



РЕШЕТНЕВ

АО «ИСС»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

имени академика М.Ф. Решетнева

Космическое
погружение

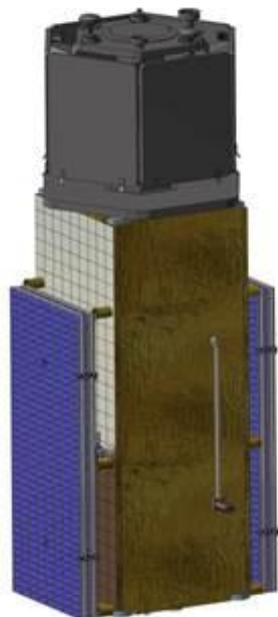


ЛЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Железногорск, 2019

Общее проектирование

Проектирование космического аппарата (КА)



Общий вид КА

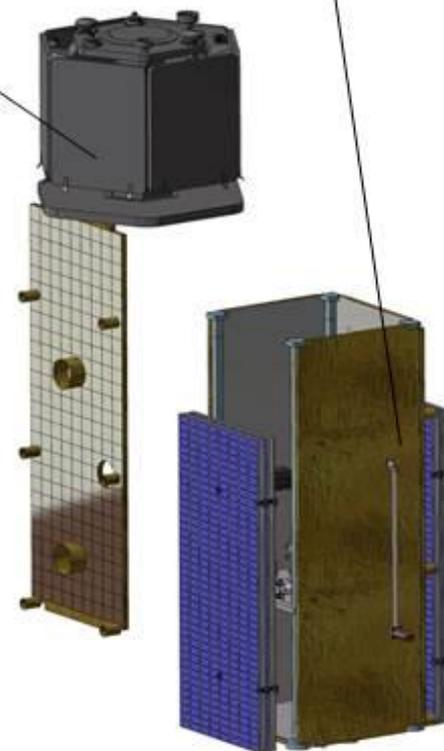
Основными факторами, определяющими облик КА и параметры бортовых систем, являются:

- Что пускаем? (назначение КА: мощность полезной нагрузки, масса полезной нагрузки, габариты полезной нагрузки);
- Куда пускаем? (выбор целевой орбиты: высота, наклонение);
- На чем пускаем? (выбор средства выведения: габариты зоны полезного груза головного обтекателя, масса полезного груза выводимая на орбиту средством выведения);
- Откуда пускаем? (выбор космодрома запуска)

Платформа

Модуль служебных систем(МСС)

Модуль полезной
нагрузки (ПН)



Модульное деление
космического аппарата

Подсистемы платформы:

- Бортовой комплекс управления (БКУ)
- Система ориентации и стабилизации (СОС)
- Система коррекции (СК)
- Система электропитания (СЭП)
- Система терморегулирования (СТР)
- Конструкция
- Мехустройства

Разбивка космического аппарата

Бортовой комплекс управления (БКУ):

- БУ БКУ (блок управления БКУ)
- БЦВК (бортовой центральный вычислительный комплекс)
- БАТС (бортовая аппаратура телесигнализации)

Система терморегулирования (СТР):

- Тепловые трубы
- Электрообогреватели
- ЭВТИ (экранно-вакуумная теплоизоляция)
- ТРП (терморегулирующее покрытие)

Система электропитания (СЭП):

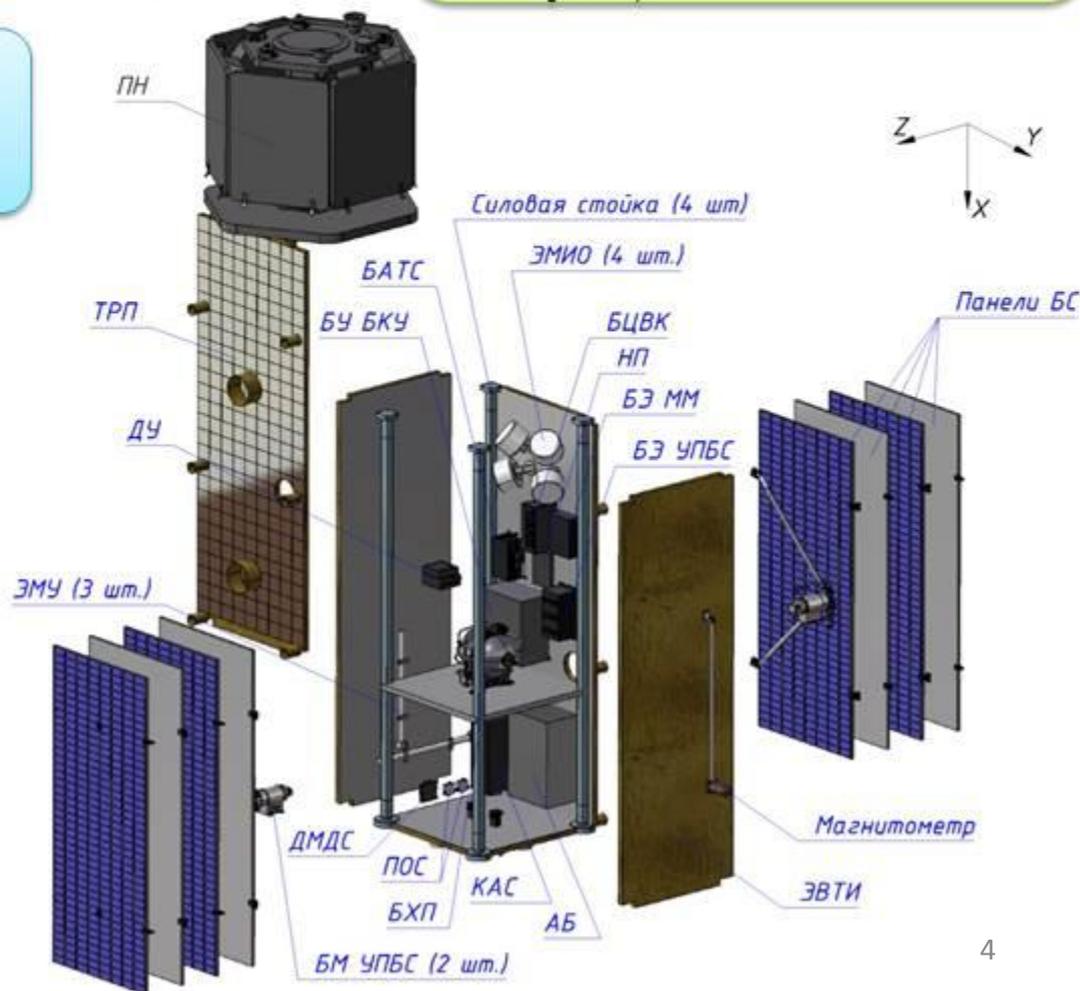
- БС (батарея солнечная)
- АБ (аккумуляторная батарея)
- КАС (комплекс автоматики и стабилизации)

Система коррекции (СК):

- ДУ (двигательная установка)
- БХП (блок хранения и подачи)

Система ориентации и стабилизации (СОС):

- ММ (магнитометр)
- ПОС (прибор ориентации на Солнце)
- ДМДС (двухкоординатный малогабаритный датчик солнца)
- ПОЗ (прибор ориентации на Землю)
- БИС (блок измерения угловой скорости)
- УДМ (управляющий двигатель-маховик)
- ЭМУ (электромагнитное устройство)
- УПБС (устройство поворота батарей солнечной)

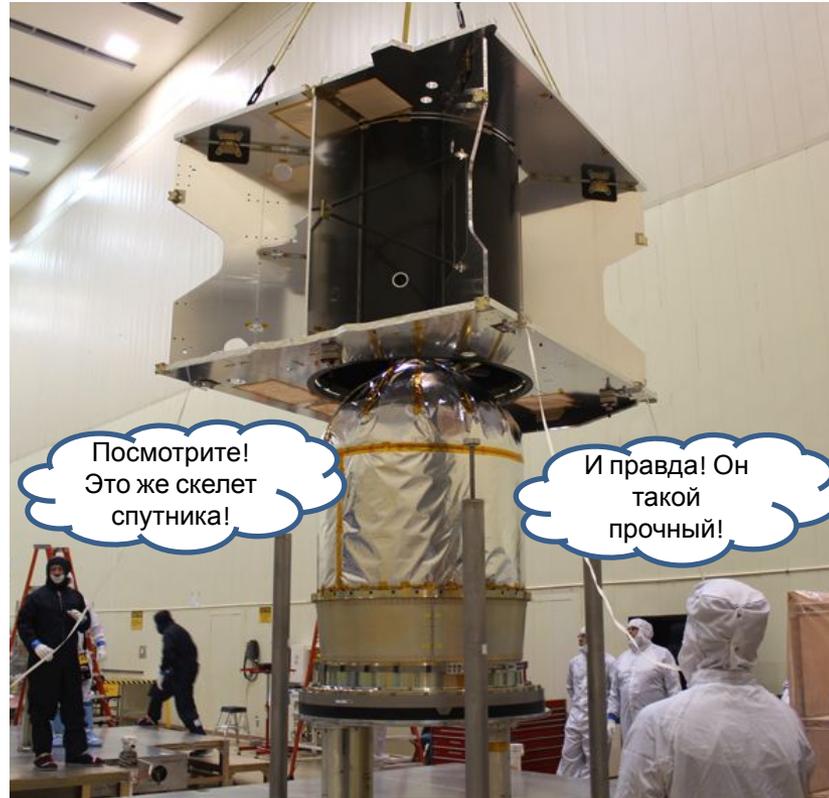


Конструкция космического аппарата

Конструкция КА

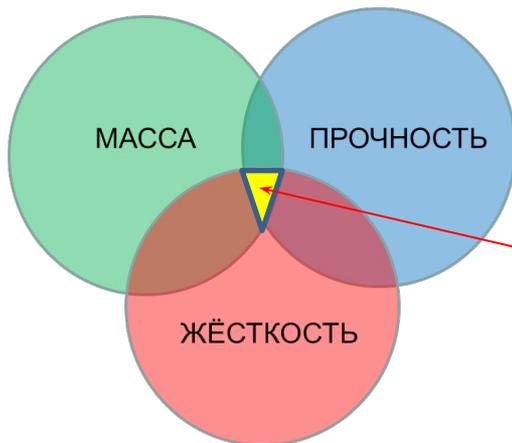
Размещает на себе оборудование полезной нагрузки и служебных систем

Прочность и целостность космического аппарата

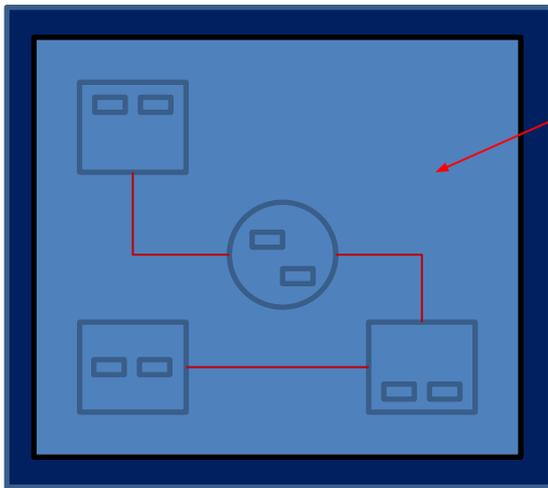


Посмотрите!
Это же скелет
спутника!

