 2012 год*

О.А. Цуканова является членом объединенного Диссертационного совета Д 999.056.02 «Экономика и управление народным хозяйством» при Университете ИТМО и Политехническом государственном университете Петра Великого, член Программного комитета на всероссийском Конгрессе молодых ученых (Университет ИТМО), председатель секции «Актуальные вопросы бизнес-информатики».

Научный руководитель образовательных программ по магистратуре – «ИТ-консалтинг» и бакалавриату – «Информационные технологии в бизнесе» по направлению Бизнес-информатика в Университете ИТМО.

Сфера научных интересов О.А. Цукановой затрагивает вопросы математического моделирования экономических систем, стратегического управления предприятиями (промышленность и сфера услуг), информационных систем в экономике, ИТ-консалтинга.



Доцент О.А. Цуканова со студентами после защиты дипломов, 2009 год



*Доцент О.А. Цуканова со студентами после защиты дипломов. Здание
Университета ИТМО по ул. Чайковского д.5, 2010 год*

Список основных трудов О.А. Цукановой

- Цуканова О.А. Определение миссии хозяйствующего субъекта как исходный этап стратегического управления предприятием (научная статья) // Межвузовский сборник научных трудов «Проблемы деятельности хозяйствующих субъектов в условиях транзитивной экономики современной России». Вып. 2. – СПб.: Изд-во «Нестор», 2003.
- Цуканова О.А. Управленческое консультирование как важнейший элемент организационного обеспечения деятельности предприятия (научная статья) // Межвузовский сборник научных трудов «Проблемы управления развитием социально-экономических систем». Вып. 15. – СПб: СПбГУКиТ, 2003.
- Цуканова О.А. Сущность и роль рекламы в современном обществе (научная статья)// Межвузовский сборник научных трудов «Проблемы деятельности хозяйствующих субъектов современной России». Вып. 3 – СПб.: Изд-во «Нестор», 2004.
- Цуканова О.А. Стратегическое управление рекламно-

издательскими хозяйствующими субъектами. Автореферат – Изд-во СПбГУ ИТМО, 2005.

- Цуканова О.А. Формирование системы рационального взаимодействия экономических показателей деятельности хозяйствующих субъектов (научная статья) // Межвузовский сборник научных трудов «Проблемы деятельности хозяйствующих субъектов современной России». Вып. 4 – СПб.: Изд-во «Нестор», 2005.
- Цуканова О.А. Стратегическое управление рекламно-издательскими предприятиями: особенности функционирования, направления развития. Монография - СПб.: ООО «Изд-во «Диалог», 2006.
- Цуканова О.А. Особенности ценообразования на товар-информацию при стратегическом управлении предприятием // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Вып. 36. Экономическое и гуманитарное образование в техническом ВУЗе / Гл. редактор д.т.н., проф. В.Н. Васильев. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 396 с.
- Цуканова О.А. , Варзунов А.В. Концепция CRM как основа эффективной деятельности продуцентов деловых услуг // Межвузовский сборник научных трудов «Проблемы деятельности хозяйствующих субъектов современной России». Вып. 8 – СПб.: ООО «Изд-во «Диалог», 2007. – 218 с.
- Цуканова О.А. Развитие рекламно-издательского комплекса услуг в мегаполисе // Вестник Российской Академии Естественных наук, 2009, 13(2) – СПб.: изд-во ГОУ ВПО «Ленинградский институт экономики и финансов», 2009. – 99 с.
- Цуканова О.А. Теоретические основы развития предприятия сферы услуг в условиях глобализации // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2009, № 3 (61). – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2009.
- Цуканова О.А. Особенности процесса ценообразования на рекламно-издательские услуги // Вестник института экономики и управления Санкт-Петербургского государственного

университета кино и телевидения - Вып. 1(26). – СПб.: Изд. СПбГУКиТ, 2009.

- Цуканова О.А., Варзунов А.В. 4 «РЕ-» изменения бизнеса: реформирование, реорганизация, реструктуризация, реинжиниринг // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2009, № 6 (64). – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2009 г.
- Цуканова О.А. Сравнительный анализ управления рекламно-издательской деятельностью в России и за рубежом // Вестник Российской Академии Естественных наук, 2009, 13(5) – СПб.: изд-во ГОУ ВПО «Ленинградский институт экономики и финансов», 2009. – 123 с.
- Цуканова О.А. Особенности стратегической ориентации на достижение планово-расчетной результативности в системе управления социально-экономическим развитием индивидуальных и корпоративных рекламно-издательских хозяйствующих субъектов // Вестник Чувашского университета. Гуманитарные науки, 2009, № 4. – Чебоксары: Типография Чувашского университета, 2010 г. – 558 с.
- Цуканова О.А. Формирование системы стратегического управления социально-экономическим развитием продуцентов рекламно-издательских услуг в мегаполисе: монография - СПб.:Издательство «Герда», 2010.
- Цуканова О.А. Концептуальные положения управления процессом повышения экономической результативности деятельности рекламно-издательского комплекса мегаполиса // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2010, № 3 (67). – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2010 г.
- Цуканова О.А. Особенности систематизации экономических показателей на предприятиях сферы рекламно-издательских услуг // Вестник Российской Академии Естественных наук, 2010, 14(3): 57-59 – СПб.: изд-во ГОУ ВПО «Ленинградский институт экономики и финансов», 2010

- Цуканова О.А. Особенности анализа внешней и внутренней сред при стратегическом управлении рекламно-издательскими предприятиями // Журнал правовых и экономических исследований, 2010, 3: 85-88 - СПб.: изд-во ГОУ ВПО «Ленинградский институт экономики и финансов», 2010.
- Цуканова О.А. Особенности применения различных инструментов продвижения услуг на рынке // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2011, № 4 (74). – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2011 г.
- Tcukanova O., Vasukhin O. V. The Main Tendencies and Directions of Development the Advertizing-Publishing Services Market in 2011-2012 // European Journal of Natural History, 2011, № 3 – ISSN 2073 – 4972
- Цуканова О.А. Стратегическое управление предприятиями сферы рекламно-издательских услуг: особенности функционирования, направления рационализации хозяйственной деятельности: монография - СПб.: Издательство ООО «Студия «НП-Принт», 2012. – 138 с.
- Цуканова О.А., Варзунов А.В. Разработка программы рыночноориентированной реструктуризации промышленного предприятия // Фундаментальные исследования. - Пенза: ИД «Академия Естествознания», 2012. - № 9 (часть 1). - с. 199-203.
- Цуканова О.А. , Курочкин Д. Э. Сущность организации взаимодействия службы ИТ и других структурных подразделений в процессе информационного развития предприятия // Журнал правовых и экономических исследований. - Ленинградская обл., г. Гатчина, 2012. - Вып. 3. - с. 169 - 172.
- Цуканова О.А. Формирование системы стратегического управления социально-экономическим развитием продуцентов рекламно-издательских услуг в мегаполисе: автореферат. - Санкт-Петербург: Фалкон Принт, 2012.
- Цуканова О.А. , Варзунов А.В. Сетевая экономика: учебное пособие, 2-е издание, измененное и дополненное - СПб.: СПб ГУИТМО, 2012. – 76 с.
- Цуканова О.А., Лаврентьева Т.С. Методические положения

- оценки эффективности деятельности телекоммуникационного предприятия // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. - СПб: НИУ ИТМО, 2013. - Вып. 1 (83). - С. 158-161.
- Цуканова О.А. , Шашкова Е.В. Особенности коммерциализации научно-технической продукции в России // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - Вып. 2.
 - Цуканова О.А. , Шашкова Е.В. Разработка комплекса мер для повышения результативности инновационной системы спектральной оптической когерентной микроскопии // Фундаментальные исследования. - 2014. - Вып. 6. - № часть 2. - С. 340-344.
 - Цуканова О.А. , Смирнов С.Б. Теоретико-методические положения экономики информации: монография - С-Пб: «Студия «НП-Принт», 2014. - 148 с. - ISBN 978-5-91542-236-9
 - Цуканова О.А. , Пайдемирова Я.В. Основные направления разработки антикризисных мероприятий на предприятиях радиоэлектронной отрасли // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-16938
 - Цуканова О.А. , Смирнов С.Б. Экономика защиты информации: учебное пособие, изд. 2-е, испр. и дополненное. Учебное пособие - СПб: НИУ ИТМО, 2014. – 79 с.
 - Tcukanova Olga, Felix Höschle, Wadim Strielkowski, Emily Welkins. Locational Preference and Unemployment of Asian-born Immigrant in the U.S. Metropolises // Geographica Pannonica - Volume 19, Issue 2, 58-63 (June 2015)
 - Цуканова О.А. , Шашкова Е.В. Определение рациональных подходов коммерциализации результатов инновационных научных исследований в России // Фундаментальные исследования. - 2015. - Вып. 5. - № 2 - URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38240>
 - Tcukanova O. The main features and problems of commercialization the innovative scientific-technological developments in Russia // European Review of Social Science. - Prague , 2015. - Iss. 2. - N2. - ISSN 2336-422X

