



Технологии управления космическим аппаратом «Буран» и их последующее использование в Наземном автоматизированном комплексе управления

**Профессор кафедры Космических радиотехнических систем
Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского
доктор технических наук профессор Мальцев Г.Н.**



Полет космического аппарата «Буран»



В 2018 году исполнилось 30 лет со дня полета космического аппарата «Буран»

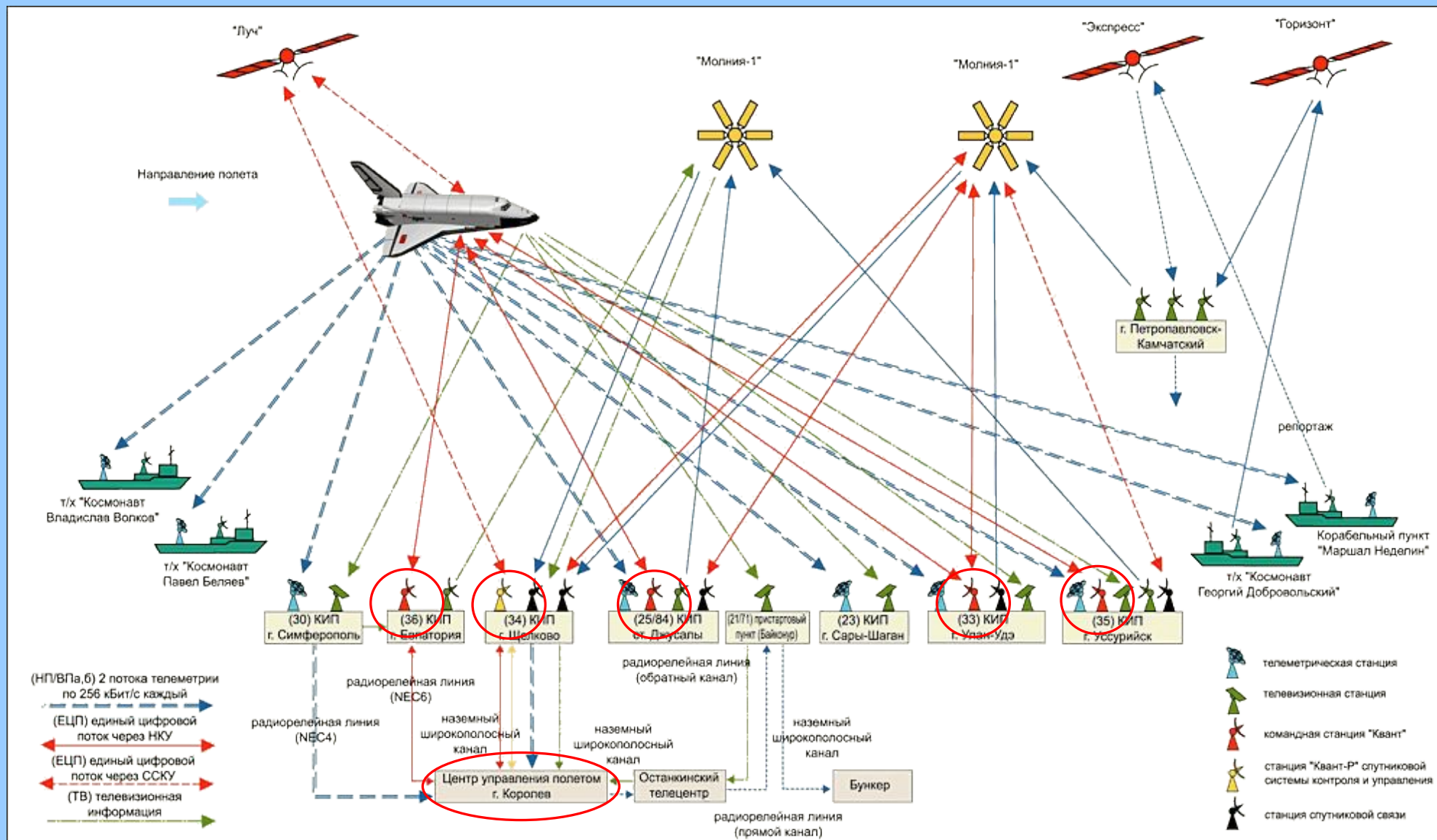
Первый и единственный орбитальный полёт космический аппарат «Буран» совершил **15 ноября 1988 года** в автоматическом режиме без экипажа на борту.



При создании многофазовой космической системы «Энергия-Буран» был использован целый ряд новых технических решений, в том числе, в части технологий радиоуправления КА «Буран» в орбитальном полете.



Наземный комплекс управления КА «Буран»





При создании многоразовой космической системы «Энергия-Буран» был разработан и успешно реализован ряд новых технологий радиуправления КА «Буран» в орбитальном полете средствами наземного комплекса управления, до этого не использовавшихся в отечественной космонавтике.



Новые технологии радиуправления КА «Буран» в орбитальном полете:

- 1. Создание унифицированного ряда средств управления КА.**
- 2. Информационный обмен с КА в форме единого цифрового потока.**
- 3. Транзитный режим передачи информации на КА из Центра управления полетом.**
- 4. Управление КА с ретрансляцией.**
- 5. Управление КА через полетное задание.**



Унифицированный ряд наземных и бортовых средств серии «Квант» для управления КА «Буран»

- Аппаратура Центра управления полетом «Квант-Ц»
- Наземные станции командно-измерительных систем «Квант-П»
- Наземная станция командно-измерительной системы с ретрансляцией «Квант-Р»
- Наземный радиотехнический комплекс «Квант-СП»
- Бортовая аппаратура «Квант-В»



ЦУП ЦНИИМаш



КИС «Квант-П»



КИС «Квант-Р»



Особенности информационного взаимодействия наземных и бортовых средств управления КА «Буран»:

- Информационное взаимодействие всех средств управления КА «Буран» при подготовке и проведении сеансов управления **в реальном масштабе времени.**
- Основная форма информационного взаимодействия средств управления КА «Буран» – передача **единого цифрового потока.**
- Реализация технологий радиоуправления КА «Буран» с широким использованием каналов **спутниковой связи и ретрансляции.**

Использование каналов спутниковой связи и ретрансляции:

- При подготовке и проведении сеансов управления КА «Буран» информационное взаимодействие аппаратуры «Квант-Ц» и наземных станций КИС «Квант-П» осуществлялось по выделенным каналам системы связи и передачи данных НАКУ и с использованием каналов спутниковой связи через **спутники-ретрансляторы «Молния-1».**
- Информационный обмен с КА «Буран» при проведении сеансов управления с ретрансляцией наземной станцией КИС «Квант-Р» осуществлялся по каналу спутниковой ретрансляции через **спутник-ретранслятор «Луч-1» («Альтаир»).**



Режим передачи единого цифрового потока



Единый цифровой поток (ЕЦП) – поток нескольких видов информации, передаваемых в цифровой форме с временным разделением каналов.

