



ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЙ
о т д е л

2007

Институт космических исследований Российской академии наук

ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ

В 1967 году в недавно образованный Институт космических исследований Академии наук СССР из Московского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии перешла группа сотрудников. Эта группа развернула работы по космическим исследованиям в видимой и ближней ИК областях спектра электромагнитных волн, созданию уникальной бортовой аппаратуры, изучению с космических аппаратов (КА) Земли и других тел Солнечной системы, разработке алгоритмов и программ обработки и анализа получаемых космических видеоданных. В 1973 году на базе этой группы был образован Отдел исследований Земли из космоса. В 1980 году он был переименован в отдел Оптико-физических исследований (Оптико-физический отдел). Изменилось и направление работ – приоритетными объектами исследований стали комета Галлея, Марс и его спутник Фобос. Перестройка в России кардинально изменила дальнейшую жизнь отдела. Используя большой опыт в области приборостроения, отдел переключился на разработку служебной аппаратуры – приборов прецизионного определения астроразориентации КА и бортовых процессоров, обеспечивающих решение этих задач в реальном времени. И уже в 1999 году на орбите работал первый звездный координатор БОКЗ. С 1999 года 21 звездный прибор семейства БОКЗ управлял ориентацией ИСЗ различного типа и

Международной космической станции (МКС). Создаются новые модификации приборов БОКЗ, а также системы на их основе, которые позволяют определять ориентацию и местоположение КА на орбите. Возобновились и получили дальнейшее развитие работы по созданию аппаратуры дистанционного зондирования Земли для метеорологических и природно-ресурсных спутников, а также по внедрению космических технологий в практику аэросъемки. В 2000 году отдел вернулся и к научным космическим исследованиям – разработке научной программы и созданию приборов для миссии “Фобос-грунт”, планируемой на 2009 год.

Создал и возглавил отдел Зиман Ян Львович. В 1988 году ему на смену пришел Аванесов Генрих Аронович. С 2003 года отделом руководит Форш Анатолий Анатольевич.



Зиман Ян Львович

главный научный сотрудник, зам. зав. отделом, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, Лауреат Государственной премии СССР



Аванесов Генрих Аронович

главный научный сотрудник, зам. зав. отделом, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, Лауреат Ленинской премии СССР



Форш Анатолий Анатольевич

зав. отделом, к. ф.-м. н., Лауреат Государственной премии Молдавской ССР

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ

Исследования небесных тел Солнечной системы

Исследования Земли и ее экологии

Определение в реальном времени параметров орбиты и ориентации КА

Разработка программно-алгоритмического обеспечения бортовых приборов, их наземной отработки и анализа получаемых видеоданных

Калибровка, испытания и моделирование работы в космосе бортовых приборов



1968 – 1971

Изучение топографии и рельефа участков поверхности Луны по ТВ-изображениям с Луноходов 1 и 2. Уточнение размеров и формы Луны по фототелевизионным изображениям ее обратной стороны, полученным с АМС “Зонд”.

1970 – 1972

На первой пилотируемой орбитальной станции “Салют” проведен эксперимент по синхронной фотосъемке участков звездного неба и земной поверхности для отработки методики прецизионного определения ориентации КА и координатной привязки космических снимков.

Съемка проводилась модернизированными аэрофотоаппаратами АФА БА-210.

1973 – 1982

Создание летающей лаборатории на самолетах Ил-14 и АН-30 для отработки методики проведения многозональных фотографических и оптико-электронных аэро-съемок, моделирующих съемки Земли из космоса.

Разработка математического обеспечения обработки и тематической интерпретации получаемых видеоспектрометрических данных в интересах институтов наук о Земле.

1974 – 1978

Создание совместно со специалистами ГДР космического фотоаппарата МКФ-6 и его летно-конструкторские испытания на космическом корабле “Союз-22”.

Отработка совместно со специалистами МГУ методики тематической интерпретации многозональных космических снимков.

Внедрение аппаратов МКФ-6 в практику съемок земной поверхности, проводимых с пилотируемых орбитальных станций в интересах решения задач наук о Земле и хозяйственных отраслей.

1978 – 1984

Создание первой отечественной сканирующей восьмизональной цифровой ТВ-системы “Фрагмент” и ее опытная эксплуатация в течение четырех лет на КА “Метеор-Природа”.

Проведение цифровой обработки и тематической интерпретации переданной с КА видеоинформации.

1980 – 1986

Разработка совместно с венгерскими и французскими специалистами телевизионной системы “ВЕГА” на матричных ПЗС для съемки с АМС ВЕГА-1 и 2 кометы Галлея и ее ядра.

Участие в создании платформенного комплекса для съемочной аппаратуры.

В результате обработки полученных изображений была определена форма и размеры ядра, уточнена структура, абсолютные яркости и фотометрические характеристики его поверхности и джетов; рассчитаны фотометрические характеристики и выполнена томографическая реконструкция комы.