- Цуканова О.А. Использование вероятностных методов моделирования экономических систем для отрасли рекламных услуг // *Фундаментальные исследования*. № 10 (часть 2) 2015, - стр. 432-436 - URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39194>
- Цуканова О.А. Методология и инструментарий моделирования бизнес-процессов. Учебное пособие - СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 100 с.
- Tcukanova O., Horvathova Z., Kritkova S. Housing policy and security in the EU: A case study of the Czech Republic // *Journal of Security and Sustainability Issues* - 2016, Vol. 5, No. 4, pp. 602-609
- Цуканова О.А. , Дубицкая Е.А. Системы идентификаторов процесса создания научно-технических разработок в России // *Журнал правовых и экономических исследований* - 2016. - № 2. - с. 190-195
- Цуканова О.А. Анализ и оценка рисков при коммерциализации инновационной научно-технической продукции // *Журнал правовых и экономических исследований* - 2016. - № 4. - с. 202 - 205
- Цуканова О.А. Основы финансовой культуры. Учебное пособие - СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 49 с.
- Цуканова О.А., Тertyчная К.В. Анализ и оценка рисков создания и коммерциализации оптической продукции в России // *Фундаментальные исследования*, № 3, 2017, стр. 219-223
- Цуканова О.А. , Тertyчная К.В. Оценка влияния инфраструктуры поддержки на уровень риска предприятий в сфере научных исследований и разработок // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 8 (часть 2); URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41690>
- Strielkowski W., Tcukanova O.A., Zarubina Z.N. Globalization and economic integration: The role of modern management // *Polish Journal of Management Studies* - 2017, Vol. 15, No. 1, pp. 255-261
- Tcukanova O., Torosyan E.K., Morozova M.A. Commercialization of innovation, research and development in Russia // 4rd

International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts, SGEM 2017 - 2017, Vol. 1, No. 5, pp. 165-172

- Цуканова О. А. Методология и инструментарий моделирования бизнес-процессов: практический курс. Учебное пособие – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 56 с.
- Цуканова О.А., Дубицкая Е. А. Сущностные представления о высокотехнологичных предприятиях и их роли в экономике // Журнал правовых и экономических исследований - 2018. - Т. 1. - № 1. - С. 151-155– URL: <http://giefjournal.ru/node/1251?page=3>
- Dubitskaya E., Tcukanova O. Analysis of the influence of external environmental factors on the development of high-tech enterprises // MATEC Web of Conferences - 2018, Vol. 170, No. 01027, pp. 01027
- Цуканова О.А., Захарова Е.А. Анализ ценообразующих факторов в сфере науки и техники // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 6; URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=42198> (дата обращения: 01.08.2018).



Цуканов Анатолий Анатольевич

Выпуск 1963 года. Факультет вечерний

Известный специалист в области высокоскоростной киносъемки и оптических приборов. Кандидат технических наук (1975), доцент по кафедре оптических приборов (1981).

Работал в ЛИТМО (с 1976): инженер, доцент (1978-2004). За время работы являлся ведущим преподавателем по курсам «Фотокиноаппаратура», «Типовые конструкции оптических приборов», «Прикладная фотография», «Медицинские оптические приборы», «Лазерная офтальмология».

Принимал активное участие в организации НИР студентов на факультете. Под его руководством подготовили и защитили дипломные проекты более ста выпускников института.

Автор более 75 научных работ и изобретений (в т.ч. учебные пособия «Прикладная фотография», «Проектирование оптических приборов», «Проектирование узлов оптических приборов», «Конструирование оптических приборов. Оптико-механические сканирующие устройства»). Руководитель и отв. исполнитель ряда НИР (в т.ч. «Разработка научно-служебных систем телескопа «Содарт» по международной программе «Спектр» и другие). Награжден медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга» (2004).



Цуканова Галина Ивановна

Выпуск 1965 года. Факультет оптический

Известный ученый-оптик. Лауреат Государственной премии СССР (1986).

Окончила с отличием ЛИТМО по специальности Оптические приборы. Аспирант ЛИТМО (1965-68). Работала в Университете ИТМО: инженер НИЧ (1968-70), старший научный сотрудник НИЧ (1970-72), доцент кафедры теории оптических приборов (1972-2014) (кафедры прикладной и компьютерной оптики, с 1996). На протяжении многих лет являлась заместителем заведующего кафедрой по учебной работе.

Кандидат технических наук (1969), старший научный сотрудник (1972), доцент (1976).

Научно-исследовательская работа посвящена разработке зеркальных и зеркально-линзовых систем для космических исследований. Является автором более 80 научных работ, из них 17 авторских свидетельств на изобретения и 2 патента.

Награждена медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга». Награждена медалью С.П. Королева.



Цуканова Ольга Анатольевна

Выпуск 2002 года. Факультет гуманитарный

Кандидат экономических наук (2005), доктор экономических наук (2012). Доцент по кафедре Прикладной экономики и маркетинга (2009).

Работает в Университете ИТМО (с 2002): доцент (2006-14), профессор кафедры экономики и стратегического менеджмента (с 2014).

Курсы, подготовленные и прочитанные в течение профессиональной деятельности: Методики моделирования бизнес-процессов, Экономика предприятия, Экономика защиты информации, Сетевая экономика, Маркетинг, Экономика машиностроительного производства, Экономика инновационной деятельности и другие.

Автор 4-х монографий, более 45 научных статей, 5 учебно-методических пособий. Исполнитель семи НИР. Под ее руководством были выполнены две кандидатских диссертации. Проходила стажировки и повышение квалификации в Университете Париж-7 им. Дени Дидро (Сорбона), Французском национальном институте науки, технологий и управления (CNAM), Карловом университете (Прага).

Награждена Почетной грамотой Минобрнауки России (2010). Является победителем внутривузовских конкурсов университета («Лучший учебник и лучшая монография – 2010», «Ученый года – 2011», «Молодые ученые НИУ ИТМО – 2013»).

Воспоминания профессора В.А. Зверева

25 мая 1968 года в ЛИТМО в Актовом зале чествовали профессора В.Н. Чуриловского в связи с 70-летием со дня рождения. Мне, как одному из выпускников, а, следовательно, и учеников Владимира Николаевича, было поручено от имени оптиков ЛОМО поздравить его со славным юбилеем. Желających сказать добрые слова в адрес юбиляра оказалось довольно много. Поэтому для того, чтобы мне предоставили слово для поздравления юбиляра, а, следовательно, получить возможность выполнить поручение коллег, следовало зарегистрироваться у одного из организаторов процедуры чествования. Исполнение этой обязанности было поручено аспирантке профессора В.Н. Чуриловского Галине Ивановне Тихомировой. Формальное знакомство с Галиной Ивановной особого следа в памяти не оставило и продолжения не имело.

В 1970 году мой учитель Михаил Михайлович Русинов пригласил меня на кафедру доцентом по совместительству читать курс лекций «Сборка и юстировка оптических приборов». Кроме того, в том же году я был включён в состав Совета оптического факультета и в состав Учёного совета по присуждению учёных степеней. Несмотря на крайнюю занятость на основной работе, я, будучи человеком дисциплинированным, вынужден был достаточно часто бывать в институте и, прежде всего, на кафедре оптических приборов. К моей персоне, как представителю конструкторского отдела производственного предприятия, проявил интерес сотрудник кафедры Анатолий Анатольевич Цуканов – фанатик конструирования оптических устройств и приборов, собиратель литературы и обладатель очень приличной библиотеки книг по специальности, к тому же страстный рыболов.

Он увлечённо рассказывал о том, чем был занят в настоящее время. И всегда в его рассказе были слова, из которых следовало, что он буквально боготворил свою жену Галину (Галину Ивановну), считал её самой красивой и самой умной,

словом самой, самой... и надо признать, что у него были для этого основания. Взаимная забота была характерной чертой этой семьи. Когда Анатолий Анатольевич в 1975 году готовился защищать кандидатскую диссертацию, она знала содержание её не хуже автора.

Успешно завершив обучение в аспирантуре, Галина Ивановна в 1969 году защитила кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование и расчет астрономических асферических объективов с коррекцией полевых аберраций». Это направление оптотехники проектирования оптических систем стало определяющим в её работе в последующие годы. Полагаю, что формально о высоком научном уровне выполняемых ею исследований свидетельствует тот факт, что профессор В.Н. Чуриловский в своей монографии привёл изложение одной из проблем, решённых в кандидатской диссертации Галиной Ивановной. Неоднократные ссылки на публикации результатов её исследований приведены в книге сотрудника ГАО АН СССР доктора технических наук Николая Николаевича Михельсона. Именно ей было поручено участие в разработке международного космического проекта «Вега». Возглавив творческую группу сотрудников ЛИТМО, перед которой была поставлена задача создания зеркально-линзового объектива космического базирования, Галина Ивановна разработала конструкцию оптической системы объектива и выполнила аберрационный расчёт системы.

