



Системы управления ориентацией для малых спутников, включая и кубсаты

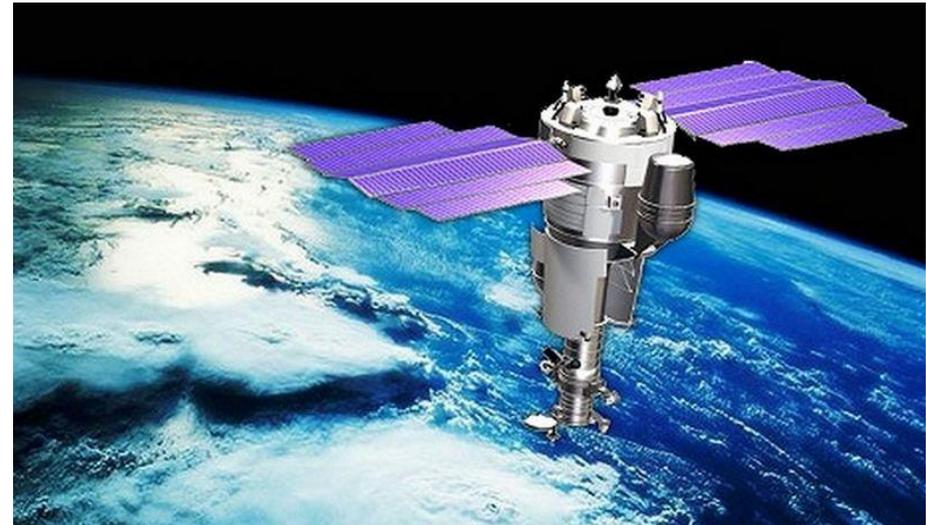
Степан Ткачев, к.ф.-м.н.

Институт прикладной математики
им.М.В.Келдыша РАН

Ориентация спутника

Задача управления и идентификации
углового движения

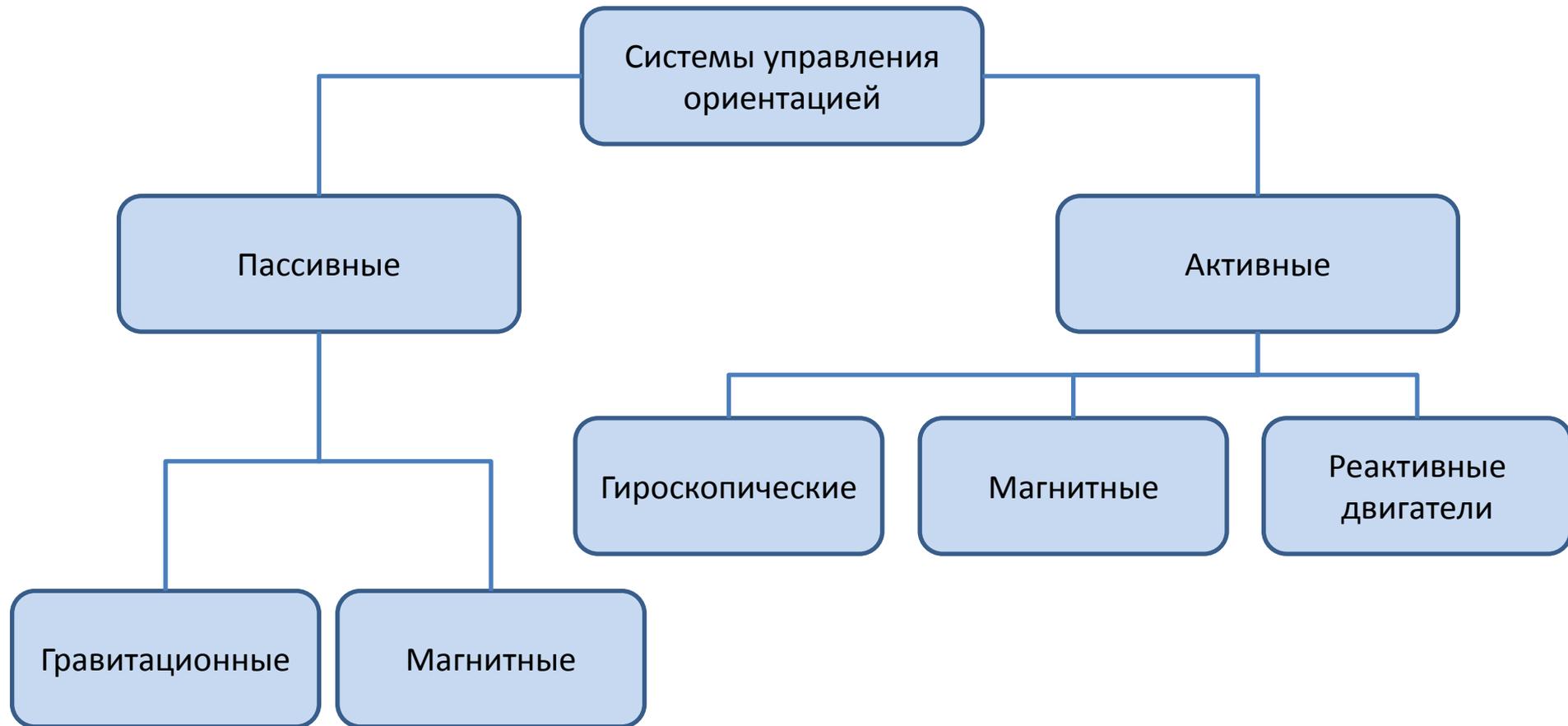
- Наведение солнечных панелей на Солнце
- Направление антенн на приемную станцию
- Решение задач целевой аппаратуры