Режим передачи единого цифрового потока был реализован в КИС «Квант-П» и «Квант-Р». В режиме передачи единого цифрового потока в его составе передаются все виды управляющих воздействий на КА.

ЕЦП прямого канала:

- Телефонная (ТЛФ) и телеграфная (ТЛГ) связь,
- Командно-программная информация (КПИ),
- Информация межмашинного обмена (ИМО).

ЕЦП обратного канала:

- Телефонная (ТЛФ) и телеграфная (ТЛГ) связь,
- Информация обратного контроля (ИОК),
- Телеметрическая информация (ТМИ),
- Информация межмашинного обмена (ИМО).

В режиме передачи единого цифрового потока в прямом и обратном каналах информационного обмена с КА предусмотрено использование **шести форматов ЕЦП**.



Форматы передачи единого цифрового потока



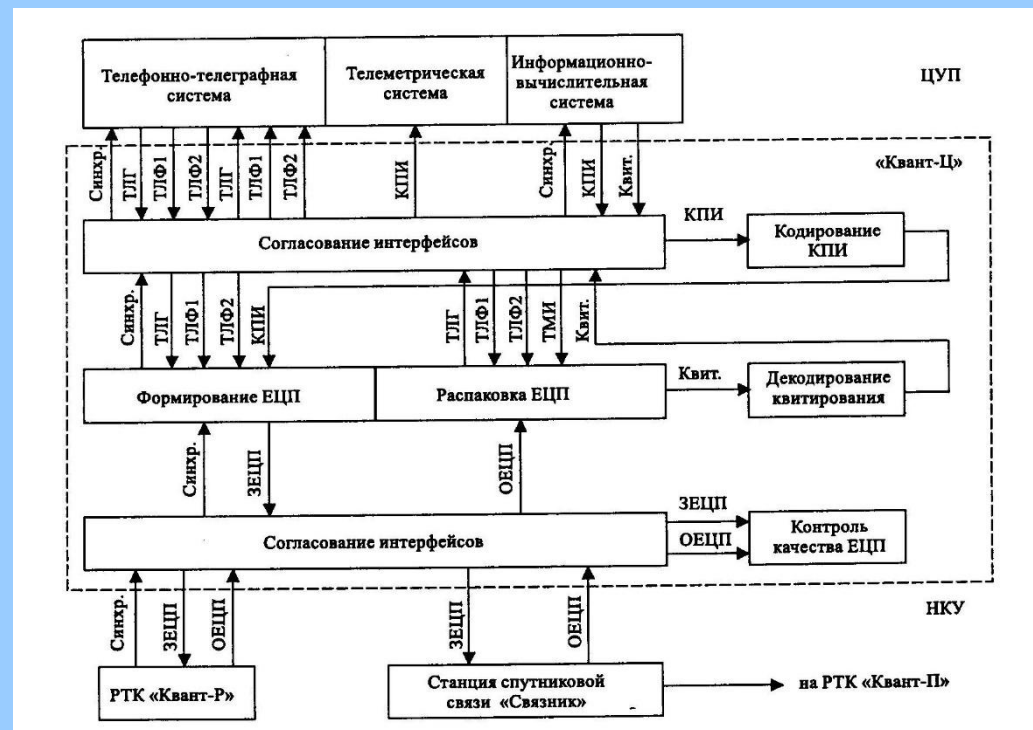
Единый цифровой поток прямого канала

Формат ЕЦП	Скорость передачи информации, кбит/с	Распределение ЕЦП между информационными потоками, кбит/с				
		ТЛФ-1	ТЛФ-2	ТЛГ	КПИ	ИМО
1	32	16	2,4	2,4	8	-
2	128	16	2,4	2,4	8	64
3	128	-	-	-	-	128
4	-	-	-	-	-	-
5	64	16	2,4	2,4	8	32
6	16	-	2,4	2,4	8	-

Единый цифровой поток обратного канала

Формат ЕЦП	Скорость передачи информации, кбит/с	Распределение ЕЦП между информационными потоками, кбит/с						
		ТЛФ-1	ТЛФ-2	ТЛГ	ИОК	ИМО	ТМИ-1	ТМИ-2
1	64	16	2,4	2,4	8	-	32	-
2	256	16	2,4	2,4	8	64	32	128
3	128	-	-	-	-	128	-	-
4	256	-	-	-	-	-	-	256
5	128	16	2,4	2,4	8	32	64	-
6	16	-	2,4	2,4	8	-	-	-

Формирование и разделение единого цифрового потока в аппаратуре «Квант-Ц»

