



TELKOM-3

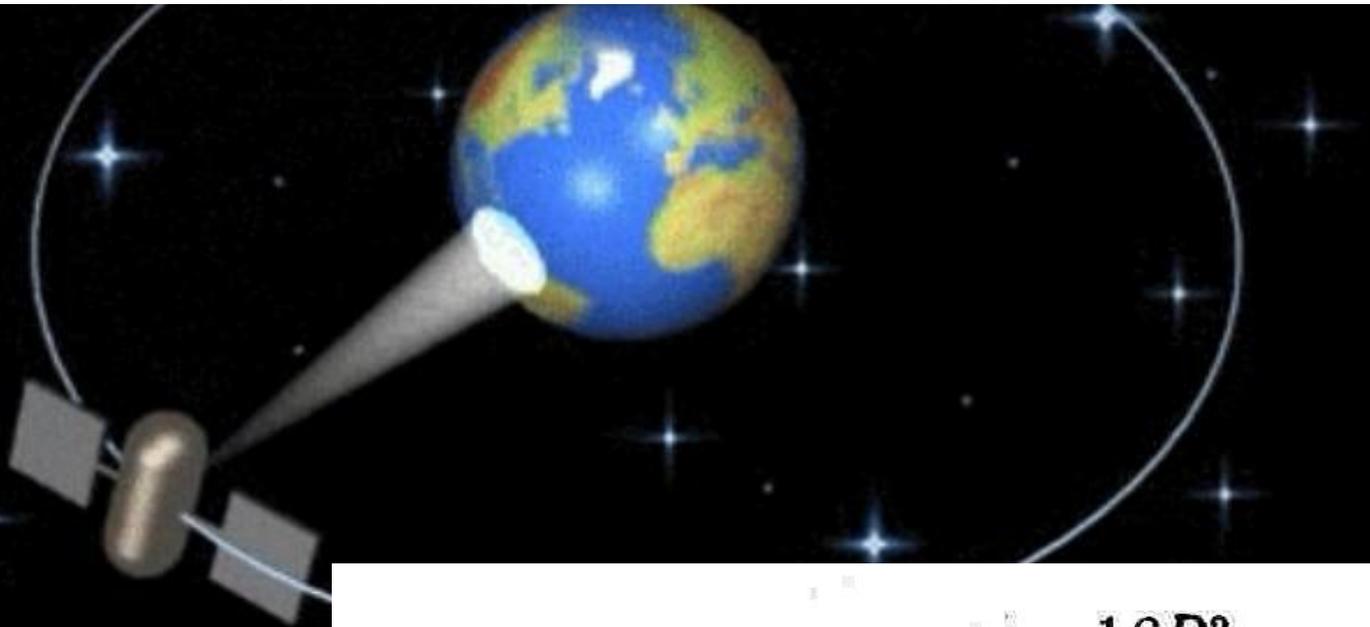
БКУ КА

«ЭКСПРЕСС-АМ5»

Уравнение космической связи

Поскольку энергетические возможности передатчика на Земле значительно выше, чем на спутнике, мы рассмотрим лишь радиолинию спутник — Земля.

В случае активной ретрансляции сигнала при передаче одноканального сообщения



$$P_t = Q_{\text{вч}} k T_{\text{эфф}} \Pi \frac{16R^2}{G_1 \eta D_2^2} \Gamma N_1,$$

Уравнение космической связи

$$P_t = Q_{\text{вч}} k T_{\text{эфф}} \Pi \frac{16R^2}{G_1 \eta D_2^2} \Gamma N_1,$$

где P_t — необходимая мощность передатчика на спутнике; $Q_{\text{вч}}$ — отношение сигнал/шум в приемнике на радиочастоте (до детектора); k — постоянная Больцмана; $T_{\text{эфф}}$ — эффективная температура шумов на входе приемника; Π — ширина полосы пропускания земного приемника на радиочастоте (до детектора); G_1 — коэффициент усиления передающей антенны на спутнике; D_2 — диаметр земной приемной антенны; R — наклонная дальность от спутника до земного корреспондента при активной ретрансляции; Γ — коэффициент запаса по мощности, учитывающий поглощение и замирания сигнала в ионосфере, поглощение в тропосфере; η — коэффициент использования площади антенны ($\eta=0,5$); N_1 — запас на потери из-за неравномерности диаграмм направленности, на потери в антенно-фидерном тракте, поляризационные потери.