Конструкция объектива должна удовлетворять, прежде всего, двум противоречивым требованиям. С одной стороны, конструкция объектива должна быть по возможности лёгкой, а, с другой стороны, достаточно жёсткой, чтобы сохранялось положение элементов объектива стабильным. Абсолютно жёсткой конструкции объектива не бывает. При компромиссном решении этой задачи юстировка оптической системы объектива превращается в весьма серьёзную проблему. С решением этой проблемы под руководством Галины Ивановны успешно справилась Екатерина Всеволодовна Кривоустова, которая сохранила о ней самые добрые воспоминания. С помощью аппаратуры, созданной творческой группой под руководством Галины



Сотрудники кафедры прикладной и компьютерной оптики. Слева направо: Галина Ивановна Цуканова, Владимир Константинович Кирилловский, Виктор Алексеевич Зверев, Екатерина Всеволодовна Кривоустова, 2010 год

Ивановны, были получены уникальные снимки кометы Галлея.

Участие Галины Ивановны Цукановой в проекте было отмечено Государственной премией СССР за 1986 год. Творческая группа в расширенном составе отметила это событие в ресторане в Петрокрепости.

С 1989 года мы с Галиной Ивановной оказались на одной кафедре – на кафедре теории оптических приборов; на протяжении многих последующих лет она была заместителем заведующего кафедрой по учебной работе, то есть определяла организацию реальной работы кафедры и оформляла всё возрастающие объёмы отчётности за неё.

В начале 90-х годов Государственный оптический институт (ГОИ) им. С.И. Вавилова состоял из ряда прикладных институтов. В 1994 году директор института космической оптики Юрий Анатольевич Гоголев пригласил меня на работу в институте в должности начальника отделения по совместительству. Тематика работы в отделении вполне соответствовала научным интересам Галины Ивановны и вполне естественно, что она была приглашена на работу в ГОИ в отделение вычислительной оптики

института космической оптики на тех же условиях. Работая по заданиям Валентины Дмитриевны Стариченковой и Виталия Филипповича Захаренкова, Галина Ивановна в короткие сроки стала для них непререкаемым авторитетом в области вычислительной оптики и оставалась таковой до конца своих дней.

Надвигалась весьма важная юбилейная дата в жизни Галины Ивановны. А, надо сказать, что она с какого-то времени каждый приближающийся день рождения воспринимала весьма болезненно как день утраты молодости. Поэтому в юбилейный день 26 февраля 1997 года её не было на кафедре. Она пришла в ГОИ, полагая, что уж здесь то никто не заметит её дня рождения. Однако, нет! Сотрудники отделения организовали весьма приличное застолье и что-то вроде спектакля. Обилие цветов и естественность, искренность сказанных от души добрых слов в адрес Галины Ивановны, весёлое застолье с песнями и с её любимой «Когда б имел златые горы...» возымели действие: на протяжении всего празднования настроение у нашего виновника торжества было прекрасным. После застолья Галина Ивановна призналась мне, что она даже не представляла себе, что так весело будет отмечать свой юбилей.

Галина Ивановна всегда была в порядке: в порядке голова, в порядке одежда. Однажды заехали мы к Цукановым на дачу. На дороге к дому встретили Галину Ивановну. Как всегда, хорошо причёсана, аккуратно по летнему одета, от неё исходил лёгкий аромат приятных духов. А шла Галина Ивановна на озеро полоскать бельё! Не могла она выйти за порог дома, не приведя себя в порядок. Такой же порядок был у неё и в делах.

Куда бы не приходила Галина Ивановна, вместе с ней приходил свет, приходил праздник. Я никогда не видел её не то, чтобы злой, но даже просто сердитой. Не было у неё зла ни к кому. А обиды наверняка были. Да и у кого их нет? Я не присутствовал на её похоронах. Может быть поэтому мне трудно представить, что её нет. Поэтому она остаётся со мной и сегодня.

Апрель, 2016 г.

*В.А. Зверев, заслуженный деятель науки Российской Федерации,
д. т. н., профессор, лауреат Ленинской премии*

Список трудов Цукановой Г.И.

1966

- Романова Л.В., Тихомирова Г.И. Отчет по научно-исследовательской работе № 669324 «Разработка окончательного варианта оптической схемы камеры». - ЛИТМО, 1966 (рукописн.)

1967

- Тихомирова Г.И. Трехзеркальные астрономические объективы // Изв. вузов СССР – «Приборостроение», 1967, № 12
- Крыжановский И.И., Решёткин В.И., Тихомирова Г.И. и др. Высокоскоростная киносъемочная камера ССКС-4. – ЛИТМО, 1967 (рукописн.)

1968

- Цуканова Г.И. Исследование и расчет астрономических асферических объективов с коррекцией полевых аберраций: автореферат. – Ленинград, 1968
- Цуканова Г.И. Зеркально-линзовые объективы с асферическим мениском для коррекции полевых аберраций // Изв. Вузов СССР «Приборостроение», 1968, № 3
- Цуканова Г.И. Концентрические асферические компенсаторы комы и астигматизма для больших телескопов // Изв. вузов СССР «Приборостроение», 1968, № 10
- Цуканова Г.И. Астрономические объективы с асферическими компенсаторами // Тезисы доклада к межвузовской научной конференции по технической оптике, 1968, март, изд. ЛИТМО

1969

- Чуриловский В.Н., Цуканова Г.И. Компенсатор аберраций зеркально-линзовой системы. Авторское свидетельство № 243878. Бюллетень изобретений № 17, 1969

1971

- Русинов М.М., Цуканова Г.И. Объектив. Авторское свидетельство № 297021. Бюллетень изобретений № 9, 1971
- Русинов М.М., Цуканова Г.И. Оптическая схема телескопа. Авторское свидетельство № 308402. Бюллетень изобретений № 21, 1971
- Русинов М.М., Цуканова Г.И., Курчинская Л.П. Репродукцион-

ный объектив. Авторское свидетельство № 297021. Бюллетень изобретений № 2, 1971 г.

- Цуканова Г.И. Длиннофокусные светосильные трехзеркальные объективы // Изв. вузов СССР «Приборостроение», № 2, 1971
- Цуканова Г.И. Вопросы экранирования и защиты плоскости изображения от постороннего света в трёхзеркальных длиннофокусных объективах // Изв. Вузов «Приборостроение», № 9, 1971
- Крыжановский И.И., Решёткин В.И., Цуканова Г.И. Отчет по теме «Высокоскоростная киносъёмочная камера ВК-8». – ЛИТМО, 1971 (рукописн.)

1972

- Цуканова Г.И. Исследование зеркальных систем с малой осевой длиной – Изв. вузов СССР «Приборостроение», 1972, т. 15, № 5
- Русинов М.М., Цуканова Г.И. Длиннофокусный зеркальный объектив. Авторское свидетельство № 337749. Бюллетень изобретений № 15, 1972
- Цуканова Г.И. Трёхзеркальные объективы с четырьмя отражениями с увеличенным полем зрения – Изв. вузов СССР – «Приборостроение», 1972, т. 15, № 10
- Цуканова Г.И., Дьяков Н.Ф., Крыжановский И.И., Никитин С.М. Высокоскоростная киносъёмочная камера ВК-8 // Всесоюзная научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы высокоскоростной фотографии и кинематографии», Тезисы докладов, Москва, 1972
- Цуканова Г.И., Крыжановский И.И., Венатовский И.В. Осветитель импульсный для микросъёмки – ЛИТМО, 1972 (рукописн.)

1973

- Русинов М.М., Цуканова Г.И. Зеркальная телескопическая система. Авторское свидетельство № 396663. Открыт. изобр., пром. обр., товарн. знаки № 36, 1973
- Русинов М.М., Цуканова Г.И., Хуршудян Л.Х. Зеркально-линзовый объектив. Авторское свидетельство № 391523.

1974

- Хваловский В.В., Цуканова Г.И., Целищев В.И. Отчет по теме «Определение оптимальных соотношений между различными видами аудиторных занятий по курсу «Теория оптических приборов» - ЛИТМО, 1974 (рукописн.)
- Цуканова Г.И., Крыжановский И.И., Решёткин В.И и др. Разработка и изготовление высокоскоростной киносъёмочной камеры ждущего типа ВКФ-9 – ЛИТМО, 1974 (рукописн.)

