

Лаборатория методов оптико-физических измерений (571)

Лаборатория методов и средств бортовой обработки видеoinформации (572)

Оптико-физический отдел ИКИ РАН (ОФО ИКИ) — одно из старейших подразделений ИКИ, ведущее свою историю с начала 1970-х гг., когда появлялось совершенно новое направление космических исследований — изучение Земли из космоса с помощью спутников дистанционного зондирования. Начав с создания приборов для наблюдений нашей планеты, отдел постепенно расширял тематику своих работ в соответствии с актуальными потребностями космической отрасли. Опыт ОФО ИКИ показывает, что практически все его разработки, начатые в инициативном порядке, востребовались довольно быстро.

Создатель и первый руководитель отдела в той форме, которая существует сегодня, — профессор **Ян Львович Зиман** (16.09.1922–21.08.2009), участник Великой Отечественной войны, кавалер четырёх боевых орденов и 14 медалей, почётный штурман гражданской авиации, лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки России. Его преемником с 1988 до 2002 г. стал **Генрих Аронович Аванесов**, д-р технич. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Лауреат Ленинской премии. С 2002 до 2011 г. отделом руководил канд. физ.-мат. наук **Анатолий Анатольевич Форш**. С 2011 г. отдел возглавляет канд. технич. наук **Роман Валерьевич Бессонов**.

С начала 1970-х гг. исследования показали, что наблюдения из космоса — богатейший источник информации о Земле, но ещё предстояло понять, как использовать возможности космических аппаратов, чтобы получить нужные сведения. Работа началась с анализа потребностей наук о Земле с точки зрения видов и форм спутниковой информации, возможности их получения с помощью существующих космических аппаратов, определения требований к бортовой аппаратуре для сбора данных, средствам приёма и распространения информации. Отдел инициирует создание новой международной рабочей группы по дистанционному зондированию Земли в рамках совета «Интеркосмос». В это же время создаётся журнал «Исследование Земли из космоса», проводятся первые Всесоюзные научно-технические конференции по этой проблеме.

Laboratory of Optical and Physical Measurement Techniques (571)

Laboratory of Onboard Imagery Processing Techniques (572)

Optico-Physical department of IKI (OFO IKI) is one of the oldest IKI departments and traces its history back to the early 1970s, when a brand-new space research trend was originating — Earth research from remote sensing satellites. Starting with design of instruments for the our planet observations the Department gradually expanded its activities in accordance with the current requirements of the space industry. As the experience of OFO IKI shows practically every pilot project it initiated was rather quickly in demand.

The founder and the first head of the Optico-Physical department was Dr. **Yan Ziman**, a veteran of the Great Patriotic War, awarded four military decorations and 14 medals, an honorary civil aviation navigator, a laureate of the USSR State Prize, an honored worker of science of the Russian Federation, a full professor. His successor from 1988 to 2002 was Dr. **Genrikh Avanesov**, an honored worker of science of the Russian Federation, a laureate of the Lenin Prize, a full professor. From 2002 to 2011 the department was headed by Dr. **Anatoly Forsh**. Since 2011 it is headed by Dr. **Roman Bessonov**.

Since the early 1970s the studies found that observations from space are the most plentiful source of information about the Earth, but first it must be understood how to use the capabilities of spacecraft properly to obtain the information necessary. The work began with analysing the requirements of different Earth sciences for kinds and forms of satellite information, its availability from the existing spacecraft, and defining the requirements to the onboard data collection instruments, means of information reception and distribution. The Department initiated creation of a new international team for Earth remote sensing as a part of the *Intercosmos* Council. At the same time the magazine “Earth Research from Space” (translated in English as “Earth Observation and Remote Sensing”) was founded and the first all-Soviet Union scientific and technical conferences were held devoted to the topic.

ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ (57) OPTICO-PHYSICAL DEPARTMENT (57)



Руководитель — канд. техн. наук Роман Бессонов

Head — Dr. Roman Bessonov



Профессор Я. Л. Зиман (16.09.1922–21.08.2009)
Prof. Ya. L. Ziman
(September 19, 1922 – August 21, 2009)



Профессор Генрих Аванесов
Prof. Dr. Genrikh Avanesov



Профессор Анатолий Форш
Prof. Dr. Anatoly Forsh

Первый номер журнала
«Исследование Земли
из космоса»
The first issue of the
“Earth Research from Space”
magazine



Аэрофотоаппараты АФА
БА-210, адаптированные
для установки на станцию
«Салют»
Aerial photo cameras AFA
BA-210 modernized for
the Salyut station