И правда! Он
такой
прочный!

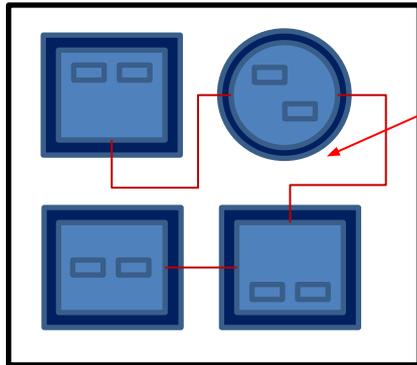
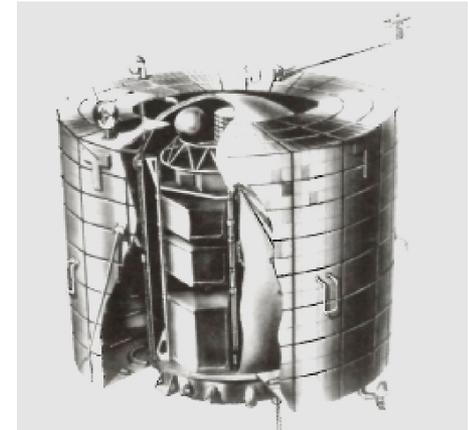


Конструкция ТУТ!
Конструкция в зоне оптимального решения!



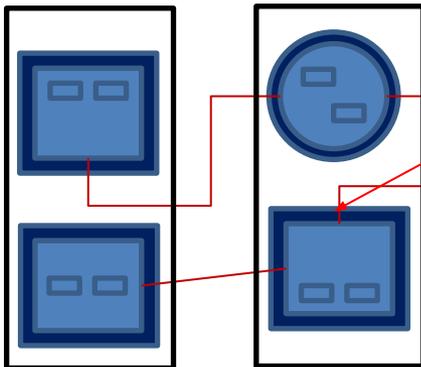
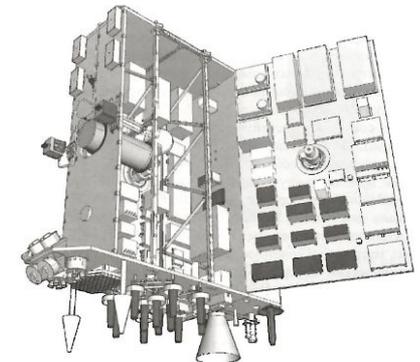
Закупоренный контейнер с приборами с общей благоприятной средой

Моноблочная герметичная
схема



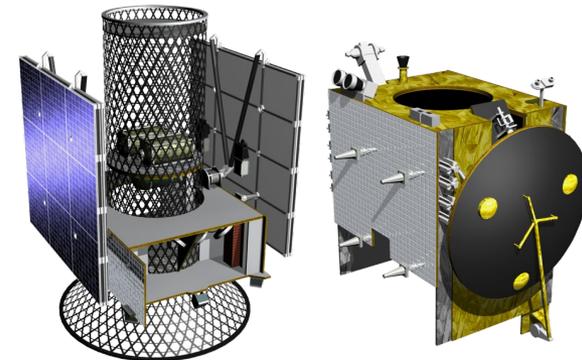
Открытая конструкция с приборами с индивидуальной средой

Моноблочная негерметичная
схема

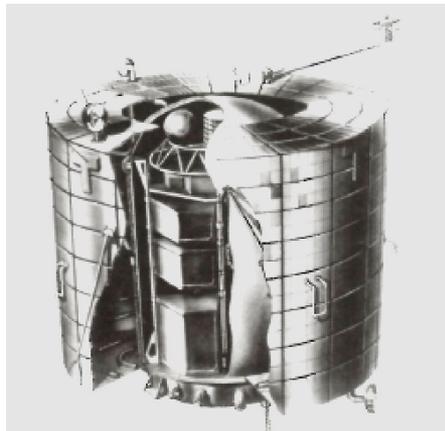


Открытая конструкция с приборами с индивидуальной средой, поделенная на модули с разным назначением

Модульная схема

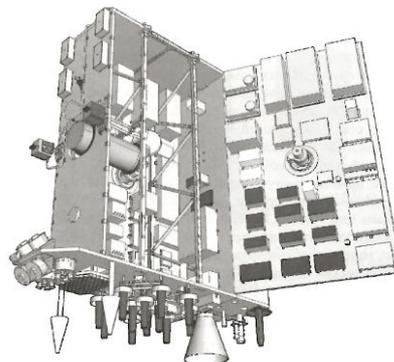


Моноблочная герметичная
схема



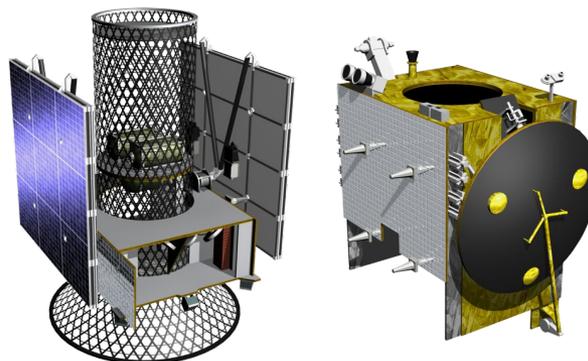
Долго изготавливается
Долго испытывается
Большая масса конструкции

Моноблочная негерметичная
схема



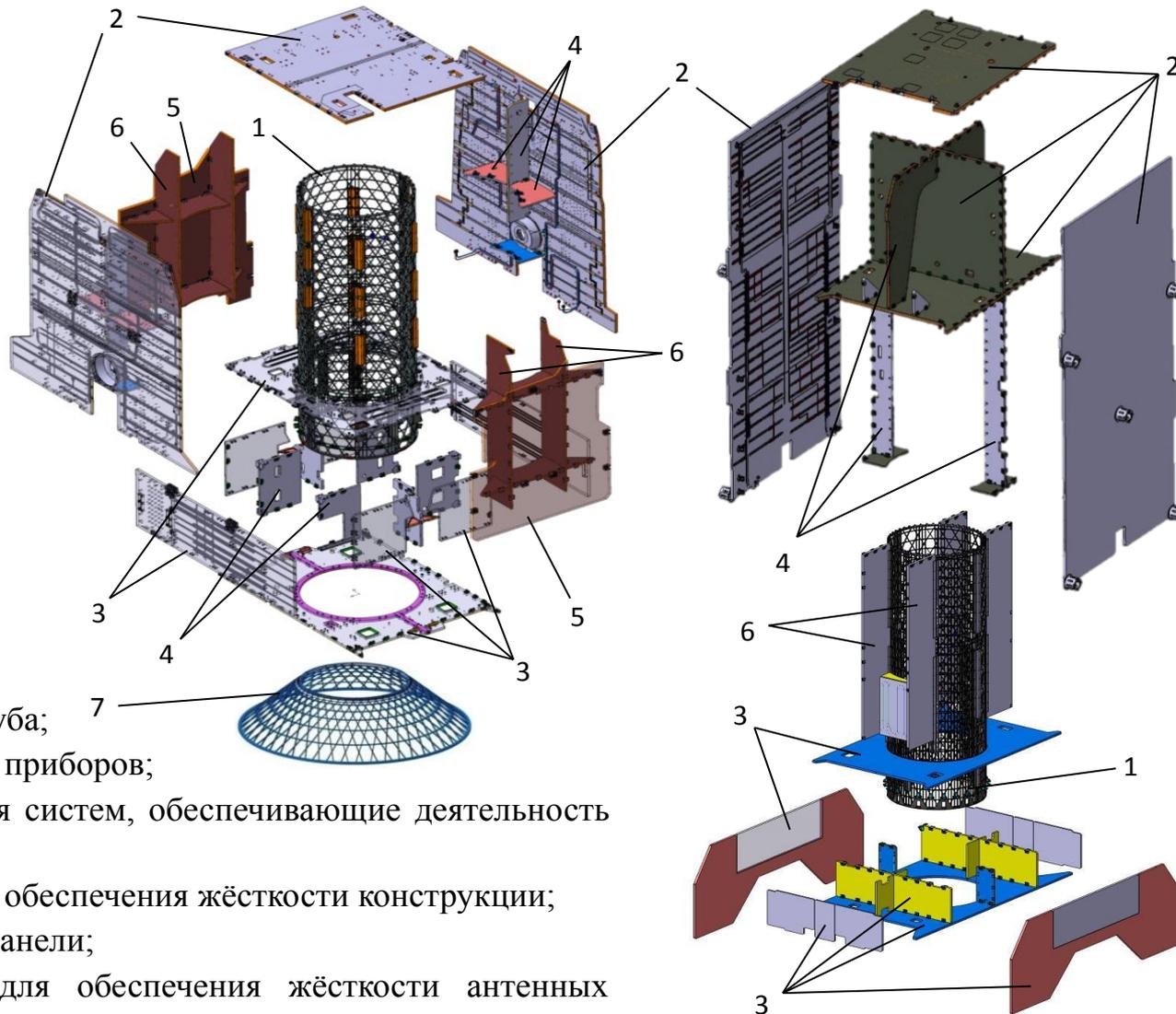
Быстро изготавливается
Быстро испытывается
Меньшая масса конструкции

Модульная схема



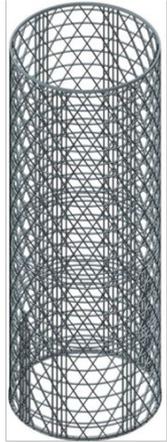
Еще быстрее изготавливается
Еще быстрее испытывается
Уменьшенная масса конструкции

Состав конструкции КА



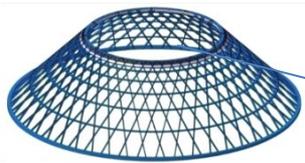
- 1 – силовая труба;
- 2 – панели для приборов;
- 3 – панели для систем, обеспечивающие деятельность спутника;
- 4 – панели для обеспечения жёсткости конструкции;
- 5 – антенные панели;
- 6 – панели для обеспечения жёсткости антенных панелей;
- 7 – Конический адаптер.