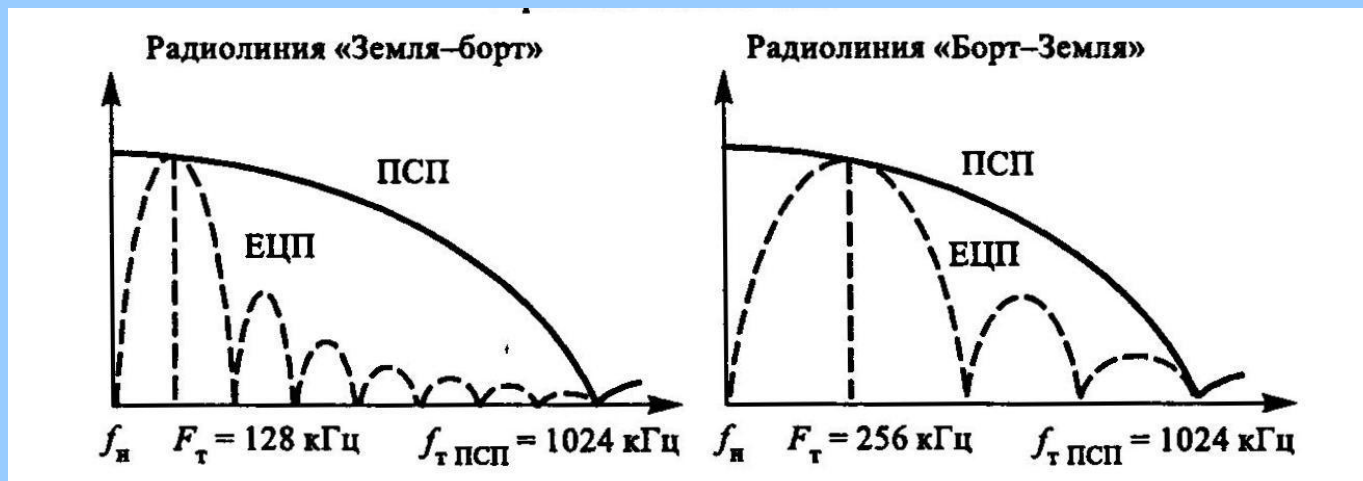




Особенности передачи единого цифрового потока



- В режиме передачи ЕЦП осуществляется обмен **всеми видами информации** между аппаратурой Центра управления полетом «Квант-Ц» и бортовой аппаратурой «Квант-В» через наземные станции командно-измерительных систем «Квант-П» и «Квант-Р» в реальном масштабе времени.
- Структура ЕЦП прямого и обратного каналов информационного обмена с КА унифицирована, в прямом и обратном каналах информационного обмена с КА предусмотрено использование **шести форматов ЕЦП**.
- Режим передачи ЕЦП **объединяет технологии** транзитной передачи сигналов управления КА из Центра управления полетом, управления КА с ретрансляцией и управления КА через полетное задание.
- ЕЦП передается по радиоканалам информационного обмена с КА с использованием **сигналов с расширением спектра** на основе псевдослучайных последовательностей.



Спектры совмещенных радиосигналов с расширением спектра при передаче ЕЦП

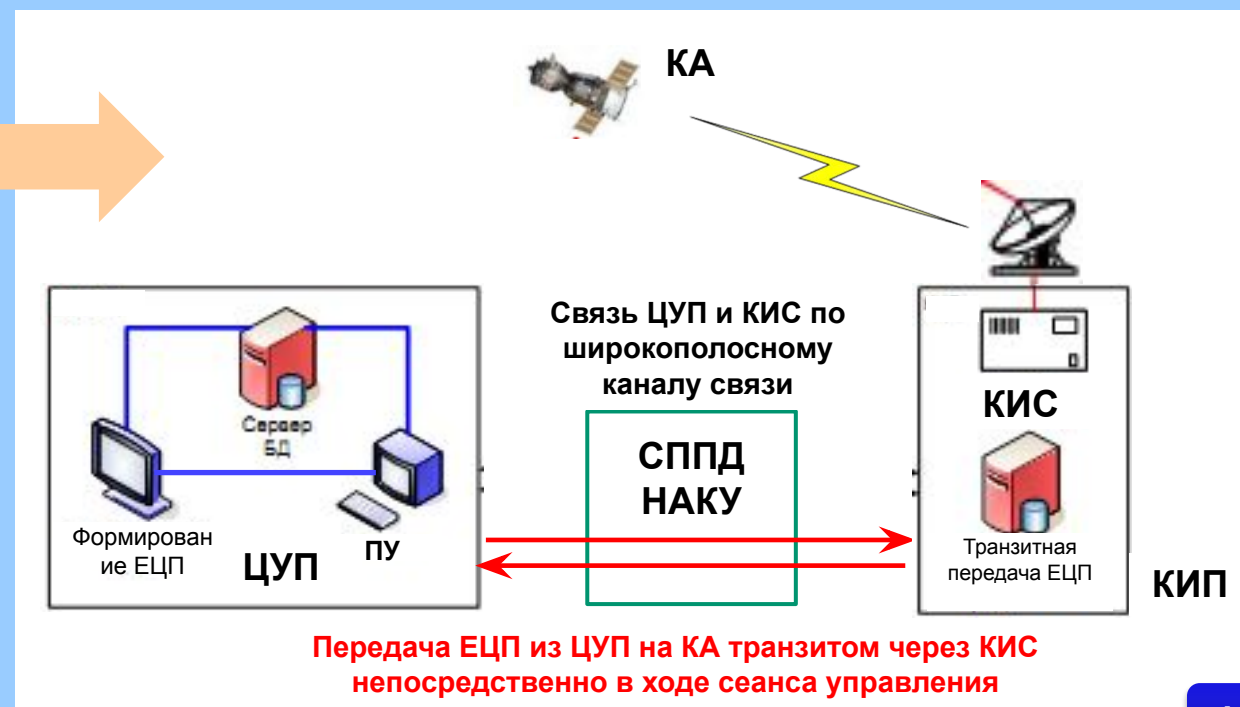
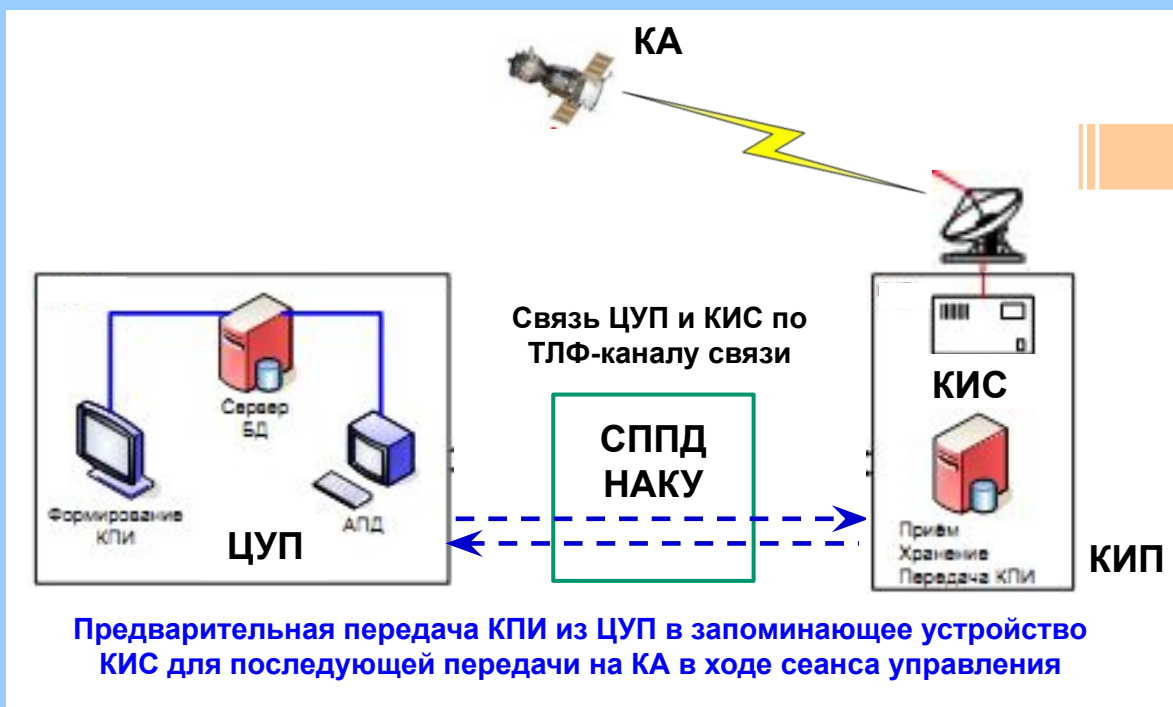


