



ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЙ

О Т Д Е Л



Институт космических исследований Российской Академии наук

ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ

В 1967 году в недавно образованный Институт космических исследований Академии наук СССР из Московского института 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 измерений (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 астроориентации КА и бортовых процессоров, обеспечивающих решение этих задач в реальном времени. И уже в 1999 году на орбите работал первый звездный координатор БОКЗ.

К 2005 году девять созданных в отделе звездных координаторов БОКЗ и БОКЗ-М управляли ориентацией четырех ИСЗ и Международной космической станции (МКС). Создаются новые модификации приборов БОКЗ, а также

системы на их основе, которые позволят 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.

Эти работы оптико-физический отдел проводит вместе со своим основным партнером – Автономной некоммерческой организацией “Космос–Наука и Техника” (АНО “Космос–НТ”).

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.,
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



**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 ориентации
и местоположения КА

Обработка и интерпретация видео
и спектрометрической информации

Калибровка, испытания
и отработка бортовых приборов

Разработка алгоритмов и программ

Моделирование работы
в космосе создаваемых приборов



1968 – 1971**Исследования Луны**

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

1970 – 1972**Определение ориентации КА по фотоснимкам произвольных участков звездного неба**

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**Летающая лаборатория**

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

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

1974 – 1978**Эксперимент "Радуга"**

Создание совместно со специалистами ГДР космического фотоаппарата МКФ-6 и его летно-конструкторские испытания на КК "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.

1977 – 1987**Определение ориентации пилотируемой орбитальной станции "Мир"**

Создание совместно со специалистами ГДР системы звездных координаторов "АСТРО" с матричными ПЗС и бортовым процессором для определения ориентации КА по ТВ-изображениям звездного неба в квазиреальном времени. Система "АСТРО" работала на борту станции в течение десяти лет.

1978 – 1984**Эксперимент "Фрагмент"**

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 видеoinформации.

1983 – 1986**Исследования кометы Галлея**

Разработка совместно с венгерскими и французскими специалистами телевизионной системы "ВЕГА" на матричных ПЗС для съемки с АМС "ВЕГА-1 и 2" кометы и ее ядра. Участие в создании платформенного комплекса 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 топографическая реконструкция комы.

1986 – 1989**Съемки Марса и Фобоса**

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**Проект "Регата"****(незавершенная разработка)**

Разработана теория 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**Проект "Марс-96"**

Создание совместно с немецкими специалистами многозональных ТВ систем для исследования поверхности и атмосферы Марса.

Участие в создании платформенного комплекса "Аргус" для съемки поверхности Марса.

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

1992 – 1996**Создание навигационной камеры**

Навигационная камера представляла собой звездный координатор с матричным ПЗС и была предназначена для управления платформенным комплексом "Аргус" КА "Марс-96".



ЗВЕЗДНЫЕ КООРДИНАТОРЫ БОКЗ

Блок определения координат звезд (БОКЗ) представляет собой моноблок, содержащий цифровую телевизионную камеру на ПЗС-матрице и источник вторичного питания. Приборы семейства БОКЗ предназначены для высокоточного определения в реальном масштабе времени параметров трехосной ориентации КА по изображениям произвольных участков звездного неба.

К 2005 году в космос было выведено 13 приборов БОКЗ, установленных на 6 российских КА.

К концу года 9 звездных координаторов продолжали функционировать на околоземных орбитах:

- два прибора БОКЗ на КА “Ямал-100” с 1999 года;

- три прибора БОКЗ на МКС с 2000 года;

- четыре прибора БОКЗ-У на двух КА “Ямал-200” с 2003 года

Завершена разработка трех модификаций – БОКЗ-М, БОКЗ-М24 и БОКЗ-2М, в которых ориентация КА рассчитывается не в бортовом компьютере, а в сигнальном процессоре самого прибора.

БОКЗ-М успешно прошел летно-конструкторские испытания.

Идут работы по созданию следующего поколения координаторов БОКЗ – БОКЗ-МФ и БОКЗ-3.

