



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ПРОГРЕСС»

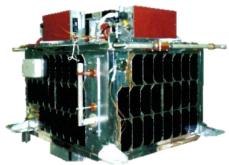
**Мероприятия по обеспечению достижения
заданных основных тактико-технических
характеристик малых космических аппаратов
серии «Аист»**

Совместная Международная научно-техническая конференция
«Цифровая реальность: космические и пространственные данные,
технологии обработки»

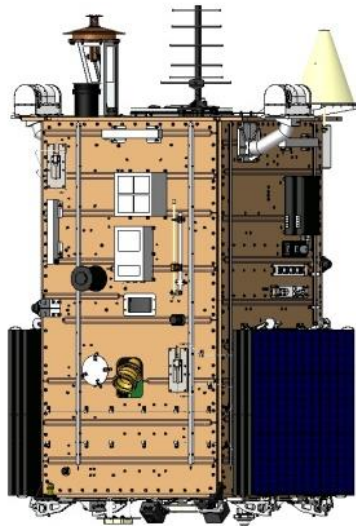
г. Санкт-Петербург

Р.Н. Ахметов, А.В. Филатов, А.А. Федосеев, А.А. Юдаков

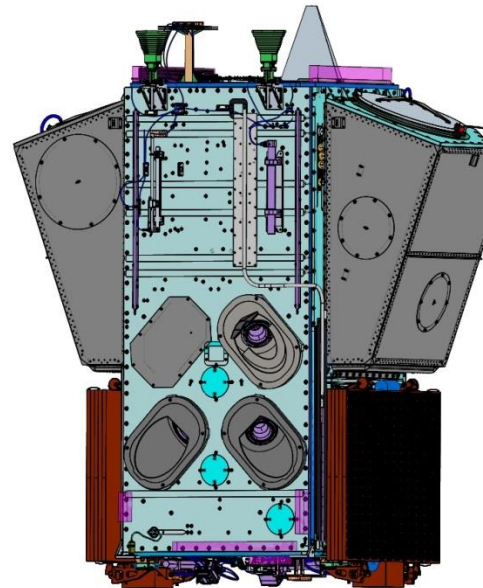
12 - 15 сентября
2022 г.



МКА «Аист»
эксплуатация с 2013г.



МКА «Аист-2Д»
эксплуатация с 2016г.

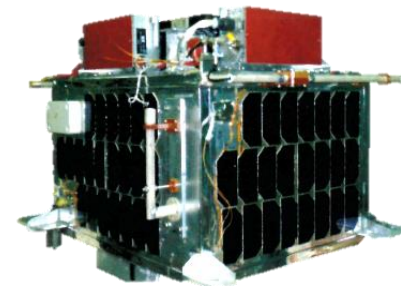


МКА «Аист-2Т» (2 шт.)
окончание работ в 2023г.



Космические аппараты «Аист» (первое поколение)

3



Основные технические характеристики МКА «Аист»

Характеристика	Значение
Орбита	Околокруговая, высота H= 575 км, наклонение $i=64,9^\circ$
Масса МКА, кг	38
Габариты, мм	400 x 500 x 600
Срок активного существования, лет	3
Ориентация	неориентированный полет
Среднесуточное энергопотребление, Вт	18

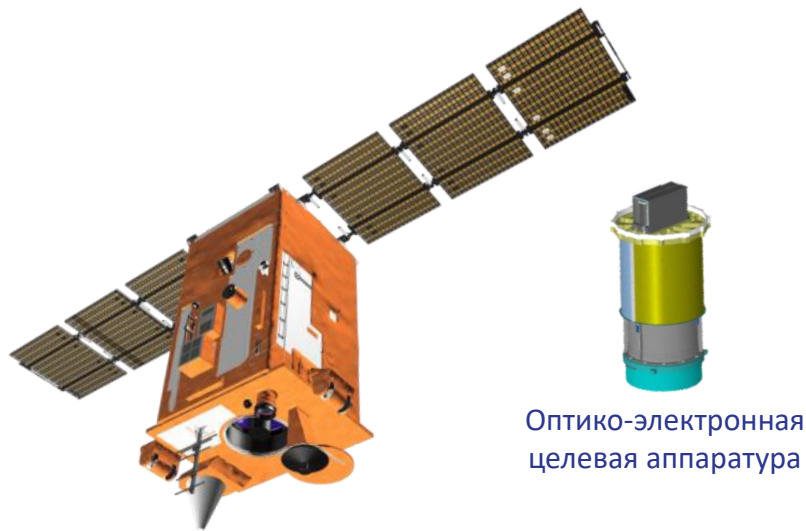
Запущено 2 МКА:

- МКА «Аист» №1: 19.04.2013 г.
- МКА «Аист» №2: 28.12.2013 г.

Оба МКА «Аист» успешно функционируют в настоящее время. Управление МКА «Аист» №1 и №2 осуществляет Самарский университет.



Космический аппарат «Аист-2Д»



Оптико-электронная
целевая аппаратура

Запущен 28 апреля 2016 г. с космодрома «Восточный».

Цель миссии: лётная квалификация платформы, отработка приборов и систем, технологий съёмки, обработки и распространения данных ДЗЗ

Оператор МКА – АО «РКЦ «Прогресс».

