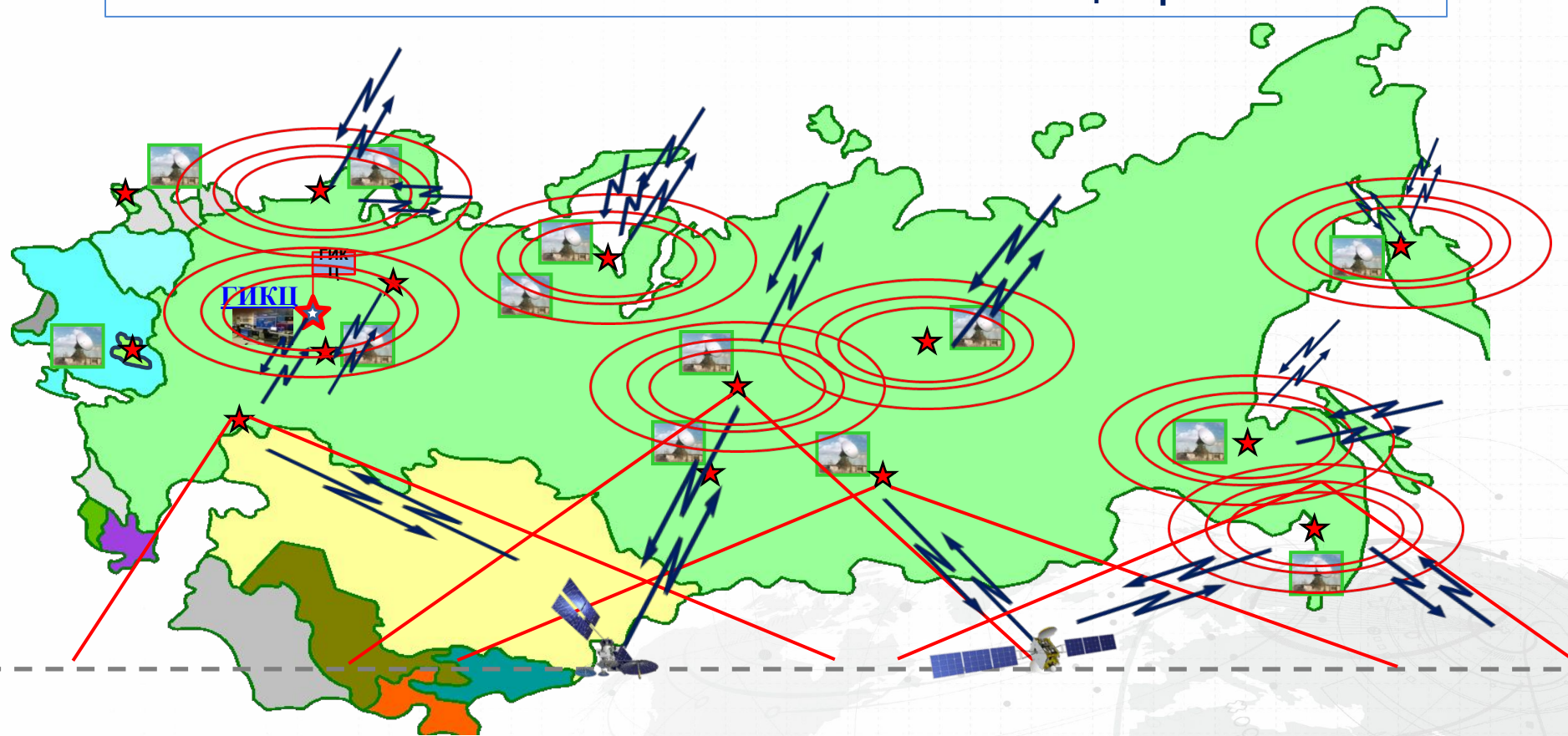


Проблемные вопросы, методы и технологии управления КА многоспутниковых космических систем

доктор технических наук, профессор Г.Г. Ступак

Территориальное распределение отдельных командно-измерительных комплексов (пунктов) Главного испытательного космического центра