1981 – 2001

Создание совместно со специалистами ГДР системы звездных координаторов “АСТРО” с матричными ПЗС и бортовыми процессорами для определения ориентации орбитальной станции “Мир” по ТВ-изображениям звездного неба.

Система “АСТРО” проработала более десяти лет на борту станции до ее затопления в 2001 году.

1986 – 1989

Создание совместно со специалистами Болгарии и ГДР видеоспектрометрического комплекса “Фрегат”.

По полученным с АМС “Фобос” изображениям были исследованы фотометрические и спектральные характеристики поверхности Фобоса и уточнены его геологические карты, состав и внутреннее строение.

1987 – 1991

Разработка теории стабилизации КА давлением солнечного света. Сконструирована базовая модель Малого космического аппарата (МКА) “Регата” с солнечным парусом, обеспечивающим поддержание с высокой точностью ориентации на Солнце его продольной оси.

Предложены три модификации МКА для астрометрии, плазмо-физических исследований, наблюдения Солнца и патрулирования Солнечной активности.

1989 – 1996

Создание для исследования атмосферы и поверхности Марса платформенного комплекса “Аргус” с двумя многоспектральными ТВ системами, разработанными совместно с немецкими специалистами, и навигационной камерой – первым малогабаритным звездным координатором.

После неудачного выведения на орбиту КА “Марс-96” затонул в водах Тихого океана.

1997 – 2007

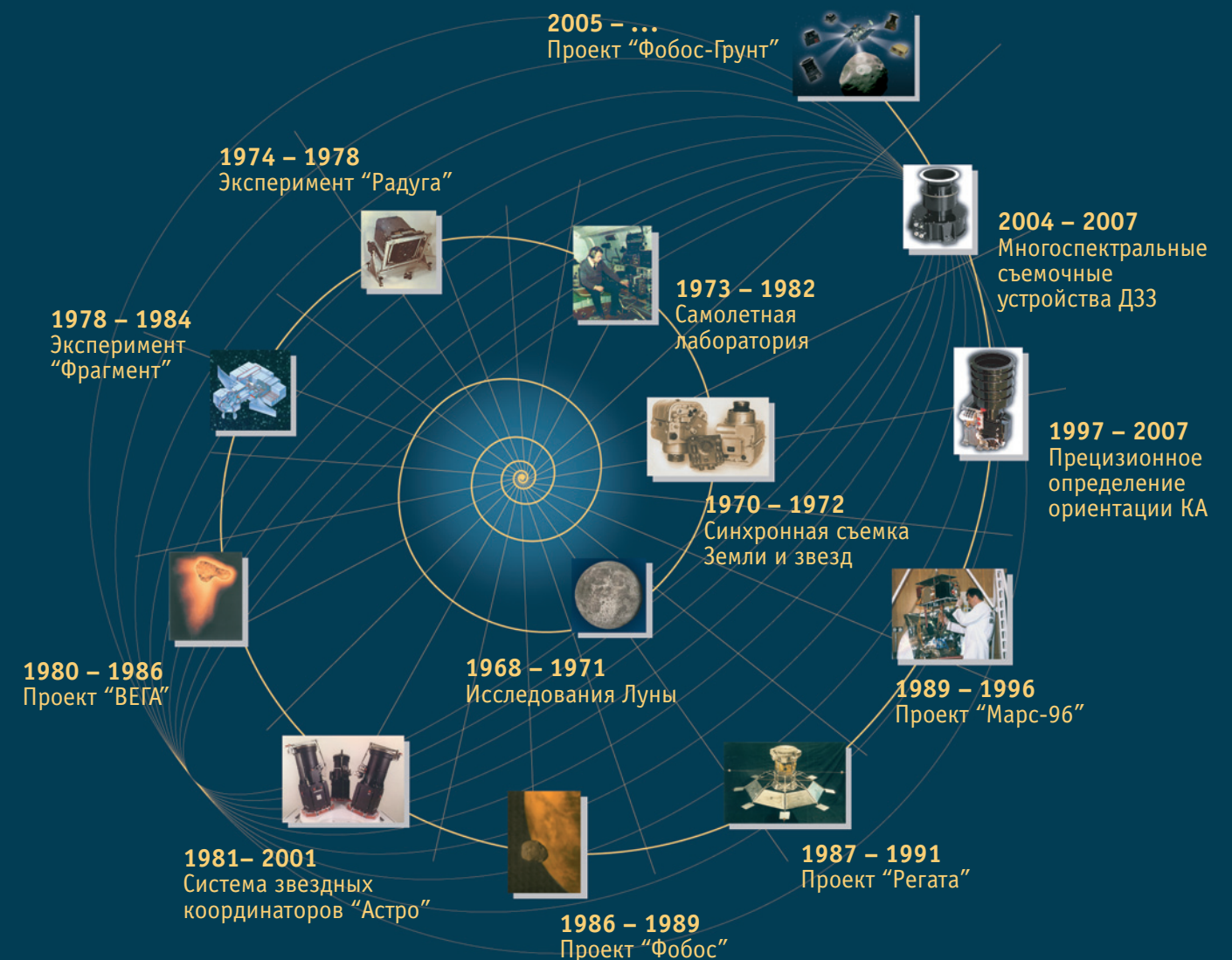
Разработка и внедрение в практику космических полетов звездных координаторов БОКЗ (блоков определения координат звезд), работающих в контуре управления ориентацией МКС, Ямал, Ресурс-ДК и других КА.

