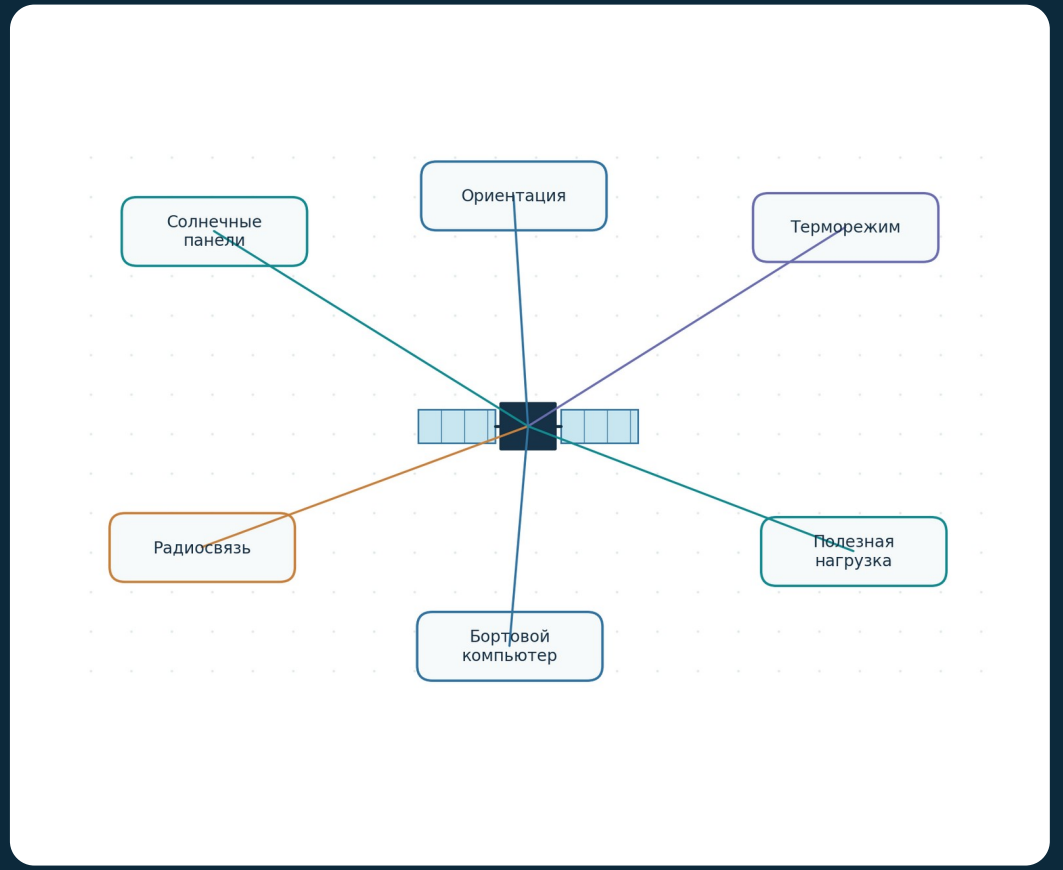
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

ОТКРЫТЫЙ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 03

Конструкция и служебные подсистемы космического аппарата

Платформа, электропитание, ориентация, терморежим и бортовое управление



Мейрамбекұлы Нұрсұлтан

старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики, PhD

Цель и результаты обучения

Что необходимо освоить

ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ

Понять, какие инженерные подсистемы поддерживают работу целевой аппаратуры и радиолинии на протяжении миссии.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ

Выделять функции EPS, ADCS и OBC. Построить баланс мощности по режимам работы. Оценивать связи между тепловым режимом, ориентацией и качеством связи.

План лекции

Шесть ключевых вопросов

1. **Платформа и полезная нагрузка**
2. **Энергетическая подсистема**
3. **Система ориентации и стабилизации**
4. **Тепловые и механические условия**
5. **Бортовой компьютер и шины**
6. **Системная надёжность**

Платформа и полезная нагрузка

РАЗДЕЛ 1 / 6

Конструкция обеспечивает механическую целостность при запуске, размещение оборудования и отвод тепла. Полезная нагрузка может включать камеры, научные сенсоры, транспондеры и специализированные вычислители. Платформа должна поддерживать её питание, интерфейсы обмена, точность наведения и заданные температурные условия. Разделение подсистем облегчает тестирование: неисправность датчика, источника питания и радиоприёмника диагностируют по различным каналам телеметрии.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Платформа

