

РОЛЬ ГОИ им. С.И. ВАВИЛОВА В СОЗДАНИИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ОБНАРУЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ЭШЕЛОНА СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О РАКЕТНОМ НАПАДЕНИИ

© 2007 г. **М. М. Мирошников**, член-корр. РАН; **В. Ф. Захаренков**, канд. техн. наук; **Л. А. Мирзоева**,
Г. А. Маковцов, канд. техн. наук; **Е. А. Иосеп**, канд. техн. наук

НПК “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

Изложены основные этапы работы ГОИ им. С.И. Вавилова над созданием оптико-электронной аппаратуры обнаружения факелов стартующих баллистических ракет для космического эшелона отечественной системы предупреждения о ракетном нападении в период с 60-х гг. прошлого столетия до настоящего времени. Для создания аппаратуры обнаружения в соответствии с конкретными требованиями заказчика проведены комплекс фундаментальных и прикладных исследований, поиск инженерных и технических решений, большой объем работ по исследованию, уточнению и нормированию исходных данных применительно к различным объектам и средам.

Коды OCIS: 120.1880.

Поступила в редакцию 07.06.2007.

Применение оптических и оптико-электронных приборов в военном деле не только определяет тактико-технические характеристики систем вооружения, но, по существу, обеспечивает безопасность существования государства. Главным фактором, который уже многие годы удерживает мир от глобальной атомной войны и разрушения, является неотвратимость ответного удара, зависящая не только от уровня развития боевых зарядов и их носителей, но и от наличия высокоточных средств и систем раннего предупреждения о ракетном нападении, определяющее значение в которых имеют оптические средства [1]. Подобно тому, как глаз человека, обеспечивая получение им 90% информации о внешнем мире, является важнейшим инструментом бытия, так и оптический прибор является важнейшим элементом космического эшелона системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН) – источником первичной информации о факте запуска баллистической ракеты и направлении ее движения.

Поскольку обнаружение стартовавшей ракеты осуществляется главным образом по оптическому излучению факела ее двигательной установки, сосредоточенному преимущественно в инфракрасной (ИК) области спектра, основой построения бортовой аппаратуры обнаружения (БАО) космического эшелона СПРН являются методы и приборы ИК разведки.

Возможности ИК разведки исследовались еще в довоенный период, однако лишь в послевоенные годы, благодаря резкому повышению чувствительности и уменьшению инерционности приемников ИК излучения, удалось создать аппаратуру, позволяющую видеть объекты, температура которых отличается от температуры окружающей среды на доли градуса [2].

В ГОИ им. С.И. Вавилова была разработана теория тепловидения и определены принципы создания тепловизионной аппаратуры [3, 6], которые, наряду с материалами зарубежных изданий [4, 5], позволили предприятиям оптической промышленности легко ориентироваться в новом направлении ИК техники. Все это послужило причиной тому, что первая работа по созданию образцов аппаратуры для обнаружения факта старта ракет и определения направления полета по их ИК излучению в 1961 году приказом Госкомитета СМ СССР по оборонной технике была поручена ГОИ им. С.И. Вавилова в кооперации с другими предприятиями. Отчет о работе, содержащий детальное рассмотрение физических основ и принципиальных схем построения БАО стартов баллистических ракет (БР) по ИК излучению факелов их двигательных установок, в начале 1962 г. был разослан заинтересованным предприятиям промышленности и Министерства обороны (МО).

В 1965 г. Главное командование войск ПВО поручило группе предприятий разработку технических предложений по обоснованию принципиальной возможности создания и определения облика космической системы раннего обнаружения стартов межконтинентальных баллистических ракет как первого эшелона СПРН, что подробно рассмотрено в последующих публикациях [7–10].

В кооперации исполнителей роль головной организации была поручена ЦНИИ “Комета” Министерства радиотехнической промышленности (генеральный конструктор академик А.И. Савин). Научное руководство созданием БАО осуществлялось ГОИ им. С.И. Вавилова (научный руководитель член-корр. РАН М.М. Мирошников).

На этапе поиска принципиальных схем построения БАО было установлено, что отсутствуют досто-

верные данные об излучении факелов стартующих БР вероятного противника, а для оценки помехоустойчивости аппаратуры нет необходимых данных об излучении фонов Земли при их наблюдении из космоса.