В настоящее время **продолжается штатная эксплуатация** МКА.

Технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Высота орбиты, км	490
Пространственное разрешение (проекция пикселя) - в панхроматическом диапазоне (0,58 - 0,80 мкм) - в мультиспектральном диапазоне (0,45 - 0,52 мкм; 0,52 - 0,60 мкм; 0,63 - 0,69 мкм)	1,48 4,44
Ширина полосы захвата, км	39
Скорость передачи целевой информации на наземный пункт приема, Мбит/с	150
Производительность, тыс. кв. км.	80 000
Точность определения координат объектов без опорных точек в плане (СКО), м	15-20
Срок активного существования, лет	3
Масса МКА, кг	534

Заказчик - АО «РКЦ «Прогресс»

Создан АО «РКЦ «Прогресс» за счет собственных средств

Отснято более 77 млн. кв. км земной поверхности (в том числе более 31 млн. кв. км территории РФ)

С образцами снимков можно ознакомиться по ссылке:
https://www.samspace.ru/multimedia/photo_mka_aist2d/

Космический аппарат «Аист-2Т» (2 шт.)

5

Создаётся по заказу Госкорпорации «Роскосмос»

Срок завершения работ – ноябрь 2023 г.



Оптико-электронная целевая аппаратура (2 шт., установка под углом)

Технические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Пространственное разрешение (проекция пикселя) (с высоты $H=490$ км*), м:	
- в панхроматическом диапазоне (0,58 - 0,80 мкм)	1,48
- в мультиспектральном диапазоне (0,45 - 0,52 мкм; 0,52 - 0,60 мкм; 0,63 - 0,69 мкм)	4,44
Ширина полосы захвата, км	39
Скорость передачи целевой информации на наземный пункт приема, Мбит/с	до 1440
Производительность, тыс. кв. км.**	> 300
Точность определения координат объектов без опорных точек в плане (СКО), м	6
Точность определения координат объектов без опорных точек по высоте (СКО), м	17
Срок активного существования, лет	5
Масса МКА, кг	770
Возможность группового пуска***	до 4 шт.

* зачётной является высота орбиты 400 км

** при использовании одного ППИ, одним КА

*** ракетой-носителем типа «Союз-2» производства АО «РКЦ «Прогресс»

Мероприятия по обеспечению достижения заданных основных ТТХ

6

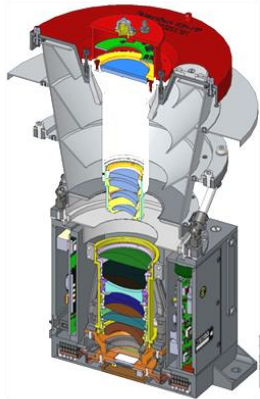
Предпроектная стадия	Эскизное проектирование	Разработка рабочей конструкторской документации	Наземная экспериментальная отработка	Лётные испытания	Штатная эксплуатация
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Анализ результатов, достигнутых по результатам предыдущих ОКР и штатной эксплуатации изделий, формирование основных направлений и исходных данных для принятия проектных решений ➤ Априорная оценка, моделирование и обоснование основных ТТХ ➤ Включение в контракты разработчикам новой БА специальных требований по подтверждению на каждом этапе ОКР ключевых тех. характеристик, влияющих на основные ТТХ КА 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Разработка проектных «инженерных моделей КА»: <ul style="list-style-type: none"> - модель конструкции КА; - тепловая модель КА; - термомодеформационная модель КА; - модель системы управления КА. ➤ Получение необходимых исходных данных от разработчиков систем КА и приборов для проведения оценок «инженерных моделей КА» ➤ Проведение оценок ОТТХ с использованием «цифровой модели КА» ➤ Выработка и принятие проектных решений по результатам оценок 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Разработка конструкторских «инженерных моделей КА» на основе доработки проектных моделей ➤ Получение необходимых исходных данных от разработчиков систем КА и приборов для проведения оценок с использованием «инженерных моделей КА» ➤ Проведение оценок ОТТХ с использованием «цифровой модели КА» ➤ Выработка и принятие решений по результатам оценок 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Верификация «инженерных моделей КА» по результатам НЭО ➤ Получение необходимых исходных данных от разработчиков систем КА и приборов для проведения оценок с использованием «инженерных моделей КА» ➤ Проведение оценок ОТТХ с использованием «инженерных моделей КА» ➤ Выработка и принятие решений по результатам оценок 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Проведение апостериорной оценки ОТТХ ➤ Верификация «инженерных модели КА» по результатам ЛИ ➤ Полётная калибровка ➤ Уточнение (при необходимости) порядка работы с КА по результатам оценок и требований к полётной калибровке 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Использование «инженерных моделей КА» при работе с КА и при возникновении нештатных ситуаций ➤ Полётная калибровка

1. Тепловые расчёты
2. Расчёты термдеформации конструкции
3. Расчет влияния термдеформаций на оптические характеристики
4. Верификация результатов расчётов