Уравнение космической связи

Из указанного соотношения видно:

- Основными параметрами космической связи являются:

- размеры наземной антенны,
- мощность передатчика спутника,
- коэффициент усиления антенны спутника,
- полоса пропускания приемника на Земле,
- наклонная дальность.

Остальные параметры определяются качеством аппаратуры и ориентации КА.

- Чем выше орбита, тем мощнее должен быть передатчик, больше наземная антенна, и качественнее бортовая антенна.

Уравнение космической связи

Для дальнего космоса и высоких орбит очень большое значение имеет коэффициент N_1 , на который влияет кроме всего, точность ориентации спутника.

На геостационарной орбите точность ориентации на центр Земли должна быть не больше 0,5 градуса, так как вся поверхность планеты видна под углом не больше 15 градусов, а обслуживаемая область с орбиты составляет единицы градусов.

Антенны спутника проектируются с расчетом на создание области облучения иногда весьма причудливой формы, покрывающей какую-то часть обслуживаемой страны или группы стран.

В этом смысле спутники на ГСО часто не взаимозаменяемы.

Уравнение космической связи

Спутники НТВ (непосредственного телевидения -типа Экспресс-АТ) имеют гигантскую мощность излучения (несколько киловатт), очень точные эффективные антенны и очень высокую точность ориентации на Землю.

Это позволяет использовать на Земле весьма маленькие приемные антенны («Триколор-ТВ») и простые приемные устройства.

Первые спутники на высокой орбите, напротив, имели слабый передатчик и малоэффективные антенны. Сигнал с них можно было принимать только на очень большие (до 30 м в диаметре) наземные антенны, и приходилось применять малозумящие усилители, охлаждаемые жидким азотом.

С самых первых спутников и космических кораблей, их система управления строилась как комплекс взаимосвязанных систем, главные из которых для КА разработки ОАО «ИСС» согласно принятой терминологии показаны на следующих слайдах:

Система управления КА ОАО «ИСС»

система энергоснабжения (СЭП);

система терморегулирования (СТР);

система ориентации,
стабилизации и управления
движением (СОС);

двигательная установка
коррекции траектории (ДУК);

бортовой комплекс управления,
(БКУ) состоящий из элементов:
командно-измерительная система (КИС);
бортовая аппаратура телесигнализации (БАТС);
бортовой цифровой вычислительный
комплекс (БЦВК);
блок управления (БУ);

механические устройства;

целевая аппаратура:
на связных КА это
ретранслятор (РТР);
на навигационных аппаратах –
бортовой спецкомплекс (БСК)

**СИСТЕМА
УПРАВЛЕНИЯ
КА**

Сейчас принято разделять КА на платформу – это универсальный блок обеспечивающих систем, и полезную нагрузку, зависящую от назначения КА.

Состав основных составных частей платформы показан на следующем слайде:

Система управления КА ОАО «ИСС»



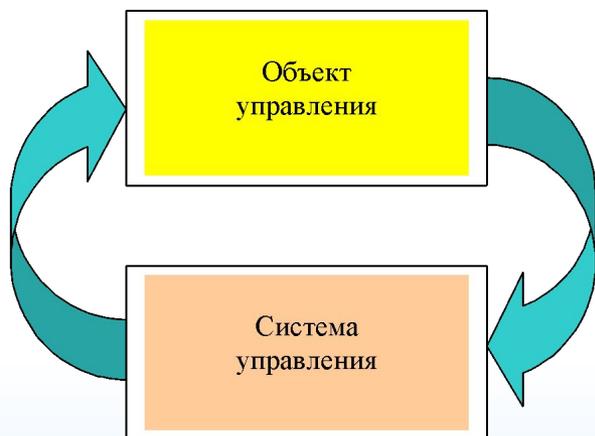
Система управления КА

Специфика КА нашего предприятия требует большой автономности управления КА.