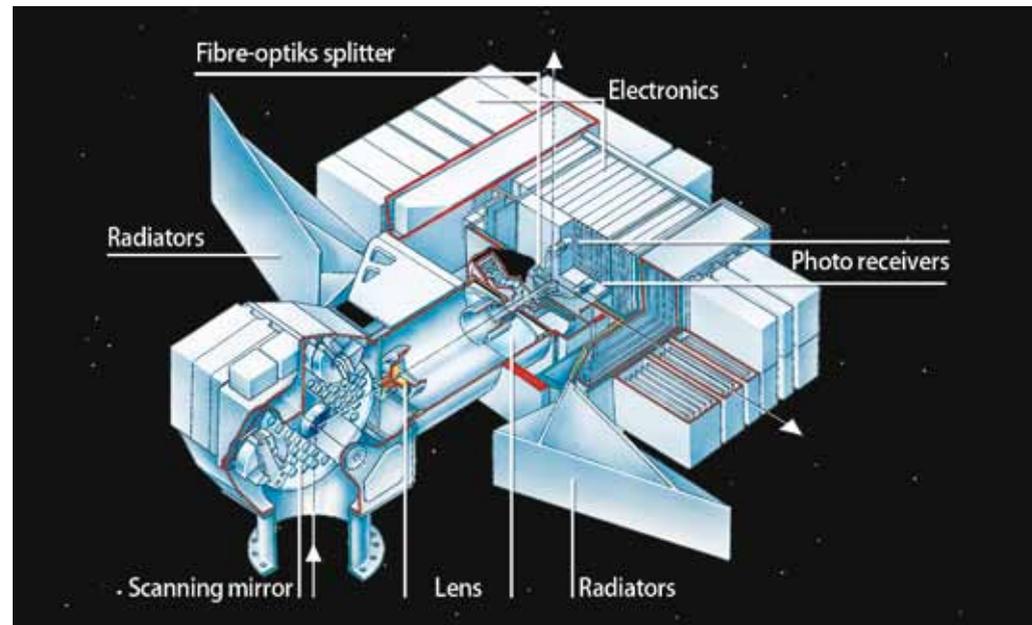


Многозональный фото-
аппарат МКФ-6 и много-
зональный синтезиру-
ющий проектор МСП-4
для наземной обработки
снимков, подготовленные
для пилотируемого косми-
ческого корабля «Союз-22»
на народном предприятии
«Карл-Цейсс Йена», ГДР,
по техническому заданию
ОФО ИКИ

Multispectral photo camera
MKF-6 and multispectral
synthesizing projector MSP-4
for ground image processing,
manufactured for the manned
spaceship Soyuz-22 at the VEB
Carl Zeiss Jena in the German
Democratic Republic according
to the technical requirements
of OFO IKI



В самолёте-лаборатории
Ан-30
Inside flying lab An-30



Многозональное
съёмочное устройство
«Фрагмент-2»

Multispectral imaging system
Fragment-2

В период 1970–1980 гг. отдел проводит серию экспериментов по многозональной фотосъёмке земной поверхности — при таком методе съёмка ведётся отдельно в нескольких диапазонах электромагнитного спектра. Эксперименты велись с борта четырёх пилотируемых станций «Салют» и космического корабля «Союз-22» (оборудование для последнего было изготовлено совместно со специалистами ГДР). На станциях «Салют» съёмка сопровождалась синхронной съёмкой звёзд — таким образом начались разработки методов автоматической геопривязки снимков. Эксперимент по многозональной съёмке земной поверхности на борту пилотируемого космического корабля «Союз-22» (сентябрь 1976 г.) получил название «Радуга». Он дал богатый материал для исследований в виде большого числа высококачественных снимков земной поверхности с разрешением около 15 м.

Следующими шагами в этом направлении стали использование цифровой съёмки и автоматизация процессов обработки данных. Совместно со Специальным конструкторским бюро космического приборостроения ИКИ было создано и в 1980 г. выведено в космос многозональное съёмочное устройство (МСУ) «Фрагмент-2» (КА «Метеор-Природа» № 3). Экспериментальные съёмки продолжались около четырёх лет. Создавался авиационный комплекс средств дистанционного зондирования: многозональные и топографические фотоаппараты,

In the 1970–1980s the Department conducted a series of experiments on multispectral photography of the Earth surface — this technique consisted in imaging conducted separately in several spectral bands. The experiments were carried out from four manned *Salyut* stations and the spaceship *Soyuz-22* (equipment for the latter was produced in cooperation with the East Germany specialists). Aboard the *Salyut* stations the survey was accompanied with the synchronous star imaging, thus starting the development of automatic georeferencing methods. The experiment with multispectral imaging from the manned spacecraft *Soyuz-22* (September 1976) was named *Raduga*. It provided ample material for research in the form of large amount of high-quality Earth surface images with resolution of ca. 15 m.

The subsequent steps in that direction were digital imaging and automatic data processing. In cooperation with the IKI Special Design Bureau for Space Instrument Engineering designed and in 1980 set into space a multispectral imaging system *Fragment-2* (aboard the *Meteor-Priroda* No. 3 spacecraft). Experimental imaging was carried on for four years. An airborne system of remote-sensing instruments was created. It consisted of multispectral and topographic photo cameras, optoelectronic scanners and infrared radiometers, digital data tape recorders. Its first flight was aboard Il-14 over the USSR test areas in 1972, and in 1973 testing began aboard An-30.

оптико-электронные сканирующие устройства и ИК-радиометры, цифровая запись информации на магнитофон. Его первый полёт на самолёте Ил-14 по полигону СССР состоялся в 1972 г., а в 1973 г. начались полигонные эксперименты на самолёте Ан-30.