Координаторы БОКЗ следующего поколения

БОКЗ-МФ

- снижение массы до 1,2 кг;
- использование одноразовой защитной крышки объектива.

БОКЗ-3

- увеличение частоты обновления информации до 10 Гц;
- определение угловой скорости КА;
- обеспечение надежного непрерывного функционирования звездных координаторов в течение 100 000 часов;
- снижение массы до 0,6 кг.

ЗВЕЗДНЫЕ КООРДИНАТОРЫ БОКЗ

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

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

Результаты отработки приборов БОКЗ в условиях реального полета

- Величина апостериорной вероятности определения ориентации равна 0,995.
- Точность определения ориентации в приборной системе координат ($\sigma_{x,y} / \sigma_z$) составляет 1,5 / 12 угл.с.

Результаты отработки приборов БОКЗ в условиях имитации полета

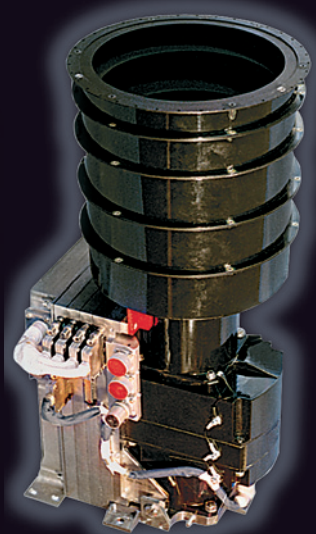
- Уровень защищенности к фоновой засветке ≤ 1 нита.
- Уровень защищенности к протонному воздействию (число протонных событий / число гидрирующих звезд) составляет 20/1.

Направление развития приборов семейства БОКЗ

Создание прибора самостоятельного для прямого управления параметрами углового движения КА без поддержки гиринерциальными средствами.

1998

БОКЗ



2002

БОКЗ-М



2004

БОКЗ-М24



2004

БОКЗ-2М



2006

БОКЗ-МФ



2008

БОКЗ-3



ОПТИЧЕСКИЙ СОЛНЕЧНЫЙ ДАТЧИК

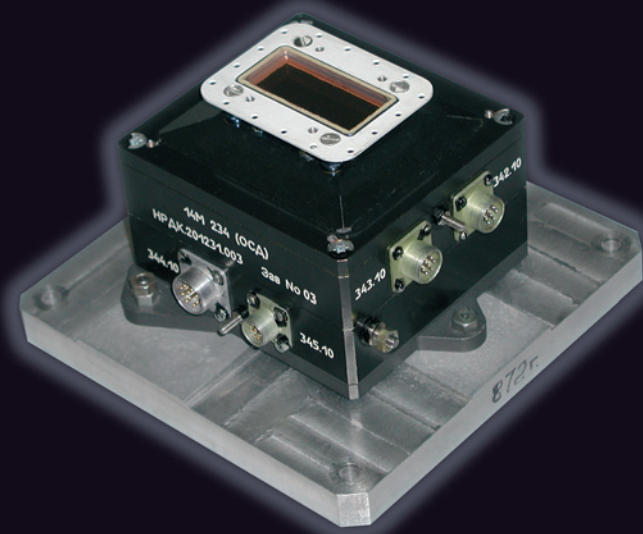
Оптический солнечный датчик (ОСД) предназначен для определения направления на центр видимого диска Солнца. Направление на Солнце рассчитывается в системе координат прибора по положению на линейном ПЗС пикселей, освещенных солнечным светом, прошедшим через входную щелевую диафрагму.

Основные характеристики

Ресурс работы, часы	20 000
Вероятность безотказной работы	0,98
Точность (3σ), угл. мин	
при угл. скорости КА до $0,1^\circ/\text{с}$	3
при угл. скорости КА до $1,0^\circ/\text{с}$	5
Поле зрения, град	
в плоскости OXZ	-60 – +60
в плоскости OYZ	-31 – +31
Период обновления данных, мс	250
Масса, кг	0,45
Энергопотребление, Вт	2,5
Габариты, мм	120 x 112 x 72,5

2005

ОСД



Летно-конструкторские испытания ОСД запланированы на 2006 г.