То есть КА сразу проектируется как почти полностью независимый от НКУ объект, в отличие от обитаемых кораблей и станций.

Это вызвано как ограниченными возможностями НКУ для управления многочисленными КА, так и необходимостью длительного срока жизни КА без возможности какого-то обслуживания и ремонта (он должен сам себя «обслуживать» и «ремонтить»), а также стратегическими задачами выживаемости КА в любых условиях, когда НКУ ему неспособен помочь. Достижения ОАО «ИСС» в проектировании и изготовлении автономных КА весьма велики и признаны во всем мире.

Система управления КА



Систему управления КА в общем можно представить как замкнутый контур, состоящий из системы управления, взаимодействующей с объектом управления.

Имеется 2 контура управления КА:

- внешний, или контур управления с наземного комплекса управления (НКУ) и
- внутренний или контур автономного управления КА.

Система управления КА

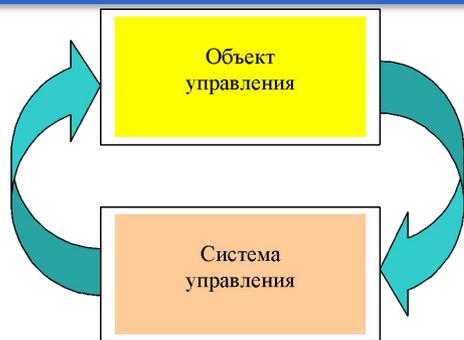


Система Энерго Питания

СЭП - основная система, обеспечивающая энергопитание от 2-х источников: СБ и АБ. При устойчивой ориентации КА энергия берется от СБ, регулирование сводится к поддержанию стабильного напряжения питания 27В и 100В. Лишняя энергия от СБ при этом сбрасывается на балластный элемент, а также используется для зарядки АБ.

При неориентированном режиме КА, СЭП обеспечивает получение энергии от АБ и поддержание постоянного напряжения питания, при появлении тока в СБ выполняется подзаряд АБ

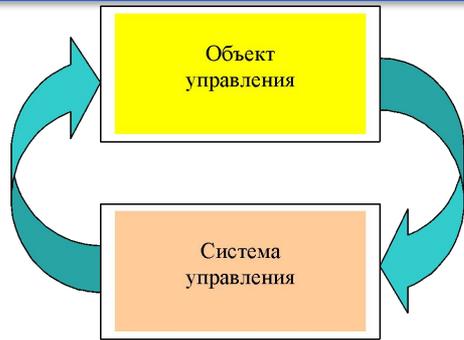
Система управления КА



Система Термо Регулирования

СТР - основная система, выполняющая терморегулирование. На КА с контейнером она поддерживает температуру газа, наполняющего контейнер. На КА открытого типа и на приборах вне гермоконтейнера СТР регулирует температуру охлаждающей жидкости. Обычно рабочая температура приборов от минус 10°С до 30-40°С. По измеренному термодатчиками значению температуры выполняется, в случае перегрева, открывание клапана-регулятора, и жидкость, циркулирующая во внутреннем контуре КА выпускается во внешний радиатор для охлаждения. При переохлаждении некоторых частей КА включаются специальные обогреватели.

Система управления КА

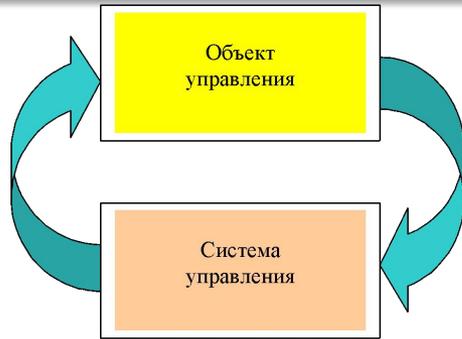


Двигательная Установка

ДУ - основная система, обеспечивающая движение по орбите и ориентацию спутника.