Транзитный режим передачи информации на КА



Транзитный режим передачи информации на КА из Центра управления полетом через КИС – передача командно-программной информации и информации межмашинного обмена на КА в реальном масштабе времени

Переход от режима передачи информации на КА с предварительной записью на командно-измерительном пункте к транзитному режиму передачи информации на КА из Центра управления полетом





Передача информации на КА с предварительной записью на командно-измерительном пункте

- КИС работает в режиме терминала,
- Ограничена возможность передачи на КА командно-программной информации, не предусмотренной программой сеанса управления,
- невозможно оперативное изменение программы сеанса управления,
- менее напряженный режим работы для персонала ЦУП, более напряженный – для персонала КИС,
- связь ЦУП и КИС может осуществляться по узкополосному ТЛФ-каналу связи, не требуется поддержание в ходе сеанса управления КА широкополосного канала связи между ЦУП и КИС.

Транзитная передача информации на КА из Центра управления полетом

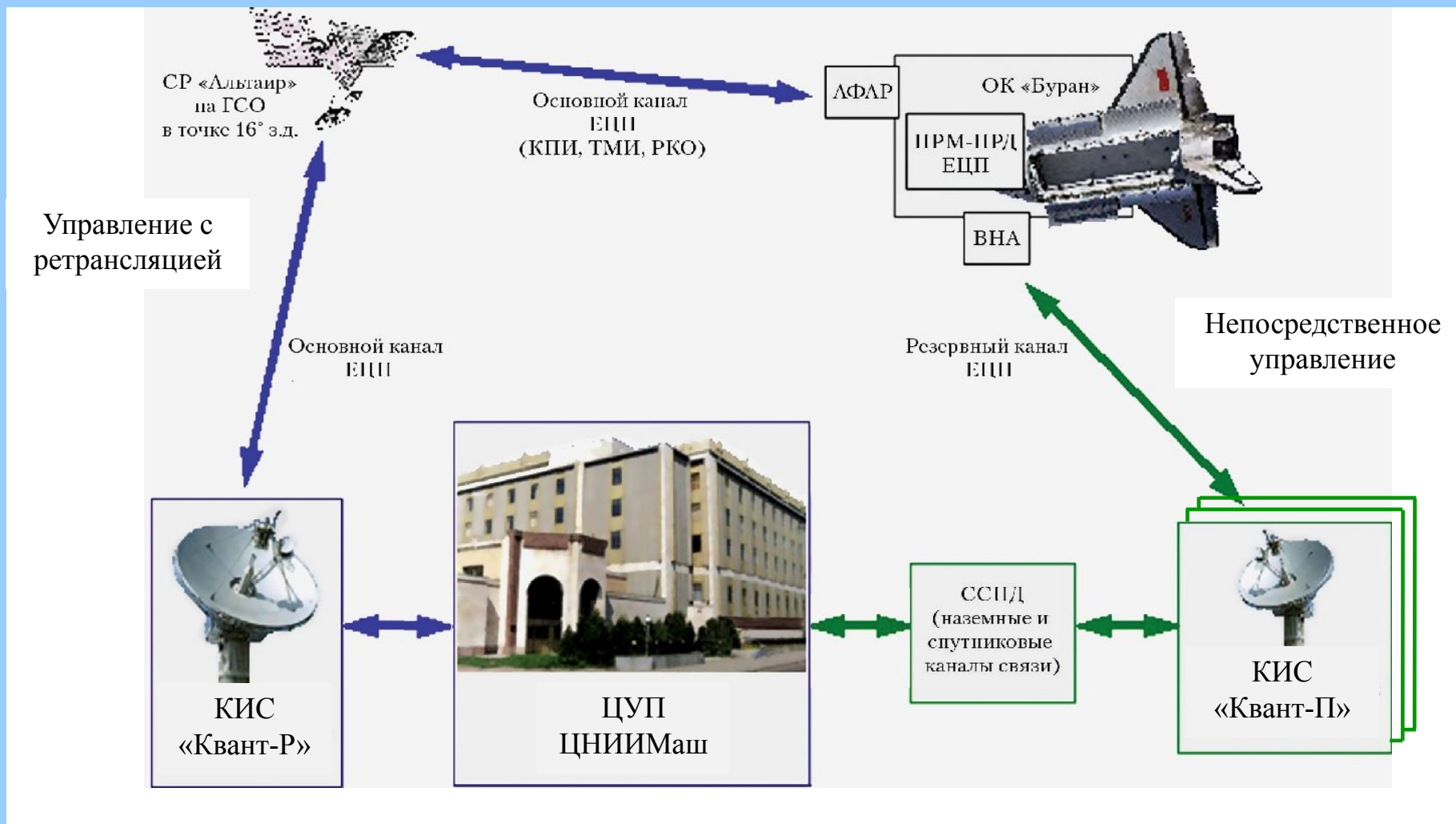
- КИС работает в режиме шлюза,
- нет ограничений по передаче командно-программной информации на КА в ходе сеанса управления,
- возможно оперативное изменение программы сеанса управления,
- менее напряженный режим работы для персонала КИС, более напряженный – для персонала ЦУП,
- требуется широкополосный канал связи между ЦУП и КИС и его поддержание в ходе сеанса управления КА.



Управление КА «Буран» с ретрансляцией



Схема управления КА «Буран» с передачей ЕЦП с ретрансляцией через геостационарный спутник-ретранслятор «Луч-1» («Альтаир»)

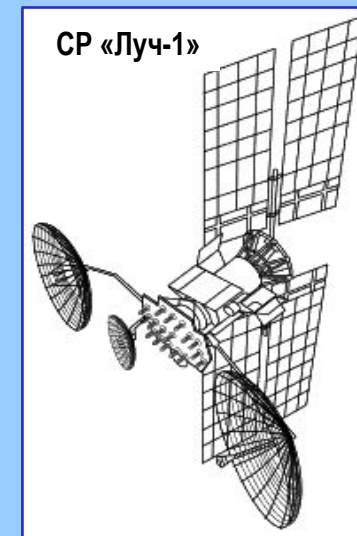




На основе геостационарных спутников-ретрансляторов типа «Луч-1» («Альтаир») была развернута отечественная **Глобальная космическая командно-ретрансляционная система (ГККРС)** – командно-ретрансляционная система первого поколения.