2004 – 2007

Разработка и изготовление многоспектральных съемочных устройств для исследования поверхности суши и акваторий с метеорологических и природно-ресурсных КА.

2005 – ...

Разработка для миссии “Фобос-Грунт” бортовых систем решения навигационных задач, исследований Марса и Фобоса и управления комплексом научной аппаратуры.

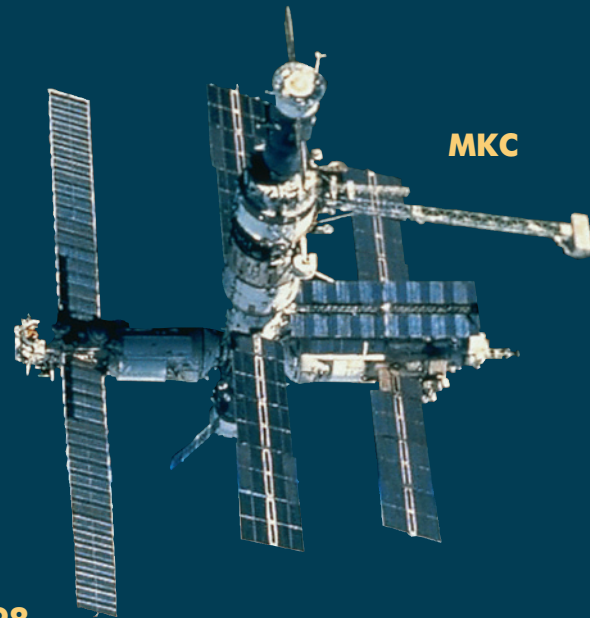


ЗВЕЗДНЫЕ КООРДИНАТОРЫ

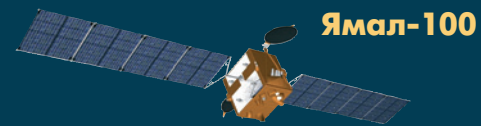
Приборы семейства БОКЗ предназначены для высокоточного определения в реальном масштабе времени параметров трехосной ориентации КА по изображениям произвольных участков звездного неба.

Приборы БОКЗ представляют собой моноблок, содержащий цифровую телевизионную камеру на ПЗС-матрице, вычислительное устройство на сигнальном процессоре и источник вторичного электропитания.

С 1999 года 21 звездный прибор семейства БОКЗ был выведен на околоземные орбиты на МКС и 10 российских КА различного типа. До конца 2010 года планируется подготовить по действующим контрактам еще около 40 приборов БОКЗ разных модификаций.



МКС



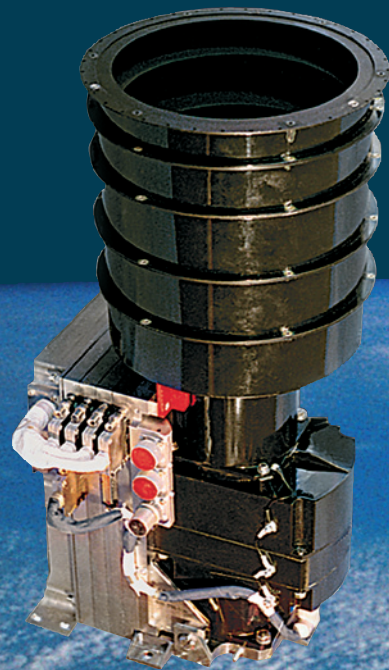
Ямал-100

Ямал-200



Ресурс-ДК

1998
БОКЗ



2002
БОКЗ-М



2004
БОКЗ-М24



2004
БОКЗ-2М



2006
БОКЗ-МФ



2008
БОКЗ-3



Модификация	БОКЗ	БОКЗ-М	БОКЗ-М24	БОКЗ-2М	БОКЗ-МФ	БОКЗ-3
Масса, кг	4,5	4,0	3,2	2,0	2,0	0,6
Энергопотребление, Вт	11,2	11,2	10,0	8,0	8,0	3,0
Габариты, см	45x23x20	37x23x23	30x23x23	30x20x20	20x20x20	17x10x10
Допустимая скорость углового движения КА, °/сек	0,15	0,5	1,5	2,0	2,0-4,0	> 2,0
Время первичного обнаружения без априорной информации, сек	30	30	10	10	10	6
Частота обновления информации об ориентации, Гц	0,3	0,3	1,0	1,0	1,0	10
Выходные данные	Кватернион ориентации (матрица направляющих косинусов)					
Точность $\sigma_{x,y}/\sigma_z$, угл.сек	2 / 20	2 / 20	5 / 12	5 / 12	5 / 12	5 / 12