1975

- Цуканова Г.И. Зеркальный объектив. Авторское свидетельство № 459750. Открыт. изобр., пром. обр., товарн. знаки № 5, 1975
- Цуканова Г.И., Зандин А.Г., Крыжановский И.И., Мирошников М.М., Карапетян К.С. Зеркальный объектив. Авторское свидетельство № 472319. Открыт. изобр., пром. обр., товарн. знаки № 20, 1975
- Цуканова Г.И. Классификация трёхзеркальных систем // Материалы Всесоюзной конференции «Современная прикладная оптика и оптические приборы». Ч. 1 – Л.: ЛИТМО, 1975
- Цуканова Г.И. Оптические схемы секционных телескопов // Известия вузов СССР «Приборостроение», № 7, 1975
- Цуканова Г.И., Целищев В.В., Хваловский В.В. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Теория оптических приборов» - ЛИТМО, 1975 (рукописн.)
- Цуканова Г.И., Кудряшов Ю.В., Беляев Н.М., Киракосян А. Изыскание новых методов расчета и технологии изготовления зеркально-линзовых систем – ЛИТМО, 1975 (рукописн.)
- Цуканова Г.И., Крыжановский И.И., Монастырский А.В., Зеркальный объектив. Авторское свидетельство № 492842. Открыт. изобр., пром. обр., товарн. знаки № 43, 1975
- Цуканова Г.И., Крыжановский И.И., Яшкин Ю.Н. Оптическая схема киноаппарата с непрерывным движением киноплёнки. Авторское свидетельство № 496528. Открыт. изобр., пром.

обр., товарн. знаки № 47, 1975

- Цуканова Г.И., Русинов М.М., Крыжановский И.И., Шевченко А.И. Зеркальный объектив. Авторское свидетельство № 491911. Открыт. изобр., пром. обр., товарн. знаки № 47, 1975

1976

- Цуканова Г.И. Исследование коррекционных возможностей и конструктивных особенностей трёхзеркальных систем с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами / Труды ЛИТМО «Расчет, конструирование и исследование точности оптических систем», выпуск 84, 1976

1977

- Цуканова Г.И. Длиннофокусные трёхзеркальные системы с вогнутым вторым и выпуклым третьим зеркалами // Труды ЛИТМО «Оптическое приборостроение», вып. 88, 1977
- Цуканова Г.И. Расчет защитных бленд от постороннего света в многозеркальных системах // Известия вызов «Приборостроение», № 6, 1977

1979

- Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теория оптических систем и техническая оптика»/сост. Целищев В.И., Цуканова Г.И., Смильтнек Т.П., под ред. Хваловского В.В. – Ленинград, 1979
- Цуканова Г.И., Крыжановский И.И. Фотографический объектив. Авторское свидетельство № 664140. Открыт. изобр., пром. обр., товарн. знаки № 19, 1979
- Цуканова Г.И. Зеркальные объективы с внутренним сканированием // Труды ЛИТМО «проектирование и исследование оптических систем», 1979
- Цуканова Г.И., Целищев В.И., Смильтнек Т.П. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Теория оптических приборов и техническая оптика» - Л.: ЛИТМО, 1979

1980

- Цуканова Г.И., Крыжановский И.И. Зеркальный объектив. Авторское свидетельство № 720396. Бюллетень изобретений № 9, 1980

- Цуканова Г.И. Трёхзеркальные объективы с промежуточным изображением // Труды ЛИТМО «Оптическое приборостроение», 1980
- Цуканова Г.И., Крыжановский И.И., Карапетян К.С., Никитин С.М., Кудрявцева В.А. Зеркальный объектив. Авторское свидетельство № 777619. Бюллетень изобретений № 41, 1980

1981

- Цуканова Г.И., Крыжановский И.И., Станский Л.И., Горбунов Г.Г., Джаралян А.Л., Нерсисян Э.Б., Едигарян Ю. Фурье-спектрометр. Авторское свидетельство № 838320. Бюллетень изобретений № 12, 1981
- Цуканова Г.И., Дьяков Н.Ф., Крыжановский И.И., Решёткин В.И., Цуканов А.А. Высокоскоростная киносъёмочная камера ВК-12 // Тезисы докладов 10-ой Всесоюзной научно-технической конференции «Высокоскоростная фотография и метрология быстропротекающих процессов» - М, 1981
- Цуканова Г.И., Карпов В.Г., Смильтнек Т.П. Методические указания по выполнению домашних заданий по курсу «Теория оптических приборов и техническая оптика» - Л.: ЛИТМО, 1981
- Русинов М.М., Цуканова Г.И., Комарова И.Э., Иванова Л.И., Юдова Г.Н., Багдасарова О.В., Курчинская Л.Н., Чебанова О.В. Разработка оптической аппаратуры для обеспечения фундаментальных исследований в различных областях (тема 01-7615) – ЛИТМО, 1981 (рукописн.)

1982

- Цуканова Г.И., Кривоустова Е.В., Костенко В.И., Тарнопольский В.И. Специфика расчета оптических систем телевизионных камер проекта «Венера-Галлей» // Тезисы докладов III Международного семинара социалистических стран «Научное космическое приборостроение», Одесса, 1982
- Салом Ш., Сабо Л., Рени И., Женен М., Гомбоши Т., Сендл Б., Гардош М., Сагдеев Р.З., Аванесов Г.А., Баринев И.В., Тарнопольский В.И., Цуканова Г.И., Костенко В.И. Телевизионная система пролетного аппарата «Венера-Галлей» // Тезисы докладов III Международного семинара социалистических

стран «Научное космическое приборостроение», Одесса, 1982

- Цуканова Г.И., Безруков В.А., Карпова Г.В. Изменение кривизны поля при изменении продольных увеличений в точках на главном луче // Оптико-механические и оптико-электронные приборы: межвузовский сборник научных трудов – Новосибирск: НИИГАиК, 1982

1983

- Цуканова Г.И. Зеркальный светосильный объектив с внутренним сканированием // Известия вузов «Приборостроение», № 1, 1983
- Цуканова Г.И., Смильтнек Т.П. Особенности оптической схемы сканирующего зеркального Фурье-спектрометра // Известия вузов «Приборостроение», № 4, 1983
- Цуканова Г.И., Русинов М.М., Иванов П.Д., Макеев П.Н., Аванесов Г.А., Костенко В.И., Тарнопольский В.И. Зеркально-линзовый объектив. Авторское свидетельство № 1016756. Бюллетень изобретений № 17, 1983
- Цуканова Г.И., Кривоустова Е.В., Костенко В.И., Тарнопольский В.И. Специфика расчета оптических систем телевизионных камер проекта «Венера-Галлей» // Научное космическое приборостроение. Вып. 2. Оптико-электронные приборы. – М.: «Металлургия», 1983
- Салом Ш., Сабо Л., Рени И., Женен М., Гомбоши Т., Сендл Б., Гардош М., Сагдеев Р.З., Аванесов Г.А., Баринов И.В., Тарнопольский В.И., Цуканова Г.И., Костенко В.И. Телевизионная система пролетного аппарата «Венера-Галлей» // Научное космическое приборостроение. Вып. 2. Оптико-электронные приборы. – М.: «Металлургия», 1983
- Szabo F., Avanesov G.A., Cruvellier P., Zukanova G.I., Barinov I. V. et al Television system for the Venus-Halley mission in cometary exploration // Budapest: Centr. Res. Inst. Phys. 1983. Vol. 3

1985

- Русинов М.М., Цуканова Г.И. Объективы для телевизионной системы проекта «Вега» // Геодезия и картография, № 6, 1985

1986

- Сборник задач по курсу «Техническая оптика»/ сост. Карпов

- В.Г., Багдасарова О.В., Карпова Г.В., Цуканова Г.И., Еськова Л.М. – Л., ЛИТМО, 1986, с. 37
- Дульнев Г.Н., Цуканова Г.И., Румянцев Д.М., Коркин А.И., Бровцинов Г.А., Кривоустова Е.В. Разработка и создание оптико-механической системы телевизионного комплекса космического аппарата «Венера-Галлей» - ЛИТМО, 1986 (рукописн.)
 - Русинов М.М., Цуканова Г.И., Кривоустова Е.В., Иванова Т.И. Разработка астрономических зеркально-линзовых систем с асферическими поверхностями - ЛИТМО, 1986 (рукописн.)
 - Цуканова Г.И. Классификация трехзеркальных объективов // 31 Internationales wissenschaftliches koloquium, Technische hochschule Ilmenau, DDR, 1986, s. 225
 - Цуканова Г.И., Карпов В.Г., Натаровский С.Н., Куприн А.А. Методические указания по курсовому проектированию по дисциплине «Техническая оптика и теория оптического изображения» - Л.: ЛИТМО, 1986
 - Sagdeev R. Z., Szabo F., Avanesov G.A., Cruvellier P., Zukanova G.I., Kostenko V.I., Tarnopolsky V.I. et al. Television observations of comet Halley from Vega spacecraft // Nature v. 321, № 60676 15-21 May 1986, ss. 262 - 266
 - Sagdeev R. Z., Avanesov G.A., Barinov J. V., Kostenko V.I., Zukanova G.I. et al TV experiment in Vega mission: strategy, hardware, software // Proc. Intern. Symp. Heidelberg. 1986 ESA SP-250, Vol. 2
 - Цуканова Г.И., Сагдеев Р.З., Аванесов Г.А., Крювелье П., Сабо Л. И др. Телевизионный эксперимент по наблюдению кометы Галлея с космического аппарата «Вега» // Письма в астрономический журнал, т. 12, № 8, 1986, стр. 593-603
 - Дульнев Г.Н., Русинов М.М., Цуканова Г.И., Румянцев Д.М. и др. Оптико-механическая система телевизионного комплекса // Оптико-механические системы. Тематический сборник трудов – Л.: ЛИТМО, 1986
 - Цуканова Г.И., Гунченко Л.И., Дьяков Н.Ф., Никулин А.В. и др. Высокоскоростной киносъёмочный аппарат с оптическим