Силовая труба



“позвоночник” космического аппарата,
который воспринимает возникающие
нагрузки

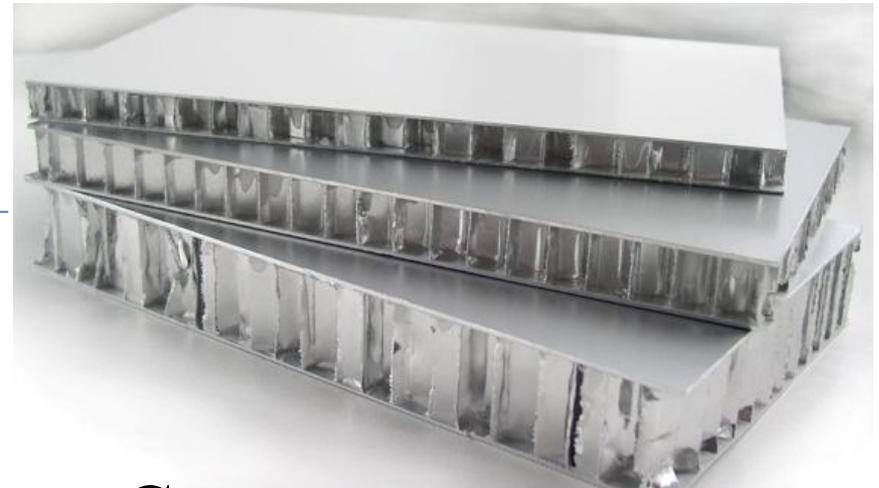
Конструкция, на которой закрепляются
сотовые панели и антенны



является переходником между КА и разгонным блоком

Конический адаптер

Малая масса и высокая прочность
на изгиб, поэтому из них делают
ВСЕ панели в конструкции

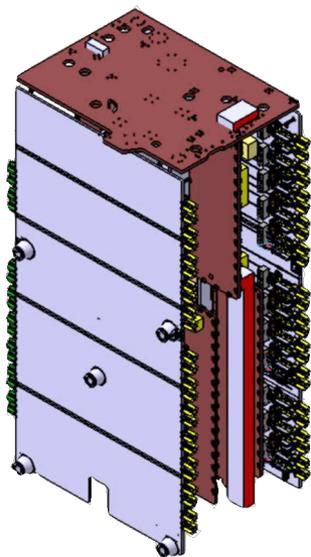


Сотовая панель

Модульная конструкция

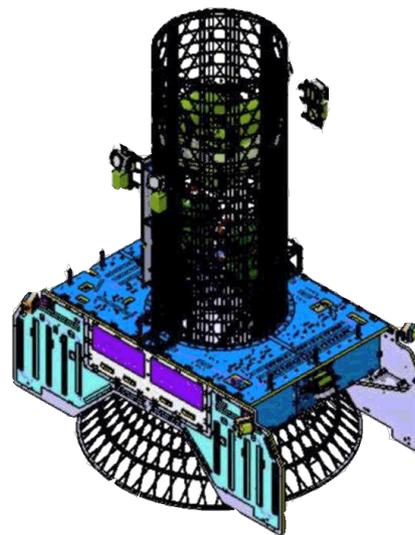
состоит из 2-х модулей:

Полезной нагрузки



Приборы и устройства
полезные для людей

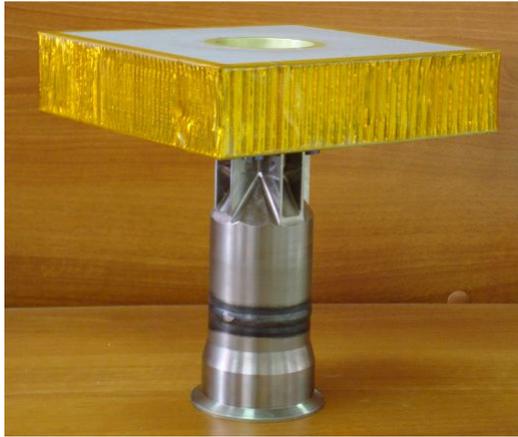
Служебных систем



Все приборы и системы для
“жизни” аппарата

Материалы космического назначения

Сотовые конструкции



Образец сотопанели



Конструкция из сотопанелей



Корпусная панель

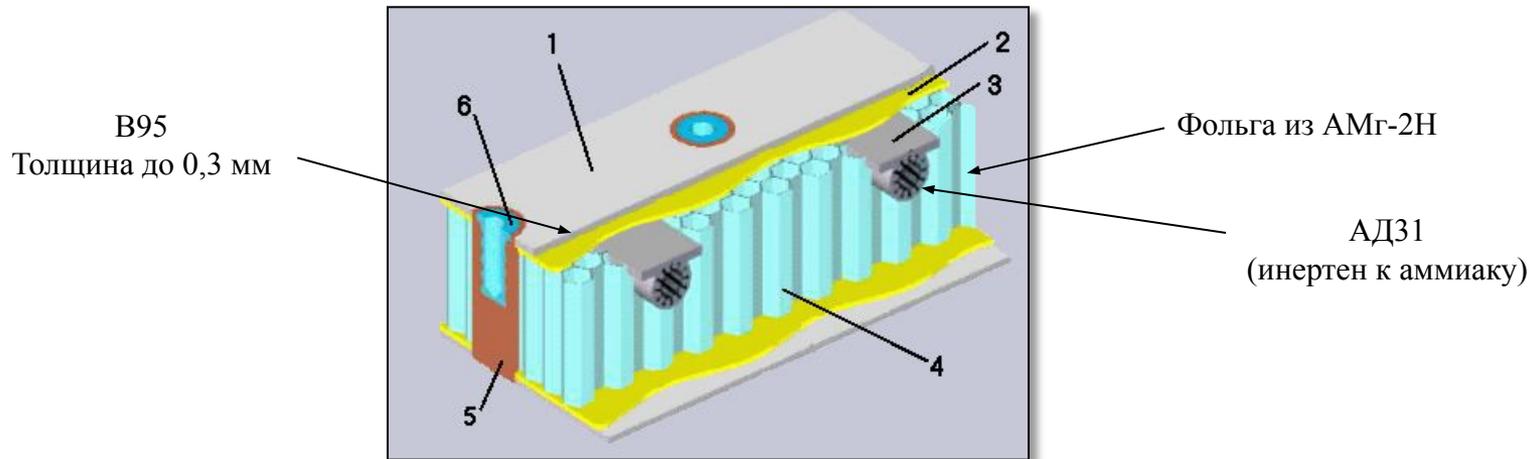


Рис.1 Состав сотопанели.

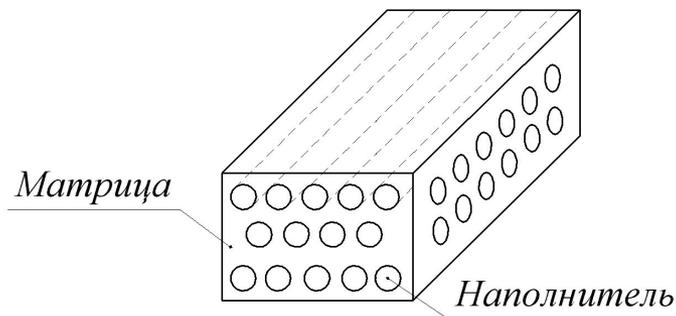
- 1 – Теплопроводная обшивка; 2 – Пленочный клей;
- 3 – Встроенный жидкостный контур (тепловая труба);
- 4 – Сотовый наполнитель; 5 – Вспенивающийся клей;
- 6 – Вставка (закладкой элемент) для крепления оборудования

Композиционные материалы

Элементы крупногабаритных
разворачиваемых антенн



Материалы



Углеволокно



Стекловолокно

Силовые конструкции



Основные характеристики:

Масса:

- * Адаптера конич. – макс. 47 кг;
- * Центр. Трубы – макс. 68 кг;

Максимальная несущая способность:

- * Адаптера конич. – более 136 т;
- * Центр. Трубы – 136 т;