Радиационная стойкость компонентов и материалов позволяет применять приборы на околоземных, геостационарных, высокоэллиптических и межпланетных орбитах

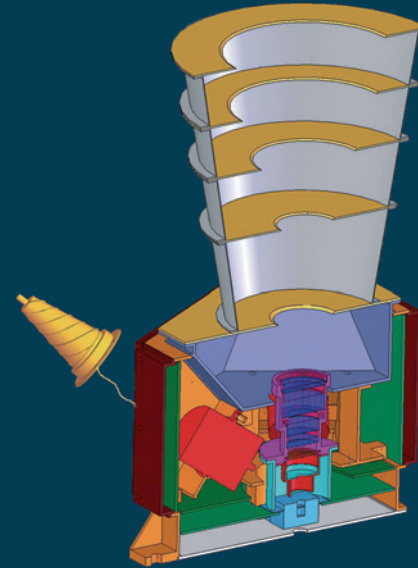
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ НАВИГАЦИОННЫЙ ПРИБОР

Универсальный навигационный прибор (УНП) предназначен для определения в реальном времени параметров орбиты и ориентации космических аппаратов. Он разрабатывается оптико-физическим отделом при участии смежных организаций на базе приборов БОКЗ и встраиваемых в них приемников сигналов навигационных спутников и прецизионных датчиков угловых скоростей (ДУСов) на основе волновой гироскопии.

Универсальный навигационный прибор планируется использовать в системах управления движением различных КА.

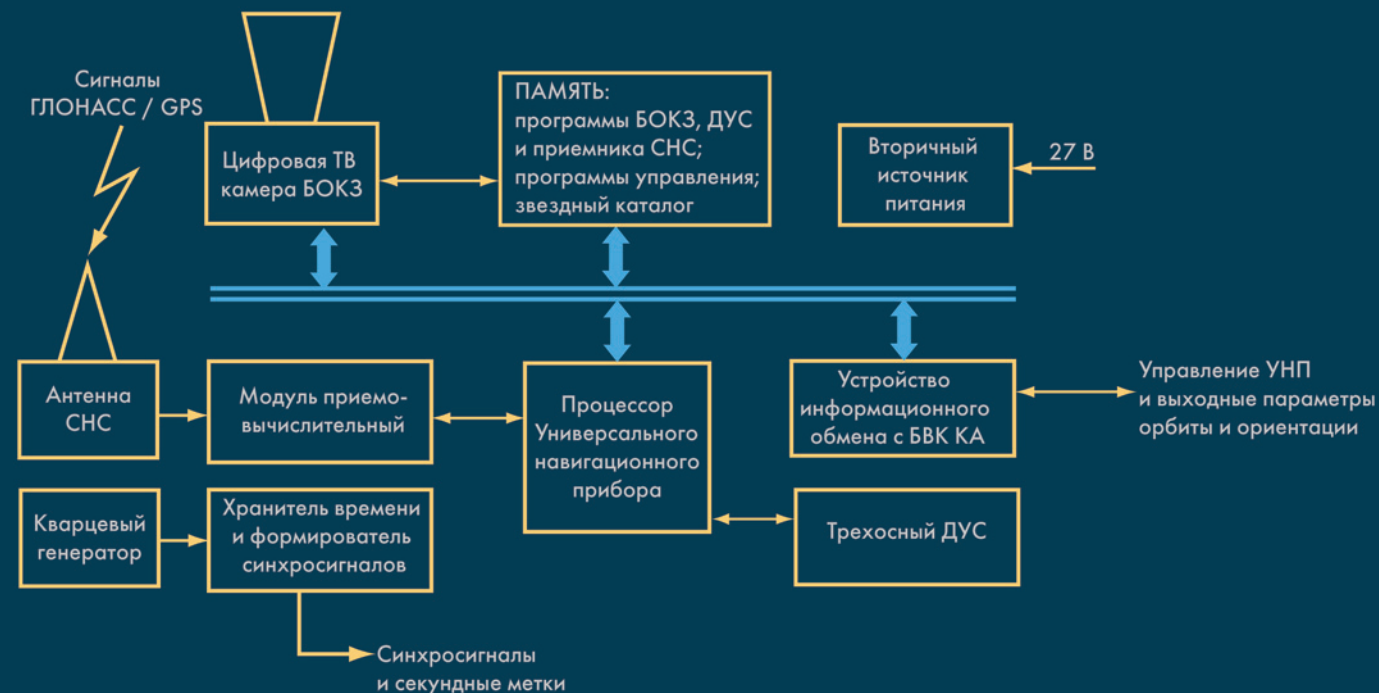
Универсальный навигационный прибор позволит решать следующие задачи:

- хранение времени UTC и формирование сетки синхрочастот;
- фильтрация навигационных измерений и расчет параметров орбиты;
- расчет инерциальной ориентации КА;
- расчет текущих значений звездного времени и ориентации КА в геоцентрической гринвичской системе координат;
- расчет с частотой ~10 Гц положения КА и векторов его орбитальной скорости в гринвичской системе координат;
- расчет ориентации КА в орбитальной системе координат;
- расчет с необходимой частотой элементов внешнего ориентирования видеоданных, получаемых системами ДЗЗ.