ускорителем // Оптико-механические системы. Тематический сборник трудов – Л.: ЛИТМО, 1986

1987

- Кирчин Г.В., Костенко В.И., Коркин А.И., Румянцев Д.М., Цуканова Г.И. Исследование работы и оптимизация динамических характеристик оптико-механического блока узкоугольной телевизионной камеры проекта «Венера-Галлей» — Москва: Институт космических исследований, 1987.
- Дульнев Г.Н., Костенко В.И., Ушаковская Е.Д., Цуканова Г.И. Проектирование термостабильной телевизионной камеры космического аппарата «Вега» — Москва: Институт космических исследований, 1987.
- Дульнев Г.Н., Ушаковская Е.Д., Цуканова Г.И. Термооптические процессы в зеркально-линзовых объективах. I Схема синтеза термостабильного телескопа // Инженерно-физический журнал. Минск, 1987, т. 52, № 5
- Дульнев Г.Н., Ушаковская Е.Д., Цуканова Г.И. Термооптические процессы в зеркально-линзовых объективах. II Поэтапное моделирование термооптических процессов // Инженерно-физический журнал. Минск, 1987, т. 53, № 1
- Цуканова Г.И., Кирчин Г.В., Костенко В.И., Коркин А.И., Румянцев Д.М. Исследование работы и оптимизация динамических характеристик оптико-механического блока узкоугольной телевизионной камеры проекта «Венера-Галлей» — препринт ИКИ АН СССР, пр. 1307, 1987
- Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Еськова Л.М., Родионов С.А. Разработка и внедрение методов активизации учебного процесса – ЛИТМО, 1984-1987 (рукописн.)

1989

- Методические указания по габаритному расчету и выбору компонентов телескопических систем/ сост. Г.И. Цуканова, О.В. Багдасарова, Г.В. Карпова, В.А. Безруков – Ротапринт. ЛИТМО. Ленинград, 1989
- Цуканова Г.И. Исследование трехзеркальных плананастигматов без промежуточного изображения // 34 internationales

wissenschaftliches koloquium, 23 – 27.10.1989, Technische hochschule Ilmenau, DDR, 1989, s. 225

- Цуканова Г.И., Аванесов Г.А., Зиман Я.Л., Тарнопольский В.И. и др. Телевизионная съёмка кометы Галлея – М.: Наука, 1989
- Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Карпова Г.В., Безруков В.А. Методические указания по габаритному расчету и выбору компонентов телескопических систем. – Ленинград, 1989, ЛИТМО
- Цуканова Г.И., Карпова Г.В., Безруков В.А. Изменение кривизны поля при изменении продольных увеличений в точках на главном луче // Межвуз. Сборник научных трудов / НИИГАиК, Новосибирск, 1989. – 132 с.
- Цуканова Г.И., Аванесов Г.А., Зиман Я.Л., Тарнопольский В.И. и др. Телевизионная съёмка кометы Галлея – М.: Наука, 1989

1990

- Методические указания по габаритному расчету и выбору компонентов оптических систем микроскопов/ сост. Г.И. Цуканова, Г.В. Карпова, О.В. Багдасарова, В.А. Безруков. – Ротапринт. ЛИТМО. Ленинград, 1990
- Цуканова Г.И. Расчет зеркальных объективов с поверхностями, близкими к планоидным // Известия Вузов «Приборостроение», № 12, 1990

1991

- Цуканова Г.И. Исследование экранирования, виньетирования и аберраций высших порядков в трёхзеркальных плананастигматах // Оптико-механическая промышленность, № 3, 1991
- Цуканова Г.И. Конструктивные особенности трёхзеркальных плананастигматов без промежуточного изображения // Оптико-механическая промышленность, № 6, 1991

1993

- Цуканова Г.И., Демидов Н.В. Зеркально-линзовый объектив. Патент РФ № 2003146. Бюллетень изобретений № 41-42, 1993
- Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Карпова Г.В., Кривоустова Е.В. Сборник заданий для самостоятельной работы по курсу «Прикладная оптика». Ч. 1 – СПб.: ИТМО, 1993

1994

- Цуканова Г.И. Оптические системы телескопов с синтезированной апертурой // Оптический журнал, № 9, 1994
- Цуканова Г.И. Зеркальные объективы малой длины для космических исследований // Известия вузов «Приборостроение», № 11-12, 1994
- Цуканова Г.И., Демидов Н.В. Зеркально-линзовый объектив. Патент РФ № 2014643. Бюллетень изобретений № 11, 1994

1995

- Цуканова Г.И., Зверев В.А. Оптика телескопа с составной апертурой // Симпозиум «Прикладная оптика – 94», тезисы докладов, СПб, 1995
- Цуканова Г.И., Стариченкова В.Д., Тетерина И.В. Конструктивные особенности трёхзеркальных плананастигматов с промежуточным изображением после отражения от двух зеркал // Научно-техническая конференция «Оптика, стекло, лазер – 95», тезисы докладов. - СПб, 1995
- Цуканова Г.И., Стариченкова В.Д. Высокоразрешающие трёхзеркальные телескопы (с пониженным светорассеянием)// Научно-техническая конференция «Оптика, стекло, лазер – 95», тезисы докладов. - СПб, 1995

1996

- Цуканова Г.И., Арюшин А.В., Летуновский А.А. Оптическая система высокочувствительного спутникового видеоспектрометра // Международная конференция «Прикладная оптика – 96», 17-20 сент. 1996. Тезисы докладов. СПб, 1996
- Цуканова Г.И., Зверев В.А., Соболев К.Ю. Контроль формы выпуклых несферических поверхностей вращения // Оптический журнал, № 12, 1996
- Ершов В.Н., Стариченкова В.Д., Цуканова Г.И., Чубей М.С. Новая оптическая техника для космического астрометрического проекта Струве // J. Korean Astron. Soc. 1996, vol. 29 suppl. – s. 425-426

1997

- Цуканова Г.И., Стариченкова В.Д. Исследование конструктивных особенностей трёхзеркальных объек-

тивов-плананастигматов с промежуточным изображением // Оптический журнал № 7, 1997

- Цуканова Г.И., Летуновский А.А., Афонин А.В., Грамматин А.П. Оптические системы видеоспектрометров-газовизоров на УФ и видимую области спектра // Оптический журнал, № 3, 1997

1998

- Цуканова Г.И., Захаренков В.Ф., Зверев В.А. Ортоскопические трёхзеркальные объективы с промежуточным изображением // Международная конференция «Прикладная оптика – 98». Сборник тезисов. Санкт-Петербург, 1998

1999

- Цуканова Г.И. Зеркально-линзовые объективы типа Ричи-Кретьена с выпуклым сферическим зеркалом // XXX научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, 25-28 янв. 1999 г. Тезисы докладов. СПб.: ИТМО (ТУ), 1999
- Цуканова Г.И. Трёхзеркальные ортоскопические объективы с промежуточным изображением // Оптический журнал, № 12, 1999

2000

- Цуканова Г.И., Чубей М.С., Цуканов А.А. Зеркальный астрономический телескоп для Межпланетной Солнечной Стереоскопической обсерватории // Юбилейная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, посвященная 100-летию университета, 29-31 марта 2000 г.
- Захаренков В.Ф., Стариченкова В.Д., Цуканова Г.И., Чубей М.С. Конструктивные особенности оптических систем для обеспечения астрономических наблюдений с Межпланетной Солнечной Стереоскопической Обсерватории // Сборник трудов межд. Конференции «Прикладная оптика – 2000». Том 1, 16-20 окт. 2000 ГОИ им. С.И. Вавилова Санкт-Петербург
- Захаренков В.Ф., Стариченкова В.Д., Цуканова Г.И., Чубей М.С., Флейшер А.Г., Копылов И.М., Канаев И.И. Оптическое оснащение орбитального комплекса для глобального обзора