В 1980-е гг. отдел начал работы по изучению других планет и малых тел Солнечной системы, в первую очередь — в рамках проекта ВЕГА по изучению Венеры и кометы Галлея. Для двух аппаратов «Vega-1» и «Vega-2» был создан целый комплекс приборов, который должен был при подлёте обнаружить ядро кометы Галлея и навести на него подвижную платформу с научными приборами, а затем сопровождать его при полёте и снимать с помощью фотокамер и спектрометров. Вместе с венгерскими и французскими специалистами была разработана телевизионная система «ВЕГА» на матричных приборах с зарядовой связью (ПЗС). В результате обработки полученных изображений были определены форма и размеры ядра кометы, уточнены структура, абсолютные яркости и фотометрические характеристики его поверхности и джетов; рассчитаны фотометрические характеристики и выполнена томографическая реконструкция комы.

Отдел также принимал участие в проектах ФОБОС (1988 г., съёмочный комплекс) и МАРС-96 (1996).

Параллельно с самого начала 1980-х гг. в отделе были начаты инициативные работы по созданию широкопольных датчиков звёздной ориентации на основе ПЗС-матриц и микропроцессоров, способных определять ориентацию КА по изображениям произвольных участков небесной сферы. Очень скоро это превратилось в самостоятельное и очень мощное направление. На предприятии «Карл-Цейсс Йена» при участии специалистов ОФО ИКИ был изготовлен комплект из трёх оптических звёздных датчиков (ОЗД) «Астро», который в 1986 г. был установлен на пилотируемой станции «Мир». Он успешно проработал на борту до конца её жизни. В 2001 г. станция была сведена с орбиты и затоплена по показаниям этих астродатчиков...

Навигационная камера и бортовая вычислительная машины были установлены и на космическом аппарате «Марс-96», став, по сути, автономным звёздным датчиком. Как известно, аппарат не вышел на траекторию перелёта к Марсу, но с этого момента на долгие годы разработка и последовательное совершенствование оптических звёздных датчиков стало одним из важнейших направлений работ отдела.

Пионерской разработкой отдела стал звёздный датчик «Блок определения координат звёзд» (БОКЗ), с помощью которого определялась ориентация КА по съёмке произвольного участка звёздного неба.

In the 1980s the Department began to study other planets and small bodies of the Solar System, most notably as a part of the *Vega* mission, which focused on Venus and Halley's Comet. For the two probes *Vega-1* and *-2* a complete set of instruments was designed to identify the Halley's Comet nucleus on approach and point the mobile platform equipped with scientific instruments at it, and then follow up and image it with photo cameras and spectrometers. Together with the Hungarian and French specialists a TV system VEGA was designed based on CCD arrays. Following the processing of acquired images the shape and dimensions of the comet nucleus were defined, its structure, absolute magnitudes, and photometric characteristics of its surface and jets were refined; photometric characteristics were estimated with the coma tomographic reconstruction performed.

The Department also participated in the missions *Phobos* (1988, the imaging complex) and *Mars-96* (1996).

At the same time from the early 1980s the Department initiated the design of wide-field star trackers based on CCD-arrays and microprocessors capable to determine a spacecraft orientation by images of arbitrary areas of the celestial sphere. Soon it became a separate and extensive research area. Carl Zeiss Jena with participation of the OFO IKI specialists produced a set of three optical star trackers *Astro*, which was installed on the manned station *Mir* in 1986. The star trackers operated successfully until the end of the station lifetime. In 2001 the station was de-orbited and flooded based on readouts of the trackers...

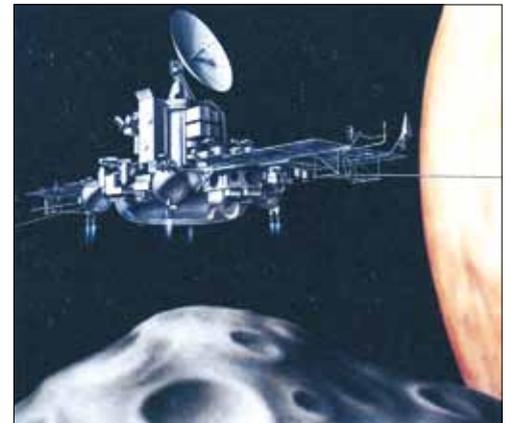
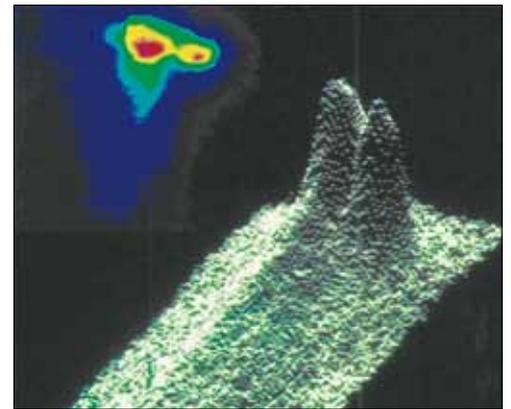
A navigation camera and an onboard computer were also mounted on the *Mars 96* spacecraft, serving as a kind of autonomous star tracker. As known, the spacecraft did not enter the transfer orbit to Mars, but from that point onward for many years design and subsequent modification of optical star trackers became one of the main areas in the Department's work.

A pioneer development of the Department was a star tracker BOKZ, — to determine a spacecraft orientation based on imaging of an arbitrary sky area.