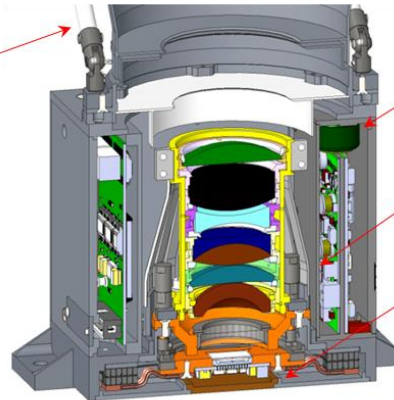
Изменения конструкции прибора по результатам расчетов



1. Введение узла теплоизолятора бленды
2. Введение теплоизоляционных платформ узла КМОП
3. Введение шунтов для минимизации градиента объектива
4. Введение двухкаскадного холодильника Пельтье



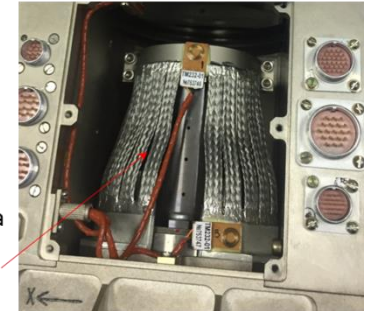
1



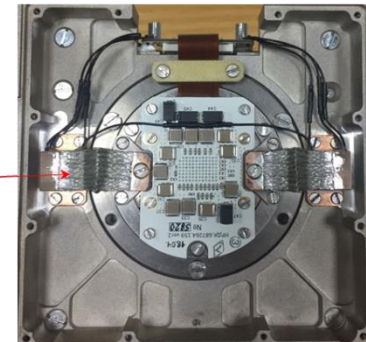
1

2

4



3

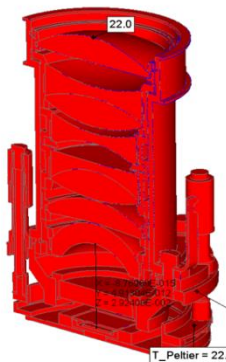
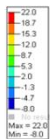


4

Результат расчета: смещение матрицы на 16мкм из-за циклов включения/отключения Пельте, что приводит к расфокусировки

→ Стенд контроля фокусировки и термостабильности конструкции

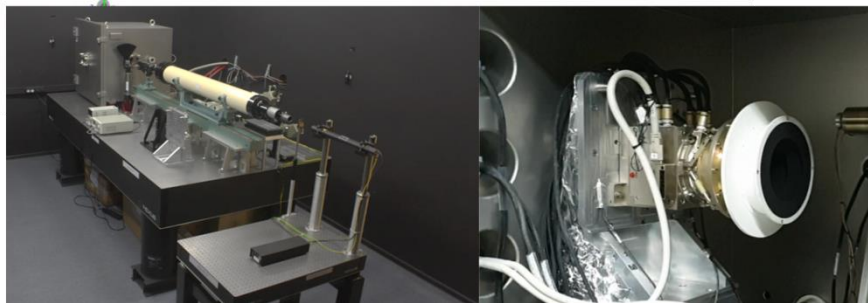
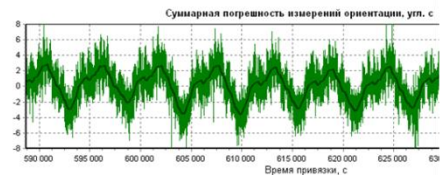
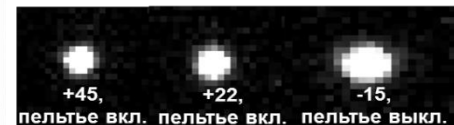
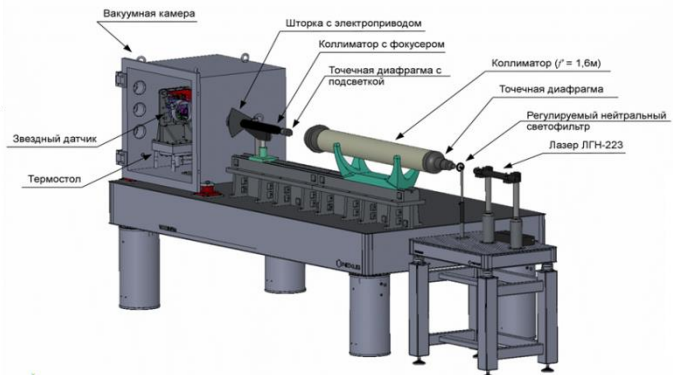
→ Фиксация изменения фокусировки и подтверждение расчетов:

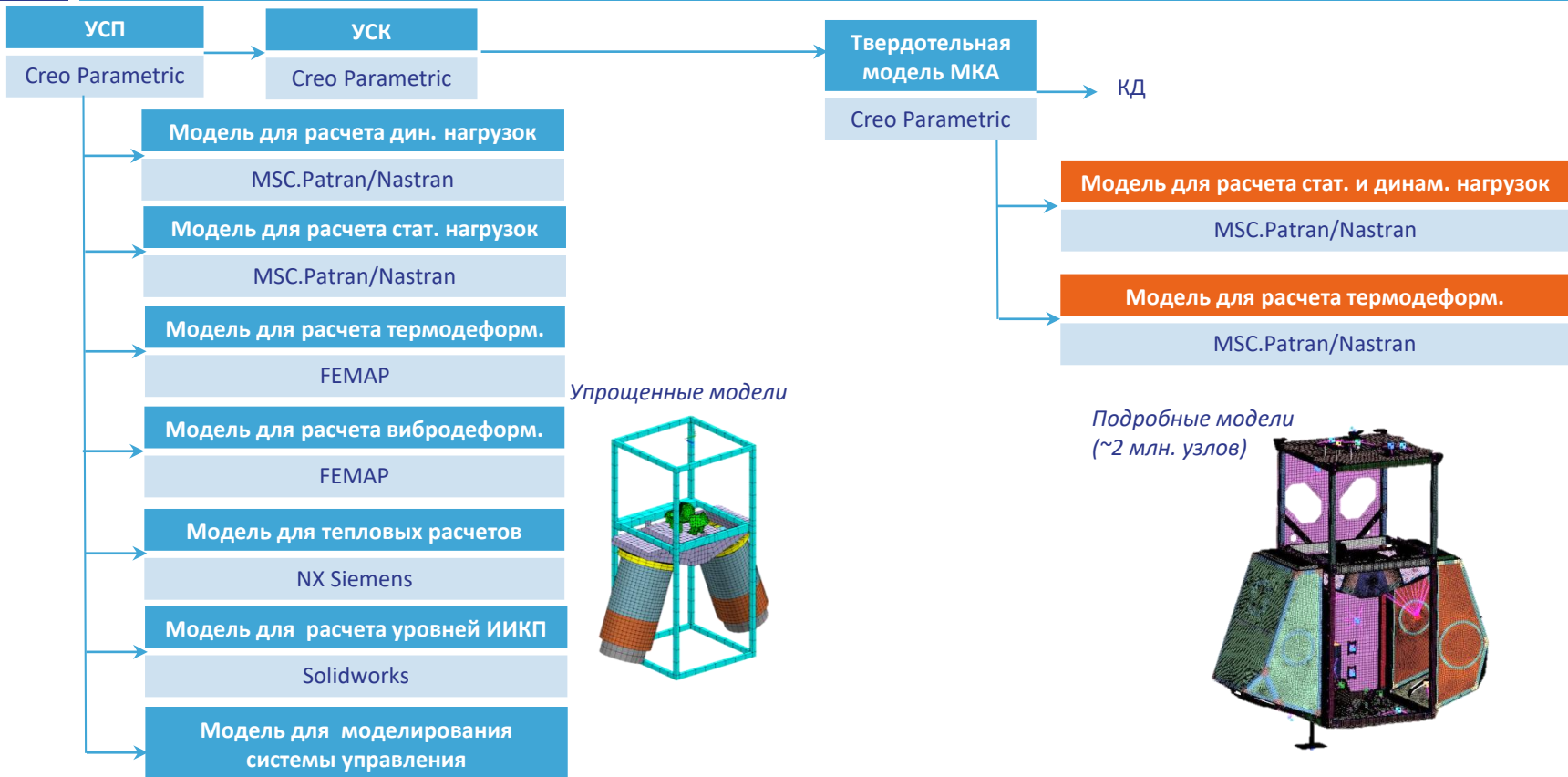


Frame 1

T_осн = 22.0

T_Peltier = 22.0

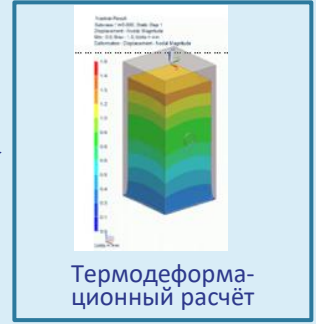
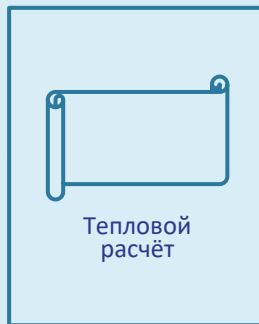




Модели КА для проведения теплового, термдеформационного расчётов. Порядок проведения расчётов

10

Проектная стадия



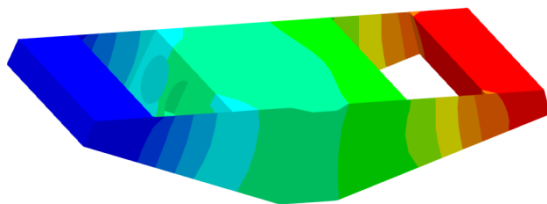
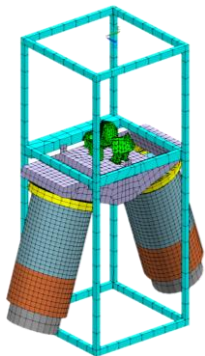
Стадия разработки рабочей конструкторской документации



Взаимодействие моделей КА для проведения теплового и термдеформационного расчётов

11

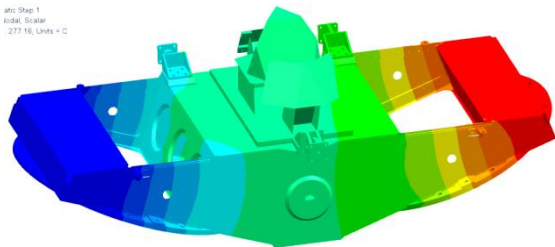
Проведение теплового расчета на упрощённой конструкции КА