СИСТЕМА КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Система координатно-временного обеспечения позволяет определять в режиме реального времени пространственную ориентацию и местоположение КА, а также параметры его орбиты, привязанные к системе единого времени. Полученная информация используется для управления полетом КА и координатной привязки данных дистанционного зондирования.

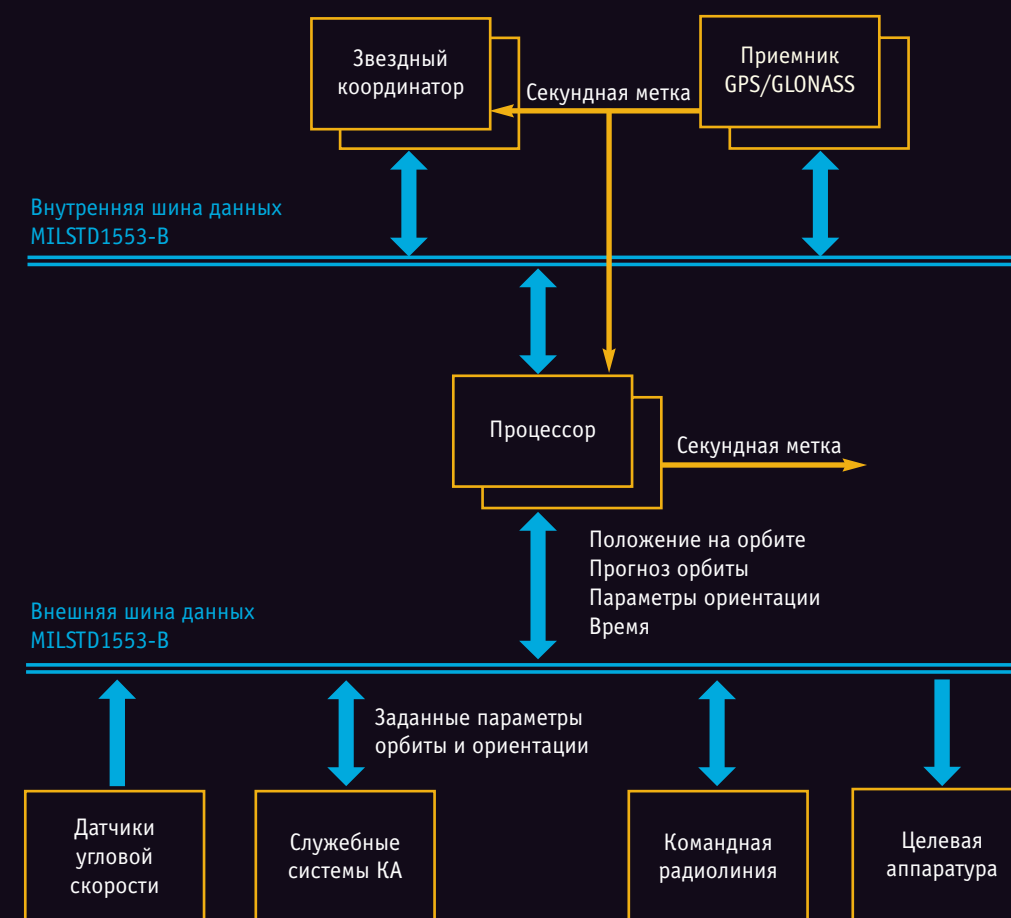
Система координатно-временного обеспечения состоит из следующих блоков:

- блок измерителей:
 - звездные координаторы семейства БОКЗ;
 - приемники GPS/ГЛОНАСС;
- штатные датчики угловой скорости (ДУС);
- блок обработки измерений (высокопроизводительный процессор).

Дальнейшее совершенствование системы предусматривает использование датчиков угловых скоростей на основе технологии МЭМС, встроенных в прибор БОКЗ-3, что позволит исключить ДУСы из системы координатно-временного обеспечения.

Первый эксперимент по отработке принципов построения Системы будет проведен на КА "Метеор-М".