Космические миссии

Пилотируема космонавтика	Большие КА	Малые КА
<ul style="list-style-type: none">• МКС• Союз, Прогресс• Space shuttle• Перспективные КА для межпланетных экспедиций	<ul style="list-style-type: none">• Спутники связи• Навигационный спутники (GPS, ГЛОНАСС, Галилео, Бейдоу)• Метеорологические спутники• Спутники для задач ДЗЗ• КА для межпланетных исследований	<ul style="list-style-type: none">• Мини (до 500кг)• Микро (до 100кг)• Нано (до 10кг)• Пико (до 1кг)• Фемто (до 100г)

Системы управления ориентацией



Пассивные системы

Плюсы:

Не требуют энергии

Не требуют алгоритмов и просты в эксплуатации

Минусы:

Требуют наличия внешних полей

Низкая точность

Ограниченное количество режимов ориентации

Низкое быстродействие

Гравитационные системы

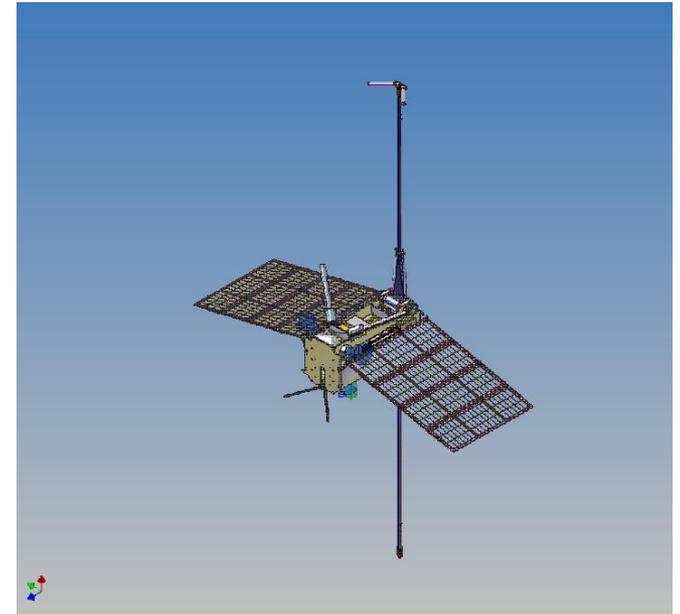
Специальная конструкция аппарата

Гравитационная штанга

Магнитные системы

Постоянный магнит

Гистерезисный стержень



Гравитационная штанга Чибис-М

Стабилизация собственным вращением

Пассивные системы. Как это работает?