Импорт поля температур
на подробную модель конструкции КА



also Step 1
Global Scalar
277 16, Units = C



Расчет термдеформаций

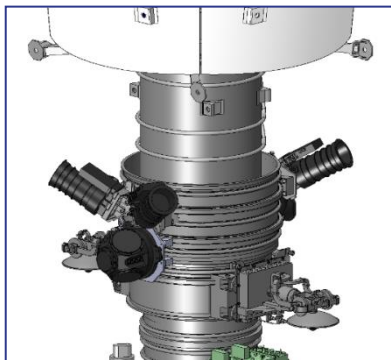


Оценка влияния на о ОТТХ

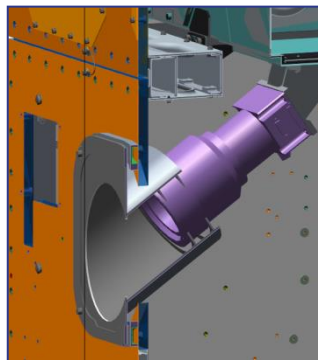


Снижение влияния термдеформаций в обеспечении заданной ТОКО

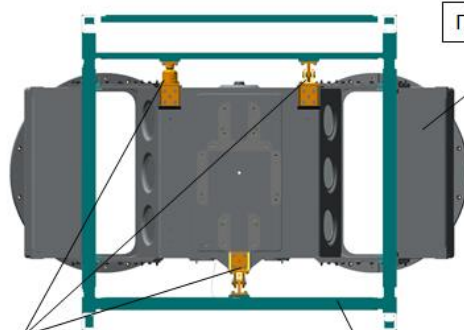
12



ПЗС-матрицы, БОКЗ снаружи (КА «Ресурс-П»)



Малошумящие КМОП-матрицы, БОКЗ внутри (КА Аист-2Т)

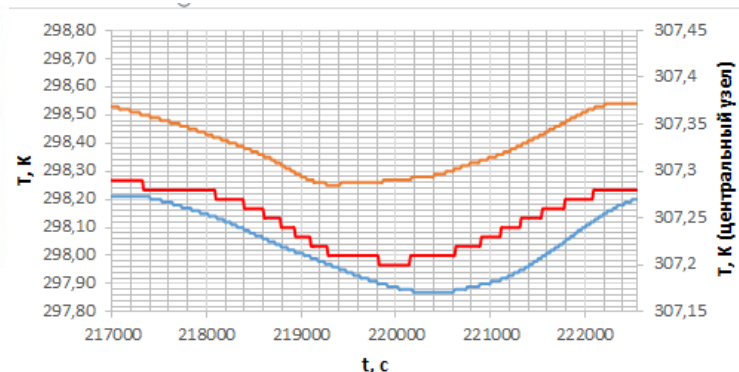
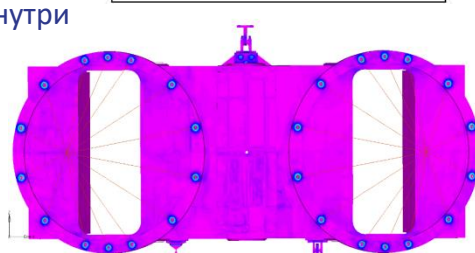


Платформа ОЭА

Дополнительно используется размеростабильная платформа с минимальными связями (механическими и тепловыми) с основным корпусом МКА

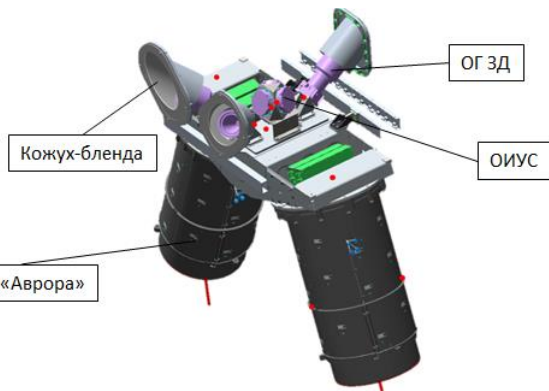
Шарниры платформы ОЭА (крепление платформы к раме МКА)

Шпангоут рамы корпуса МКА



1 — 2 — 3 (центральный узел)

Размах колебаний температур не более 0,25°C



Кожух-бленда

ОЗД

ОИУС

ОЭА «Аврора»



Мероприятия по повышению точности координатной привязки. Улучшение показателей ЛЭВО

13

- установка более точного прибора определения ПДЦМ КА;
- проведение наземной калибровки межлитерных задержек радиочастотного тракта приемовычислительного модуля (МПВ) при изготовлении БСКУ для сигналов каждого частотного диапазона для глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS;
- проведения наземной калибровки положения фазовых центров антенных устройств БСКУ;
- проведение полетной калибровки БСКУ с целью компенсации межлитерных задержек к измеренным значениям псевдодальности для каждого МПВ, рассчитанных с использованием первичных измерений БСКУ и данных Системы высокоточного определения эфемеридно-временной информации (СВО ЭВИ);
- применение при обработке снимков на этапе штатной эксплуатации информации от СВО ЭВИ.

Данные мероприятия позволяют определять ПДЦМ КА с точностью до 0,5 метра.