Макет Универсального навигационного прибора
Гироскоп внутри

Структура Универсального навигационного прибора



ОПТИЧЕСКИЙ СОЛНЕЧНЫЙ ДАТЧИК

Оптический солнечный датчик (ОСД) предназначен для определения направления на центр видимого диска Солнца.

Направление на Солнце рассчитывается в системе координат прибора по положению на линейном ПЗС пикселей, освещенных солнечным светом, прошедшим через кодирующую маску.

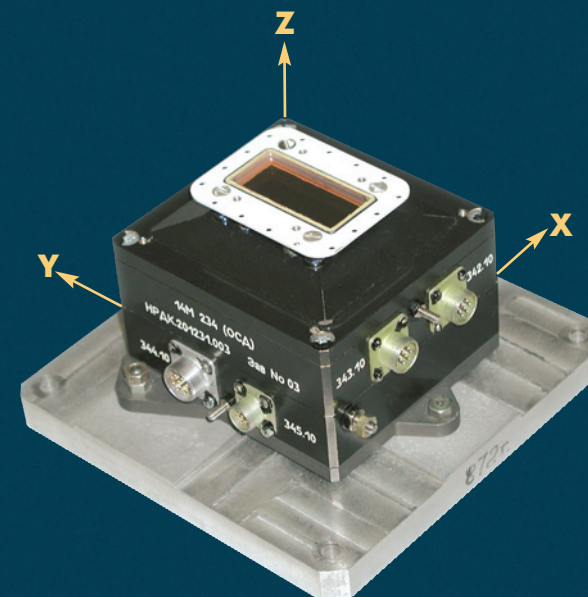
Для повышения надежности и обеспечения необходимой точности кодирующая маска ОСД содержит три группы щелей по три щели в каждой группе. Чтобы идентифицировать группы и щели в группах, расстояния между группами и отдельными щелями сделаны разными.

Геометрическая калибровка ОСД включает следующие процедуры:

- определение положения ПЗС-линейки во внутренней системе координат прибора;
- определение расстояния от щелевой диафрагмы до ПЗС-линейки;
- определение координат точки пересечения оси Z с плоскостью, в которой находится ПЗС-линейка;
- определение матрицы перехода от внутренней системы координат к приборной.

Основные характеристики

Масса, кг	0,65
Энергопотребление, Вт	2,5
Габариты, мм	120 x 112 x 72,5
Поле зрения, град	
в плоскости OXZ	–60 — +60
в плоскости OYZ	–31 — +31
Частота обновления данных, Гц	4
Интерфейс информационного обмена	MIL STD-1553B
Вероятность безотказной работы	0,98
Выходная информация	Вектор направления на Солнце
Точность (3σ), угл. мин	
при угл. скорости КА до 0,1°/с	3
при угл. скорости КА до 1,0°/с	5



Разрабатываются цифровые многозональные съемочные устройства (МСУ) среднего разрешения для метеорологических и природно-ресурсных КА. Эти устройства позволяют получать изображения земной и водной поверхности в трех спектральных зонах видимой и ближней ИК областей спектра. Информация в каждом МСУ регистрируется на ПЗС-линейках с разными светофильтрами. Первичная обработка видеоданных осуществляется в бортовом сигнальном процессоре.

Панорама г. Таруса Калужской области. Весна 2006 г. Съемка выполнена лабораторным макетом МСУ-100 с высокого берега Оки