полезная нагрузка

EPS

01

Энергетическая подсистема

РАЗДЕЛ 2 / 6

Электропитание (EPS) объединяет солнечные элементы, аккумулятор, преобразователи напряжения и распределение нагрузки. Солнечная генерация меняется при повороте аппарата и входе в тень. Аккумулятор должен покрывать потребление в неблагоприятном режиме с учётом КПД и допустимой глубины разряда. Пиковая мощность передатчика часто существенно выше среднего потребления, поэтому режимы передачи данных согласуют с возможностями энергосистемы.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Энергетическая подсистема

ADCS

OBC

02

Система ориентации и стабилизации

РАЗДЕЛ 3 / 6

ADCS определяет положение спутника и управляет его ориентацией. В качестве датчиков используют солнечные и звёздные датчики, магнитометры, гироскопы; исполнительные органы включают магнитные катушки и маховики. Для направленной антенны ошибка ориентации уменьшает эффективный коэффициент усиления. Точность наведения и скорость разворота становятся системными требованиями, а не только характеристиками отдельной подсистемы.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Система ориентации

стабилизации

ОВС

03

Тепловые и механические условия

РАЗДЕЛ 4 / 6

Аппарат испытывает чередование солнечного освещения и тени. Тепловой баланс определяется поглощением излучения, собственным выделением тепла и его излучением в пространство. Конструктор учитывает тепловые пути, материалы, покрытия и критические температуры компонентов. При запуске добавляются вибрационные и ударные нагрузки.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Тепловые

механические условия

ICD

04

Бортовой компьютер и шины

РАЗДЕЛ 5 / 6

OBC собирает телеметрию, планирует команды, управляет режимами и записывает полезные данные. Межмодульные интерфейсы могут использовать UART, SPI, I²C, CAN и другие шины, однако электрические уровни и протоколы должны быть зафиксированы в ICD. Необходимы контроль целостности, журналирование и восстановление после перезагрузки.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Бортовой компьютер

Safe mode

Watchdog

05

Системная надёжность

РАЗДЕЛ 6 / 6

Проектирование начинается с перечня одиночных точек отказа: радиоканал управления, питание, часы, бортовое ПО, механизмы раскрытия. Защита достигается резервированием, безопасным режимом, watchdog, анализом отказов и квалификационными испытаниями. Даже малый CubeSat требует последовательной инженерной верификации.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Системная надёжность