Всего было создано 6 спутников-ретрансляторов типа «Луч-1» («Альтаир»), включая 1 модернизированный спутник-ретранслятор типа «Луч-2» («Гелиос»).

Из них на орбиту было выведено 5 спутников-ретрансляторов, что обеспечило функционирование ГККРС в период 1986-1998 гг.



Последний спутник-ретранслятор типа «Луч-1» в Центральном музее связи им. А.С.Попова

Спутники-ретрансляторы типа «Луч-1» положили начало поколению отечественных спутников-ретрансляторов, разработанных в 1980-е годы. Работали в D- и Ku-диапазонах в режиме индивидуального доступа, были оснащены перенацеливаемыми крупногабаритными бортовыми антеннами, двигателями коррекции орбиты и бортовыми ЭВМ.

Масса спутника-ретранслятора – 2,4 т.



Особенности управления КА с ретрансляцией



- Глобальность и оперативность – основные достоинства управления КА с ретрансляцией. Управление КА с ретрансляцией позволяет существенно повысить глобальность и оперативность управления КА, вплоть до возможности оперативного управления КА **в любой точке орбиты в любой момент времени.**
- При использовании управления с ретрансляцией имеется возможность **оптимального планирования сеансов управления КА**, так как отсутствуют ограничения планов, связанные с нахождением КА вне зон радиовидимости командно-измерительных пунктов НАКУ.
- При управлении КА с ретрансляцией может быть без ущерба для качества решения задач управления орбитальной группировкой КА осуществлен переход **от многопунктной к малопунктной структуре** НКУ и увеличен коэффициент использования средств НАКУ.
- Для управления КА с ретрансляцией необходимо развертывание космических командно-ретрансляционных систем или использование спутников-ретрансляторов (СР) со специальными стволами ретрансляции, при этом возможны два варианта реализации управления КА с ретрансляцией – через высокоорбитальные и низкоорбитальные СР.
- Режим управления КА с ретрансляцией может использоваться при решении **оперативных задач управления КА**, в остальных случаях используется непосредственное управление КА при их прохождении в зонах радиовидимости командно-измерительных пунктов НАКУ.



Сравнительная характеристика методов радиопередачи КА



**Традиционный
метод
радиопередачи
КА**

**Методы
радиопередачи КА**

**Метод радиопередачи
КА, впервые
разработанный для КА
«Буран»**

**Командно-программное
управление**

**Управление через
полетное задание**

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 бортовом комплексе
управления с передачей на КА по
радиоканалу начальных условий или
программного обеспечения

**Для КА «Буран» предусматривалась возможность использования как
командно-программного управления, так и управления через полетное задание.**

**Для реализации управления через полетное задание на КА в составе ЕЦП передается
информация межмашинного обмена (ИМО) для обновления программного обеспечения
бортового комплекса управления КА.**



Особенности управления КА через полетное задание



- Управление через полетное задание возможно только для КА, **оснащенных развитыми бортовыми ЭВМ**, допускающими в ходе полета КА перепрограммирование или обновление программного обеспечения.
- Управление через полетное задание осуществляется в форме информационного обмена с КА **информацией межмашинного обмена** – массивами цифровых кодов программного обеспечения, которые передаются из наземной ЭВМ Центра управления полетом в бортовую ЭВМ и обратно (для сверки и контроля записи программного обеспечения в память бортовой ЭВМ).
- По объемам передаваемой на КА информации режим управления КА через полетное задание значительно превосходит режим командно-программного управления КА.
- Передача информации межмашинного обмена на КА и с КА предусматривается только в транзитном режиме, для этого при передаче информации межмашинного обмена между Центром управления полетом и командно-измерительной системой поддерживается **выделенный широкополосный канал связи** системы связи и передачи данных НАКУ.
- Режим управления КА через полетное задание может использоваться **несколько раз** за весь срок активного существования КА, в течение остального времени полета КА используется командно-программное управление.



Технологии, разработанные для управления КА «Буран», в последующем использовались в Наземном автоматизированном комплексе управления, в основном, при управлении долговременной орбитальной станцией (ДОС) «Мир» и российским сегментом Международной космической станции (МКС).

В КИС «Квант-П» (находится в эксплуатации до настоящего времени) и «Квант-Р» (находилась в эксплуатации до 1998 года) использовались:

- информационный обмен с КА в форме единого цифрового потока,**
- транзитный режим передачи сигналов управления КА из Центра управления полетом,**
- управление КА с ретрансляцией (в период функционирования ГКРС),**
- управление КА через полетное задание.**

В других КИС при управлении некоторыми типами автоматических КА различного назначения предусматривалось:

- управление КА с ретрансляцией (в период функционирования ГКРС),**
- управление КА через полетное задание.**





Технологии управления КА «Буран», разработанные при создании многофазной транспортной космической системы «Энергия-Буран», были чрезвычайно прогрессивны для своего времени и в определенной степени опередили время.

Они имеют много общего с современными стандартизованными технологиями цифровой передачи информации в информационно-телекоммуникационных системах и сетях.

После прекращения работ по программе «Энергия-Буран» эти технологии имели ограниченное использование и являются востребованными в настоящее время при разработке нового поколения наземных и бортовых средств управления КА.



Наиболее важные направления развития технологий управления КА в современных условиях:

- управление КА с ретрансляцией,
- унификация режимов и средств управления КА,
- транзитный режим передачи сигналов управления КА из Центра управления полетом



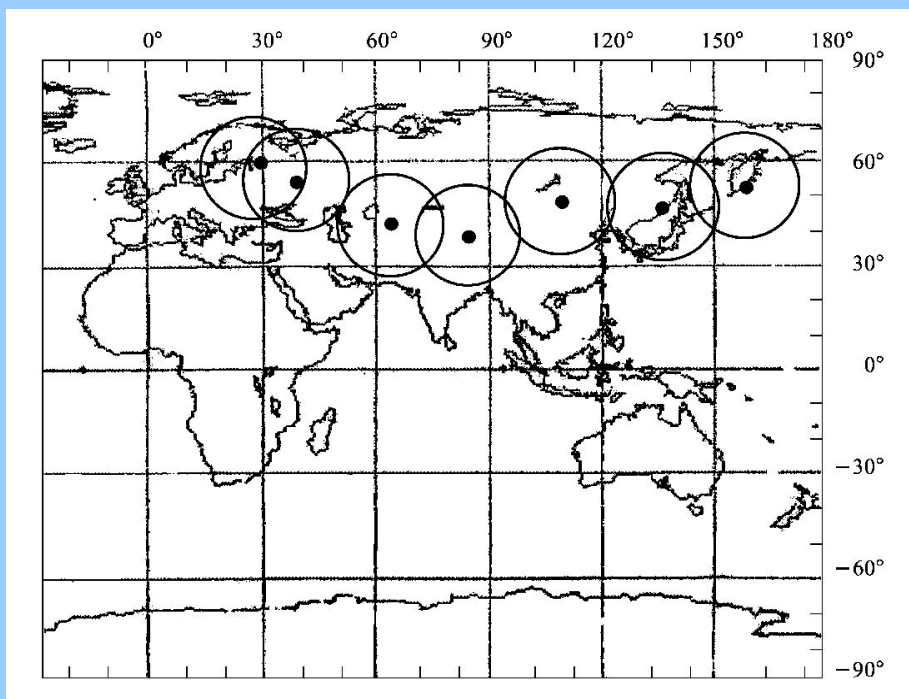
Глобальность управления КА с ретрансляцией