Принципиальная схема Системы



СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ ЦИФРОВОЙ СЪЕМКИ

Отдел совместно с АНО "Космос-НТ" создает цифровые многозональные съемочные устройства (МСУ) среднего разрешения для метеорологических и природно-ресурсных КА. Эти устройства позволяют получать изображения земной и водной поверхности в шести спектральных зонах.

Информация в каждом МСУ регистрируется на трех ПЗС-линейках, оснащаемых разными светофильтрами. Первичная обработка видеоданных осуществляется в цифровом сигнальном процессоре.

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

Для перспективного Комплекса цифровой съемки разрабатываются камеры МСУ-100М и МСУ-200, работающие в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.

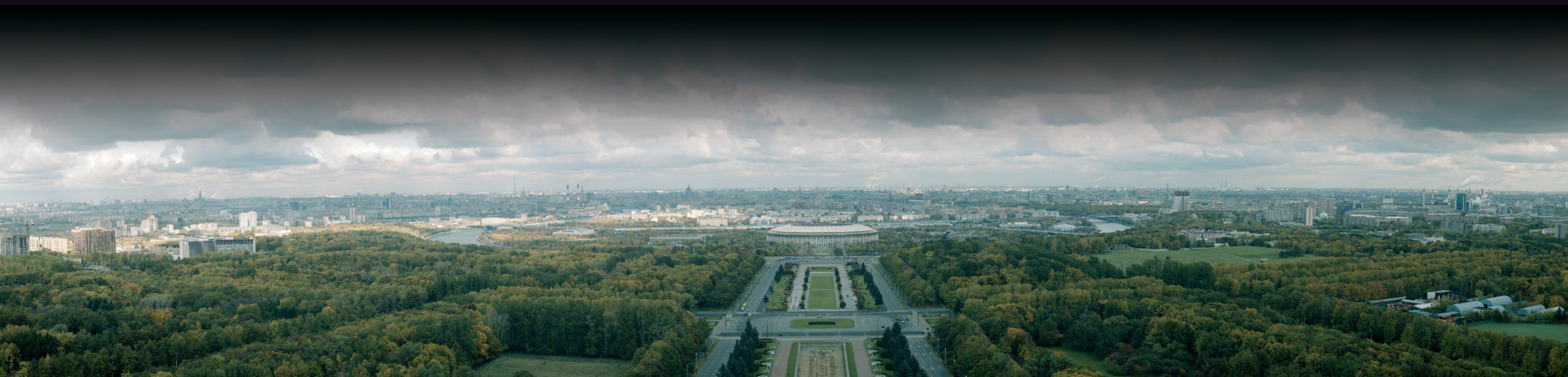
Параметр \ Камера	МСУ-50	МСУ-100
Фокусное расстояние объектива, мм	50	100
Спектральные зоны, мкм	0,41	0,55
	0,48	0,65
	0,63	0,83
Количество элементов в строке	7926	
Размер ПЗС элемента, мкм	7 x 7	
Угловое поле зрения, град	58,5	31,3
Полоса обзора, км	931	497 x 2
Разрешающая способность, м	116	58
Интерфейс информационного обмена	MIL STD-1553B	
Энергопотребление, Вт	7	
Масса, кг	3,2	

Панорама Москвы с 22 этажа Московского государственного университета. Съемка выполнена лабораторным макетом МСУ-100

СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ ЦИФРОВОЙ СЪЕМКИ

**МСУ-50
МСУ-100/100М
МСУ-200**


Параметр \ Камера	МСУ-100М	МСУ-200
Фокусное расстояние объектива, мм	100	200
Спектральные зоны, мкм	450 / 550 / 650 750-900	
Количество элементов в строке	10 200 x 4	
Размер ПЗС элемента, мкм	7 x 7	
Угловое поле зрения, град	39,3	21
Полоса обзора при съемке в надир, км	600	309
Разрешающая способность при съемке в надир, м	58,0	29,1
Строчная частота, Гц	120	230



В 2004–2005 гг. в АНО “Космос-НТ” при участии оптико-физического отдела 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;
- широкий спектральный диапазон (0,4–1,1 мкм);
- широкая полоса обзора в сочетании с высоким пространственным разрешением;
- практически полное отсутствие зашумленности изображений, что облегчает их дешифрирование и позволяет расширить диапазон масштабов создаваемых картографических материалов.