Управления космическими аппаратами

Управление КА – процесс целенаправленного изменения состояния КА для эффективного решения им целевых задач

Цель управления КА – обеспечение решения целевой задачи КА в соответствии с его предназначением и программой полета

Общие требования к управлению КА:

- **глобальность управления** – способность обеспечивать управление КА в любой момент времени,
- **оперативность управления** – способность осуществлять управление КА в сроки, обеспечивающие успешное выполнение целевых задач,
- **устойчивость управления** – комплексное свойство системы управления, определяемое ее живучестью, помехозащищенностью и технической надёжностью.

Управление КА – комплекс специальных работ, процессов, операций, выполняемых **автоматизированной системы управления КА (АСУ КА)** в составе **наземного и бортового комплексов управления (НКУ, БКУ)** и направленных на эффективное выполнение программы полета и решение целевых задач КА.

Наземный и бортовой комплексы управления КА

Как элементы АСУ КА, НКУ и БКУ существенно отличаются друг от друга составом средств, пространственными масштабами и принципами функционирования.

НКУ – это комплекс территориально распределенных средств НАКУ, оперативно выделяемых для работы с КА определенного типа.

БКУ – это часть бортовой аппаратуры КА, один из бортовых комплексов КА.



Структурная (функциональная, техническая) оптимизация АСУ КА

Принципиально важным является оптимизация распределения задач управления КА и информационного обеспечения запусков РКН между элементами АСУ КА (БКУ и НКУ), а также между элементами НКУ (ИКК).

В рамках БКУ КА перспективным является:

Тенденцией развития АСУ КА является усложнение БКУ с увеличением количества задач управления, решаемых на борту КА – повышение автономности КА.

В рамках НКУ КА перспективным является:

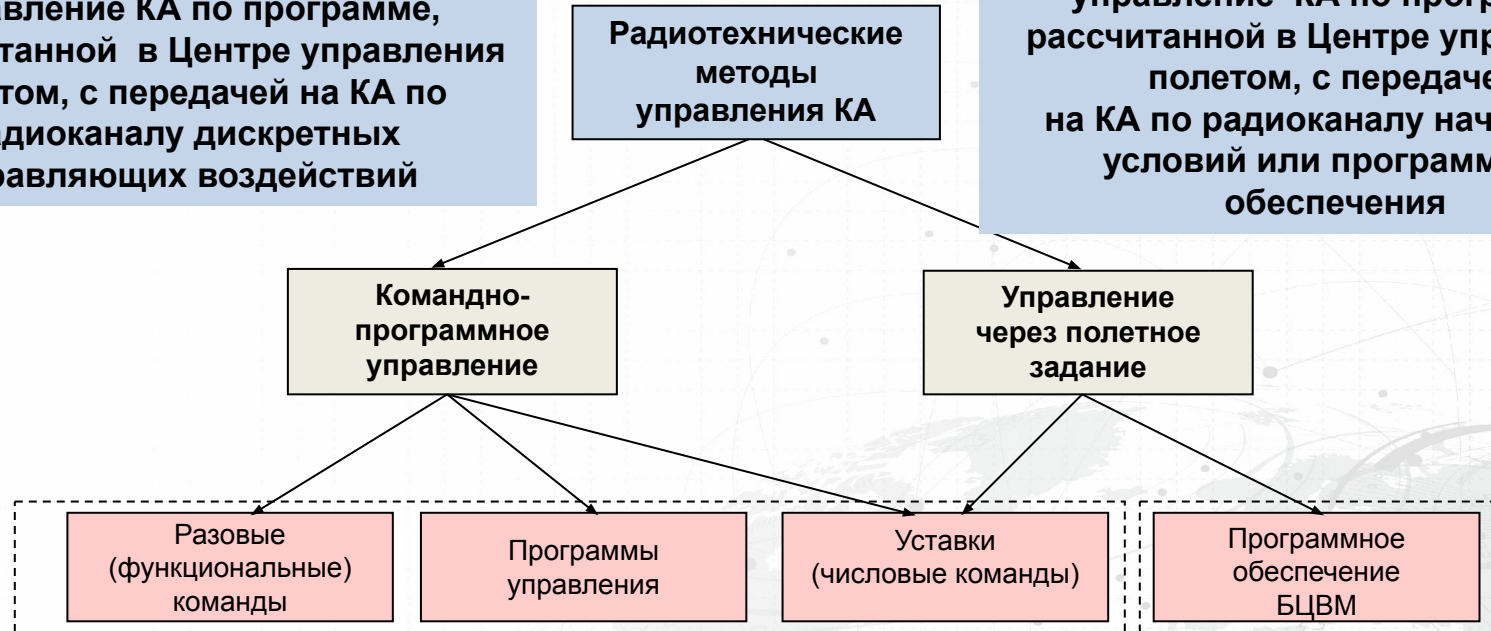
- создание и более широкое применение "необслуживаемых КИС", то есть сосредоточение "интеллектуальной" составляющей управления КА в ЦУП;
- создание единых ЦУП (ЕЦУП) КА (КС), РБ, центров общего назначения (ЦОН) и унифицированных средств управления, измерения, связи;
- организации информационного взаимодействия со средствами НАКУ КА НСЭН и измерений в интересах запусков и управления КА;
- внедрение перспективных технологий управления КА на базе использования космических систем навигации и ретрансляции.