Выполнена в виде достаточно маломощных плазменных двигателей, включаемых на длительное время – часы, минуты. При включении подается нейтральный газ, измеряется его давление и подается высокое напряжение на катод двигателя. Кроме двигателей коррекции имеются также более мощные гидразиновые двигатели ориентации, они расположены по трем осям ориентации и работают в импульсном режиме. Обычно нужный двигатель включается с периодом порядка 4 сек на небольшое время, то есть используется регулирование по фазе.

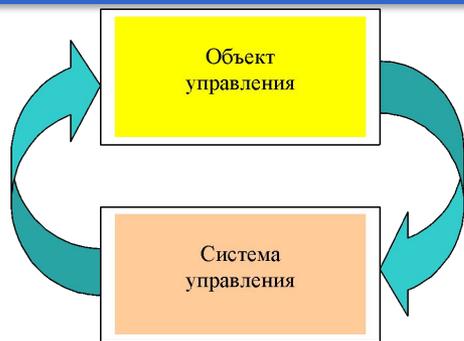
Система управления КА



Система Ориентации и Стабилизации

СОС - основная система, выполняющая ориентацию и стабилизацию КА. Обеспечивает сбор данных с датчиков ориентации СОС и выдачу управляющих воздействий на исполнительные органы СОС. Имеется несколько режимов работы СОС, отличающиеся алгоритмом работы и используемой аппаратурой в контуре управления (для активной СОС).

Система управления КА



Система Ориентации и Стабилизации

Основные режимы СОС:

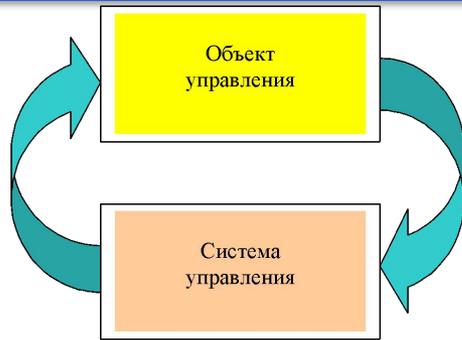
РУ – в режиме успокоения снимаются данные с датчиков скоростей вращения КА (БИС) и дается гасящий момент на двигательную установку. Одновременно ведется раскрутка гиросtabilизатора (ГС).

РНОС – в режиме начальной ориентации на солнце производится оборот вокруг основной оси ГС для поиска Солнца в поле зрения прибора ориентации на Солнце (ПОС). При захвате Солнца производится слежение за ним с помощью подачи момента на ГС и двигатели СОС.

РНОЗ – в режиме начальной ориентации на Землю ожидается появление Земли в поле зрения прибора ориентации на Землю (ПОЗ) и затем ее удержание с помощью ГС и двигателей СОС.

РТС – режим трехосной стабилизации – окончательная стабилизация КА с непрерывной ориентацией на центр Земли и уточнением ориентации по показаниям ПОС и приборов ориентации на звезды.

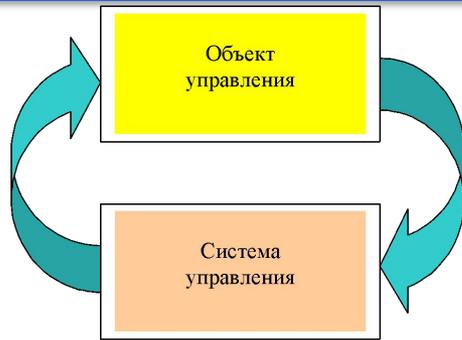
Система управления КА



Механические Устройства

МУ - основные устройства, обеспечивающие развертывание КА из сложенного положения под обтекателем ракеты, раскрытие СБ, раскрытие антенн. Затем, после раскрытия, производится управление положением СБ так, чтобы ее ось была перпендикулярна направлению на Солнце, и управление положением подвижных антенн. Это управление производится с помощью электронных датчиков угла поворота и высокоточных электродвигателей.