Поэтому одновременно были начаты исследования излучения факелов ракет, разработка методик расчета прозрачности атмосферы на больших наклонных трассах.

Наибольшие усилия были направлены на теоретические исследования, на использование уже имеющейся наземной и самолетной аппаратуры для измерения излучения, на проведение эпизодических (наиболее дорогих) натурных экспериментов с ИСЗ и космических аппаратов (КА). Дополнительные затраты требовались лишь на лабораторные измерения характеристик газовых струй и исследования физико-химических процессов в них.

К работам были привлечены несколько ведущих отраслевых и академических НИИ страны. Координация работ была поручена Межведомственному научно-техническому координационному совету по целям и фонам, созданному при ГОИ им. С.И. Вавилова (председатель Совета доктор техн. наук, М.М. Мирошников, заместитель председателя доктор техн. наук А.И. Лазарев). Одновременно были развернуты работы по созданию оптических моделей фонов Земли.

Эти исследования показали, что излучение факелов БР имеет селективный характер по спектру, причем максимумы излучения совпадают с полосами поглощения атмосферы молекулами воды и углекислого газа. Было установлено, что излучение факелов двигателей с твердотопливным и жидкостным реактивными двигателями существенно различно по интенсивности и высотному ходу. Однако эти исследования относились к небольшим высотам подъема БР. Для больших высот не хватало данных о характеристиках верхних слоев атмосферы. Анализ результатов работ, проведенных в ВИА им. Дзержинского и ГОИ, позволил определить основные направления дальнейших исследований. Эта работа заложила основы кооперации предприятий, которые в дальнейшем были привлечены к решению этой задачи соответствующими решениями Военно-промышленной комиссии (ВПК) Совета министров СССР [11].

По мере получения данных об излучении факелов БР и фонов продолжались поиски более приемлемых систем обнаружения стартов БР с ИСЗ. В частности, в конце 60-х годов была рассмотрена возможность решения этой задачи с помощью системы полярных ИСЗ со средневысотными орбитами 3500 км. Для этой системы была разработана аппаратура типа 105К (см., например, [7]), оптическая

система которой была рассчитана в ГОИ, а фотоприемник “Гранат-1” на основе сернистого свинца создан в НИИ ПФ. Такая аппаратура была изготовлена в ЦКБ “Геофизика” при участии ГОИ. Расчетная дальность тепlopеленгаторов составляла 10 000 км. Однако система из таких ИСЗ была экономически чрезвычайно дорогостоящей, поскольку требовала использования большого количества (22–24) КА. Кроме того, ее создание было связано с необходимостью обеспечения запуска полярных КА с территории СССР, что требовало создания новых весьма сложных и дорогих ракетоносителей. Это направление работ также было признано нецелесообразным. Поэтому к концу 60-х годов было принято единственно возможное и экономически приемлемое решение по сети космических аппаратов – создание системы на базе ИСЗ, размещенных на высокоэллиптических (ВЭО) и геостационарных (ГСО) орбитах. Дальность обнаружения при этом должна была составлять 40 000–46 000 км. Создание БАО с необходимыми для этого характеристиками представляло чрезвычайно трудную научно-техническую задачу, обусловленную прежде всего необходимостью обеспечения очень высокой чувствительности, так как ослабление потока излучения на таких дальностях превышает 19 порядков по величине. В результате проработки были рассмотрены принципы построения аппаратуры и обоснована необходимость решения задачи наблюдения стартов БР на фоне космоса [7].

В 1970 г. в соответствии с постановлением Правительства были развернуты работы по созданию системы раннего предупреждения о ракетном нападении с ИСЗ на ВЭО, причем, исходя из трудностей решения поставленной задачи, постановлением предусматривалось создание аппаратуры обнаружения двух типов: сканирующего типа (головная организация ЦКБ “Геофизика” Министерства оборонной промышленности (МОП), главный конструктор Д.М. Хорол) и несканирующей аппаратуры телевизионного типа (головная организация ВНИИ телевидения Министерства промышленности средств связи, главный конструктор П.Ф. Брацлавец).

В 1971 году ВПК разрешила проведение экспериментальных пусков КА с БАО тепlopеленгационного (ТП) и телевизионного (ТВ) типов, и в период с 19.09.1972 по 02.10.1975 были запущены пять экспериментальных КА (четыре на ВЭО, один – на ГСО), изготовленных НПО им. С.И. Лавочкина (Космос-520, -606, -665, -706, -775), на каждом из которых оптически соосно размещались образцы БАО ТП и ТВ типов I поколения.