Гравитационная система

Использование градиента гравитационного поля

$$\mathbf{M}_{\text{грав}} = 3\omega_{\text{орб}}^2 \mathbf{E}_3 \times \mathbf{J} \mathbf{E}_3$$

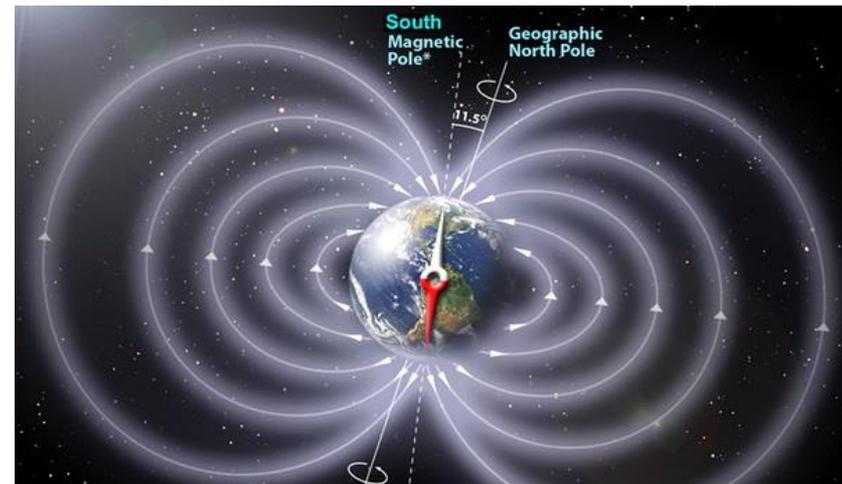
темная сторона Луны

Магнитная система

Использование геомагнитного поля

$$\mathbf{M}_{\text{магн}} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$$

стрелка компаса



Активные системы

Плюсы:

Точность

Произвольная ориентация

Высокое быстродействие

Минусы:

Разработка алгоритмов управления

Высокая сложность системы

Магнитная система

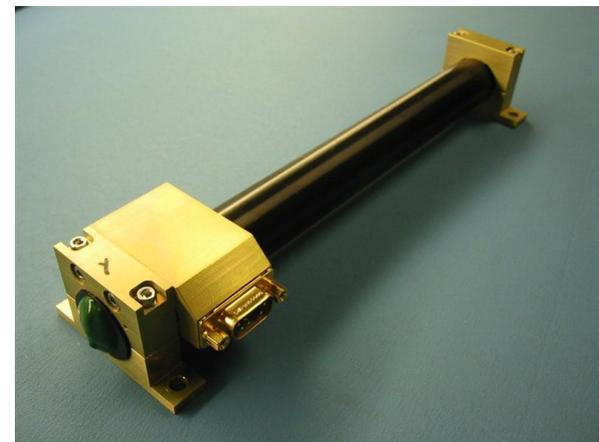
Токовые катушки

Гироскопические системы

Маховики

Гиродины

Реактивные двигатели



Токовая катушка (SSTL)



Маховик

Магнитные системы

$$\mathbf{M}_{\text{магн}} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$$

Вектор геомагнитной индукции

Создаваемый токовыми катушками дипольный момент

$$\mathbf{m} = -k \frac{d\mathbf{B}}{dt}$$

Классический алгоритм «-Bdot»

Плюсы:

Простота и надежность
Не создают вибрации

Минусы:

Неполная управляемость
Требуется внешнее магнитное поле
Не очень высокая точность