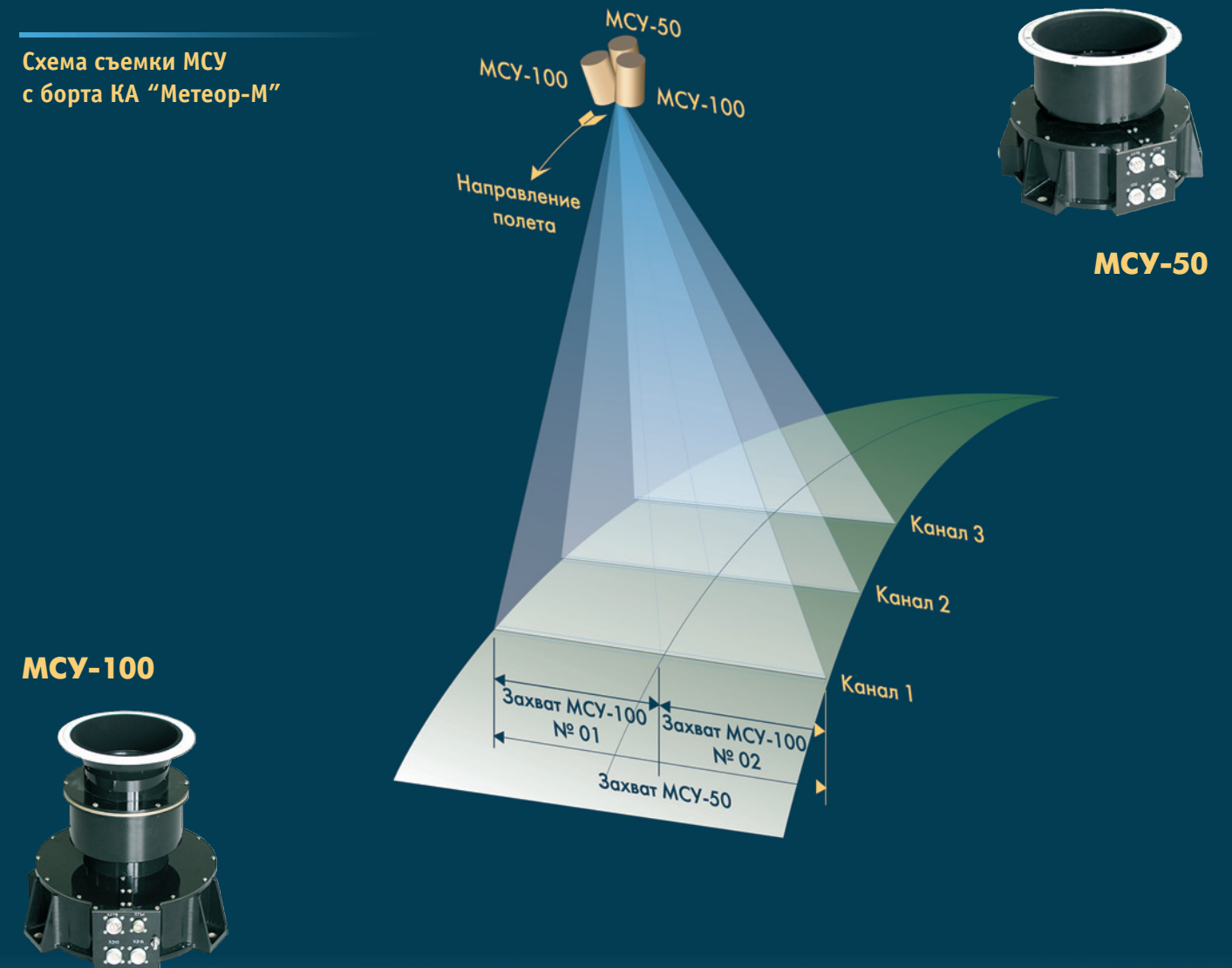
Первый комплекс в составе двух МСУ-100 и одного МСУ-50 обеспечит получение оперативных видеоданных для проведения гидрометеорологического и экоприродного мониторинга с борта КА "Метеор-М".

Параметр \ Камера	МСУ-50	МСУ-100	МСУ-200
Фокусное расстояние объектива, мм	50	100	200
Спектральные зоны, нм	410*	550*	450
	480*	650*	550
	630*	830*	650
			830
Количество элементов в строке	7926	7926	10 200
Размер ПЗС элемента, мкм		7 x 7	
Угловое поле зрения, град	58,5	31,3	21
Полоса обзора (с высоты 830 км), км	931	497	250
Проекция пиксела, м	116	58	29
Интерфейс информационного обмена	MIL STD-1553B		
Энергопотребление, Вт	7	7	12
Масса, кг	2,5	3,2	6

* для КА "Метеор-М"

Для перспективного Комплекса многоспектральной съемки разрабатывается МСУ-100М и планируется разработка МСУ-200 (фокусное расстояние 200 мм). Эти приборы будут оснащены двумя ПЗС-линейками – одной трехзональной (RGB) и второй, работающей в диапазоне 750–900 нм.

Схема съемки МСУ с борта КА "Метеор-М"



В 2004–2005 гг. созданы две цифровые аэрокамеры – ЦТК-140 и ЦМК-70.

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

Цифровая многозональная аэрокамера ЦМК-70 представляет собой моноблок, состоящий из оптического и электронного модулей. ЦМК-70 позволяет проводить одновременную съемку в трех зонах видимого диапазона (RGB) и в одной зоне ближнего ИК-диапазона.

Управление съемкой выполняется с помощью установленного на борту самолета компьютера, что позволяет в реальном времени контролировать процесс получения видеоданных и их регистрации в бортовом ЗУ.

Преимущества видеоданных, полученных цифровыми аэрокамерами

- линейная передаточная характеристика;
- высокая фотометрическая точность;
- широкий динамический диапазон изображений, что облегчает дешифрирование и позволяет расширить диапазон масштабов создаваемых картографических материалов;
- широкий спектральный диапазон (0,4–1,1 мкм);
- широкая полоса обзора в сочетании с высоким пространственным разрешением.