КА «Вегга». Общий вид.
Результат обработки
ТВ-изображения кометы
Галлея

Vega spacecraft. General view.
The result of processing a TV
image of Halley's Comet



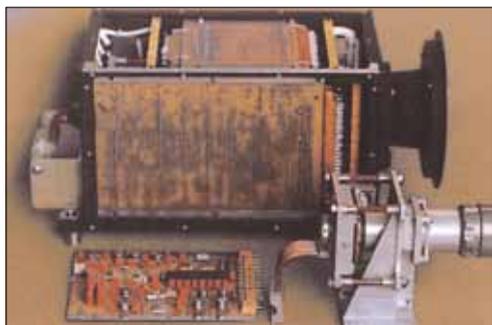
КА «Фобос-2». Общий вид.
Снимок Фобоса на фоне
Марса

Phobos 2 spacecraft. General view. Phobos with Mars in the background

**Система оптических
звёздных датчиков
«Астро»**

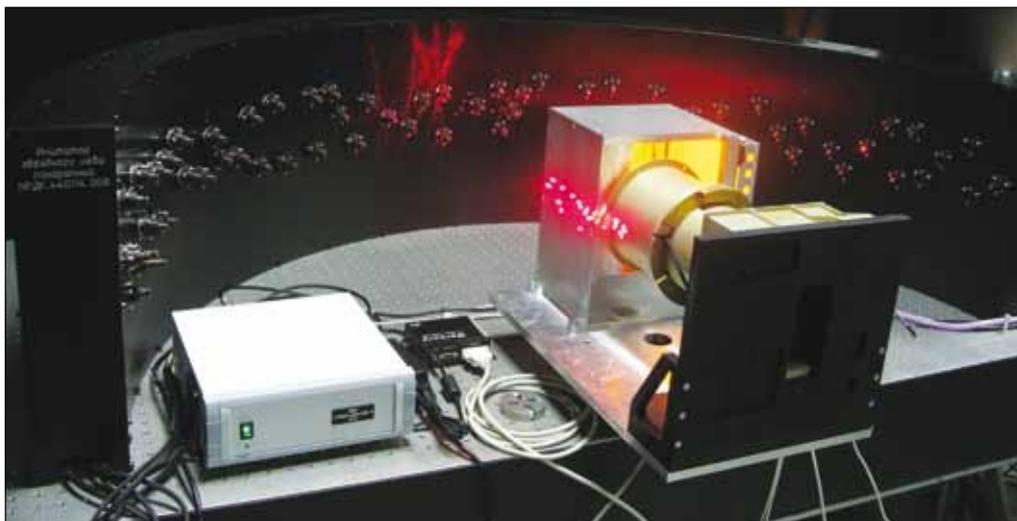
*Optical star tracker system
Astro*





Навигационная камера для проекта «Марс-96»

Navigation camera for the Mars 96 mission



Многоколлиматорный стенд для отработки звёздных приборов с интегрированными датчиками угловых скоростей

Multicollimating stand for testing star trackers with integrated angular velocity sensors



1. БОКЗ, 1998
1. BOKZ, 1998



2. БОКЗ-У, 1998
2. BOKZ-U, 1998



3. БОКЗ-М, 2006
3. BOKZ-M, 2006



4. БОКЗ-МФ, 2006
4. BOKZ-MF, 2006



5. БОКЗ-М60, 2009
5. BOKZ-M60, 2009



6. БОКЗ-М60/1000, 2010
6. BOKZ-M60/1000, 2010



Звёздные датчики семейства БОКЗ
BOKZ series star trackers

7. МикроБОКЗ, 2013
7. MicroBOKZ, 2013

Два звёздных датчика БОКЗ успешно отработали 10 лет на борту КА «Ямал-100», выведенного в космос в 1999 г. Такие же приборы, выведенные в космос годом позже, работают на борту МКС до настоящего времени, а с 2003 г. — на двух КА «Ямал-200». Сегодня приборы семейства БОКЗ успешно работают на более чем 25 российских КА, а число построенных приборов разной модификации превысило 150. Общий налёт приборов в космическом пространстве уже превысил 1,5 млн ч.

Two star trackers BOKZ successfully operated for 10 years aboard the spacecraft *Yamal-100* launched into space in 1999. The same instruments still operate aboard the ISS, launched a year later, and since 2003 on two satellites *Yamal-200*. By mid of 2015 the BOKZ series star trackers were put into orbit onboard 36 Russian spacecraft, and a number of manufactured instruments of different modifications exceeds 150. Total flight hours for the instruments in space has already surpassed 2,000,000 hours.

Сегодня работы отдела постепенно складываются в самостоятельное направление исследований, сформулированное ещё в 1990-е гг. как создание технологии автономной навигации космических аппаратов на основе естественных физических полей и ориентиров.

Участие отдела в космических проектах

(Перечислены только основные аппараты научного и прикладного характера; приборы, созданные в отделе, также установлены на многих КА иного назначения.)