Управление КА с ретрансляцией обеспечивает повышение глобальности и оперативности управления КА

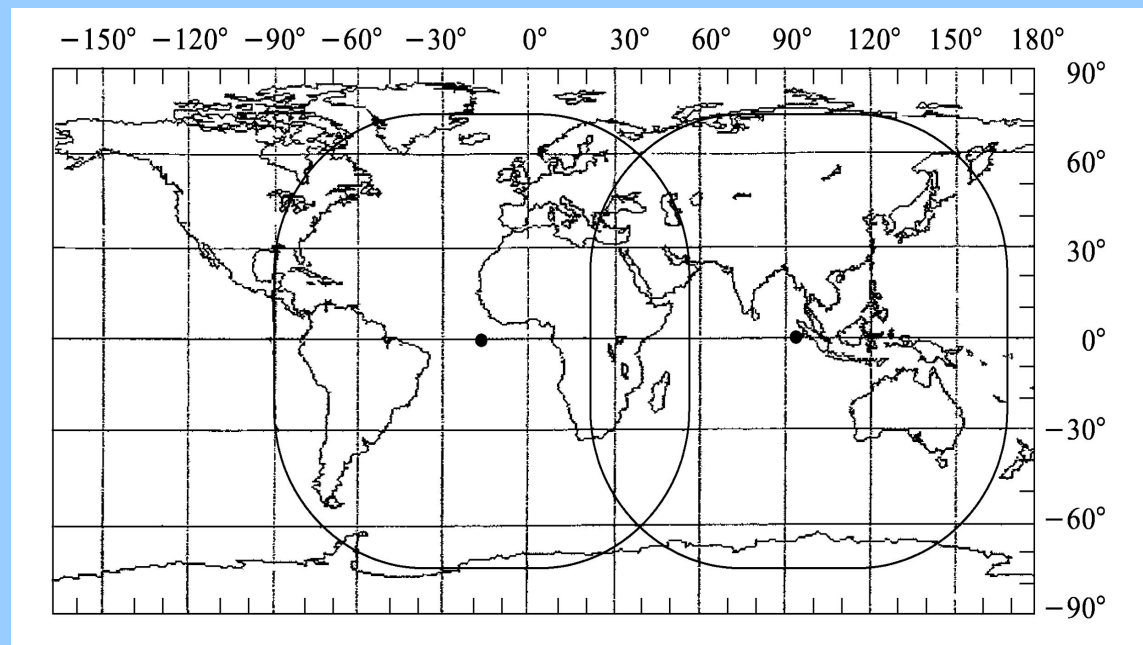
Коэффициент глобальности связи $K_{г}$ – отношение суммарного времени, в течение которого возможен информационный обмен с КА средствами наземного комплекса управления в течение суток, к общей продолжительности суток.