Цифровая аэросъемочная камера ЦТК-140



Широкий динамический диапазон цифровых аэрокамер позволяет увидеть детали изображения, закрытые тенью от облаков



Параметр \ Камера	ЦТК-140	ЦМК-70
Фокусное расстояние объектива, мм	140	70
Тип фотоприемников	линейные ПЗС	
Количество элементов в строке	22 000 x 3	10 200 x 4
Размер элемента, мкм	7 x 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 видеоданных, ТБ	до 3,2	2,0
Время непрерывной съемки, часов	4–12	10–36



увеличение 20x

Фрагмент полосы, снятой цифровой аэрокамерой ЦМК-70 с высоты 4000 м



Для проекта "Фобос-Грунт" в отделе разрабатываются приборы научного и служебного назначения – ТВ система навигации и наблюдения, звездный координатор БОКЗ-МФ, оптический солнечный датчик ОСД и система информационного обеспечения комплекса научных приборов.

Телевизионная система навигации и наблюдения (ТСНН)

ТСНН предназначена для:

- припланетной навигации;
- выбора места посадки спускаемого аппарата на Фобос;
- поддержки процесса управления посадкой спускаемого аппарата на Фобос;
- детальной съемки поверхности Фобоса.

Параметры/Камера	УТК	ШТК
Фокусное расстояние, мм	500	18
Относительное отверстие	1:7	1:2
Количество элементов ПЗС-матрицы	1004 x1004	
Размер элемента, мкм	7,4x7,4	
Разрешение, угл. сек.	3,05	84,8
Поле зрения, град	0,85	23,3
Минимальный угол к Солнцу, град	80	60
Радиометрическое разрешение, бит	12	
Масса, кг	2,7	1,7
Энергопотребление, Вт	8	8
Количество приборов	2	2

ТСНН включает четыре телевизионные камеры на основе ПЗС-структур – две широкоугольные (ШТК) и две узкоугольные (УТК), которые расположены попарно на противоположных сторонах несущей конструкции перелетного модуля КА, обеспечивая стереосъемку с двухметрового базиса.

Система информационного обеспечения комплекса научных приборов (СНОК)

СНОК предназначена для управления работой комплекса научной аппаратуры КА миссии "Фобос-Грунт" и представляет собой дублированный компьютер с расширенной энергонезависимой памятью.

СНОК решает следующие задачи:

- прием цифровых команд и кода бортового времени из служебных систем КА по информационной магистрали связи СНОК и КА (МКО КА);
- передачу цифровых команд управления и кода бортового времени по внутренней информационной магистрали связи СНОК и

приборов научного комплекса (МКО НА);

- сбор и хранение в энергонезависимой памяти информации от приборов научного комплекса;
- трансляцию в сеансах связи в радиоконтакт КА хранящейся в памяти СНОК информации от приборов научного комплекса.

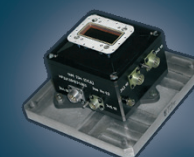
Основные характеристики

Напряжение электропитания, В	23–32
Потребляемая мощность, не более Вт	4,0
Масса, не более кг	1,7
Объем энергонезависимой памяти данных, МБ	32
Объем памяти программ, кБ	128
Объем оперативной памяти программ, МБ	2
Интерфейсы информационного обмена МКО НА и КА	MIL STD-1553B
Вероятность безотказной работы	0,97

Узкоугольная ТВ камера (УТК)



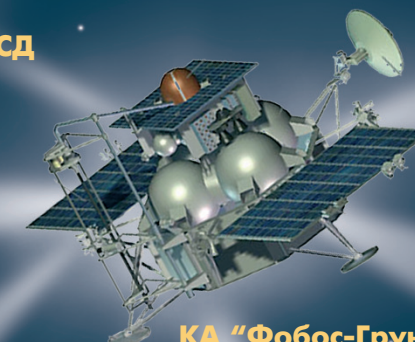
ОСД



Широкоугольная ТВ камера (ШТК)



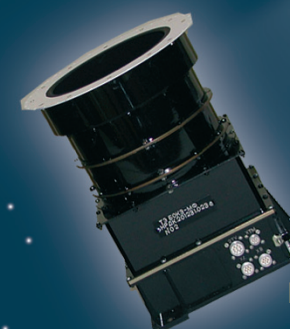
КА "Фобос-Грунт"



СНОК



БОКЗ-МФ



Стенд геометрической калибровки видеокамер

определение элементов внутреннего ориентирования видеокамер и параметров взаимной ориентации внутренней и приборной систем координат

Стенд фотометрической калибровки видеоспектрометрических камер

определение спектральных и энергетических характеристик съемочных устройств

Астрономическая обсерватория

натурная съемка звездного неба звездными координаторами при различных угловых скоростях

Стенд динамических испытаний звездных координаторов

моделирование работы приборов семейства БОКЗ на разных орбитах и при различных режимах ориентации КА