Приборы для ориентации на борту КА и орбитальных станций: «Салют-1, -2, -3» (1971, 1973, 1974–75), «Союз-22» (1976), «Мир» (1986), Международная космическая станция (2000), «Ямал-100 и -200» (1999 и 2003)

Исследования Луны: «Зонд-3» (1965), «Луна-17» (1970, «Луноход-1»), «Луна-21» (1973, «Луноход-2»)

Исследования Марса: «Фобос-1, -2» (1988), «Марс-94/96» (неудачный); (1996), «Фобос-Грунт» (неудачный) (2011)

Исследования кометы Галлея: «Вега-1, -2» (1986)

Исследования Земли из космоса: «Союз-12» и «Союз-13» (1973), «Союз-22» (1976), «Метеор-Природа» (1980), «Ресурс-ДК» № 1 (2006), «Ресурс-П» № 1 (2013) и № 2 (2014), «Метеор-М» № 1 (2009) и № 2.0 (2014), «Зонд-ПП» (2012)

Будущие проекты

Исследования Марса: «ЭкзоМарс» (ЕКА/Роскосмос, 2016 и 2018)

Исследования Луны: «Луна-25» (2018), «Луна-26» (2019), «Луна-27» (2020)

Исследования Солнца: «Интергелиозонд» (2019)

Астрофизические исследования: «Спектр-РГ» (2016), «Спектр-УФ» (2018), «Миллиметрон» (+2020)

Исследования Земли из космоса: «Метеор-МП» (2016), «Метеор-М» № 2.1 (2015), № 2.2 (2016), «Метеор-М» № 3 (2020), «Ресурс-П» № 3 (2015)

Основные направления

Разработка методов и средств для фундаментальных и прикладных космических исследований:

- ориентации и навигации аппаратов в космическом пространстве;
- съёмки поверхности Земли, планет и малых тел Солнечной системы с борта летательных и посадочных аппаратов;
- наведения космических аппаратов и научных приборов на объекты исследования в интересах дистанционного зондирования, астрономии и астрофизики.

Today the Department's projects gradually fall into a separate research trend, which was defined back in the 1990s as autonomous navigation of spacecraft based on natural physical fields and landmarks.

Department Contribution to Space Projects

(Listed are only the main scientific and applied missions; instruments designed by the Department are also installed on many spacecraft of other designation.)

Instruments for attitude control onboard the spacecraft and orbital stations: *Salyut-1, -2, -3* (1971, 1973, 1974–1975), *Soyuz-22* (1976), *Mir* (1986), International Space Station (2000), *Yamal-100 and -200* (1999 and 2003)

Lunar studies: *Zond-3* (1965), *Luna-17* (1970, *Lunokhod-1*), *Luna-21* (1973, *Lunokhod-2*)

Mars studies: *Phobos-1, -2* (1988), *Mars-94/96* (unsuccessful launch) (1996), *Phobos Sample Return* (2011)

Halley's Comet studies: *Vega-1, -2* (1986)

Earth research from space: *Soyuz-12, -13* (1973), *Soyuz-22* (1976), *Meteor-Priroda* (1980), *Resurs-DK No. 1* (2006), *Resurs-P No. 1* (2013) and No. 2 (2014), *Meteor-M No. 1* (2009) No. 2.0 (2014), *Zond-PP* (2012)

Projects in Development

Mars studies: *ExoMars* (ESA/Roscosmos, 2016 and 2018)

Lunar studies: *Luna-Glob* (2018), *Luna-Resurs-Orbiter* (2019), *Luna-Resurs-Lander* (2020)

Solar studies: *Interhelioprobe* (2019)

Astrophysical studies: *Spektr-RG* (2016), *WSO-UV* (2018), *Millimetron* (+2020)

Earth research from space: *Meteor-MP* (2016), *Meteor-M No. 2.1* (2015), No. 2.2 (2016), *Meteor-M No. 3* (2020), *Resurs-P No. 3* (2015)

Main research areas

Development of techniques and means for fundamental and applied space studies:

- spacecraft attitude control and navigation in space;
- imaging surface of the Earth, planets and small bodies of the Solar System from flight vehicles and landers;
- guidance of spacecraft and scientific instruments on targets of research for the benefits of remote sensing, astronomy and astrophysics.



Приборы ОФО ИКИ для миссии «Фобос-Грунт»:
1 — БОКЗ-МФ;
2 — УТК;
3 — ШТК;
4 — ОСД;
5 — СИОК

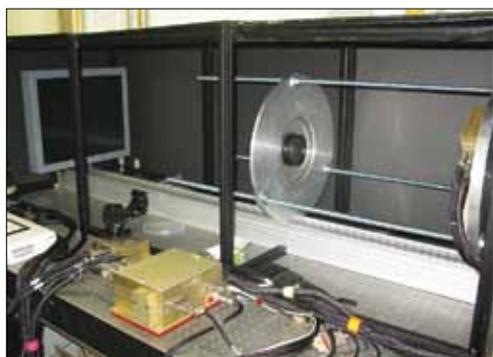
Instruments of OFO IKI for the Phobos Sample Return mission:
1 — BOKZ-MF;
2 — UTK;
3 — ShtK;
4 — OSD;
5 — SIOK





Испытания СДГ в САО РАН. Датчики гида на телескопе «Цейсс-1000»

SDG testing at the Special Astrophysical Observatory of the RAS. Guidance sensors on the telescope Zeiss-1000



Стенд для отработки программного обеспечения и моделирования работы системы датчиков гида на борту КА «Спектр-УФ» в составе телескопа T-170M