Зоны радиовидимости наземных пунктов



$K_{г}=0,1-0,15$

Зоны радиовидимости геостационарных спутников-ретрансляторов



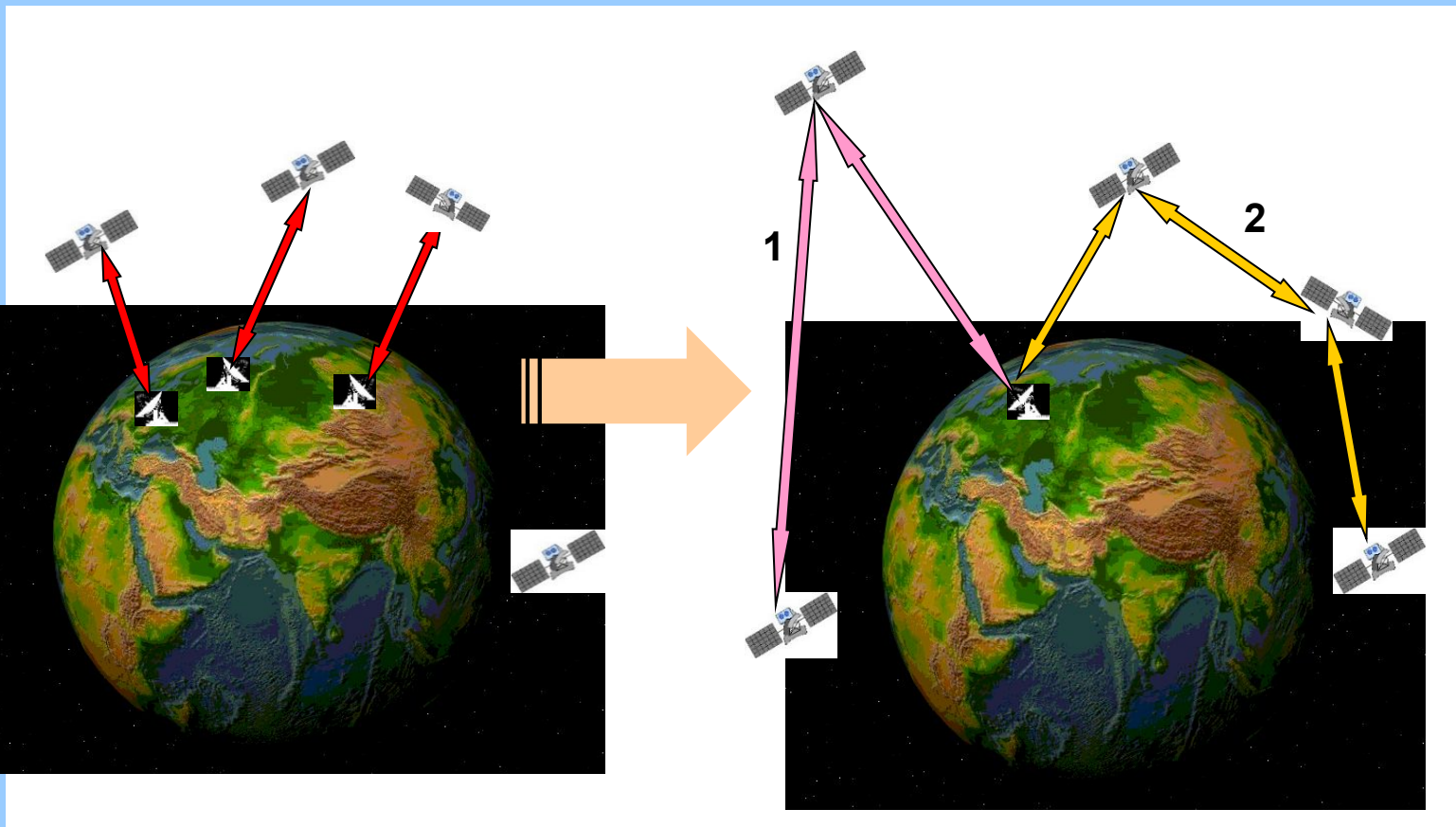
$K_{г}=0,4-1$



Развитие технологии управления КА с ретрансляцией



Управление КА с ретрансляцией обеспечивает возможность перехода от многопунктных к малопунктным наземным комплексам управления КА



Многопунктная технология управления КА без ретрансляции

Малопунктные ретрансляционная и сетевая технологии управления КА

Два варианта реализации информационного обмена с КА с ретрансляцией:

- 1 – по ретрансляционной технологии – информационный обмен с КА осуществляется за счет одной ретрансляции через высокоорбитальный спутник-ретранслятор
- 2 – по сетевой технологии – информационный обмен с КА осуществляется за счет нескольких ретрансляций через низкоорбитальные спутники-ретрансляторы.

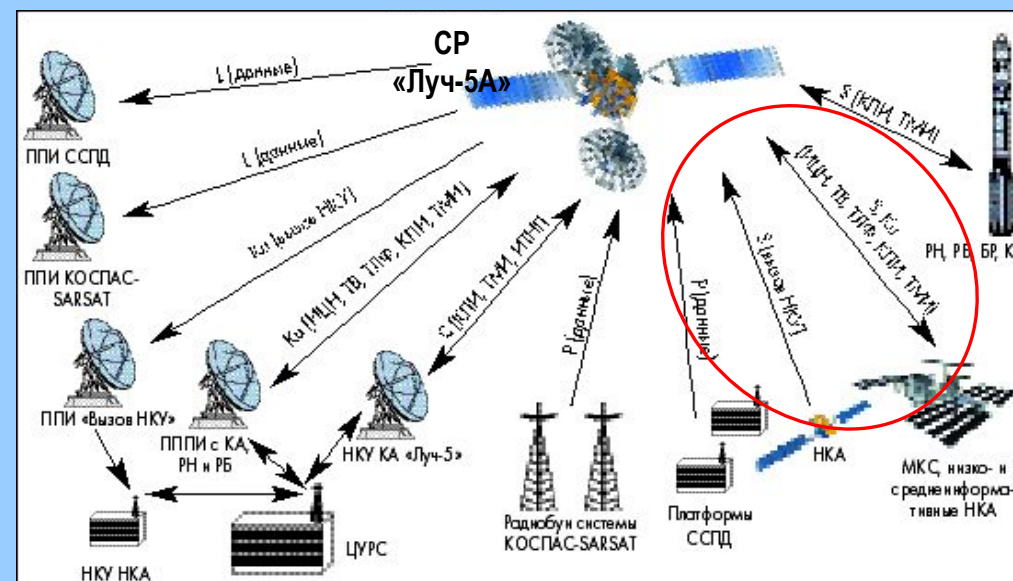
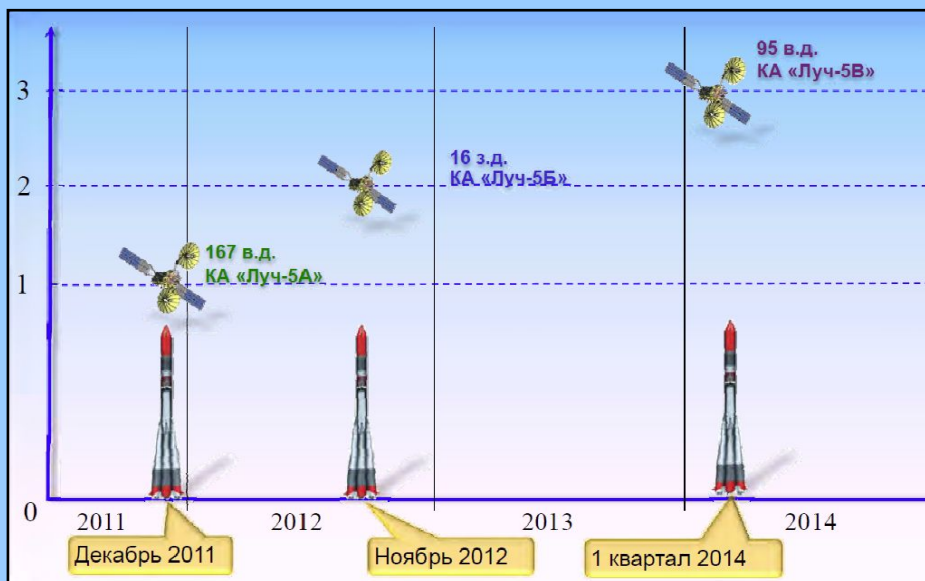
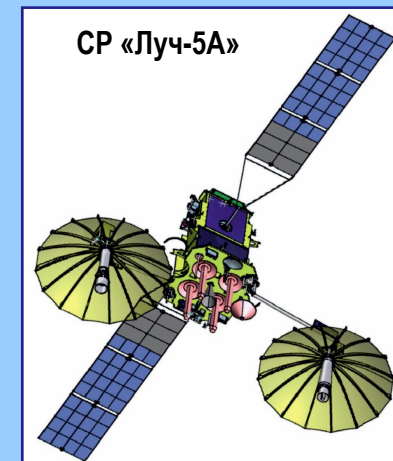


Многоцелевая космическая система ретрансляции



Многоцелевая космическая система ретрансляции (МКСР) – командно-ретрансляционная система второго поколения на основе геостационарных СР типа «Луч-5» развернута в 2011-2014 гг.

Спутники-ретрансляторы типа «Луч-5» - новое поколение отечественных спутников-ретрансляторов, разработанных в 2000-е годы. Работают в S- и Ku-диапазонах в режимах индивидуального и множественного доступа. Оснащены перенацеливаемыми крупногабаритными бортовыми антеннами, двигателями коррекции орбиты и бортовыми ЭВМ. Созданы с использованием современных конструкционных материалов. Масса спутника-ретранслятора – 1 т.