Анализ результатов работы тепlopеленгаторов на первом КА показал недостаточную близкозаци-

ценность при работе в направлениях, близких к направлению на Солнце. Моделирование подобных ситуаций на стенде ГОИ в г. Сосновый Бор позволило разработать рекомендации по изменению системы сканера и параметров бленды. В целом эксперимент с БАО ТП типа позволил получить обширный научный материал.

ТВ система обнаружения точечных объектов на ярких фонах не может конкурировать со сканирующей системой ТП типа из-за сильной зависимости ее чувствительности от уровня фона. Однако для условий наблюдения факелов ракет в пригоризонтной зоне на фоне космоса ТВ аппаратура обеспечила необходимые характеристики обнаружения.

Анализ полученных результатов подтвердил правильность основных технических решений, принятых при создании аппаратуры, правильность методик расчета характеристик обнаружения, в том числе при наличии фоновых засветок, методик проведения натурных испытаний. Кроме того, были получены данные, позволившие внести уточнения в модели излучения факелов БР.

Еще до начала космических экспериментов с БАО ТП типа I поколения в ГОИ были разработаны технические предложения по созданию штатной БАО ТП типа II поколения. Аппаратуру II поколения было предложено создавать с весьма сложной оптикой и многоэлементным фотоприемным устройством (ФПУ) с многоканальным трактом усиления и предварительной обработкой сигналов, которые не имели прототипов в прежних разработках.

В частности, для обеспечения заданных полей обзора с необходимым разрешением в ГОИ (руководитель работ профессор Д.С. Волосов) был рассчитан объектив нового типа “Пикар-2а” (“Искра-500”) с диаметром входного зрачка 0,5 м при кружке рассеяния не более 0,13 мм в интервале длин волн 1,9–3,5 мкм. Для снижения массы объектива были применены асферические зеркальные элементы. Важным условием, обеспечивающим возможность изготовления асферических зеркал для этих объективов, было создание соответствующих контрольно-поверочных оптических схем, которые также были разработаны в ГОИ. Была разработана конструкция объектива с термокомпенсацией расстройки, учитывающая тяжелые эксплуатационные условия при работе объектива на борту КА.

Были разработаны вакуум-стойкие оптические просветляющие покрытия и черные покрытия для бленд. Наконец, была проведена конструктивная проработка сканирующего устройства, которое позволяло обеспечить сканирование в сходящемся пучке (за объективом) при больших значениях углов сходимости пучка, что позволило существенно сократить вес сканера. Все эти рекомендации были

использованы ЛОМО и ЦКБ “Геофизика” при создании штатных образцов объективов и ТП БАО. Опыт разработки и создания объективов “Искра-500” и пеленгатора в целом лег в основу дальнейших работ по созданию модернизированного тепlopеленгатора II поколения на базе объектива “Пикар-9А” (“Эхо”), а впоследствии и по созданию в ГОИ перспективной аппаратуры III поколения.

Параллельно создавалась и штатная ТВ аппаратура. В штатных вариантах ТП и ТВ аппаратура размещалась на разных КА.

В период летно-конструкторских испытаний (ЛКИ) системы с 1976 по 1980 гг. было выведено на орбиту 8 космических аппаратов с БАО ТП и ТВ типов II поколения:

Космос-862	БАО ТП типа
Космос-903	– “ –
Космос-917	БАО ТВ типа
Космос-931	– “ –
Космос-1024	БАО ТП типа
Космос-1030	БАО ТВ типа
Космос-1109	– “ –
Космос-1124	БАО ТП типа.

В начале 1979 г. Государственная комиссия под председательством генерал-майора М.И. Ненашева подписала акт ЛКИ и в январе 1979 г. постановлением Правительства № 5721 система была принята на вооружение с рекомендацией в период 1979–1981 гг. провести опытную эксплуатацию системы силами МО и промышленности [7].

К 1983 г. совместная с промышленностью эксплуатация системы успешно завершилась и приказом МО от 12.12.1982 система была переведена в режим боевого дежурства [7].