Test bed for software testing and guidance sensors simulation aboard the WSO-UV in assembly with the telescope T-170M



Три датчика гида на монтажной площадке. Технологический образец СДГ
The SDG engineering unit



1



2

Комплекс многозональной спутниковой съёмки (KMSS) для КА «Метеор-М»: 1 — MSU-100; 2 — MSU-50

Multispectral satellite imaging complex (KMSS) for Meteor-M: 1 — MSU-100; 2 — MSU-50

Приборы, проекты, результаты

В состав космического аппарата для проекта «Фобос-Грунт», главной целью которого была доставка на Землю образцов грунта спутника Марса, вошли 13 приборов, разработанных и изготовленных ОФО ИКИ:

- четыре звёздных датчика БОКЗ-МФ;
- четыре оптических солнечных датчика (ОСД);
- телевизионная система навигации и наблюдения (ТСНН) в составе двух узкоугольных (УТК) и двух широкоугольных (ШТК) камер, предназначенная для съёмки поверхности Фобоса и поддержки процесса посадки;
- система информационного обеспечения научного комплекса (СИОК) — резервированное вычислительное устройство для организации взаимодействия бортовых систем КА с научным комплексом.

Создание системы датчиков гида (СДГ) большого ультрафиолетового телескопа проекта «Спектр-УФ» (проект «Всемирная космическая обсерватория — Ультрафиолет») головная организация — Институт астрономии Российской академии наук. СДГ состоит из трёх датчиков гида и блока обработки данных. Она предназначена для наведения ультрафиолетового телескопа на выбранную для исследования звезду. Запуск «Спектра-УФ» запланирован на 2018 г.

В 2006 г. в космос был выведен КА «Ресурс-ДК» со съёмочной аппаратурой высокого разрешения, где для управления ориентацией были использованы приборы БОКЗ-М. В 2013 г. был запущен КА «Ресурс-П», несущий значительно усовершенствованную по сравнению с «Ресурсом-ДК» съёмочную аппаратуру высокого разрешения. Управление ориентацией этого аппарата осуществляется с помощью звёздных датчиков ориентации БОКЗ-М60. Достигнута в этом проекте точность автоматической географической привязки составила 10 м.

С 2009 г. в космосе эксплуатируется КА «Метеор-М» метеорологического назначения. В его состав входят два аппаратных комплекса, созданные в ОФО ИКИ: **КМСС** среднего разрешения в составе двух камер МСУ-100 и одной камеры МСУ-50, а также **ККВО** в составе одного звёздного датчика БОКЗ-М и приёмно-вычислительного устройства АСН. На последующих КА серии «Метеор» планируется использование модификаций камер МСУ-100, МСУ-50: МСУ-100М, МСУ-50М, МСУ-100ТМ и сканера береговой зоны (СБЗ).

Instruments, Projects, Results

The spacecraft for the *Phobos Sample Return* mission, whose primary objective was to deliver soil samples from the Mars satellite to the Earth, included 13 instruments designed and manufactured by OFO IKI:

- four star trackers BOKZ-MF;
- four optical solar sensors (OSD);
- TV navigation and observation system (TSNN) consisting of two narrow-angle (UTK) and two wide-angle (ShTK) TV cameras for imaging surface of Phobos and landing support;
- a system for scientific payload information support (SIOK) — a backup computer for providing interaction of the spacecraft on-board systems with the scientific payload.

Development of the Guidance Sensors System (SDG) for a large ultraviolet telescope of the *WSO-UV* mission (project *World Space Observatory — Ultraviolet*, head organization — Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences). SDG consists of three guidance sensors and a data processing unit. It is designed for pointing the ultraviolet telescope on a targeted star. The *WSO-UV* launch is scheduled for 2018.

In 2006 the spacecraft *Resurs-DK* was set into space carrying high-resolution imaging instruments. The spacecraft used BOKZ-M for attitude control. In 2013 the spacecraft *Resurs-P* was launched with the significantly modified high-resolution instruments compared to the ones aboard *Resurs-DK*. Its attitude is controlled with star trackers BOKZ-M60. The available accuracy of automatic geo-referencing in the mission is 10 m.

Since 2009 the meteorological satellite *Meteor-M* operates in space. It includes two hardware systems designed by OFO IKI: the **multispectral satellite imaging complex (KMSS)** of medium resolution consisting of two cameras MSU-100 and one camera MSU-50, and the **coordinate and time reference system (KKVO)** consisting of one star tracker BOKZ-M and a receiving-computing unit for autonomous satellite navigation (ASN). The subsequent *Meteor* spacecraft are planned to utilize modified versions of MSU-100/MSU-50: MSU-100M, MSU-50M, MSU-100TM and coastal zone scanner (SBZ).