Материалы

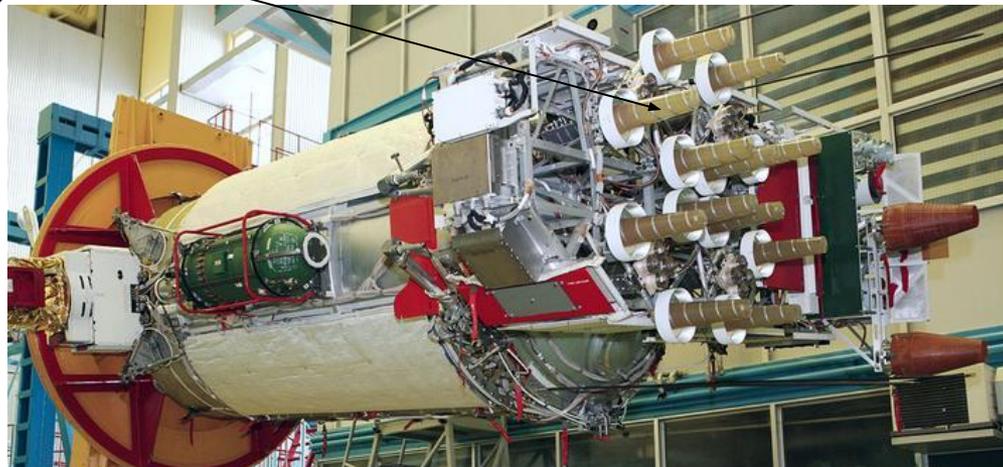


Рис.9 Рефлектор 2200мм с радиотражающим покрытием



Рис. 10 Рефлектор с углепластиковыми обшивками и алюминиевым наполнителем

Спиральные антенны



Терморегулирующие покрытия (ТРП):



Рис.11. Сотовая панель с покрытием ОСО-С

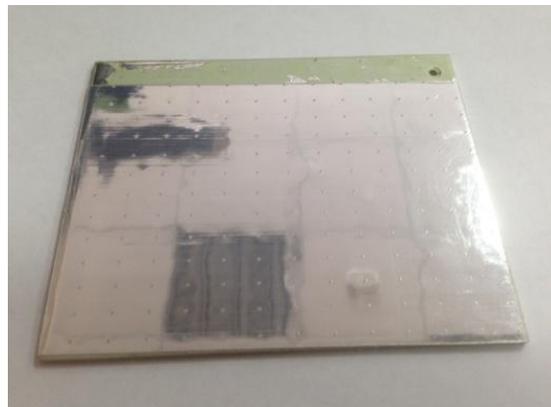


Рис.12. Образец покрытия COT1



Рис.13. Полиимидная плёнка в составе ЭВТИ

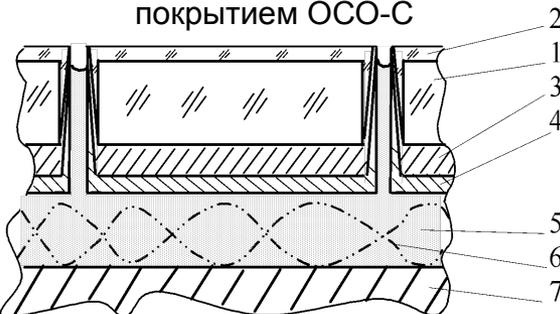
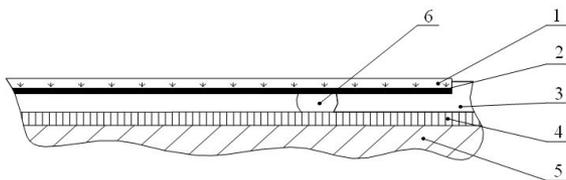
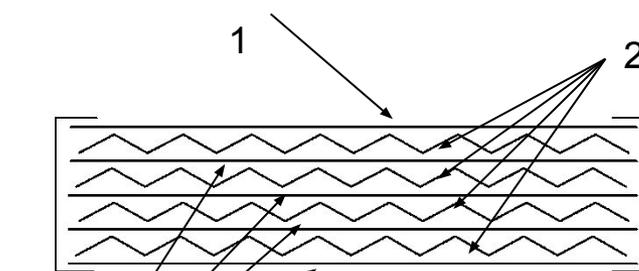


Схема покрытия ОСО-С-ЭП:

- 1 - пластины из радиационно-стойкого стекла К-208;
- 2 - прозрачное электропроводное покрытие на основе In_2O_3 ;
- 3 - отражающее покрытие из высокочистого серебра;
- 4 - подслой из нихрома;
- 5 - радиационностойкий эластичный клей;
- 6 - электропроводный наполнитель;
- 7 - поверхность радиатора.

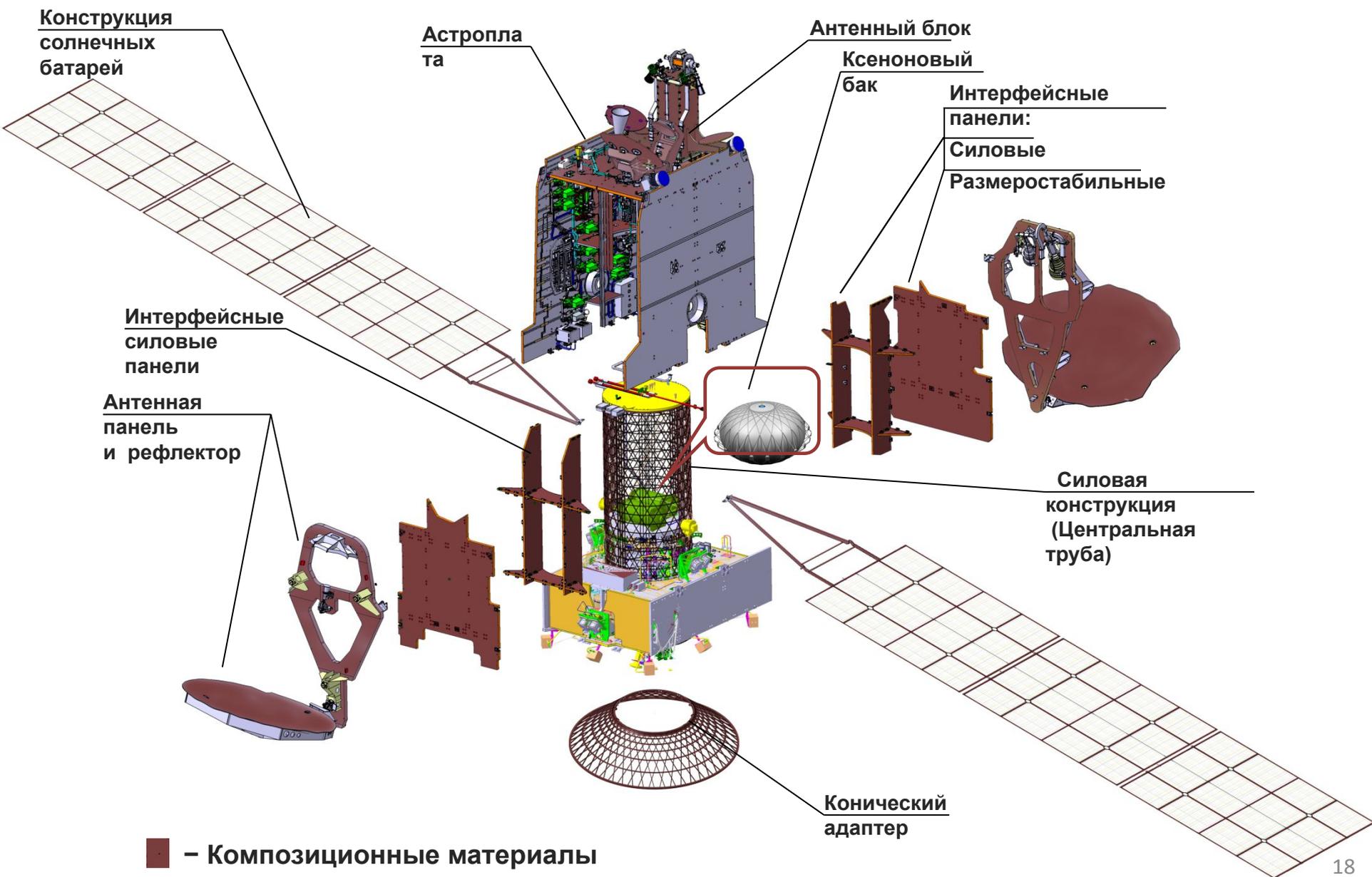


- 1 - лента из фторполимера;
- 2 - отражающее покрытие - серебро, с двухслойной защитой - нихром/лак;
- 3-клей; 4-подслой; 5- конструкция (оболочка радиатора-излучателя);
- 6-пузырек непроклея;