Радиотехнические методы управления КА

В основе радиотехнических методов управления КА лежит метод командного радиоуправления, при котором на объект управления по радиоканалу передаются дискретные формализованные управляющие воздействия

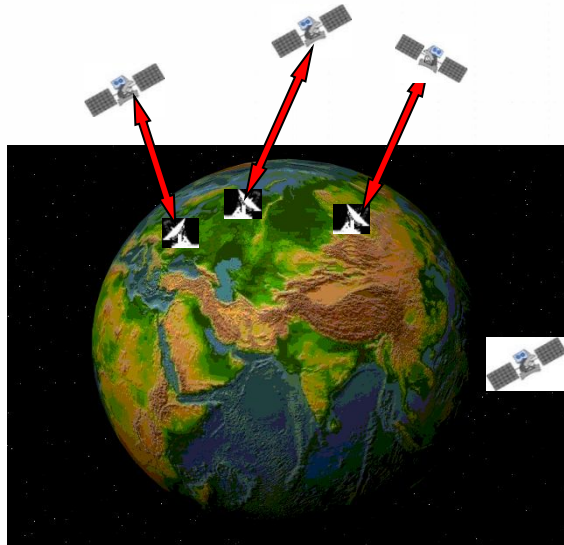
Командно-программное управление – управление КА по программе, разработанной в Центре управления полетом, с передачей на КА по радиоканалу дискретных управляющих воздействий

Управление через полетное задание – управление КА по программе, рассчитанной в Центре управления полетом, с передачей на КА по радиоканалу начальных условий или программного обеспечения