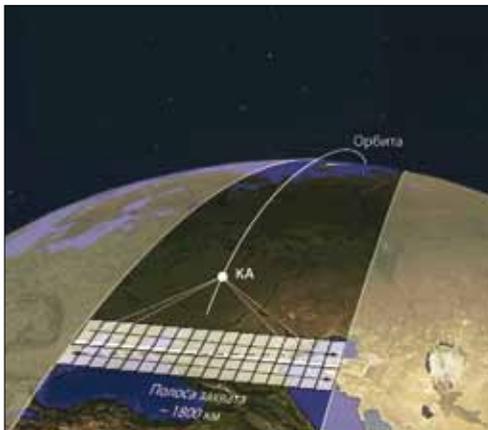
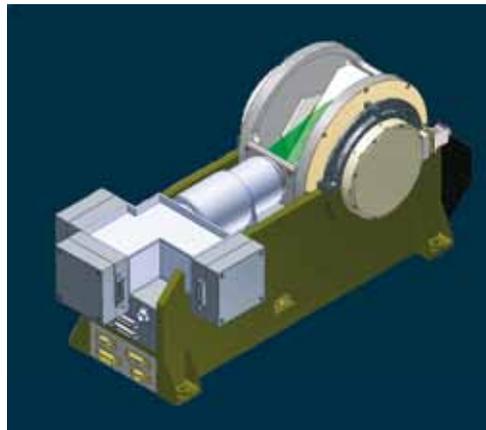


Схема съёмки МСУ «Горизонт»
MSU Gorizont imaging

Для мониторинга земной поверхности в видимой и ближней ИК-областях спектра сотрудники отдела предложили новое многозональное съёмочное устройство «Горизонт». Оно вошло в состав аппаратуры КА «Метеор-МП», который планируется к запуску в 2016 г. МСУ «Горизонт», используя крупноформатную КМОП-матрицу в сочетании с оптико-электронным сканирующим устройством, сможет вести съёмку земной поверхности с борта КА на круговой солнечно-синхронной орбите, с высоты 830 км в полосе 1800 км с разрешением в подспутниковой точке 30 м. Такая орбита позволит за одни сутки осуществить мониторинг почти всей территории России с помощью одного аппарата. Съёмочные системы такого типа предназначены для установки и на малогабаритные (до 15 кг), и на крупные спутники гидрометеорологического и природноресурсного назначения.

Совместно с промышленными предприятиями космической отрасли в ближайшие годы планируется создать унифицированный ряд звёздных датчиков ориентации, предназначенный для использования на различных типах КА. В него войдут малогабаритные приборы, обеспечивающие точность измерения параметров ориентации порядка 10 угл.с, достаточную для функционирования большинства отечественных КА, а также приборы большей массы с точностью измерений около 1 угл.с для КА дистанционного зондирования Земли и приборы с точностью измерений порядка 0,1 угл.с и лучше для астрономических обсерваторий космического базирования. Но главная проблема, которая должна быть решена в этот период, — обеспечение надёжного непрерывного функционирования звёздных датчиков ориентации в условиях космического полёта на протяжении 15–18 лет.



For purposes of the Earth surface monitoring in the visible and near infrared spectra the Department staff proposed a new multispectral imaging system (MSU) *Gorizont*. It is a part of the hardware for *Meteor-MP*, scheduled for launch in 2016. MSU *Gorizont* employs a large-format CMOS-array coupled with an optoelectronic scanner to observe the Earth surface from the circular sun-synchronous orbit, at the altitude of 830 km, with a swath width of 1,800 km and a resolution at the subsatellite point of 30 m. Such orbit should enable to monitor almost the whole territory of Russia in one day using one spacecraft. Imaging systems of this type are designed for installing on both small (up to 15 kg) and large hydrometeorological and Earth observation satellites.

There are plans to design in the coming years and in collaboration with aerospace manufacturers unified star trackers for subsequent applications on different types of spacecraft. They should include small-scale instruments ensuring accuracy in measurement of attitude parameters ca. 10 as (sufficient for operation of the majority of the Russian spacecraft), larger instruments (appropriately with larger mass) with accuracy ca. 1 as for Earth remote-sensing spacecraft and instruments with accuracy of 0.1 and better as for spaceborne astronomical observatories. However the main issue that should be solved during this period is the support of reliable continuous operation of star trackers for 15–18 years.



1
3

2

Комплекс координатно-временного обеспечения (ККВО) для КА «Метеор-М»:
1 — БОКЗ-М; 2 — блок навигационных модулей;
3 — антенна

Coordinate and time reference system (KKVO) for *Meteor-M*:
1 — BOKZ-M; 2 — navigation module; 3 — antenna



Изображение, полученное МСУ-100 с КА «Метеор-М»
Image acquired by MSU-100 from *Meteor-M*

Служебная телевизионная система СТС-Л для проведения съёмок на этапе снижения и посадки КА проектов «Луна-Глоб» («Луна-25») и «Луна-Ресурс» («Луна-27»). Стереокамеры КАМ-С для мониторинга зоны работы манипулятора, блок сбора и обработки данных, Обзорные видеокамеры КАМ-О со сверхширокоугольными объективами для формирования круговой панорамы поверхности

Housekeeping TV system STS-L for observations during descent and landing of the Luna-Glob and Luna-Resurs-Lander spacecraft. KAM-S stereocameras for monitoring the manipulator operation area, Data collection and processing unit, KAM-O surveillance cameras with ultra-wide angle lens for imaging a circular surface panorama



Оптические солнечные датчики: 1 — ОСД; 2 — ОСД с объективом pinhole (ОСДЗ); 3 — ОСД с объективом «рыбий глаз»

Optical solar sensor: 1 — OSD; 2 — OSD with a pinhole lens (OSDЗ) 3 — OSD with a fisheye lens

Для решения широкого круга задач космических исследований, связанных с наблюдениями и измерениями пространственных распределений яркости космических объектов, начиная от звёздного неба, планет и малых тел Солнечной системы, и, кончая искусственными конструкциями, ОФО ИКИ ведёт разработку многоцелевых устройств на основе высокоинформативных 4- и 20-мегапиксельных КМОП-матриц и быстродействующих радиационностойких вычислителей. Эту новую разработку отдел планирует использовать в проектах «Луна-Ресурс», «Луна-Глоб», «ЭкзоМарс» и ряде других.