Широкий динамический диапазон камер позволяет увидеть закрытые облачностью детали изображения



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	400–500 (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 заснимаемой 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 км

КАМЕРА НАБЛЮДЕНИЯ МАРСА – КНМ

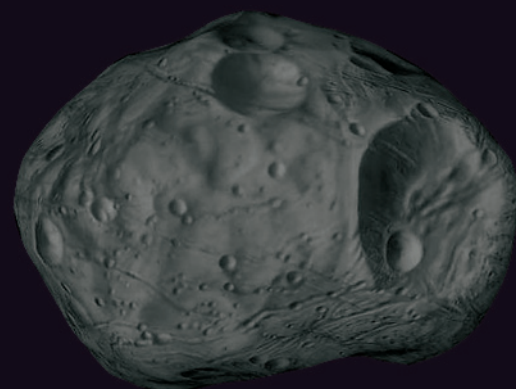
Камера наблюдения Марса, создаваемая для научного комплекса проекта “Фобос-Грунт”, предназначена для долговременного мониторинга поверхности и атмосферы Красной планеты. Управление съемкой осуществляется с Земли. Данные передаются после предварительного сжатия.

Задачи наблюдения поверхности

- Мониторинг границ полярных шапок и детальное изучение механизмов их образования.
- Наблюдение суточных изменений марсианской поверхности.
- Наблюдение изменения альbedo поверхности и детальное изучение механизмов взаимодействия атмосферы и поверхности.

Задачи мониторинга атмосферы

- Наблюдение пылевых бурь и других динамических процессов в марсианской атмосфере и изучение основных климатообразующих механизмов.
- Мониторинг облаков в марсианской атмосфере и изучение сезонных и суточных климатических процессов.
- Съемка атмосферы вблизи лимба Марса и изучение профиля распределения пыли и ледяных облаков в зависимости от высоты над поверхностью.



Основные характеристики

Фокусное расстояние объектива, мм	60
Угол поля зрения, град	83
Тип фотоприемников	ПЗС
Размер пиксела, мкм	7 x 7
Тип процессора обработки видеоданных	сигнальный
Спектральный диапазон (4 зоны), мкм	0,45–0,8
Обозреваемая поверхность Марса, град	68 (с.ш.) – 68 (ю.ш.)
Объем встроенной памяти для изображений, Мбайт	8
Потребляемая мощность, Вт	5
Масса, кг	1,5
Интерфейс информационного обмена	MIL STD-1553B

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИИ И НАВЕДЕНИЯ – ТСНН

ТСНН разрабатывается для решения служебных и научных задач и предназначена для:

- припланетной навигации по изображениям Марса, Фобоса и звездного неба;
- съемки поверхности Фобоса с высоким разрешением;
- определения высоты полета, вертикальной и горизонтальной скорости на этапе посадки спускаемого аппарата на Фобос.

ТСНН включает две телевизионные камеры и блок обработки данных. ТСНН работает на следующих участках полета:

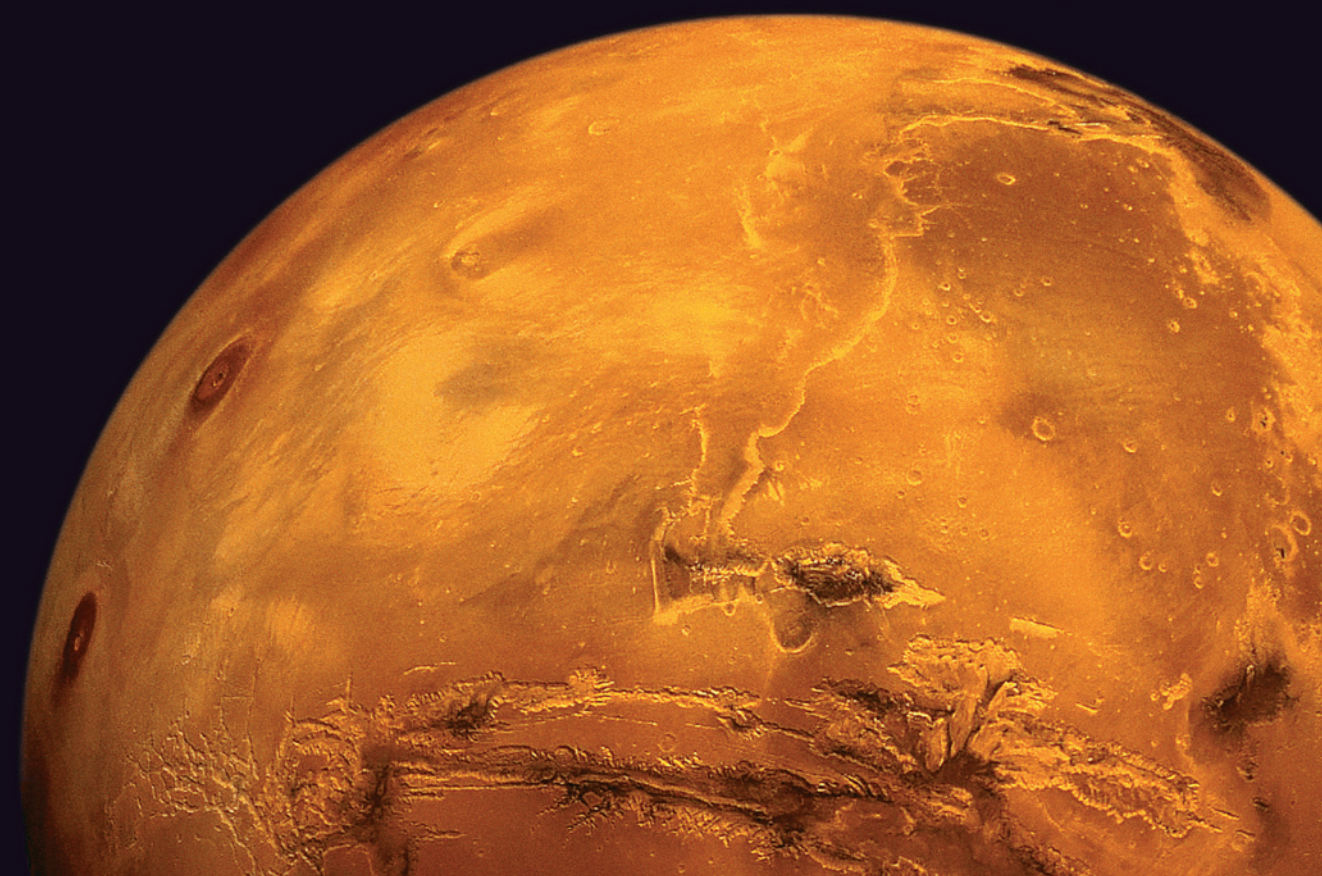
- на последнем этапе перелета к Марсу;
- на переходных орбитах спутника Марса с диапазоном высот 1000–500 км;
- на этапе сближения с Фобосом и посадки на него спускаемого аппарата.

Блок обработки данных предназначен для:

- определения параметров инерциальной ориентации по изображениям звезд;
- определения направления на центр Марса в инерциальной системе координат;
- определения направления на центр Фобоса в инерциальной системе координат;
- определения фобосоцентрических координат КА;
- определения вектора скорости КА при посадке на Фобос;
- определения дальности КА до поверхности Фобоса при посадке;
- выделения заданных форм рельефа для принятия решения о выборе места посадки;
- сжатия данных для передачи на Землю полученных изображений для их последующей обработки.