- проведение полётной геометрической калибровки, основанной на строгой модели съемочной системы ОЭА с применением высокоточных геодезических полигонов

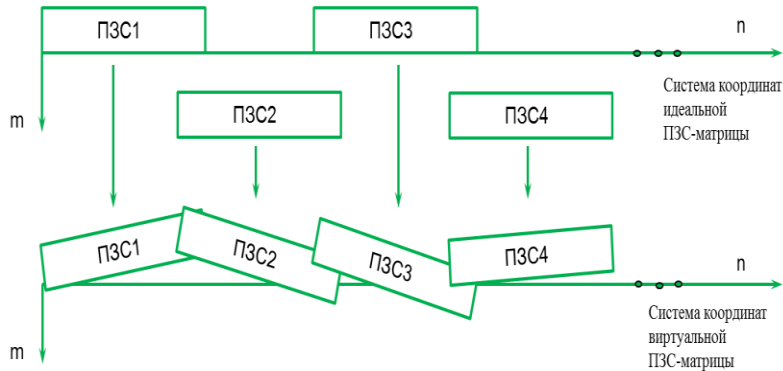


Схема уточнение положения ПЗС-матриц

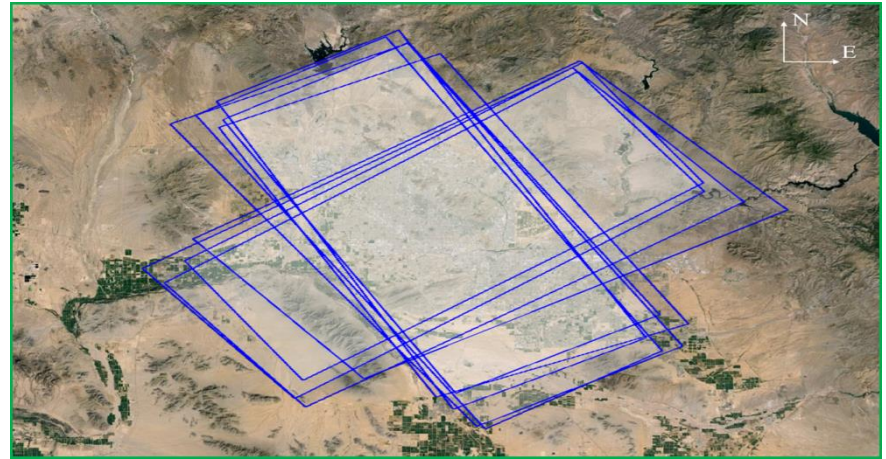


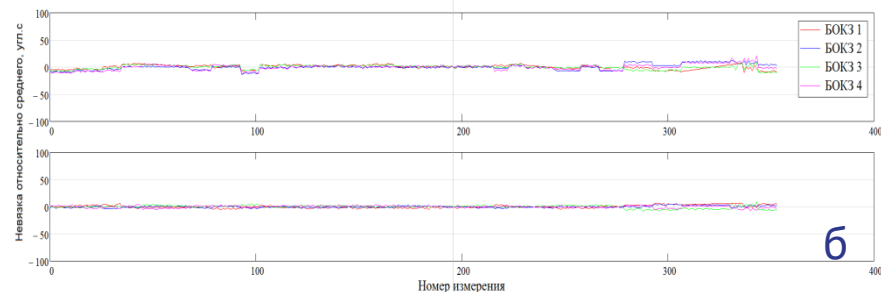
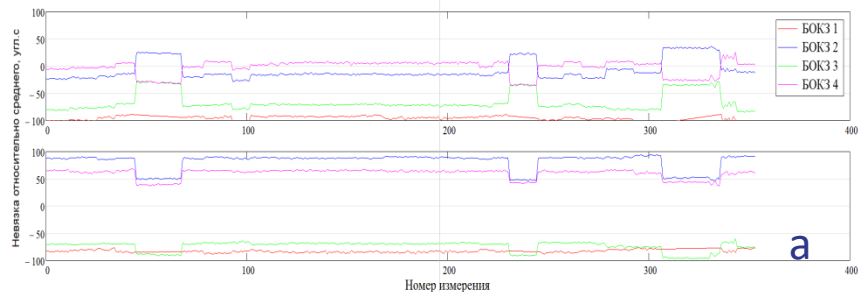
Схема проведения геометрической калибровки

Данные мероприятия позволяют уточнять положение ПЗС-матриц в фокальной плоскости с учетом дисторсии и фокусного расстояния объектива с точностью до 1 пикселя.

Мероприятия по повышению точности координатной привязки. Улучшение показателей УЭВО

15

- полетная калибровка приборов БОКЗ;
- взаимная юстировка БОКЗ и апостериорная обработка системы приборов БОКЗ;
- апостериорная обработка информации с приборов БОКЗ со всей видимой части витка.



Графики невязок измерений БОКЗ по двум высокоточным осям: а) до уточнения, б) после уточнения конструктивных углов

Данные мероприятия позволяют уточнять точность определения углового положения КА на уровне 1 угл. сек.

Применение вышеуказанных мероприятий позволило достичь значения СКО ошибок измерения координат объектов в плане на снимках, получаемых с КА «Ресурс-П» №2 и 3, лучше 10 м.