Оптический солнечный датчик (ОСД), разработанный на базе щелевой маски и ПЗС-линейки, предназначен для определения направления на центр видимого диска Солнца. В космосе он эксплуатируется с 2008 г. Сейчас изготовлено более 30 приборов ОСД, 18 из которых уже выведены в космос.

Работы ОФО ИКИ в последние годы стали востребованы и в авиации. Для решения задач астронавигации в отделе создан действующий прототип астровизирующего устройства (АВУ), позволяющий наблюдать с поверхности Земли звёзды до 5,5^m при отсутствии облачности и определять по ним ориентацию и в ночное, и в дневное время суток. Проведены лётные испытания полностью бесплатформенной астроинерциальной навигационной системы, позволяющей решать задачи автономной высокоточной навигации и наведения, в том числе при отсутствии сигналов спутников ГЛОНАСС/GPS.

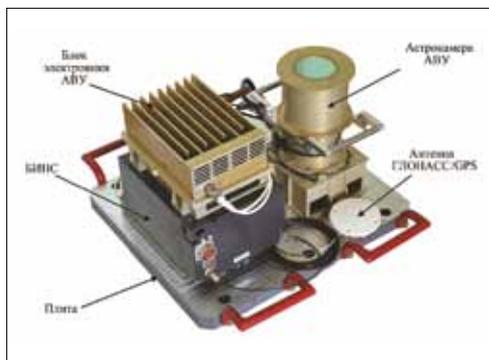
Цифровая топографическая стереокамера ЦТК-140 разработана на базе оптического блока аэрофотоаппарата АФА ТЭ-140, на которых устанавливается съёмный электронный модуль с девятью линейными ПЗС и блок прецизионного определения угловых элементов внешнего ориентирования.

To solve a wide range of space research tasks related to observing and measuring spatial distribution of space objects brightness, from starry sky, planets and small bodies of the Solar system to artificial structures, OFO IKI develops multi-function devices based on 4- and 20-megapixel high-information CMOS arrays and a high-performance radiation-resistant computer. The department plans to employ this new design in *Luna-Resurs*, *Luna-Glob*, *ExoMars*, and other missions.

Optical solar sensor (OSD), developed based on a slot mask and a CCD line, is designed for defining direction to the centre of the visible Sun. It operates in space since 2008, and currently there are over 30 OSD instruments built with 18 already in space.

In recent years the developments of OFO IKI became in demand in aviation. To solve problems of astronavigation the Department built a working prototype of the star guiding device that enables observations from the Earth surface of stars up to 5.5^m under cloudless conditions and orientation determination in both night and day time. There was conducted flight testing of the strapdown astroinertial navigation system for autonomous high-accuracy navigation and guidance, including situations with no signals from GLONASS/GPS satellites.

A digital topographic stereocamera TsTK-140 was developed based on the AFA TE-140 camera optical unit equipped with a portable electronic module with nine linear CCDs and a unit for precision determination of orientation angular elements.



Макет астроинерциальной навигационной системы

Model of an astroinertial navigation system



1

Параметр \ Камера	ЦТК-140	ЦМК-70
Фокусное расстояние объектива, мм	140	70
Тип фотоприемника	линейные ПЗС	
Количество элементов в строке	22 000 × 3	10 200 × 4
Размер элемента, мкм	7 × 7	
Спектральные каналы, нм	400–900 (панхр)	450 / 550 / 650 750–900
Динамический диапазон, бит	8	16
Диапазон высот съемки, м	2500–7000	1500–7000
Пространственное разрешение, см	12–35	15–70
Ширина снимаемой полосы, км	2,6–7,7	1,5–7,1
Объем ЗУ видеопамяти, ТБ	до 3,2	2,0
Время непрерывной съемки, час	4–12	10–36

Цифровая аэросъёмочная камера ЦТК-140 (1); фрагмент полосы, снятой цифровой аэрокамерой ЦМК-70 (2)

Digital Aerial Camera TsTK-140 (1); a swath fragment taken with a digital aerial camera TsMK-70 (2)



2

Цифровая многозональная аэрокамера ЦМК-70 представляет собой моноблок, включающий оптический и электронный модуль, и позволяет проводить одновременную съёмку в трёх зонах видимого диапазона (RGB) и в одной зоне ближнего ИК-диапазона.

A digital multispectral aerial camera TsMK-70 is a monoblock that integrates optical and electronic modules, and enables simultaneous imaging in three bands of the visible spectrum (RGB) and one band of near infrared band.

Сотрудники оптико-физического отдела ИКИ РАН
Employees of Optico-Physical Department IKI RAN