Стенд динамических испытаний систем координатно-временного обеспечения

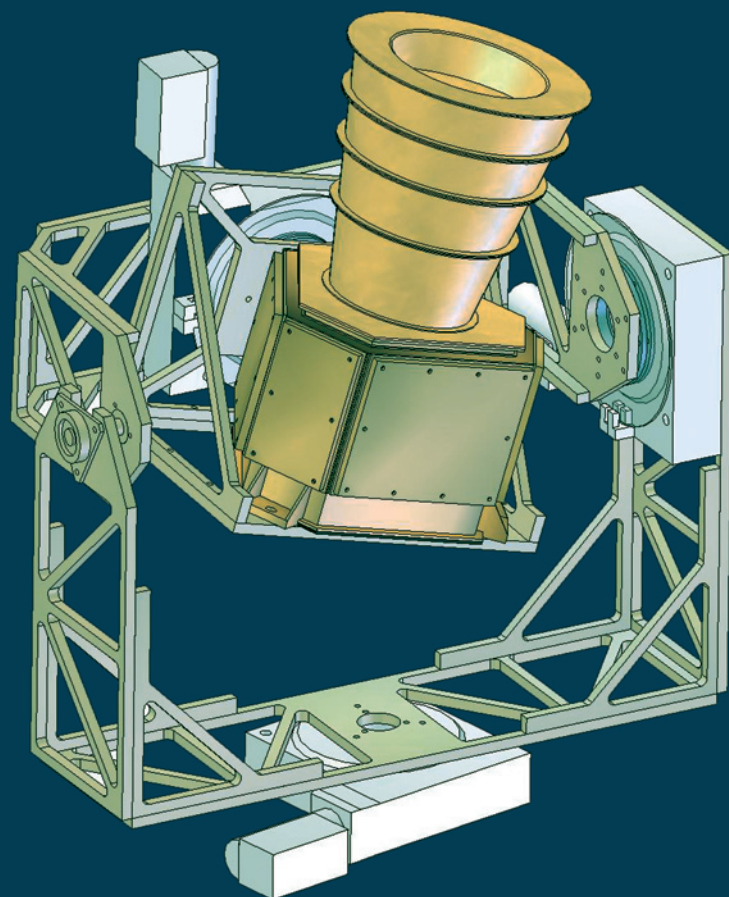
(перспективная разработка)
моделирование работы бортовых систем координатно-временного обеспечения

Установка для определения радиационной стойкости электрорадиоизделий (ЭРИ)

проведение испытаний ЭРИ на базе источника Со-60 к воздействию ионизирующего излучения в диапазоне интенсивностей 10^{-4} – 10^{-2} рад/с, близких к естественным условиям функционирования приборов в космосе

Стенд “Фобос-Грунт”

моделирование процесса управления посадкой на Фобос с использованием Телевизионной системы навигации и наблюдения



Макет трехосного поворотного стенда для отработки универсального навигационного прибора

Проводимые в отделе исследования и разработки приборов всегда сопровождаются созданием программно-алгоритмического обеспечения для:

- поддержки функционирования разрабатываемых бортовых приборов, их контрольно-измерительной аппаратуры, а также стендов калибровки бортовых приборов и моделирования их работы в космосе;
- управления работой в космосе созданных приборов по заданной и корректируемой в полете программе;

- бортовой служебной и тематической обработки проводимых измерений и получаемых видеоданных;
- определения в реальном времени ориентации и местоположения космических аппаратов;
- наземной обработки, координатной привязки и тематического анализа получаемой космической видеоинформации.

Фрагмент изображения, полученный цифровой аэрокамерой ЦТК-140 во время маневра самолета (слева), и результат его автоматической коррекции (справа). Соответствующие объекты показаны одинаковыми цифрами.



НАШИ ЗАКАЗЧИКИ

- Российская академия наук
- Федеральное космическое агентство (Роскосмос)
- Ракетно-космическая корпорация “Энергия” (РКК “Энергия”)
- Государственный научно-производственный ракетно-космический центр “ЦСКБ-Прогресс”
- ОАО “Машиностроительный завод “Арсенал”
- Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина (НПО Л)
- Всероссийский научно-исследовательский институт электромеханики (ВНИИЭМ)
- Научно-производственное объединение машиностроения (НПО машиностроения)




автономная некоммерческая организация “КОСМОС – НАУКА и ТЕХНИКА”

АНО “Космос–НТ” учреждена в 2000 г. несколькими научными институтами и промышленными фирмами космического сектора России

Основные области деятельности

- Методы аэрокосмической ТВ съемки и бортовой цифровой обработки получаемых видеоданных
- Бортовые методы координатно-временного обеспечения управления полетом КА
- Методы и программы наземной обработки и интерпретации аэрокосмических видеоданных
- Методы и программное обеспечение калибровки и испытаний бортовой съемочной аппаратуры

Директор: Суханова Элеонора Александровна
 Адрес: 117819 г. Москва, Профсоюзная ул., д. 84/32
 Телефон/Факс: (7 495) 333-3088
 Эл. почта: ano_cnt@ofo.iki.rssi.ru



Адрес: 117819 г. Москва, Профсоюзная ул., д. 84/32
Телефон: (7 495) 333-2445
Факс: (7 495) 330-1200
Эл. почта: lkrasnop@ofo.iki.rssi.ru
Веб-сайт: www.iki.rssi.ru/ofo