Уже первые запуски БАО показали необходимость создания наземного оборудования, которое позволило бы имитировать и при необходимости моделировать различные варианты фоноцелевой обстановки, имеющей место при работе БАО на борту КА. Такое оборудование было создано в ГОИ и послужило основой для создания комплексного моделирующего стенда (КМС) для БАО [12, 13]. Основу КМС составляли имитаторы целей, серпа Земли и Солнца, коллиматоры и необходимое калибровочное оборудование.

В начале 1975 г. Научно-технический комитет войск противовоздушной обороны (НТК ВПВО) поставил вопрос о необходимости обнаружения баллистических ракет, стартующих не только с суши, но также с морей и океанов, т. е. практически с любого района земной поверхности [7]. Это означало существенный пересмотр всех технических возможностей БАО: чувствительности, помехозащищенности, разрешающей способности и размеров поля обзора. Главная трудность состояла в не-

обходимости решения проблемы выделения полезного сигнала (излучения факела ракеты) на крайне неоднородном фоне излучения поверхности Земли, ее атмосферы и облаков, освещенных Солнцем.

Учитывая, что ложные сообщения о стартах БР допустимы не более чем один раз за несколько лет, т.е. практически за все время работы на орбите БАО (минимум 5 лет, а реально 6–7 лет и более), можно легко понять, с какими огромными трудностями столкнулись разработчики глобальной системы обнаружения.

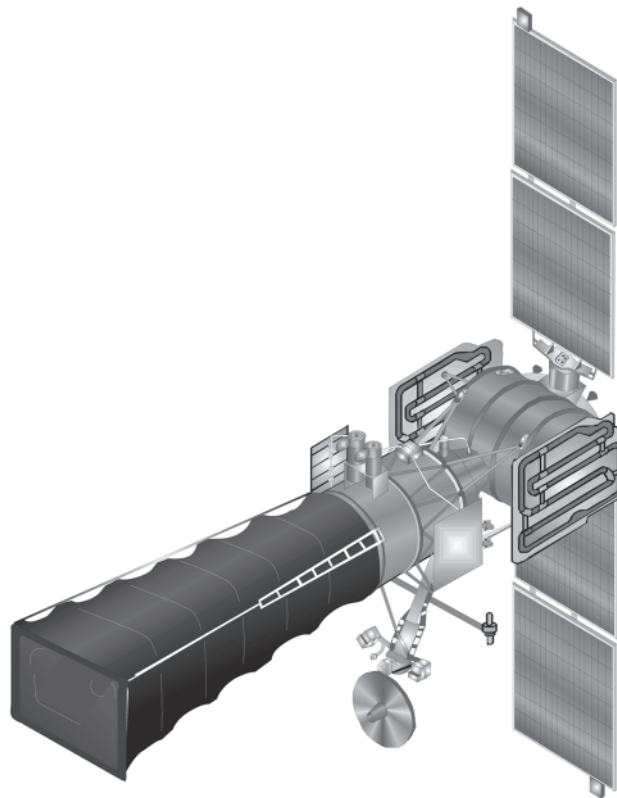
Процесс выделения полезного сигнала необходимо было разумно распределить между БАО (задача ГОИ) и наземной системой обработки информации (задача ЦНИИ “Комета”) на базе быстродействующего спецвычислителя (порядка 400 миллионов операций в секунду) и мощных ЭВМ “Эльбрус-1”.

Хотя необходимый научный задел для решения поставленной НТК ВПВО проблемы к 1975 году существовал как в головной организации по разработке системы (ЦНИИ “Комета”), так и у основных соисполнителей (по ракетно-космическому комплексу – НПО им. С.А. Лавочкина, а по БАО – ГОИ им. С.И. Вавилова), предстояла напряженная и предельно сложная работа по реализации, а во многих случаях – по развитию существовавшего научного задела.

Постановлением Правительства № 310–103 от 14.04.1975 г. разработка технических предложений по системе глобального обзора была официально задана, а постановление Правительства № 465–150 в 1985 г. утвердило окончательные сроки разработки [7].

Начавшаяся в 1985–1990 гг. перестройка серьезно сказалась на сроках создания системы, в частности, из-за возникших трудностей с финансированием. Тем не менее к 1990 г. были полностью закончены разработка БАО, изготовление опытных образцов, отработаны основные конструкторские и технологические решения [7, 14]. Внешний вид космического аппарата с ИК телескопом и раскрытой солнцезащитной пленкой показан на рисунке.