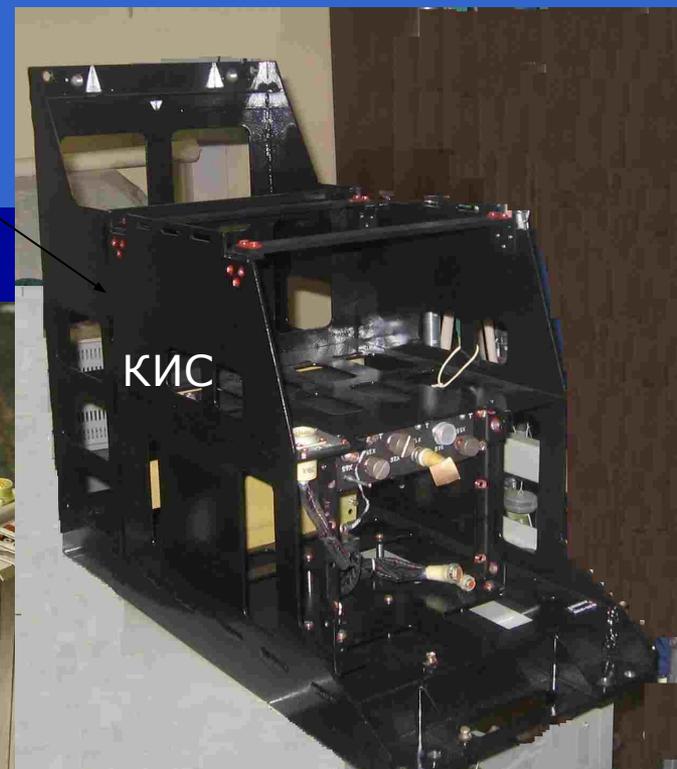
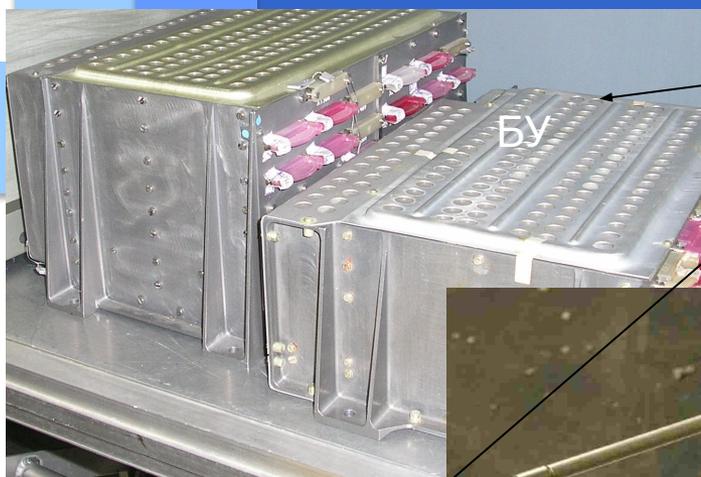
Система управления КА



БКУ

БКУ – ядро системы управления.
Состав, назначение и построение основных блоков
рассмотрено ниже.

БКУ КА ОАО «ИСС» на 2000 год



ПО БКУ

Система управления КА

Аппаратура КА, на которой строится система управления КА, всегда выполнялась с учетом последних достижений электроники – для получения минимальных характеристик по габаритам, массе, энергопотреблению, а также высокой надежности и стойкости к факторам космического пространства, без чего создание КА невозможно.

С другой стороны, указанные условия очень усложняют создание бортовой аппаратуры КА и диктуют необходимость вложения значительных средств в ее создание и производство, а также длительные сроки ее разработки, отработки и изготовления.