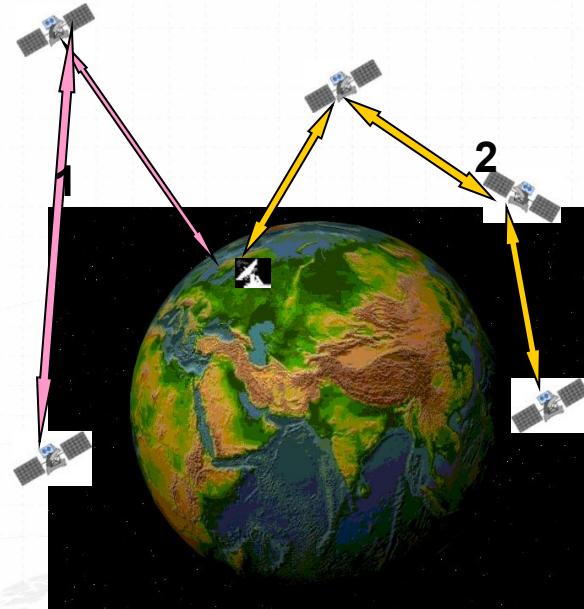
Технологии реализации радиуправления КА

Непосредственное управление КА



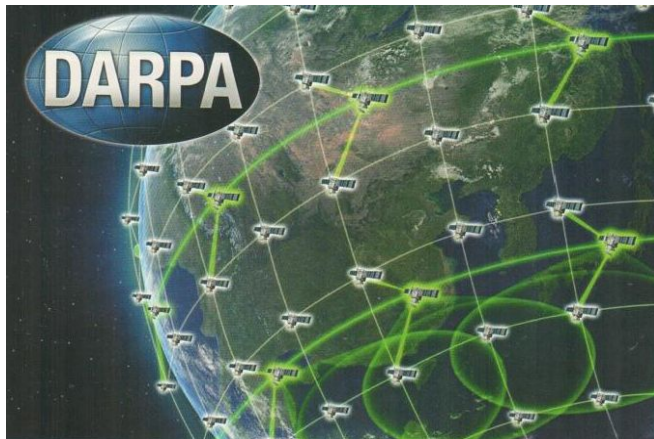
Многоточечная технология с проведением сеансов управления при прохождении КА в зонах радиовидимости наземных командно-измерительных пунктов

Управление КА с ретрансляцией



Малопунктные (одноточечные) ретрансляционная (1) и сетевая (2) технологии управления КА

Перспективы многоспутниковых космических систем



Анализ современного состояния космической деятельности технологически развитых государств свидетельствует о возрастании интереса к разработке космических систем на основе МКА.

В США реализуется полноценная государственная программа Blackjack по формированию быстро разворачиваемых группировок МКА TacSat (Tactical Satellite) в интересах вооруженных сил. **(экономическая целесообразность, живучесть)**

Архитектура «созвездий» МКА – способ противостоять сбоям спутниковых систем и атакам со стороны противника.

DARPA (Управление перспективных исследовательских проектов МО США) – конечная цель изысканий состоит в создании группировки из **60-200 МКА**, работающих на высотах от 500 до 1300 км, с единым операционным центром. «Полный потенциал рынка МКА» к 2022г. может вырасти до **~700** спутников.



Особенности орбитального построения многоспутниковых космических систем

Принципы построения космических систем –
потребительские требования:

«глобальность», «непрерывность», «детальность», «доступность»

Практическая реализация указанных принципов предполагает требования к орбитальному построению перспективных космических систем на базе МКА

Орбитальное построение многоспутниковых КС на базе МКА:

- орбиты МКА круговые с высотами от 500 до 1500 км;
- орбиты – приполярные, наклонение плоскости орбиты 80-90 градусов;
- орбитальная группировка – многоплоскостная, количество плоскостей 6 – 12;
- в каждой плоскости несколько КА, следующих друг за другом с перекрытием зон видимости;
- состав орбитальной группировки КС ~100–250 МКА (для угла возвышения антенны потребителя 30 градусов).

Проблемные вопросы управления КА многоспутниковых космических систем

Как организовать управления МКА ОГ многоспутниковых КС такого состава?

- традиционные технологии требуют проведения по каждому КА от 6-8 сеансов связи в сутки с территориально разнесенных наземных станций;
- при длительности сеанса связи с одним КА 10-15 минут одна наземная станция сможет обеспечить проведение 4-5 сеансов связи в час;
- для орбитальной группировки из 100 КА требуется 600-800 сеансов в сутки.

**Создать наземный комплекс управления такого состава – нереально.
Нужен поиск путей решения данного вопроса.**

Направления решения:

- Снижение загрузки (нагрузки) НКУ КА;
- Повышение пропускной способности НКУ КА.

Управления КА системы Iridium

Наиболее известной многоспутниковой системой является Iridium. Система функционирует с 1998г., к настоящему времени проведено ее обновление на КА типа «IridiumNext».