В результате упорной работы 14 февраля 1991 г. был запущен первый КА “Космос-2133” для проведения ЛКИ системы с космическим телескопом с диаметром главного зеркала 1 м, изготовленным в ГОИ им. С.И. Вавилова. Когда были открыты крышки объектива космического телескопа, появилась возможность наблюдать заданный район на Земле в ИК лучах. Вот как описывает эффект этого наблюдения главный конструктор ЦНИИ “Комета” К.А. Власко-Власов в своей книге [7]: “Все замерли от удивления. В дневное время испытатели увидели на экране индикатора освещенную Солнцем безоблачную Землю. Как на привычной географиче-



Внешний вид космического аппарата с ИК телескопом.

ческой карте, светились восточная часть Африки, Красное море с проливами, Аравийский полуостров, Персидский залив, полуостров Индостан, остров Цейлон и почти весь Индийский океан... Бортовая аппаратура работала безукоризненно. Никто не ожидал увидеть такую картинку морей, проливов, океанов, континентов с такой яркостью и четкостью”.

Первый КА просуществовал на орбите более четырех лет.

17 декабря 1992 г. был запущен второй КА “Космос-2224” с новым экземпляром космического телескопа, изготовленным также в ГОИ им. С.И. Вавилова. Он активно работал в Космосе более 6,5 лет. С ним была набрана наибольшая статистика по характеристикам системы, проведено большое число экспериментов по обнаружению стартов ракет и других измерений [7].

В соответствии с разработанными ГОИ им. С.И. Вавилова научными и конструкторскими решениями в НПО “Геофизика” были изготовлены и запущены в космос два комплекта ИК телескопов. 7 июля 1994 г. был запущен “Космос-2282”. Испытания прошли от лётно-конструкторского этапа до госиспытаний. 25 декабря 1996 г. Указом Президента система была принята на вооружение (боевое дежурство).

Орбитальный состав системы продолжал пополняться: в апреле 1998 г. запущен в августе 2001 г. запущен “Космос-2350”, “Космос-2379”, а в апреле 2002 г. – “Космос-2397”.

Таким образом, коллективу исполнителей удалось преодолеть огромные научные, технические и организационные трудности и создать глобальную систему обнаружения стартов БР по ИК излучению факелов их двигательных установок. Главной задачей коллектива ГОИ им. С.И. Вавилова на этом этапе являлись разработка, изготовление и испытания (наземные комплексные и летные) космического ИК телескопа.

БАО III поколения должны обеспечить

- максимально возможную чувствительность,
- наивысшую помехоустойчивость,
- максимально широкое поле обзора телескопа, достигаемое за счет сканирования (пространственной развертки) поля зрения,
- минимальную “засветку” приемника и отсутствие ложных сигналов, главным образом за счет конструкции бленды,
- минимальные массогабаритные размеры, минимальное энергопотребление и отсутствие динамического воздействия на корпус КА-носителя в процессе сканирования.

Таковы главные проблемы, требовавшие решения в процессе разработки ИК телескопа с БАО в целом. Однако они далеко не исчерпывали ту массу проблем, которые возникали в ходе работы.

Требуемые характеристики ИК телескопа были достигнуты в том числе и благодаря использованию в нем разработанного НПО “Орион” многоэлементного ИК ФПУ “Гранат-32” [15].

Необходимо отметить, что предложенное ГОИ им. С.И. Вавилова техническое решение построения объектива на основе зеркал из бериллия позволило запустить в Космос БАО со сканирующим крупногабаритным ИК телескопом. Использование бериллия при создании главного зеркала ИК телескопа, имеющего диаметр около 1 м, позволило не только снизить общий вес телескопа с 1600 кг при “классическом” конструировании до 450 кг, вполне приемлемый для установки и запуска на КА, но и решить проблему практически безынерционного сканирования путем прокачки всего корпуса телескопа.

Разработанная в ГОИ им. С.И. Вавилова технология остеклования бериллия и высокоточной асферизации оптической поверхности, специально разработанная технология получения крупногабаритных кристаллов фторидов, в спектрах пропускания которых отсутствует полоса поглощения воды (2,7 мкм), входящая в рабочий диапазон спектральной характеристики телескопа (руководитель работ академик Г.Т. Петровский), позволили изготавли-

вать на ЛОМО крупногабаритные объективы для космических ИК телескопов.