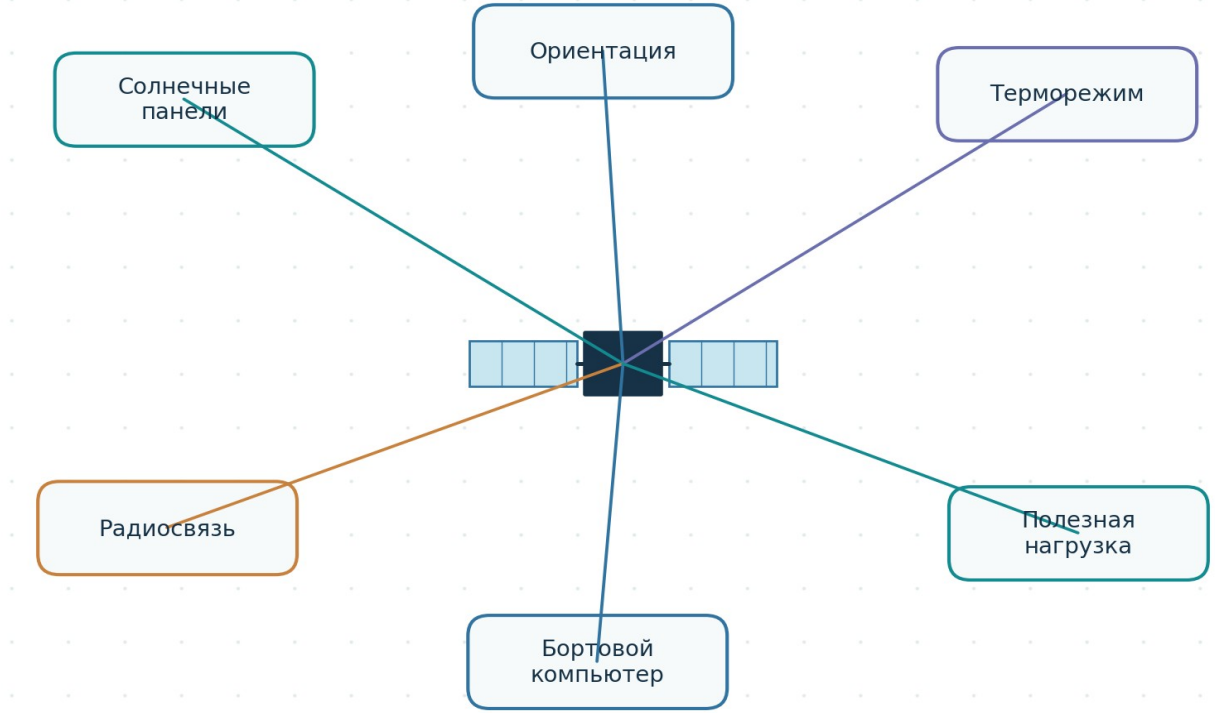
Watchdog

Пассивное охлаждение

06

Техническая иллюстрация

Конструкция и служебные подсистемы космического аппарата



Обратите внимание

Платформа, электропитание, ориентация, терморежим и бортовое управление

Схема отражает основные взаимосвязи, рассмотренные в лекции.

Основные расчётные соотношения

Связь теории с инженерным расчётом

$$E_{тень} = P_{сред} \times t_{тень} / \eta;\ P_{запас} = P_{генерация} - P_{нагрузка}.$$

Обратите внимание

Аппарат испытывает чередование солнечного освещения и тени.

Баланс энергии во время тени

Инженерный пример

Потребление спутника в тени составляет 12 Вт, длительность затмения 35 мин, эффективность питания 85%. Требуемая отдаваемая аккумулятором энергия: 12 × 35/60 / 0,85 ≈ 8,2 Вт·ч. Реальную ёмкость выбирают больше с учётом глубины разряда, старения и температурного снижения доступной энергии.

Ключевой вывод: результат необходимо сопоставить с требованиями системы.

Инженерные аспекты

1 из 1 · Углублённый разбор

При объединении подсистем составляют таблицу режимов: тень, солнечный участок, измерение, разворот, высокоскоростная передача, аварийный режим. Для каждого режима определяют мощность, тепловыделение, нагрузку на вычислитель и потребность в передаче данных. Затем оценивают не только среднюю мощность, но и пиковые токи. Бортовое программное обеспечение должно исключать конфликтующие операции: например, манёвр ориентации может ухудшить направленную радиосвязь, а разряд аккумулятора — запретить включение передатчика. Нагрузки запуска и механические соединители требуют отдельного контроля: удачно рассчитанная радиоаппаратура бесполезна, если кабель повреждён вибрацией.

Алгоритм инженерной проверки

Последовательность действий



1. Определите исходные параметры и единицы.
2. Отделите измеренные значения от допущений и ориентировочных данных.
3. Проверьте расчёт и его применимость.
4. Оцените порядок величины, допущения и способ независимой проверки.

Последовательность проверки помогает связать расчёт, измерение и требования проекта.

Проектные ограничения

Что следует учитывать при реализации

Команда на включение высокоскоростного передатчика меняет одновременно энергобаланс, тепловыделение и требования к ориентации. Поэтому расписание сеанса связи должно быть проверено не только радиоинженером, но и специалистами по EPS и ADCS.

Практическое задание

Самостоятельная работа

Подготовьте таблицу энергопотребления CubeSat для режимов ожидания, наблюдения и передачи. Предложите два способа снижения риска разряда.

Термины для повторения

EPS • ADCS • OBC • ICD • Safe mode • Watchdog • Пассивное охлаждение • Пиковая мощность

Контрольные вопросы

Для самопроверки

01 Какие функции выполняет EPS?

02 Почему угловая ошибка влияет на радиоканал?

03 Что фиксируется в ICD?

04 Зачем нужен безопасный режим?

05 Как оценивают энергию на участке тени?

06 Какие испытания предшествуют запуску?

Итоги лекции

Три основных положения

1. Конструкция обеспечивает механическую целостность при запуске, размещение оборудования и отвод тепла.

2. Электропитание (EPS) объединяет солнечные элементы, аккумулятор, преобразователи напряжения и распределение нагрузки.

3. ADCS определяет положение спутника и управляет его ориентацией.

Литература и открытые источники

Для дальнейшего изучения

01 ESA. Types of orbits

02 NASA. CubeSat Launch Initiative Resources

Мейрамбекұлы Нұрсұлтан