неба в проекте Струве // Сборник трудов межд. Конференции «Прикладная оптика – 2000». Том 1, 16-20 окт. 2000 ГОИ им. С.И. Вавилова Санкт-Петербург

2001

- Захаренков В.Ф., Стариченкова В.Д., Цуканова Г.И., Чубей М.С., Канаев И.И. Космический астрометрический эксперимент «Струве» // Оптический журнал, № 8, 2001

2002

- Шехонин А.А., Цуканова Г.И., Карпов В.Г., Карпова Г.В., Багдасарова О.В. Тесты для дистанционного обучения и аттестации по курсу «прикладная оптика», [http:// de.ifmo.ru](http://de.ifmo.ru) , 2002
- Цуканова Г.И., Карпов В.Г., Карпова Г.В., Багдасарова О.В., Кривоустова Е.В., Ежова К.В. Геометрическая оптика. Учебное пособие - СПб: ГИТМО(ТУ), 2002
- Цуканова Г.И. Зеркально-линзовые инфракрасные объективы для двух спектральных диапазонов // Сборник трудов 5 Междунар. Конференции «Прикладная оптика», Санкт-Петербург, 2002

2003

- Цуканова Г.И., Карпова Г.В., Багдасарова О.В., Карпов В.Г., Кривоустова Е.В., Ежова К.В. Прикладная оптика. Часть 1. Учебно-методическое пособие под ред. профессора Шехонина А.А. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2003. – 75 с.
- Цуканова Г.И., Карпова Г.В., Багдасарова О.В., Карпов В.Г., Кривоустова Е.В., Ежова К.В. Прикладная оптика. Часть 2. Учебно-методическое пособие под ред. профессора Шехонина А.А. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2003. – 77 с.
- Шехонин А.А., Цуканова Г.И., Карпова Г.В., Карпов В.Г., Багдасарова О.В. Учебно-методический комплекс для дистанционного обучения и аттестации по курсу «Прикладная оптика» - [http:// de.ifmo.ru](http://de.ifmo.ru) , 2005

2004

- Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Карпова Г.В., Карпов В.Г., Бахолдин А.В. Опыт работы с тестами по дисциплине «Прикладная оптика» в системе дистанционного обучения //

Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Выпуск 15. Теория и практика современных технологий. Санкт-Петербург, 2004

2005

- Zukanova G.I., Die Objektive fur zwei infrarotspektrale Bereiche // 50 Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, 19-23.09.2005, Technische Universitet Ilmenau
- Цуканова Г.И.. Зеркально-линзовые объективы с уменьшенными значениями экранирования и осевой длины // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Выпуск 18. Исследования в области оптики и физики. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2005
- Zukanova G.I., Die Objektive fur zwei infrarotspektrale Bereiche // Technische Universitet Ilmenau. Fakultat fur Maschinen Bau. Tagungsunterlagen 50. IWK 19-23.09.2005

2006

- Tcukanova G.I., Chubey M.S., Bakholdin A.V. Optical Design of Astrograph for «Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory»// 4th International Symposium on Instrumentation Science and Technology, Aug. 8-12.2006. Harbin, China
- Цуканова Г.И., Чубей М.С., Бахолдин А.В. Трёхзеркальный квазиортоскопический телескоп для космической обсерватории // Сборник трудов 7 Медунар. Конференции «Прикладная оптика – 2006». Том 3. Компьютерные технологии в оптике

2007

- Цуканова Г.И., Чубей М.С., Бахолдин А.В. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная Солнечная Стереоскопическая Обсерватория» // Оптический журнал, том 74, № 7, 2007 – С. 37 - 41
- Tcukanova G.I., Chubey M.S., Bakholdin A.V. Specifics of the design of the optical system of an astrograph for the Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory Project // Journal of Optical Technology, 2007. Iss. 74, № 7, pp. 467-470

2008

- Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Специальные разделы

прикладной оптики. Учебно-методическое пособие под ред. профессора Шехонина А.А. – СПб: СПб ГУИТМО, 2008. – 77с.

- Цуканова Г.И., Чубей М.С., Бахолдин А.В. Организация системы защиты от постороннего излучения в системе астрографа для Межпланетной Солнечной стереоскопической обсерватории // 8 Международная конференция «Прикладная оптика – 2008», 20-24 октября 2008, Санкт-Петербург

2009

- Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Бахолдин А.В., Карпов В.Г., Карпова Г.В., Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Прикладная оптика». Часть 1. Учебно-методическое пособие под ред. профессора Шехонина А.А. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 96 с.
- Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Бахолдин А.В., Карпов В.Г., Карпова Г.В., Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Прикладная оптика». Часть 2. Учебно-методическое пособие под ред. профессора Шехонина А.А. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 124 с.
- Цуканова Г.И., Чубей М.С., Бахолдин А.В. Защита от прямых засветок в системе астрографа для межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории // Оптический журнал, том 76, № 8, 2009 – С. 70 - 73
- Цуканова Г.И., Чубей М.С., Бахолдин А.В. Protection from direct illumination in the system of the astrograph for the Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory // Journal of Optical Technology, 2009, Iss. 76 № 8, pp. 504-506

2010

- Цуканова Г.И., Бахолдин А.В., Красавцев В.М. Трёхзеркальный астрограф со спектральным каналом // Международная конференция «Фундаментальные проблемы оптики», Сборник трудов, Санкт-Петербург, 2010
- Цуканова Г.И., Романова Г.Э., Трофимук А.А., Шехонин А.А. Оптика осветительных устройств // 9 Международная конференция «Прикладная оптика – 2010», Сборник трудов. Т.1, № 1, с. 173 – 176, Санкт-Петербург
- Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Ортоскопические телескопы

для астрономических исследований в широком спектральном диапазоне // 9 Международная конференция «Прикладная оптика – 2010», Сборник трудов, т.1, № 1, с. 66-69, Санкт-Петербург

- Чубей М.С., Цуканова Г.И., Львов В.Н., Ерошкин Г.И., Куприянов В.В., Ягудин Л.И. и др. Орбитальная звёздная стереоскопическая обсерватория //Тезисы Всероссийской астрономической конференции «ВАК-2010», 13-18 сентября, 2010, с. 109

2011

- Chubey M., Tcukanova G., Koupryanov V., L'vov V., Eroshkin G., Tsekmeister A., Bakhholdin A. Project «Optical Stellar Stereoscopic Observatory» // Proceed. ASTROKAZAN-2011, International Astronomical Congress, August 22-30, 2011, REPORTS. Kazan, 2011, p. 261-262
- Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В., Пашков В.С. Астрограф для построения изображений высокого астрометрического и фотометрического разрешения в наземных и орбитальных условиях // Вторая всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов». Сборник трудов, М.: 2011- С . 174-182
- Цуканова Г.И., Бахолдин А.В., Романова Г.Э. Теория и методы проектирования оптических систем. Часть 1. – СПб НИУ ИТМО, 2011

2012

- Цуканова Г.И. Бахолдин А.В. Исследование систем несветосильных ортоскопических зеркальных объективов // Известия ВУЗов. Приборостроение, № 4, 2012 - С. 65-68
- Цуканова Г.И., Горбатенко Ю.В. Расчет исходных систем для ортоскопических зеркально-линзовых объективов // Оптический журнал, том 79, № 4, 2012, с. 13-16
- Tcukanova G.I., Gorbatenko J.V. Designing starting systems for orthoscopic mirror-lens objectives // Journal of Optical Technology 2012. Iss. 79, № 4, p. 504-506
- Tcukanova G.I., Bakhholdin A.V. Investigation of the initial systems

of orthoscopic astronomical objectives in the 0.2 – 1 –m region // Journal of Optical Technology 2012. Iss. 79, № 5

- Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Исследование исходных систем ортоскопических астрономических объективов в спектральном диапазоне 0,2 – 1 мкм // Оптический журнал, том 79, № 5, 2012 - С. 15-18
- Чубей М.С., Цуканова Г.И., Купричнов В.В., Львов В.Н., Бахолдин А.В., Маркелов С.В. Система регистрации изображений и проницание астрографа для Орбитальной Звёздной Стереоскопической Обсерватории // Третья Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы ориентации и навигации космических аппаратов», Таруса Калужской обл., СУБ КП ИКИ РАН. 2012 - С. 17-18
- Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Оптическая система телескопа с двумя спектральными каналами // Международная конференция «Прикладная оптика – 2012», Санкт-Петербург, 15-19 сентября, Сборник трудов, т. 1, 2012 - С. 38-40
- Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Оптическая система телескопа с четырьмя спектральными каналами // Международная конференция «Прикладная оптика – 2012», Санкт-Петербург, 15-19 сентября, Сборник трудов, т. 1, 2012 - С. 32-36
- Цуканова Г.И., Бутылкина К.Д. Расчет и анализ исходных систем для трёхзеркальных обзорных телескопов // Международная конференция «Прикладная оптика – 2012», Санкт-Петербург, 15-19 сентября, Сборник трудов, т. 1, 2012 - С. 26-28

2013

- Цуканова Г.И., Карпова Г.В., Багдасарова О.В. Прикладная оптика. Часть 1. Учебно-методическое пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 73 с.
- Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Оптические системы крупногабаритных многоспектральных телескопов // Оптический журнал, том 80, № 12, 2013 - С. 37-41

2014

- Цуканова Г.И., Бутылкина К.В. Светосильные трехзеркальные объективы без промежуточного изображения с выпуклым

вторым и вогнутым третьим зеркалами // Оптический журнал, том 81, № 3, 2014 – С. 3 - 7

2015

- Гаршин А.В., Цуканова Г.И. Особенности построения и расчета крупногабаритных многоспектральных оптических систем // Оптический журнал, том 82, № 6, 2015, С. 42 - 47

Основные даты жизни и научно-педагогической деятельности Г. И. Цукановой

Родилась 26 февраля 1942 г. в дер. Мануйлово Торжокского района Калининской области.