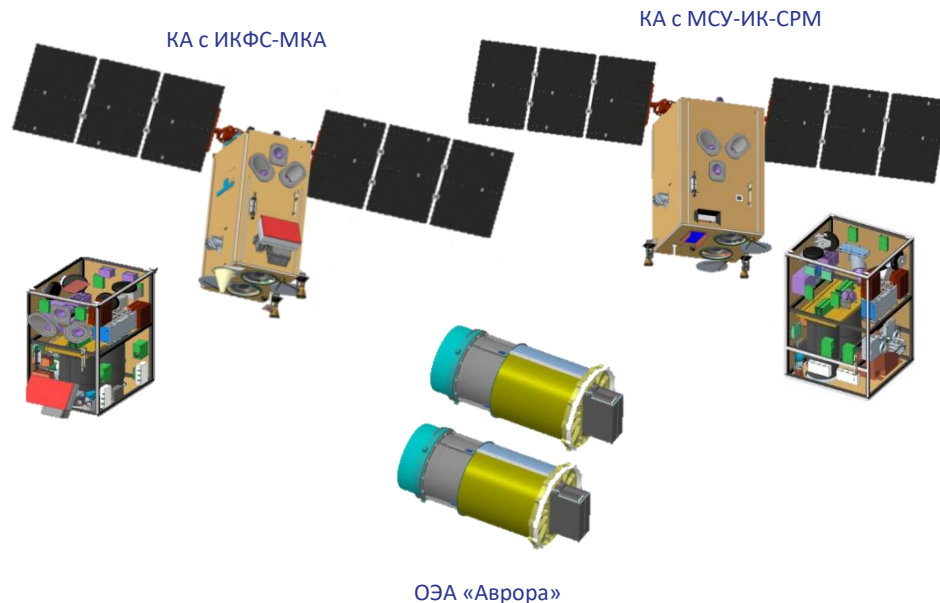


Основные направления развития инструментов ТТХ

16

- удешевление и упрощение конструкции КА, переход от прецизионных работ на Земле к калибровкам в полёте;
- совершенствование «инженерных моделей» КА с целью возможности проведения необходимых мероприятий и принятия инженерных решений в ходе лётной эксплуатации изделия при помощи их использования;
- формирование рационального объёма и внедрение новых технологий при наземной и полётной калибровках;
- внедрение новых технологий для наземной экспериментальной отработки (в том числе, например, использование макетов приборов, полученных в результате 3D-печати, а также использование «инженерной модели» КА и пр.);
- выработка и принятие новых проектно-конструкторских решений в части конструкции КА и бортовой аппаратуры);
- применение новых материалов, в т.ч. в интересах СОТР;
- внедрение нового порядка задания и подтверждения ОТТХ и факторов, влияющих на ОТТХ.

Оптический обзорный КА (проект)



КА с ИКФС-МКА

КА с МСУ-ИК-СРМ

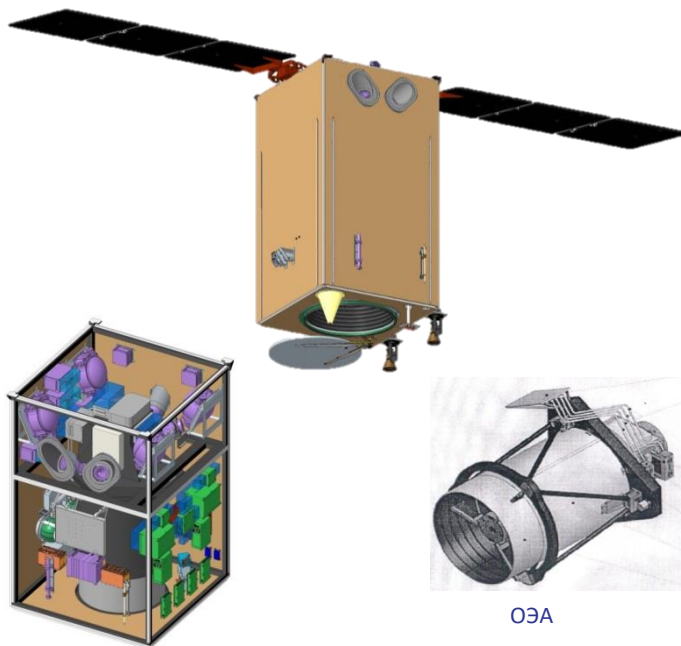
ОЗА «Аврора»

Прорабатывается возможность использования в качестве бортовой аппаратуры задела по ОКР «ИБИС-КА-НКУ»

Параметр	Значение (H=565 км)
Границы спектральных каналов	
- ОЗА-ПХ, мкм	0,450-0,850
- ОЗА-МС, мкм	0,440-0,537
	0,502-0,597
	0,615-0,705
	0,770-0,925
-МСУ-ИК-СРМ	3,5-4,1 8,4-9,4
-ИКФС-МКА	3,6-15
Пространственное разрешение (проекция пикселя)	
- ПХ/МС, м	1,7 / 5,1
- ИК съемка, м	222
- гиперспектральная съемка, м	15
Периодичность повторной съемки всей территории России:	
- ПХ и МС, суток	7
- ИК съемка, ч	Не более 13 (каждым из 2-х КА)
- гиперспектральная съемка, ч	Не более 15
Суточная производительность ОГ по территории РФ, млн.км²	
- ПХ и МС	4,4 (5,6 весь мир)
- инфракрасная	100
- гиперспектральная съемка	50
Оперативность доставки информации, ч	От РМВ до 6,5 часов
Радиолиния передачи целевой информации	X-диапазон; до 1440 Мбит/с Защита от НСД
Срок службы КА на орбите, лет	10 лет
Масса, кг	<900
Возможность группового пуска	До 4 шт.