Основные характеристики ТВ-камер

Параметр	узкоугольная	широкоугольная
Фокусное расстояние объектива, мм	500	18
Тип фотоприемников	ПЗС-матрица	
Угловое поле зрения, град	2,4	32,4
Масса, кг	3	0,6 x 3 (4)
Энергопотребление, Вт	7	1,5 x 3 (4)
Число ТВ-камер	1	3 (4)



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)

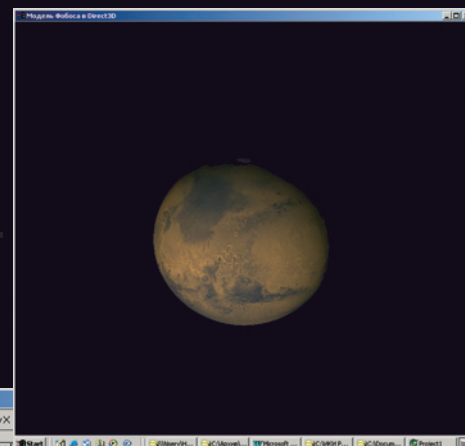
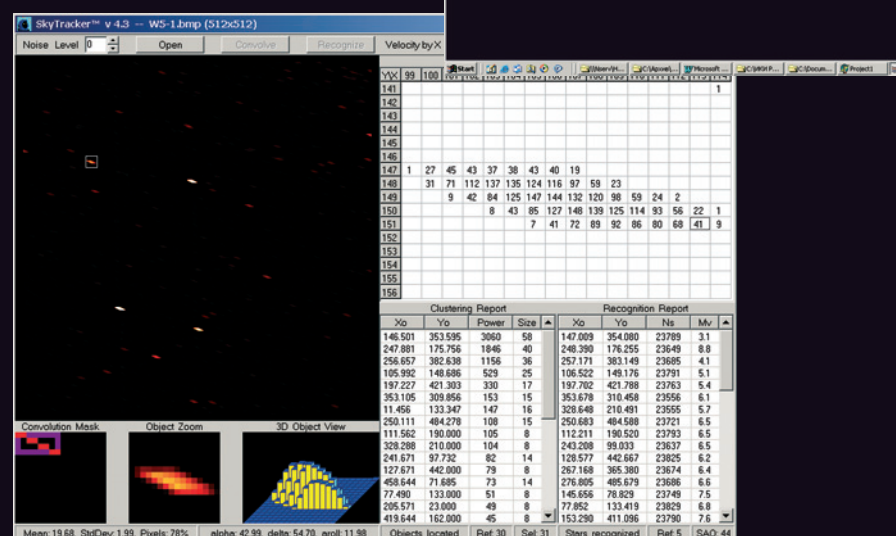
моделирование работы бортовых систем координатно-временного обеспечения

Установка для определения радиационной стойкости электрорадиоизделий (ЭРИ)