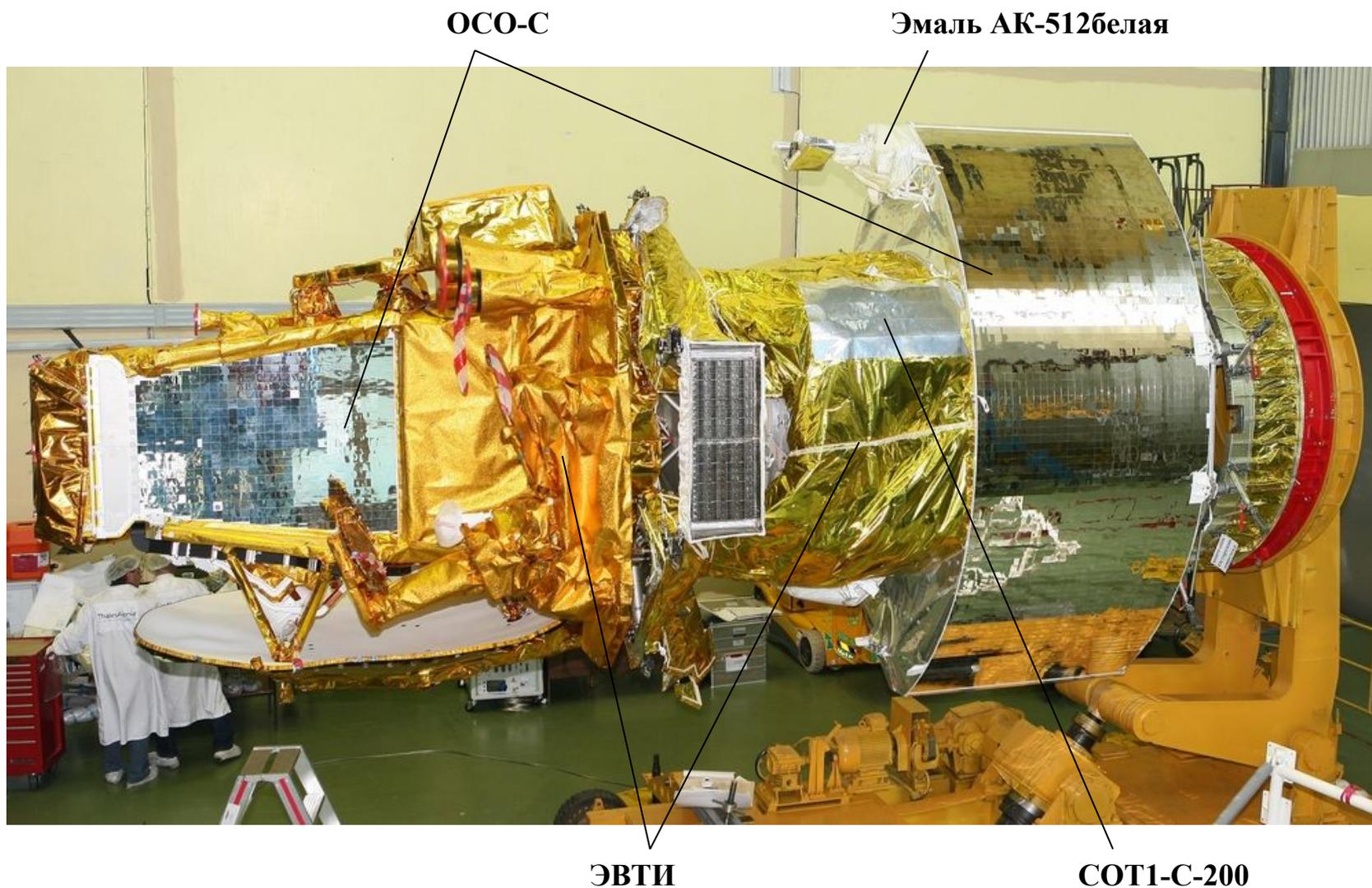


- 1-внешний экран - металлизированная плёнка с одной стороны;
- 2-прокладки - рифлёная плёнка/стекловуаль;
- 3-внутренние экраны - плёнки двухсторонней металлизацией.

КМ в элементах конструкции КА серии «Экспресс-1000»



Покрyтия в составе внешних поверхностей КА:



Космические материалы

От чего защищают КА?

Какие факторы ему вредят?
Факторы космического пространства :

- 1 Невесомость
- 2 Температура (-170...+100 °С)
- 3 Атмосфера Земли
- 4 Вакуум (испарение твердых покрытий, теплопередача только излучением)
- 5 Электромагнитное излучение (от Солнца и Земли)
- 6 Корпускулярное излучение (Солнечный ветер)
- 7 Магнитосфера и радиационные пояса Земли
- 8 Метеорное вещество
- 9 Электризация пов. КА (накопление на КА электрического заряда)

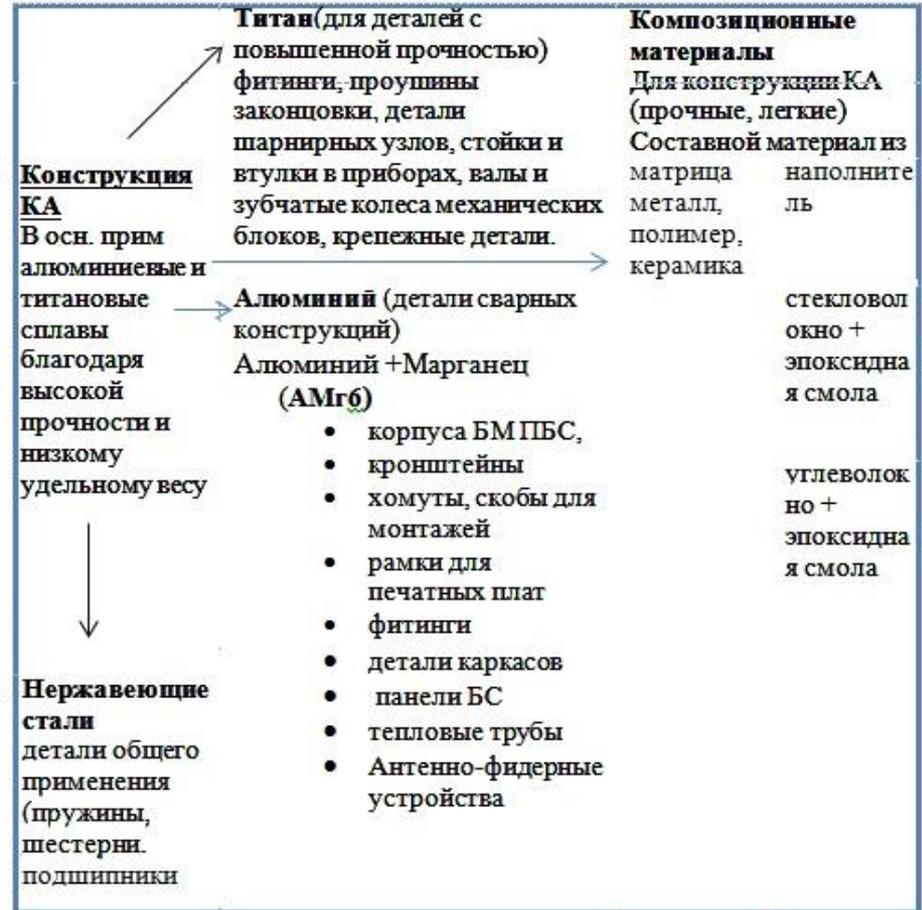
Основные требования к выбору косм.матер.

- 1 минимальная масса конструкции
- 2 технологичность
- 3 стойкость при работе в агрессивных средах (стойкость к ФКП)
- 4 высокая прочность
- 5 Стабильность характеристик
- 6 Стоймость

Основные виды (по применению)

Покрытие внешних поверхностей
(Пассивное терморегулирование Обеспечивают тепловой режим)

- | | |
|--|---|
| 1 Напыление
Алюминия,
Серебра | Тепловая изоляция экранно-вакуумная тепловая изоляция (ЭВИ)
<i>Полиимидная плёнка (ПИМ), металлизированная серебром или алюминием.</i> |
| 2 Краски, Эмали
(Эмаль АК-512 «белая», «черная») | |



Баллистика

Общие сведения

Баллистика – наука о движении тел, брошенных в пространстве, основанная на математике и физике.

Небесная баллистика – наука, изучающая движение искусственных небесных тел: спутников Земли, космических аппаратов различного назначения. Основная задача – построение орбит космических аппаратов. Т. е. выбор из большого числа путей той траектории, которая является оптимальной для достижения поставленных целей.

Орбита – это траектория полета небесного тела в гравитационном поле другого тела, обладающего значительно большей массой.

Искусственным спутником Земли называется тело, движущееся вокруг Земли по эллиптической (в частном случае – круговой) орбите. На рисунке 1 изображена типичная орбита спутника Земли, на которой буквами П и А обозначены соответственно **перигей** (самая близкая к Земле точка орбиты) и **апогей** (самая дальняя точка орбиты). Плоскость орбиты определенным образом ориентирована в пространстве, причем, если пренебречь возмущениями, эта ориентация остается неизменной.

Плоскость орбиты образует определенный угол с плоскостью земного экватора (угол наклона или просто **наклонение**), который является важной характеристикой орбиты. Когда этот угол равен нулю, орбита называется экваториальной, спутник все время пролетает над экватором (рис.2 орбита 1). При наклонении 90° орбита называется полярной, т.к. проходит над земными полюсами (рис.2 орбита 2). Если движение спутника происходит в том же направлении, что и вращение Земли, то спутник называется прямым (рис.2 орбита 3). В противном случае спутник называется обратным (рис.2. орбита 4).