Гироскопические системы

Закон сохранения кинетического момента

$$\mathbf{K} = \mathbf{H} + \mathbf{J}\boldsymbol{\omega} = \text{const}$$

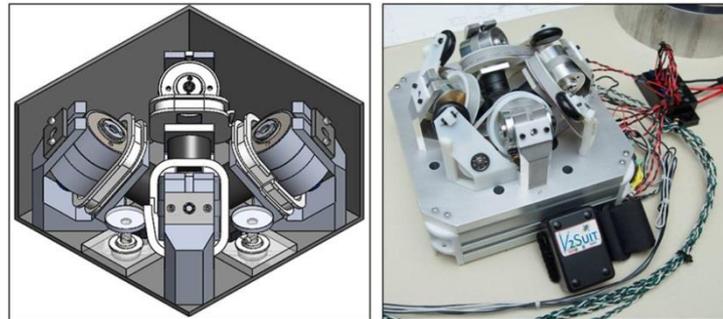
$$\mathbf{J}\dot{\boldsymbol{\omega}} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{J}\boldsymbol{\omega} = -\dot{\mathbf{H}} - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H}$$

Управляющий момент

$$\mathbf{u} = -\dot{\mathbf{H}} - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H}$$



Блок маховиков



Блок гиродинов

Институт прикладной математики
им.М.В.Келдыша РАН

Гироскопические системы

Плюсы:

Не зависят от внешних полей
Высокая точность
Высокое быстродействие

Минусы:

Сложная система
Сложная динамика
Насыщение

$$\mathbf{u} = -\dot{\mathbf{H}} - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H}$$

Маховик: разгон и торможение

Гиродин: поворота осе вращения

Насыщение:

Достижение максимальной скорости

«Насыщение»:

Оси встают параллельное

Разгрузка

Идентификация движения

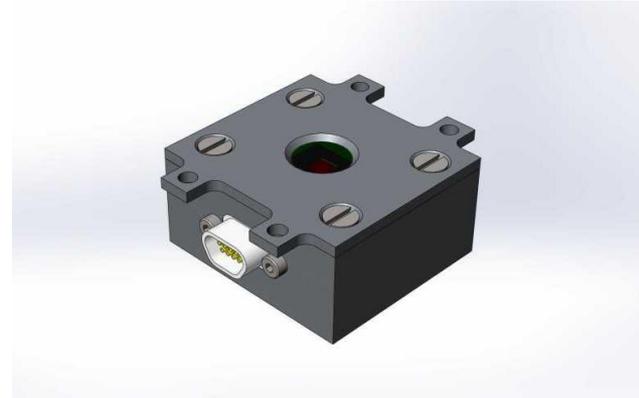
Позиционные датчики

датчик Солнца

магнитометр

датчик горизонта

звездная камера



Датчики скорости

датчик угловой скорости

датчик ускорения



Проблема параметризации углового движения

Угловое движение

Угловая скорость

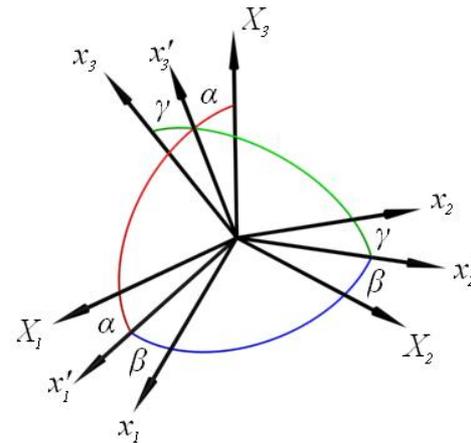
Угловое положение

Матрица направляющих косинусов

Углы

Кватернионы

Другие параметры



Алгоритмы идентификации

Локальные методы

Необходимо:

Модель измерений (связь измерений и параметров ориентации)

Пример: TRIAD

Статистические

Необходимо:

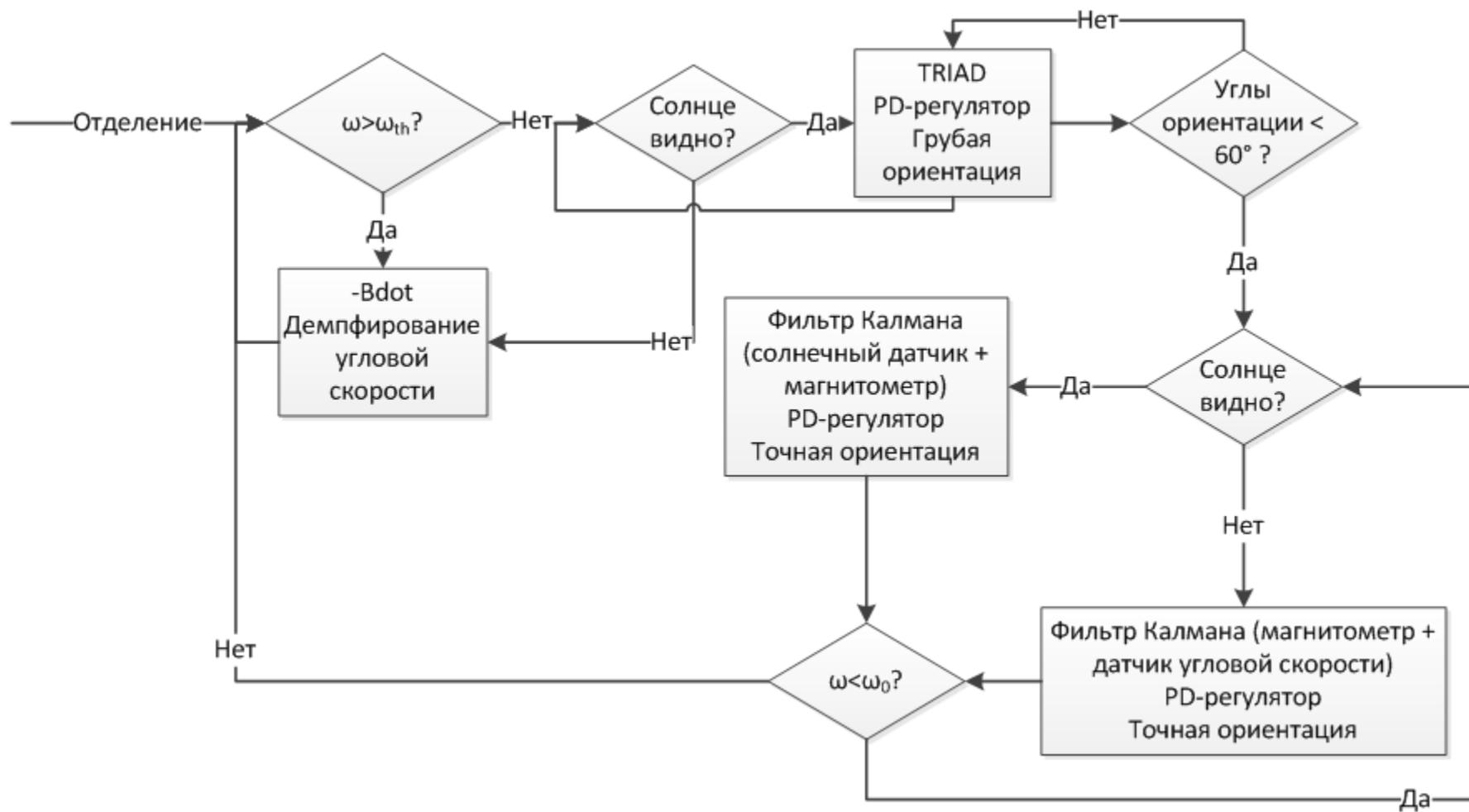
Модель измерений

Кинематическая или динамическая модель

Пример: Метод наименьших квадратов

Фильтр Калмана

Блок-схема активной системы



CubeSat

Стандарт

1U = 1кг + 10см x 10см x 10см

Идентификация: МЭМС магнитометр + ДУС
Управление: токовые катушки + компоновка

Иногда: маховики