На всех этапах разработки космического ИК телескопа возникали аналогичные проблемы, требующие для своего решения проведения фундаментальных исследований.

Именно это обстоятельство определило роль ГОИ им. С.И. Вавилова в качестве головного разработчика уникального телескопа, с созданием которого не могли бы справиться институты и КБ МОП.

Необходимо добавить, что разработка и изготовление серии космических телескопов с уникальными характеристиками потребовали организации в ГОИ системы управления качеством продукции на новых принципах. Такая система, предусматривающая комплексный подход к управлению качеством работ на всех стадиях жизненного цикла создания изделий, была разработана и внедрена в ГОИ. При создании такой системы использовался комплекс национальных стандартов в области оптики.

В последующие годы разрабатывалась система менеджмента качества, соответствующая стандартам серии ИСО-9000, на базе которой в НПК “ГОИ им. С.И. Вавилова” создаются новые оптико-электронные приборы и системы для работы в космосе [16].

По существу, создание в ГОИ им. С.И. Вавилова космического ИК телескопа с диаметром главного зеркала 1 м позволило не только обеспечить систему предупреждения о ракетном нападении необходимой бортовой аппаратурой обнаружения, но и внесло существенный вклад в освоение принципиально новых конструкций и технологий в оптико-электронном приборостроении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.Н., Мирошников М.М. Оптика России и научная школа ГОИ (история, состояние, перспективы) // Оптический журнал. 2002. Т. 69. № 5. С. 97–104.
2. Мирошников М.М. Новое направление инфракрасной техники – тепловидение. Доклад на XV чтениях им. Д.С. Рождественского 18 мая 1961 г. // Труды ГОИ. 1965. Т. 29. В. 158. С. 30–63.
3. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Л.: Машиностроение, 1977. 600 с. (1-е издание); 1983. 696 с. (2-е издание).
4. Ллойд Дж. Системы тепловидения. М.: Мир, 1978. 414 с.
5. Джемисон Дж.Э., Мак-Фи Р.Х., Плас Дж.Н., Грубе Р.Г., Ричардс Р.Дж. Физика и техника инфракрасного излучения. М.: Сов. радио, 1965. 642 с.
6. Мирошников М.М., Минеев Е.Н., Федоровский А.Д. Физико-технические основы построения высоко-

- чувствительных тепловизоров // ЦНИИ информации, 1973. 183 с.
7. *Власко-Власов К.А.* От “Кометы” до “Око”. М.: Изд. “Ольга”, 2002. 249 с.
8. Космические средства вооружения. Энциклопедия “Оружие и технологии России XXI век”. Т. 5. М.: Изд. дом “Оружие и технологии”, 2002.
9. Федеральное государственное унитарное предприятие “Центральный научно-исследовательский институт “Комета””. М.: “Оружие и технологии”, 2003. 192 с.
10. *Завалий Н.Г.* Рубежи обороны – в космосе и на Земле. Очерки истории ракетно-космической обороны. М.: Изд. “Вече”, 2003. 752 с.
11. *Мирошников М.М.* Оптические характеристики излучения целей и фонов – физическая основа создания оптико-электронной аппаратуры // ВОТ. Сер. X. 1992. С. 2–10.
12. *Мирошников М.М.* Научно-испытательный комплекс ГОИ // Оптический журнал. 1994. № 11. С. 5–12.
13. Оптический институт в Сосновом Бору. Сосновый Бор, Лен. обл., 1999. 296 с.
14. Оптико-электронные системы и лазерная техника. Энциклопедия “Оружие и технологии России. XXI век”. Т. 11. М.: Изд. дом “Оружие и технологии”, 2005. 720 с.
15. *Пономаренко В.П., Филачев А.М.* Инфракрасная техника и электронная оптика. Становление научных направлений (1946–2006). М.: Физматкнига, 2006. С. 145–149.
16. *Иозеп Е.А., Мирзоева Л.А., Маковцов Г.А.* Создание высокотехнологичных оптико-электронных приборов в условиях оптимизации структуры “ГОИ им. С.И. Вавилова” // Тр. Междунар. конф. “Прикладная оптика-2006”. СПб., 2006. Т. 1. С. 209–212.
-