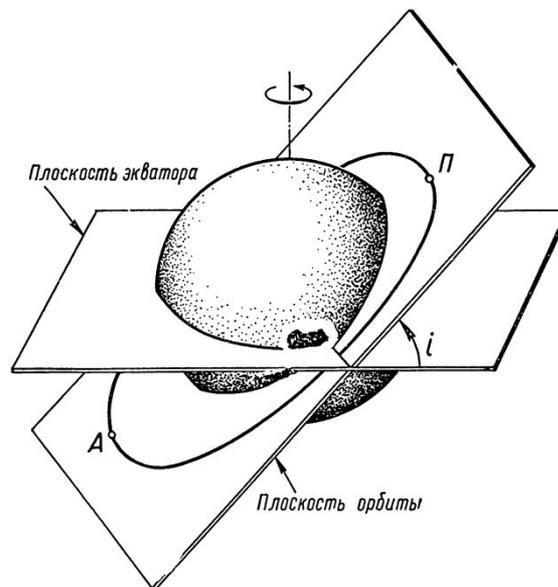


Рисунок 1 Типичная орбита спутника Земли

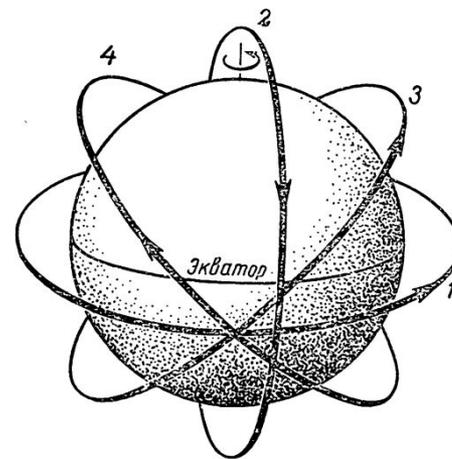
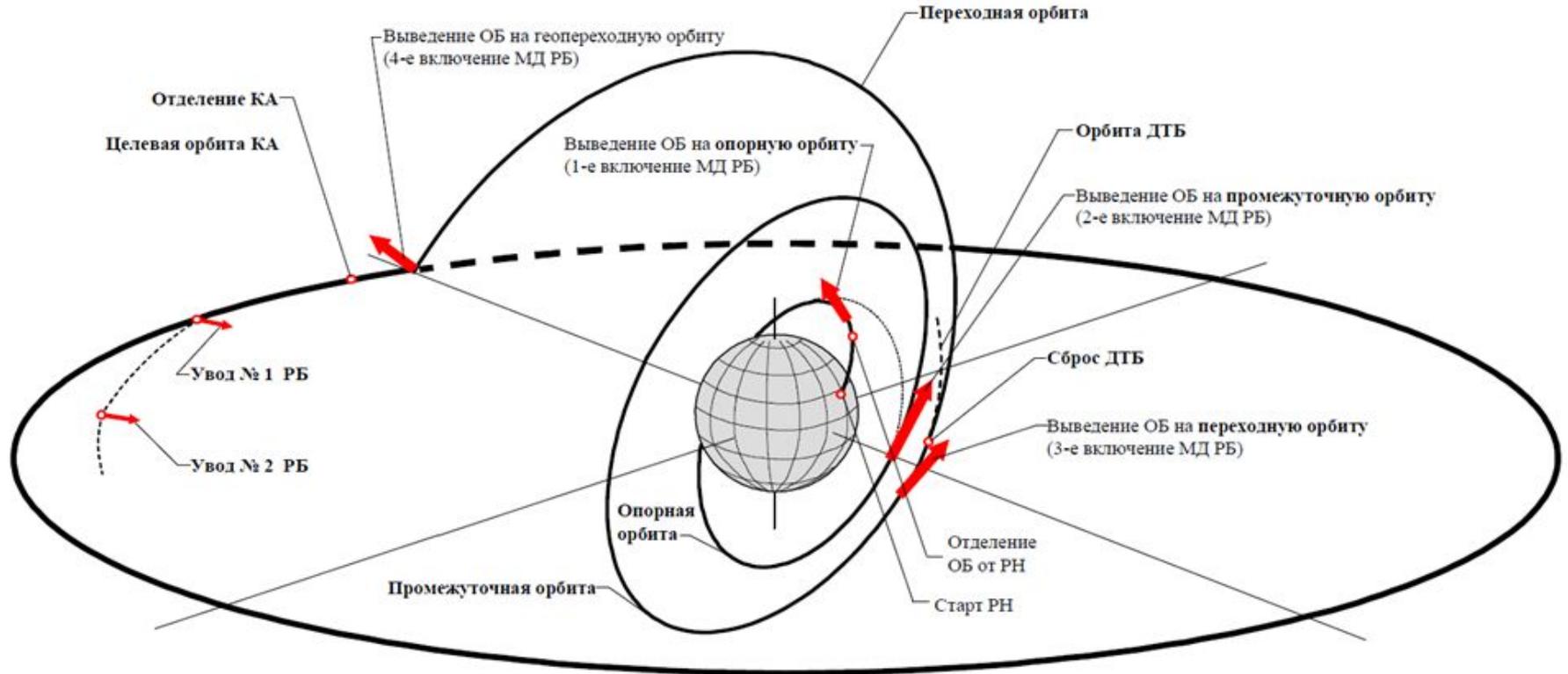


Рисунок 2 Орбиты спутников²²

Типы орбит космических аппаратов (КА)

Тип орбиты	Преимущества и недостатки	Пример	Назначение
Низкая орбита (высота орбиты от 160 км до 2000 км)	Преимущества: Поверхность Земли близко. Недостатки: Атмосфера сильно влияет на полет.	КА «Гонец-М» Высота орбиты: 1500 км Наклонение орбиты: 82,5° Период обращения: 115 мин. Космодром: Плесецк	<ul style="list-style-type: none">•Связь для абонентов на северных широтах•Связь (спутниковая телефония)•Дистанционное зондирование Земли•Наблюдение за метеоусловиями•Разведка
Средневысокая орбита (высота орбиты от 5000 км до 20000 км)	Преимущества: Можно подобрать орбиту так, что ее не придется корректировать. При наличии всего 18 спутников в трех орбитальных плоскостях абоненту в любой момент времени видно не меньше 4. Это важно для точности навигации.	КА «ГЛОНАСС» Высота орбиты: 19100 км Наклонение орбиты: 64,0° Период обращения: 438 мин. Космодром: Байконур	Навигация
Геостационарная орбита (высота орбиты 36000 км)	Преимущества: Спутник «висит» над одним и тем же местом. Недостатки: Долго идет сигнал и приполярные и полярные широты не видно.	КА «Экспресс» Высота орбиты: 36000 км Наклонение орбиты: 0° Период обращения: 438 мин. Космодром: Байконур	Связь и телевидение
Высокая эллиптическая орбита (высота орбиты 550x40000 км)	Преимущества: Обслуживание большой территории и длинные сеансы работы. Недостатки: Необходимо иметь минимум 3 спутника и очень мощные антенны. Долго идет сигнал – сложно работать в реальном времени.	КА «Молния» Высота апогея орбиты: 40000 км Высота перигея орбиты: 500 км Наклонение орбиты: 63,4° Период обращения: 1436 мин. Космодром: Байконур	Связь и телевидение

Выведение КА на орбиту



сокращения:

РН – многоступенчатая ракета-носитель,

РБ – разгонный блок,

МД – двигатели разгонного блока,

ДТБ – дополнительный топливный бак разгонного блока,

ОБ – орбитальный блок, состоящий из КА с разгонным блоком.

Процесс вывода КА на орбиту, геостационарная орбита.

После выхода КА на целевую орбиту происходит раскрытие панелей солнечных батарей и антенн, включение гиросtabilизатора, ориентация аппарата в пространстве.

Затем спутник дрейфует в точку стояния. В точке стояния КА останавливается. После этого стабилизируется его положение, происходит ориентация антенн на нужную точку Земли и включение дежурного режима работы аппарата.

Это общая схема вывода. При выводе на более низкую орбиту используется меньшее количество витков. При выводе на наклонную орбиту обычно не используется переходная орбита и смена наклонения.

Движение по орбите

Движение КА по орбите подчинено ряду законов (на сам аппарат действует множество разных сил, из-за которых орбита все время меняется, вытягивается и сужается):

- Сила притяжения Земли. Под воздействием силы притяжения Земли движение аппарата подчиняется законам Кеплера. В соответствии с ними КА всегда движется по эллиптической орбите (частный случай – круговая) и КА делает полный оборот на более низкой орбите быстрее, чем на более высокой.

- Сила притяжения Луны.

- Световое давление и солнечный ветер. Солнце воздействует на солнечные панели и на сам аппарат (если он достаточно большой), как ветер на парусную лодку.

- Атмосфера Земли. На низких орбитах атмосфера Земли значительно тормозит КА.

- Неидеальная форма Земли. Поскольку Земля не является идеальной сферой, сила ее притяжения в каждой точке орбиты неодинакова. В результате на каждом обороте КА пересекает экватор западнее, чем на предыдущем, т.е. орбита постоянно сдвигается. Исключение составляет орбита с наклоном 90° .

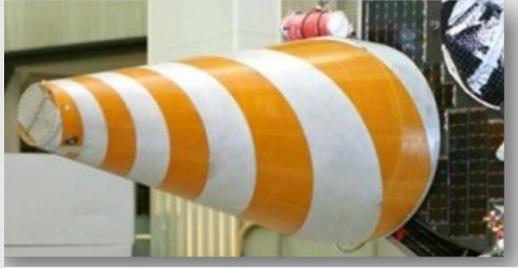
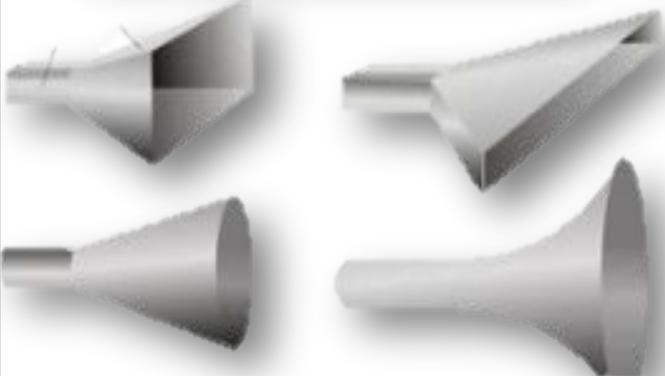
Для того, чтобы КА мог выполнять целевую задачу, его орбита должна оставаться максимально стабильной. Для этого существует два пути. Первый – подобрать орбиту, как, например, для ГЛОНАССа. Второй – поставить на аппарат двигатели и баки с топливом и постоянно корректировать орбиту.

Как выбрать орбиту?

Для того, чтобы правильно выбрать орбиту, необходимо ответить на несколько вопросов:

- 1. Сколько будет аппаратов?** Одним аппаратом сложнее выполнять целевую задачу. Если аппаратов много, нужно продумать их взаимное движение так, чтобы они не сталкивались.
- 2. Каково назначение аппарата? Какие функции будут выполняться на борту, а какие – в центре управления?** Из ответов на эти вопросы вытекает требуемая мощность. Для связи нужны более мощные аппараты, для съемки поверхности Земли достаточно маломощных аппаратов.
- 3. Каково требуемое быстродействие?** Если аппарат должен давать отклик в реальном времени, то лучше разместить его ниже. Если быстродействие не важно, можно поднять его на более высокую орбиту.
- 4. Какими будут размер и вес аппаратов?** Слишком большие и тяжелые аппараты невозможно вывести на высокие орбиты. При этом у больших аппаратов обычно высокая мощность, что очень важно, если спутник связной.
- 5. Какова площадь поверхности, которую должен постоянно видеть аппарат?** Для метеоспутников важно видеть как можно больше деталей, поэтому видимая площадь будет небольшой. В этом случае необходимо выбрать более низкую орбиту. Для одного аппарата, обеспечивающего связь, необходимо видеть сразу всю зону покрытия, поэтому его нужно поместить на более высокую орбиту.