Оптический высокодетальный КА (проект)

Общий вид оптического высокодетального КА



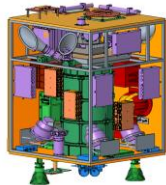
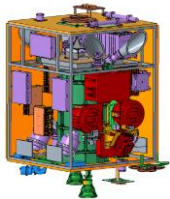
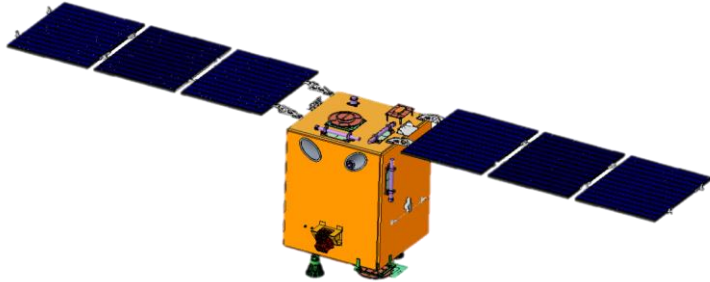
ОЭА

Прорабатывается возможность использования в качестве бортовой аппаратуры задела по ОКР «ИБИС-КА-НКУ»

Параметр	Значение (H=475 км)
Границы спектрального канала, мкм - панхроматическая съемка - мультиспектральная съемка	0,450-0,850 0,440-0,537 0,502-0,597 0,615-0,705 0,77-0,925
Пространственное разрешение (проекция пикселя), не хуже - панхроматическая съемка, м - мультиспектральная съемка, м	0,5 2,0
Ширина полосы захвата при съемке в надир, км	12
Суточная производительность по территории РФ, тыс. км²	125 (270 весь мир)
Оперативность доставки информации, ч	От РМВ до 6,5 часов
Максимально возможный угол отклонения от надира, ...°	45°
Радиолиния передачи целевой информации	X-диапазон; до 1440 Мбит/с Защита от НСД
Срок службы КА на орбите, не менее, лет	10 лет
Масса, кг	~950
Возможность группового пуска	До 4 шт.

Сверхмалый оптический высокодетаальный КА (проект)

19



Общий вид МКА

Характеристика	Значение		
	Детальная аппаратура		Обзорная аппаратура
Диапазон орбит функционирования, км	от 350 до 550		
Режимы съемки	кадровый, маршрутный, видео		
Разрешение (проекция пикселя), м	H=350 км	H=500 км	H=500 км
	0,56	0,8	не более 18,5
Полоса захвата, км	H=350 км	H=500 км	не менее 142,5
	6,3 (12)*	9 (16)*	
Радиолиния передачи целевой информации на наземный пункт приема, Мбит/с	X-диапазон, от 150 до 800		
Командная радиолиния передачи целевой информации: диапазон и скорость (кбит/с)	Земля-борт: 145МГц, до 19,2 кбод Борт-Земля: 435МГц, до 19,2 кбод МКА-НКА: 435МГц, до 19,2 кбод НКА-МКА: 145МГц, до 19,2 кбод		
Объем запоминающего устройства, Гбит	512		
Масса, кг	не более 250		
Энергопотребление, Вт	не более 100 Вт не более 300 Вт		
- среднее			
- пиковое			
Возможность группового запуска	До 16 МКА		

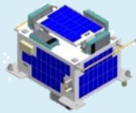
Прорабатывается возможность использования в качестве бортовой аппаратуры задела по ОКР «ИБИС-КА-НКУ»

Космические аппараты серии «Аист»: настоящее и будущее

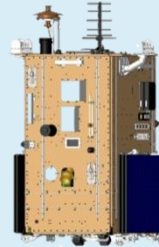
20

Настоящее время

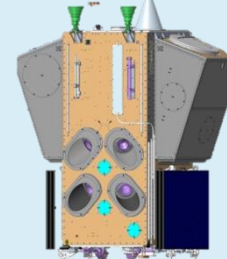
МКА «Аист» (2 шт.)
Запущены в 2013 г.



МКА «Аист-2Д»
Эксплуатация с 2016г. по наст. время

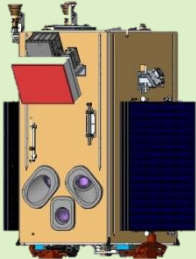


МКА «Аист-2Т» (2 шт.)
Изготовление с 2020 по 2023г



Перспектива

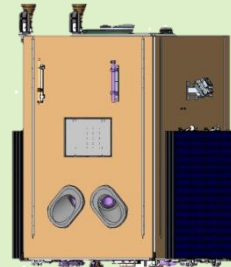
Оптический обзорный
МКА тип 1



Оптический обзорный
МКА тип 2



Оптический
высокодетальный МКА



Сверхмалый
оптический КА





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!