1949 г. – 1955 г. обучение в школе дер. Мануйлово

1955 г. – 1959 г. обучение в школе № 80 г. Ленинграда

1959 г. – 1965 г. обучение в Ленинградском институте точной механики и оптики

1965 г. – окончание ЛИТМО с дипломом с отличием по специальности «Оптические приборы»

1965 г. – 1968 г. обучение в аспирантуре ЛИТМО

1969 г. – защита диссертации и присуждение ученой степени кандидата технических наук

1968 г. – 1970 г. работа в должности инженера кафедры оптико-механических приборов

1972 г. – присвоение звания старший научный сотрудник

1976 г. – присвоение ученого звания доцента

1970 г. – 1972 г. работа в должности старшего научного сотрудника НИЧ

1971 г. – 1972 г. прохождение научной стажировки в ГДР в Высшей технической школе г. Ильменау

1972 г. – 1996 г. работа в должности доцента кафедры Теории оптических приборов

1978 г. – 1980 г. работа в должности заместителя секретаря парткома института

1985 г. награждение медалью им. С.П. Королева

1985 г. награждение II премией Минвуза СССР за НИР по проекту «Вега»

1986 г. награждение Государственной премией СССР за участие в проекте «Вега»

1996 г. – 2014 г. работа в должности доцента на кафедре Прикладной и компьютерной оптики

2003 г. награждение нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»

2004 г. награждение медалью «В память 300-летия Санкт-Петербурга».

2007 г. – 2012 г. работа в должности главного специалиста в филиале ОАО «ПО УОМЗ» «Урал-ГОИ» (Уральский Оптико-Механический Завод)

2013 – 2014 гг. работа в должности главного специалиста в АО «ГИРООПТИКА»

Скончалась в пос. Мельничьи Ручьи Ленинградской области 24 ноября 2014 г.

Основные научные и учебно-методические публикации Г.И. Цукановой

1. Цуканова Г.И., Чубей М.С., Бахолдин А.В. Защита от прямых засветок в системе астрографа для межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории // Оптический журнал, том 76, № 8, 2009 – С. 70 - 73 (Protection from direct illumination in the system of the astrograph for the Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory // Journal of Optical Technology, 2009, Iss. 76 № 8, pp. 504-506)
2. Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Бахолдин А.В., Карпов В.Г., Карпова Г.В., Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Прикладная оптика». Часть 2. Учебно-методическое пособие под ред. профессора Шехонина А.А. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 124 с.
3. Цуканова Г.И., Багдасарова О.В., Бахолдин А.В., Карпов В.Г., Карпова Г.В., Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Прикладная оптика». Часть 1. Учебно-методическое пособие под ред. профессора Шехонина А.А. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 96 с.
4. Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Специальные разделы прикладной оптики. Учебно-методическое пособие под

- ред. профессора Шехонина А.А. – СПб: СПб ГУИТМО, 2008. – 77 с.
5. Цуканова Г.И., Чубей М.С., Бахолдин А.В. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная Солнечная Стереоскопическая Обсерватория» // Оптический журнал, том 74, № 7, 2007 - С 37-41
 6. Цуканова Г.И., Карпова Г.В., Багдасарова О.В., Карпов В.Г., Кривоустова Е.В., Ежова К.В. Прикладная оптика. Часть 2. Учебно-методическое пособие под ред. профессора Шехонина А.А. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2003. – 77 с.
 7. Цуканова Г.И., Карпова Г.В., Багдасарова О.В., Карпов В.Г., Кривоустова Е.В., Ежова К.В. Прикладная оптика. Часть 1. Учебно-методическое пособие под ред. профессора Шехонина А.А. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2003. – 75 с.
 8. Цуканова Г.И. Трёхзеркальные ортоскопические объективы с промежуточным изображением // Оптический журнал, № 12, 1999
 9. Ершов В.Н., Стариченкова В.Д., Цуканова Г.И., Чубей М.С. Новая оптическая техника для космического астрометрического проекта Струве // J. Korean Astron. Soc. 1996, vol. 29 suppl. – pp. 425-426
 10. Цуканова Г.И. Зеркальные объективы малой длины для космических исследований // Известия вузов «Приборостроение», № 11-12, 1994
 11. Цуканова Г.И. Оптические системы телескопов с синтезированной апертурой // Оптический журнал, № 9, 1994
 12. Цуканова Г.И. Исследование экранирования, виньетирования и аберраций высших порядков в трёхзеркальных плананастигматах // Оптико-механическая промышленность, № 3, 1991
 13. Sagdeev R. Z., Szabo F., Avanesov G.A., Cruvellier P., Zukanova G.I., Kostenko V.I., Tarnopolsky V.I. et al. Television observations of comet Halley from Vega spacecraft // Nature v. 321, № 60676 15-21 May 1986, pp. 262 – 266
 14. Русинов М.М., Цуканова Г.И. Объективы для телевизи-

- онной системы проекта «Вега» // Геодезия и картография, № 6, 1985
15. Салом Ш., Сабо Л., Рени И., Женен М., Гомбоши Т., Сендл Б., Гардош М., Сагдеев Р.З., Аванесов Г.А., Баринов И.В., Тарнопольский В.И., Цуканова Г.И., Костенко В.И. Телевизионная система пролетного аппарата «Венера-Галлей» // Научное космическое приборостроение. Вып. 2. Оптико-электронные приборы. – М.: «Металлургия», 1983
 16. Цуканова Г.И., Кривоустова Е.В., Костенко В.И., Тарнопольский В.И. Специфика расчета оптических систем телевизионных камер проекта «Венера-Галлей» // Научное космическое приборостроение. Вып. 2. Оптико-электронные приборы. – М.: «Металлургия», 1983
 17. Цуканова Г.И. Расчет защитных блендов от постороннего света в многозеркальных системах // Известия вызов «Приборостроение», № 6, 1977
 18. Цуканова Г.И. Длиннофокусные трёхзеркальные системы с вогнутым вторым и выпуклым третьим зеркалами // Труды ЛИТМО «Оптическое приборостроение», вып. 88, 1977
 19. Цуканова Г.И. Исследование коррекционных возможностей и конструктивных особенностей трёхзеркальных систем с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами / Труды ЛИТМО «Расчет, конструирование и исследование точности оптических систем», выпуск 84, 1976
 20. Цуканова Г.И. Оптические схемы секционных телескопов // Известия вузов СССР «Приборостроение», № 7, 1975
 21. Цуканова Г.И. Вопросы экранирования и защиты плоскости изображения от постороннего света в трёхзеркальных длиннофокусных объективах // Изв. Вузов «Приборостроение», № 9, 1971
 22. Цуканова Г.И. Исследование и расчет астрономических асферических объективов с коррекцией полевых аберраций: автореферат. – Ленинград, 1968
 23. Тихомирова Г.И. Трёхзеркальные астрономические объективы // Изв. вузов СССР – «Приборостроение», 1967, № 12