АНТЕННЫ

Вид	Подвид	Изображение
Проволочные антенны	<p><u>Спиральные антенны</u> -металлическая спираль, питаемая обычной коаксиальной линией. Сегодня в основном используются ленточные спирали, а не проволочные Виды: цилиндрические, конические и плоские.</p>	
	<p><u>Вибраторные антенны</u> - прямолинейный провод, в середине которого включен источник переменного тока.</p>	
Антенны акустического типа	<p><u>Волноводные антенны</u> - устройство в виде прямоугольного канала, трубы, стержня, в котором распространяется сигнал. В основном используются в качестве облучателей и переходников.</p>	
	<p><u>Рупорные антенны</u> - состоит из отрезка волновода с плавно расширяющимся концом волновода в форме рупора. Виды: конический, пирамидальный и секториальный.</p>	

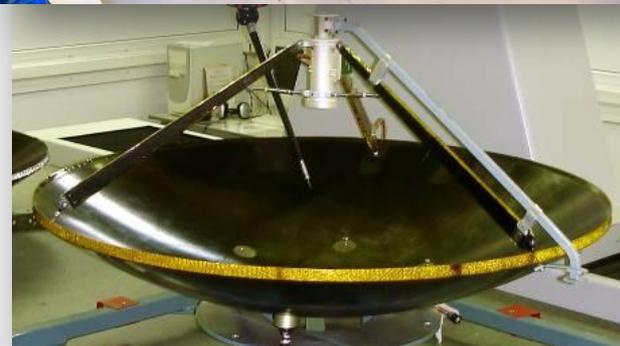
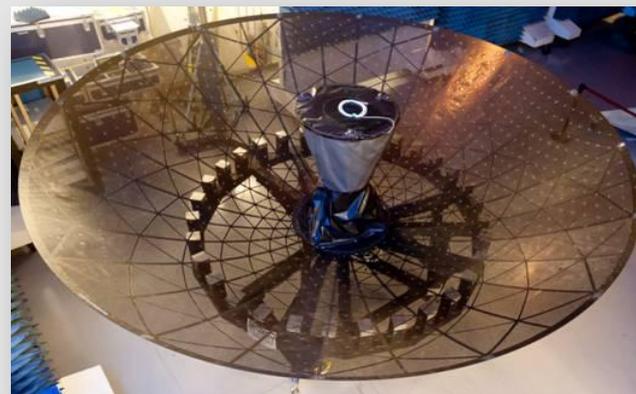
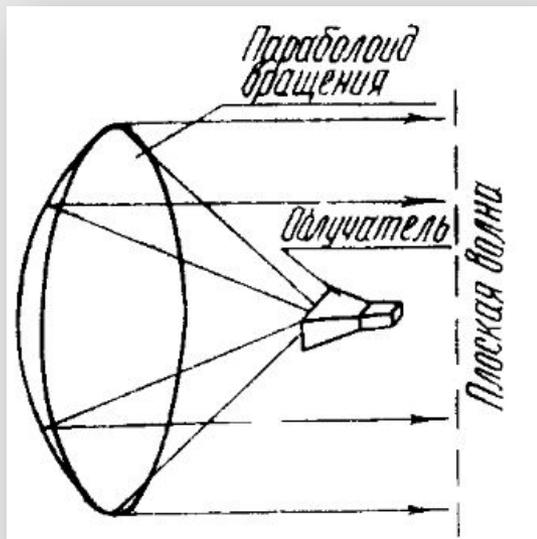
Вид

Подвид

Изображение

Антенны
оптического
типа

Зеркальные антенны - антенны, состоящие из зеркала (рефлектора) и облучателя.



Фазированные
антенные
решетки (ФАР)

ФАР – решетка излучателей, в которой перемещение луча в пространстве производится путем введение переменных фазовых сдвигов между токами, питающими отдельными излучателями, что позволяет управлять формой диаграммы направленности и положением ее в пространстве.



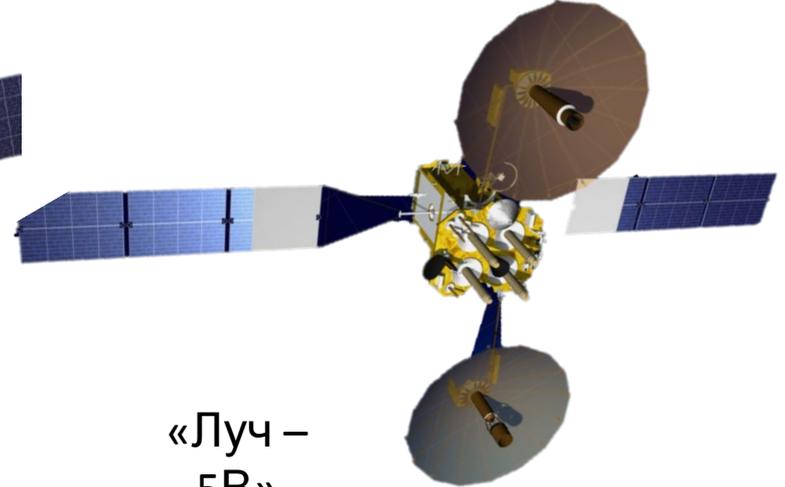
Применение антенн на спутниках

Связь, телевидение и ретрансляция

Зеркальные антенны



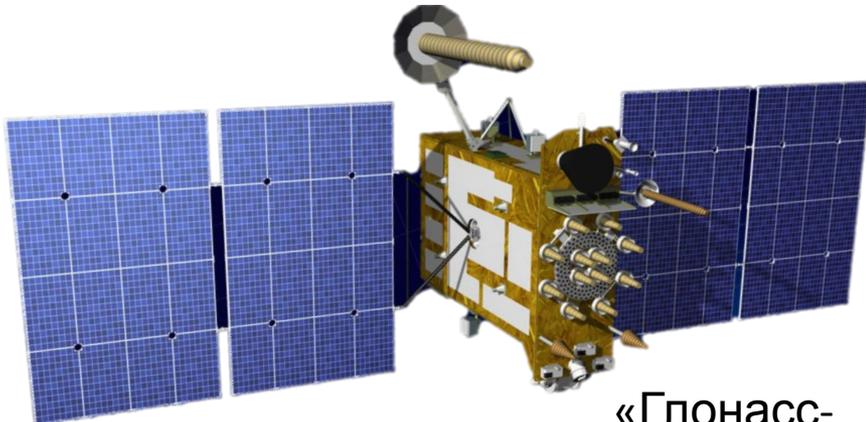
«Ямал
-401»



«Луч –
5В»

Навигация и геодезия

Проволочные и акустические виды антенн



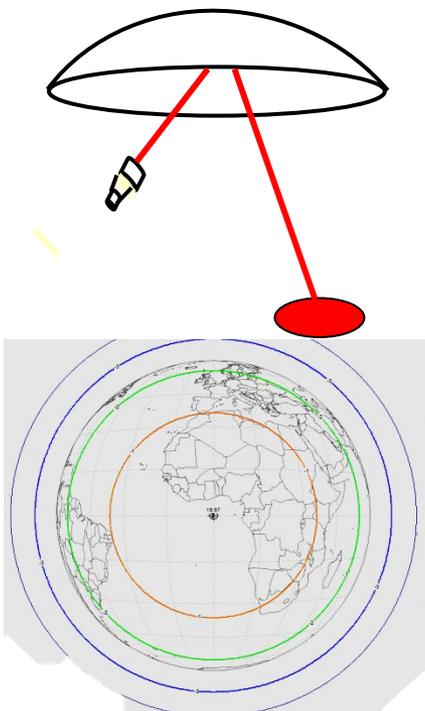
«Глонасс-
М»



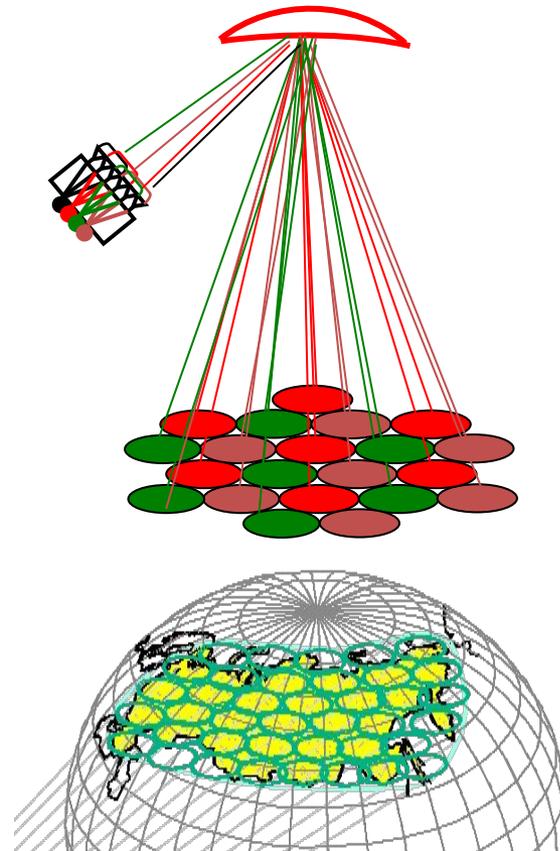
«Гео-
ИК-2»

Зона обслуживания

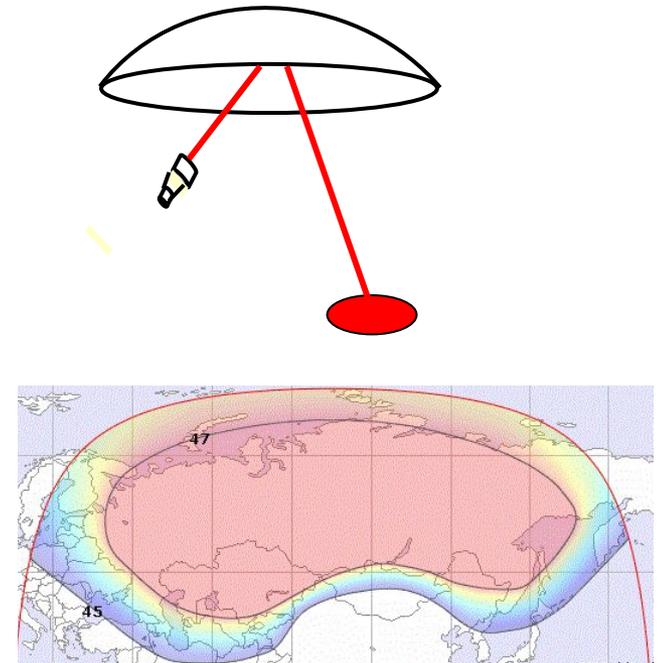
Диаграмма направленности (ДН) – графическое представление зависимости коэффициента усиления антенны от направления антенны в заданной плоскости



Точечная ДН



Многолучевая ДН



Контурная ДН

Диапазоны рабочих частот спутниковой связи

Диапазон	Частоты	Применение
L	1.5-2 ГГц	Подвижная спутниковая связь
S	2-4 ГГц	Подвижная спутниковая связь
C	4-6 ГГц	Фиксированная спутниковая связь
X	8-12 ГГц	Фиксированная спутниковая связь (для военных целей)
Ku	10-14 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
Ka	20-30 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, межспутниковая связь

Система ориентации и стабилизации

Система ориентации и стабилизации КА

Система ориентации и стабилизации – устанавливает и поддерживает требуемую ориентацию КА в пространстве.