Управление орбитальной группировкой осуществляется сегментом управления ОГ с обеспечением следующих функций:

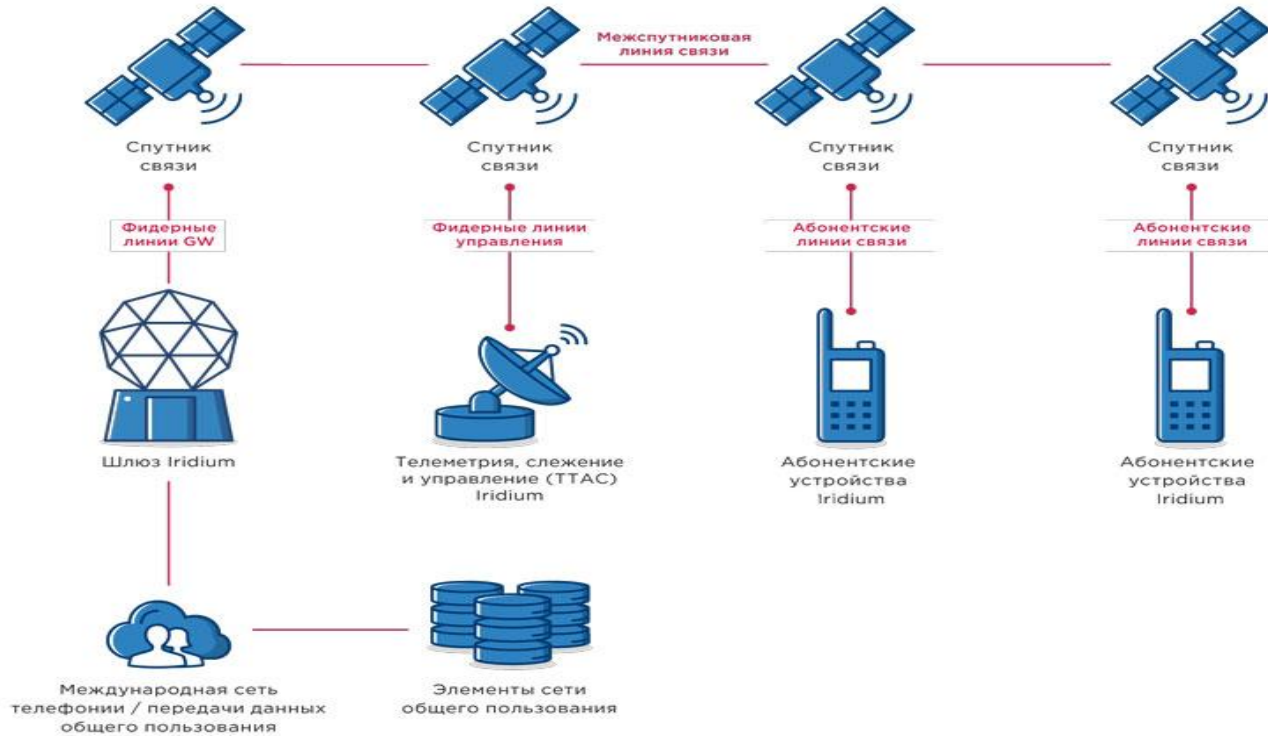
- управление орбитой каждого КА;
- контроль состояния КА;
- контроль запуска КА и проведение необходимых тестовых проверок;
- вывод КА из состава орбитальной группировки.

Указанные функции управления реализуются на основе командной и телеметрической информации каждого КА орбитальной группировки при использовании как штатных каналов связи, с учетом перекрестной спутниковой связи, так и с задействованием отдельных, территориально разнесенных командно-телеметрических станций для управления в нештатных режимах работы КА.

Управление системой осуществляется территориально разнесенными основным и резервным сегментами, располагаемыми на территории США.

Принципиальными техническими решениями разработчиков АСУ КА явилось использование межспутниковых линий связи и повышения уровня автономности бортовой аппаратуры.