Система управления КА

Как видно из описанного выше, системы жизнеобеспечения СЭП, СТР, ДУ, СОС, мех. устройства имеют множество локальных контуров управления как с дискретным регулированием (особенно СТР, ДУ, мехсистемы), так и с аналоговым или аналогово-дискретным непрерывным регулированием (СЭП, СОС). Указанные системы претерпели с момента создания первых КА значительные изменения – от довольно простых регулирующих приборов на первых «Молниях» - до интегральных микропроцессорных систем.

Система управления КА

Важнейший шаг в развитии системы управления КА произошел с появлением бортовых ЭВМ, которые в корне изменили как процесс проектирования КА, так и его изготовление, испытания и управление на орбите. Вместо специфических приборов управления сейчас применяются интегрированные системы, состоящие из: преобразователей сигналов в цифровой вид для ввода в ЭВМ и обратного преобразования цифрового вида выходных сигналов ЭВМ в управляющие сигналы; вычислительного комплекса из одной или нескольких бортовых ЭВМ, реализующих алгоритмы управления (управляющие вычислительные системы).

Система управления КА

Что дало применение управляющих вычислительных систем:

- универсальность и унификацию систем управления. Для разных КА можно применять унифицированную аппаратуру управления и перенастраивать или вновь создавать программное обеспечение, что дает выигрыш в приемственности аппаратуры, уже испытанной в полете на орбите;
- высокую живучесть КА за счет возможности парирования отдельных отказов аппаратуры путем перестройки программ;
- высокую автономность КА. Наши КА могут работать по заложенной программе месяцами (а если необходимо – годами) без вмешательства с НКУ;
- сокращение сроков разработки КА за счет применения уже готовой аппаратуры вычислительных систем с небольшой адаптацией к конкретному КА с помощью дополнительных преобразователей сигналов.

Таким образом, мы подошли к определению понятия БКУ как ядра системы управления КА.

В БКУ КА НПО ПМ реализуются перечисленные выше принципы и преимущества управления КА с помощью бортовой ЭВМ.

Строго говоря, БКУ несколько условное название, так как правильнее включать в него указанные выше обеспечивающие системы целиком, как и делают другие предприятия, например Королевская фирма. Но исторически сложилось описанное выше условное разделение на системы.

К БКУ для КА НПО ПМ относятся:

- центральные вычислительные средства КА, объединенные со средствами управления от НКУ. К последним (средствам управления по внешнему контуру с НКУ) относятся:
- КИС – подсистема радиосвязи с НКУ и радиоконтроля орбиты;
- БАТС – подсистема сбора и передачи в НКУ через КИС телеметрической информации.
- Кроме того, в БКУ включен блок управления (БУ), традиционно используемый для раскрытия КА, коммутации приборов в БКУ и организации некоторых аварийных режимов.

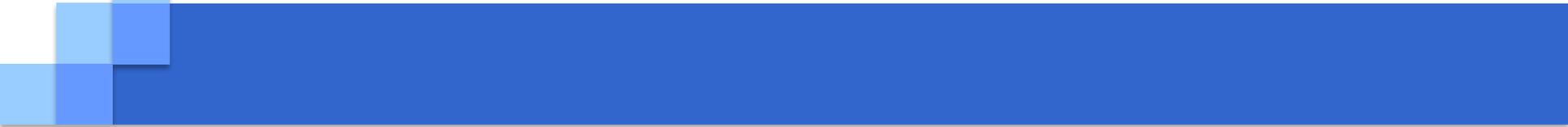
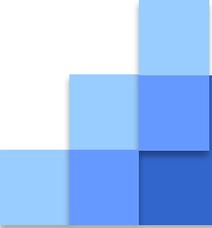
С появлением вычислительных средств космического применения (то есть малогабаритных и с минимальным энергопотреблением) ядром как БКУ, так и системы управления КА стал БЦВК – бортовой цифровой вычислительный комплекс, на который замыкается большинство внутренних и внешних контуров управления КА.