Задача СОС: обеспечение направления антенн, камер и прочей целевой аппаратуры КА в требуемую точку на Земле/Луне etc.

Состав СОС: датчики ориентации + исполнительные механизмы + ПО

Чек-лист для проектирования СОС:

1. Каковы требования полезной нагрузки (камер, антенн etc) к ориентации?
2. Какая орбита (траектория) КА?
3. Каковы требования к надежности? Допустимо ли временное/постоянное ухудшения точности?
4. Какие масса и энергопотребление могут быть отданы под СОС? Какие ограничения вносят элементы конструкции КА?

Датчики:

Наименование	Точность	Масса	Условия работы	Применение
Звездный датчик (ПЗВ)	Очень высокая	Высокая	Для низкой угловой скорости	Основной прибор (если позволяет масса и компоновка). Может быть использован для привязки ориентации к данным полезной нагрузки
Солнечный датчик (ПОС)	Высокая	Средняя	Для средних и низких угловых скоростей	Основной <u>очень надежный</u> прибор (если нет ПЗВ). Подходит для режима успокоения
Земной датчик (ПОЗ)	Средняя	Средняя или низкая	Для низкой угловой скорости	Основной <u>очень надежный</u> прибор для спутников Земли. Используется для наведения антенн на Землю
Датчик наличия Солнце (ДНС)	Низкая	Низкая	Для любых условий	Прибор для аварийной ориентации
Датчик угловой скорости	Средняя	Низкая	Для любых условий	«Подхватить» ориентацию в моменты сбоя других приборов
Магнитометр (ММ)	Низкая	Низкая	Для низких орбит	«Дешево» определить ориентации в окрестностях Земли

Исполнительные механизмы:

Наименование	Примен.	Масса	Принцип работы
Двигатель-маховик	На любых орбитах	Высокая	Вращающийся «блин» крутит КА противоположно своему вращению. Очень точная регулировка момента. Вращается с конечной предельной скоростью и <u>требует разгрузки</u> .
Электромагнитное устройство	На низких орбитах	Низкая	Катушка с сердечником, работает как постоянный магнит и поворачивается как стрелка компаса в МПЗ. Величина магнитного момента регулируется. Очень «дешевый» момент.
Двигатель ориентации	На любых орбитах	Высокая	Как у шарика, который развязался. «Дует» вещество из сопла, ось которого не проходит через Ц.М. КА. Запас вещества конечен.

Результат проектирования СОС есть **определение приборного состава**, который позволит выполнить требования по точности, надёжности, массе.

Система ориентации и стабилизации КА

РАСШИРЕННЫЕ ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Система ориентации и стабилизации (СОС) – это служебная система, часть модуля служебных систем (МСС). Обязательная система, присутствует во всех КА. **Ориентация** – это 1) угловое положение в пространстве, аналог крена, тангажа и рыскания для самолетов; 2) это процесс поворота в это положение. **Стабилизация** – это процесс поддержания требуемой ориентации. **Задачи СОС:**

1. определение истинной ориентации КА
2. установка и поддержание требуемой ориентации КА

ФИЗИЧЕСКОЕ ВОПЛОЩЕНИЕ И ОБЛИК СИСТЕМЫ

Датчики предназначены для определения ориентации относительно некоторого ориентира. Под определением ориентации понимают измерение углов между осями КА и вектором, направленным на ориентир. Существуют два класса приборов: оптические и все остальные. Оптические датчики различают по ориентиру: **земные, солнечные, звездные**. Среди остальных: **датчик магнитного поля** (магнитометр) и **датчик угловой скорости** (гироскоп). Оптические датчики расположены на астроплате. Астроплата – специальный конструктивный элемент на противоположной от разгонного блока или переходного устройства стороне. Магнитометр расположен на выносной штанге. Гироскоп расположен внутри КА.

Исполнительные механизмы предназначены для осуществления поворотов КА. Основные три класса: вращающиеся маховики (УДМ), электромагнитные устройства (ЭМУ) и двигатели ориентации (ДО). УДМ – это массивный «блин» с электродвигателем, вращение которого вокруг своей оси вынуждает вращаться в обратную сторону весь остальной КА. ЭМУ – это катушка с сердечником, которая работает как стрелка в компасе. ДО – это клапан с соплом, из которого с большой скоростью сочится вещество. ЭМУ и ДО расположены снаружи, УДМ – внутри КА.

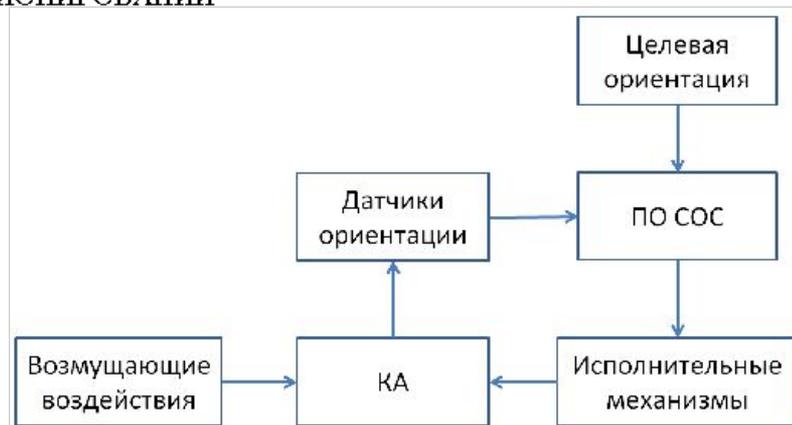
Программное обеспечение представляет собой реализацию алгоритмов управления ориентацией КА и отдельными приборами. Реализует несколько режимов работы СОС.

ИНФОРМАЦИЯ О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ

Подавляющее большинство современных СОС являются активными трехосными. Активная – это использующая управляющие моменты от исполнительных механизмов; трехосная – это про ориентацию всех трех осей.

Режимы работы СОС:

1. Режим успокоения. Используется для погашения избыточной угловой скорости после отделения от разгонного блока.
2. Режим начальной ориентации на Солнце. Используется для ориентации солнечных панелей.
3. Режим начальной ориентации на Землю/звезды.
4. Режим трехосной стабилизации. Это основной режим работы, при котором КА выполняет требования по назначению.
5. Режим аппаратной солнечной ориентации. Аварийный режим на случай, если вообще ничего больше не работает (кроме +27 В)
6. Режим проведения коррекции. Используется для ориентации двигателей коррекции в нужное положение



Современные СОС КАК производства АО «ИСС»

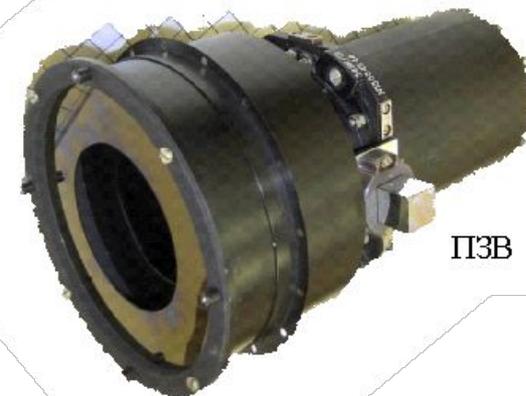
КА/производитель/год/ назначение	Орбита, САС	Что обеспечивает	Приборный состав			
ГЛОНАСС 2016 год Навигация	Круговая 19000 км 10 лет	Успокоение за 40 мин, ориентация на Солнце за 25 мин, на Землю за 32 мин. Погрешность ориентации на Землю 8 угл. мин. Погрешность ориентации КА на Солнце 4 угл. мин. (БС до 40 угл. мин)	Гироскоп	x2	ЭМУ	x2
			ПОС	x2	УДМ	x4
			ПОС _{ст}	x1	ПБС	комплект
			ПОЗ	x3	ДО	x8
			ДНС	x1		
Экспресс 2015 год Связь	ГСО 15 лет	Успокоение + ориентация на Солнце за 90 мин, на Землю за 48 мин. Погрешность ориентации на Землю 6 угл. мин	Гироскоп	x3	УДМ	x4
			ПОС	x2	ПБС	комплект
			ДНС	x1	ДО	x8
			ПОЗ	x3		
			ПЗВ	x4		
ГЕО-ИК2 2015 Геодезия	НКО 1000 км 5 лет	Погрешность ориентации на Землю 4,25 угл. мин	Гироскоп	x2	ЭМУ	x2
			ПОС	x2	УДМ	x4
			ПЗВ	x2	ДО	x8
			ДНС	x1		
			ММ	x1		
Шарик 2020 Связь	ВЭО 10 лет	Успокоение за 19 мин, ориентация на Солнце за 15 мин, на Землю за 15 мин. Погрешность ориентации на Землю 8/13 угл. мин. Погрешность ориентации КА на Солнце 3 угл. мин. (БС до 120 угл. мин)	Гироскоп	x2	ЭМУ	x5
			ПОС	x4	УДМ	x4
			ПЗВ	x4	ДО	x8
			ДНС	x1	ПБС	комплект
			ПОЗ	x2		



ПОЗ



ПОС



ПЗВ