Принцип управления КА многоспутниковой космической системы Iridium



АСУ КА типа Iridium

Орбитальный сегмент сети

Соседний КА

Ретранслятор для линии КА-КА

Соседний КА

БКУ КА

Бортовой ЦВК
(абонент сети)

Ретранслятор
для линии З-Б

Наземный сегмент сети

ШС

ШС

ШС

ТТАС

ТТАС

ТТАС

ТТАС

SNOC

(абонент сети)

2. НКУ КА для нештатного режима

1. НКУ КА для штатного режима

$НКУ\ КА = НКУ1 + НКУ2$

ТТАС - станция телеметрии, траекторных измерений и управления

SNOC - операционный центр спутниковой сети

Методы и технологии управления КА многоспутниковых космических систем

Для обеспечения управления КА многоспутниковых космических систем применимы как метод командно-программного управления, так и метод управления через полетное задание.

К перспективным технологиям управление КА многоспутниковых космических систем, обеспечивающим **снижение загрузки средств НКУ КА**, прежде всего, следует отнести:

- Управление КА с ретрансляцией через СР;
- Управление КА через межспутниковые линии связи КА - КА;
- Управление КА с использованием бортовых средств автономной навигации (астродатчики, НАП ГНСС);
- повышения уровня автономности бортовой аппаратуры КА.



Принципиальным техническим решением **повышения пропускной способности НКУ КА** без увеличения количества наземных станций управления (количества антенн) является использования многолучевых антенн на базе АФАР.

Развитие наземных средств управления КА

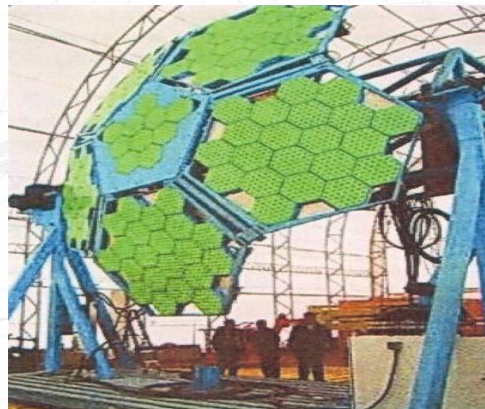
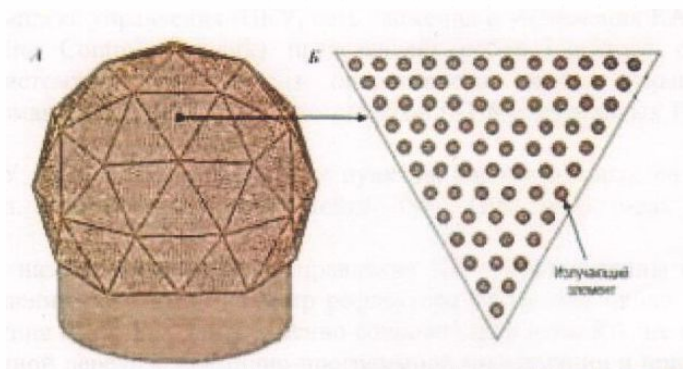
Современные параболические антенны, несмотря на ряд преимуществ, обладают и рядом серьезных недостатков:

- Низкая механическая надежность подвижных узлов и элементов конструкции;
- Низкая эксплуатационная гибкость;
- Высокая стоимость жизненного цикла.

Альтернативой является применение активных фазированных антенных решеток (АФАР) сферической (купольной) формы (КФАР), что обеспечит:

- Повышение оперативности управления КА;
- Повышение производительности технологических операций управления КА;
- Снижение стоимости жизненного цикла.

КФАР обеспечит высокий коэффициент усиления, высокую мгновенную ширину полосы частот, низкий уровень ошибок и поляризационных помех.



Перспективы использования созвездий малых космических аппаратов, «связанных друг с другом различными взаимно пересекающимися способами и средствами», объединенных решением единых целевых задач в космосе и из космоса, представляющих собой многоспутниковые космические системы требуют исследований и реализации.

Спасибо за Ваше внимание!