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выдающееся достижение в изучении Солнечной системы // «Ленинградская правда», 7 марта 1986 года
2. Гаршин А.В., Цуканова Г.И. Особенности построения и расчета крупногабаритных многоспектральных оптических систем // Оптический журнал, том 82, № 6, 2015 – С. 42 - 47
3. Звездный час // «Кадры Приборостроению» № 38 (1315), 30 декабря 1986 г.
4. Золотая сотня // «24 часа» № 2, 2000 г.
5. Известные выпускники Университета ИТМО / Под редакцией профессора Ю.Л. Колесникова - СПб: Университет ИТМО, 2015. – 390 с. – Серия книг «Университет ИТМО: Годы и люди», выпуск 9.
6. ИТМО: Годы и люди: часть первая /сост. М.И. Потеев. СПб., 2000. – 284 с.
7. Описание и научные задачи международного проекта «Венера-Галлей» (1984 – 1986 гг.) – издание Международного научно-технического комитета по проекту «Венера-Галлей»
8. Посланцы ЛИТМО – в космосе // «Кадры Приборостроению» № 11 (1211), 5 апреля 1985 г.
9. Русинов М.М. / под общ. ред. проф. М.И. Потеева. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 168 с. – серия «Университет ИТМО: Годы и люди»
10. Цуканова Г.И. Исследование и расчет астрономических асферических объективов с коррекцией полевых аберраций: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук – Ленинград, 1963 г.
11. Цуканова Г.И. Исследование трехзеркальных плананастигматов без промежуточного изображения // 34 internationales wissenschaftliches koloquium, 23 – 27.10.1989, Technische hochschule Ilmenau . DDR - S. 225
12. Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Исследование исходных систем ортоскопических астрономических объективов в спектральном диапазоне 0,2 – 1 мкм // Оптический

- журнал, том 79, № 5, 2012 – С. 15 - 18
13. Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Оптические системы крупногабаритных многоспектральных телескопов // Оптический журнал, том 80, № 12, 2013 – С. 37-41
 14. Цуканова Г.И., Бутылкина К.В. Светосильные трехзеркальные объективы без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами // Оптический журнал, том 81, № 3, 2014 – С. 3 - 7
 15. Цуканова Г.И., Горбатенко Ю. В. Расчет исходных систем для ортоскопических зеркально-линзовых объективов // Оптический журнал, том 79, № 4, 2012 – С. 13 – 16
 16. Цуканова Г.И., Чубей М.С., Бахолдин А.В. Защита от прямых засветок в системе астрографа для межпланетной солнечной стереоскопической обсерватории // Оптический журнал, том 76, № 8, 2009 – С. 70 - 73
 17. Чубей М.С., Цуканова Г.И., Бахолдин А.В. Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория» // Оптический журнал, том 74, № 7, 2007 – С. 37 - 41

ОГЛАВЛЕНИЕ

К семидесяти пятилетию со дня рождения Г.И. Цукановой.....	5
ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА	7
 Часть первая. ПРОГРАММА «ВЕНЕРА - ГАЛЛЕЙ» И УЧАСТИЕ В НЕЙ СОТРУДНИКОВ ЛИТМО	10
Уникальный космический эксперимен	10
Проект «Вега», как все начиналось	13
Уникальные результаты. Проект «ВЕГА» - наша победа	37
 Часть вторая. ЗЕРКАЛЬНО-ЛИНЗОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	48
Исследование и расчет астрономических асферических объек- тивов с коррекцией полевых аберраций	48
Исследование трехзеркальных плананастигматов без промежу- точного изображения	54
Специфика расчета оптической системы астрографа для проекта «Межпланетная солнечная стереоскопическая обсерватория»..	61
Защита от прямых засветок в системе астрографа для межплан- етной солнечной стереоскопической обсерватории	70
Оптические системы крупногабаритных многоспектральных телескопов	80
Исследование исходных систем ортоскопических астрономиче- ских объективов в спектральном диапазоне 0,2 – 1 мкм	91
Расчет исходных систем для ортоскопических зеркально- линзовых объективов	98
Светосильные трехзеркальные объективы без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зерка- лами	106
Особенности построения и расчета крупногабаритных много- спектральных оптических систем	118
 Авторские свидетельства и патенты Г.И. Цукановой	131
1967 г.	
Компенсатор аберраций зеркально-линзовой системы	131

1969 г.	
Объектив	133
Оптическая схема телескопа	134
1970 г.	
Репродукционный объектив	137
Длиннофокусный зеркальный объектив	139
1971 г.	
Зеркальная телескопическая система	140
Зеркальный объектив	141
Зеркально-линзовый объектив	143
1973 г.	
Оптическая схема киноаппарата с непрерывным движением киноплёнки	145
Зеркальный объектив	146
1974 г.	
Зеркальный объектив	148
1975 г.	
Зеркальный объектив	150
1978 г.	
Зеркальный объектив	152
Фотографический объектив	154
1979 г.	
Зеркальный объектив	156
Фурье-спектрометр	159
1981 г.	
Зеркально-линзовый объектив	162
1992 г.	
Зеркально-линзовый объектив	165
2013 г.	
Трёхканальная зеркально-линзовая оптическая система	169
2014 г.	
Теплопеленгатор-дальномер	177
2015 г.	
Оптико-электронный модуль	184
Часть третья. СИМФОНИЯ ЖИЗНИ	186

Краткая биография	186
Студенческие годы. Г. И. Войтченко (Фаломеева)	195
 УЧИТЕЛЯ	 201
О своем руководителе М.М. Русинове Галина Ивановна оставила воспоминания	205
 СОТРУДНИКИ	
Звездный час	211
Учебная работа Г.И. Цукановой	214
Сотрудники Государственного Астрономического Института им. П.К.Штернберга МГУ (ГАИШ) о Галине Ивановне	218
Вспомнить Галину Ивановну	218
Работа Г.И. Цукановой в Пулковской обсерватории. Слово о выдающемся оптике и замечательном человеке Цукановой Галине Ивановне (воспоминания М.С. Чубея)	222
 УЧЕНИКИ	
Галина Ивановна глазами ее учеников (А. С. Гаршин)	230
 ЛИТМО— Университет ИТМО как малая родина семьи	
Супруг Галины Ивановны – Анатолий Анатольевич Цуканов .	235
Изобретения А.А. Цуканова	239
Ольга Анатольевна Цуканова — дочь Г.И. Цукановой	243
 ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ	
Воспоминания профессора В.А.Зверева	255
 Список трудов Цукановой Г.И.	259
Основные даты жизни и научно-педагогической деятельности Г. И. Цукановой	275
Основные научные и учебно-методические публикации Г.И. Цукановой	278
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	279

НАИМЕНОВАНИЕ ПРЕДЫДУЩИХ КНИГ СЕРИИ

- Вып. 1. Г. Н. Дульнев. Энергоинформационный обмен в природе. – 2000. – 134 с.
- Вып. 2. А. В. Сечкарев. Фотонная оптика. – 2000. – 220 с.
- Вып. 3. В. С. Игнатовский. Элементарные основы теории оптических приборов. – 2001. – 202 с.
- Вып. 4. К. Г. Коротков. Основы ГРВ биоэлектрографии. – 2001. – 360 с.
- Вып. 5. В. Н. Чуриловский. Теория оптических приборов. – 2001. – 274 с.
- Вып. 6. Ю. Г. Шнейдер. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – 2001. – 264 с.
- Вып. 7. В. С. Меськин. Основы легирования стали. – 2002. – 236 с.
- Вып. 8. Э. С. Слив. Прикладная теория навигации. – 2002. – 132 с.
- Вып. 9. Г. М. Кондратьев, Г. Н. Дульнев, Е. С. Платунов, Н. А. Ярышев. Прикладная физика: Теплообмен в приборостроении. – 2003. – 550 с.
- Вып. 10. М. М. Русинов. Композиция нецентрированных оптических систем. – 2004. – 550 с.
- Вып. 11. В. И. Земский, Ю. Л. Колесников, И. К. Мешковский. Физика и техника импульсных лазеров на красителях. – 2004. – 150 с.
- Вып. 12. А. А. Акаев, С. А. Майоров. Оптические методы обработки информации. – 2005. – 240 с.
- Вып. 13. Жизнь и деятельность В. К. Прокофьева / Под общей редакцией проф. И. П. Гурова и проф. Ю. Л. Колесникова. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 92 с.
- Вып. 14. С. А. Сухопаров. На службе оптическому приборостроению. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 218 с.
- Вып. 15. Н. А. Ярышев. Научная школа и школа жизни. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 258 с.
- Вып. 16. А. Ф. Новиков Цвет молекул. Время. Свет. – СПб.: НИУ ИТМО, 2011. – 308 с.
- Вып. 17. Ю. А. Гатчин, К. Н. Чиков. Линия жизни — информационная безопасность. – СПб.: НИУ ИТМО, 2011. – 270 с.

ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНЫЕ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО

*Серия монографий ученых
НИУ ИТМО (бывшего ЛИТМО)*

Г.И. Цуканова

ВЕГА

(Под редакцией проф. О.А. Цукановой)

Технический редактор Н.К. Мальцева
Подготовка иллюстраций О.А. Цуканова, Т.В. Афанасьева

Компьютерная верстка Т.В. Афанасьева
Дизайн обложки Т.В. Афанасьева

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики.
197101, СПб. Кронверкский пр., 49

Подписано в печать 10.04.19. Тираж экз. Печать цифровая

Центр распределенных издательских систем
Университета ИТМО

199034, СПб. Биржевая линия, 16.
тел: +7 (812) 915-14-54,
zakaz@tibir.ru