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

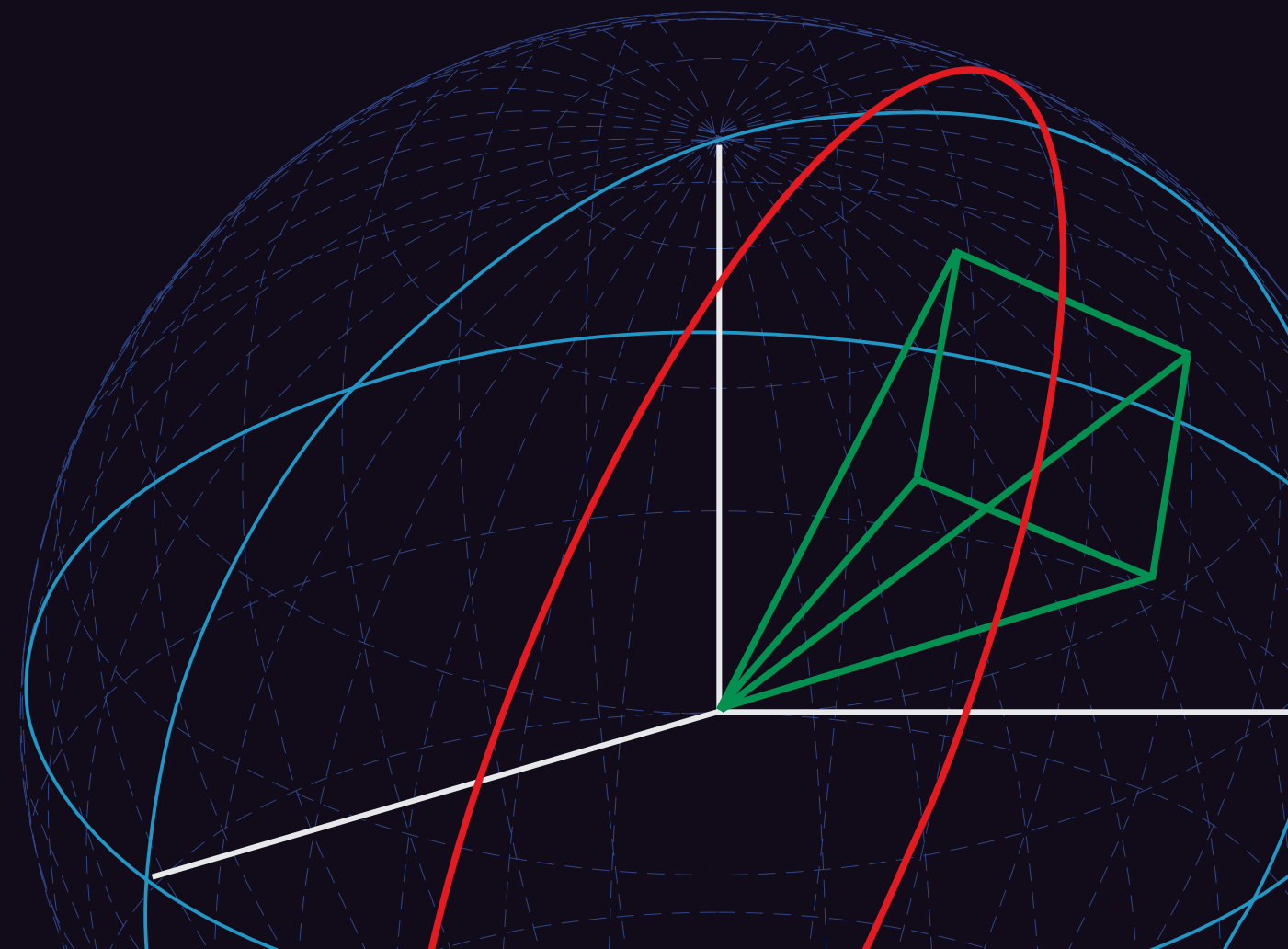
Стенд "Фобос-Грунт"

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

Рабочее окно программы моделирования изображения Марса на стенде "Фобос-Грунт"**Пример обработки участков звездного неба с протонными событиями**

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 и орбитальных станций;
- наземной обработки, координатной привязки и тематического анализа получаемой космической видеoinформации.

Отображение орбиты КА и ориентации звездного координатора на стенде динамических испытаний

НАШИ ЗАКАЗЧИКИ

- Российская Академия наук
- Российское 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 электронного машиностроения (ВНИИЭМ)
- Научно-производственное объединение Машиностроения (НПО Машиностроения)



НАШ ОСНОВНОЙ ПАРТНЕР


**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

- Аэрокосмические методы и средства цифровой ТВ-съемки
- Бортовые методы и средства координатно-временного обеспечения управления полетом КА и обработки получаемых данных.
- Аппаратно-программные методы и средства обработки и интерпретации аэрокосмических видеоданных

Директор: Суханова Элеонора Александровна
Адрес: 117819 г. Москва, Профсоюзная ул., д. 84/32
Телефон/Факс: (7 095) 333-3088
Эл. почта: ano_cnt@ofo.iki.rssi.ru



Адрес: 117819 г. Москва, Профсоюзная ул., д. 84/32
Телефон: (7 095) 333-2445
Факс: (7 095) 330-1200
Эл. почта: lkrasnop@ofo.iki.rssi.ru