Специфика организации системы управления КА с использованием ЭВМ исходит как из очень высокой стоимости и сложности разработки и изготовления бортовых ЭВМ (цена более \$ 1 млн, длительность разработки порядка 10 лет), так и большой универсальности вычислительных средств. Будучи один раз спроектированы и доведены до производства, они могут дальше использоваться десятилетиями с частичной модернизацией (первый БЦВК, применяемый НПО ПМ, используется с малыми изменениями уже с 1980 года). С другой стороны, при применении БЦВК другая аппаратура спутника становится проще и дешевле.

Из указанных соображений на КА используется один централизованный БЦВК, выполняющий множество функций. Остальные микропроцессоры, выполняющие в приборах функции локальных контроллеров, обычно имеют жесткую непрограммируемую логику.

Это упрощает управление КА в различных ситуациях, так как алгоритм работы одного центрального процессора легче перестроить и оптимизировать, чем разобраться с сетью ЦВМ.

В следующих лекциях будут рассмотрены приборы БКУ, и основной из них – БЦВК.



Задачи БКУ

Выше было дано определение БКУ как центральной части системы управления КА.

Далее мы конкретизируем и раскроем это понятие, а также более подробно разберем выполнение каждой функции БКУ.

В первой части лекции остановимся на описании функций внешнего контура управления.

БКУ как ядро системы управления должен обеспечивать:

- Управляющую среду для реализации задач контуров управления бортовых систем КА.**
- Организацию автономного контура управления КА.**
- Информационно-логическое взаимодействие с внешним контуром управления КА.**

Из определения БКУ видно, что имеются задачи БКУ более низкого уровня (замыкание контуров управления подсистем КА) и задачи более высокого уровня иерархии: в рамках автономного управления КА в целом, а также задача внешнего управления с Земли. Кроме этого, очень важной является технологическая задача обеспечения работы с КА при испытаниях и при подготовке КА к запуску на орбиту, которая также ложится на БКУ.

Для начала разложим указанные задачи на более частные функции:

- Задачи управления подсистемами КА**
- Задачи автономного управления КА в целом**
- Задачи внешнего управления с Земли**
- Задачи обеспечения работы КА при испытаниях и при подготовке КА к запуску**

Задачи управления подсистемами КА:

- организация работы БПО;
- выполнение функций управления в локальных контурах подсистем КА.

Задачи автономного управления КА в целом:

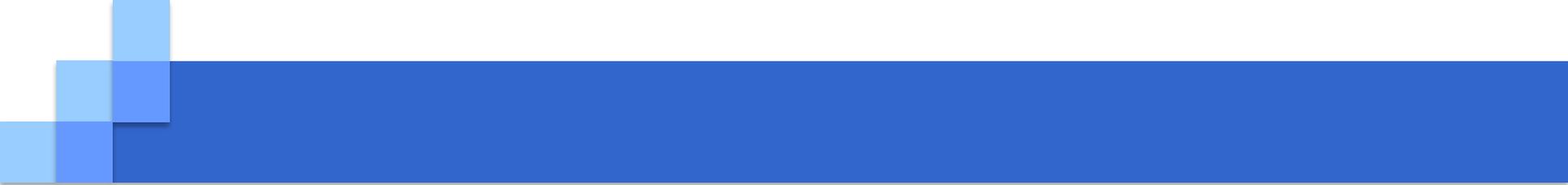
- управление и контроль бортовыми системами КА на УВ;
- приведение бортовых систем в рабочее состояние после КО;
- автономное управление и мониторинг КА, включая управление резервом, а также вызов НКУ при возникновении нештатных ситуаций;
- взаимодействие бортовых систем при обеспечении «живучести» КА.

Задачи внешнего управления с Земли:

- управление и мониторинг КА с внешнего контура управления в режиме реального времени;
- взаимодействие с МПН по МКО при обмене ТМ информацией и командами между КА и НКУ;
- обмен сигналами измерения дальности с НКУ.

Задачи обеспечения работы КА при испытаниях и при подготовке КА к запуску:

- управление и контроль КА с наземного оборудования при подготовке к пуску на стартовом комплексе;
- взаимодействие с испытательным комплексом при наземных испытаниях.



**Спасибо за
внимание!**