Перспективная низкоорбитальная система ретрансляции



Низкоорбитальная космическая командно-ретрансляционная система может быть построена на основе специализированных низкоорбитальных СР и/или на основе низкоорбитальных КА различного назначения, оснащенных бортовой ретрансляционной аппаратурой

Комбинированный вариант низкоорбитальной системы ретрансляции с использованием 6 специализированных низкоорбитальных СР и 6-12 низкоорбитальных КА различного назначения, оснащенных бортовой ретрансляционной аппаратурой





Факторы, определяющие роль унификации средств управления КА:

- унификация и стандартизация – **общепризнанное современное направление** развития информационно-телекоммуникационных систем, их элементной базы и информационных технологий,
- унификация – **условие реализации системного подхода** к проектированию, производству и эксплуатации средств управления КА, снижения рисков, препятствующих развитию средств НАКУ,
- унификация средств управления КА **позволяет снизить расходы** на их разработку и эксплуатацию при обеспечении высоких технических и эксплуатационных характеристик,
- унификация **должна охватывать все уровни разработки и применения** средств управления КА – от уровня системных и технических решений до уровня информационных технологий.

Унификация средств НАКУ позволяет:

- с одной стороны**, обеспечить требуемые технические характеристики средств управления КА и повысить надежность решения задач управления всей орбитальной группировкой КА,
- с другой стороны**, снизить эксплуатационные расходы при применении средств НАКУ.



Основные направления унификации средств НАКУ



- Разработка унифицированных протоколов управления и информационного обмена с КА
- Создание единых унифицированных Центров управления полетами КА космических систем (комплексов) ВДН на базе унифицированных аппаратно-программных решений
- Переход на унифицированную структуру ОКИК и ОИП в составе НАКУ и ИКК.
- Принятие на вооружение унифицированной КИС для управления КА ВДН.



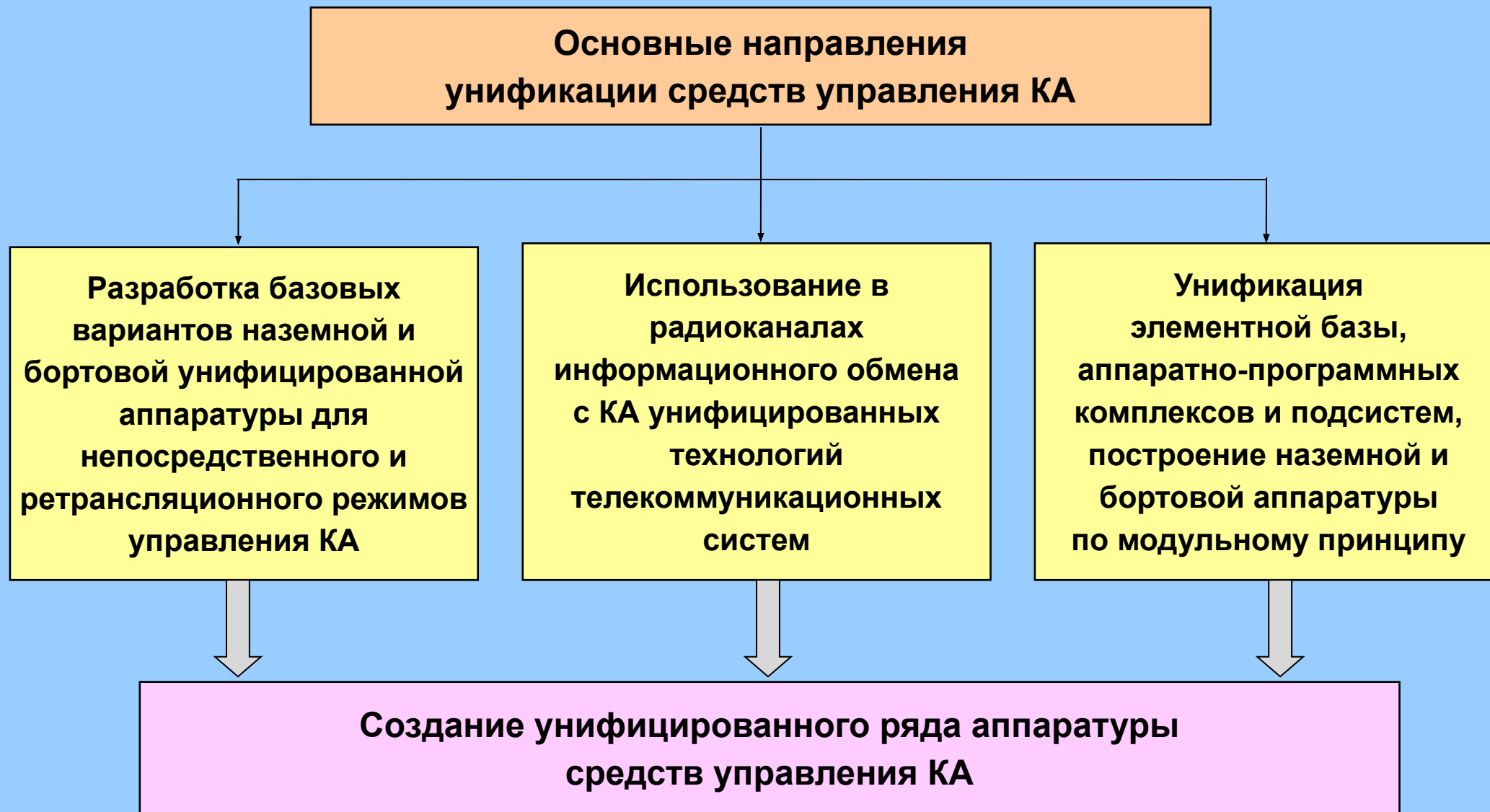
Проектный облик ОКИК
унифицированной структуры



Проектный облик ПИП Углегорск
космодрома Восточный



Основные направления унификации средств управления КА





Концепция создания и развития на долевой основе Единого Государственного наземного автоматизированного комплекса управления КА и измерений (срок реализации 2000-2010 г.г.)

Основное направление развития КИС

Создание перспективной унифицированной КИС массового обслуживания КА на околоземных орбитах с использованием космической командно-ретрансляционной системы

Требования к перспективной КИС

- унификация и сокращение номенклатуры;
- наличие режима управления с ретрансляцией и обеспечение требуемой оперативности управления КА;
- снижение массогабаритных характеристик наземной и бортовой аппаратуры;
- совершенствование эксплуатационных характеристик;
- обеспечение требуемой устойчивости при управлении КА ВДН.

ОКР по созданию унифицированной КИС для управления КА ВДН не завершена



Вариант унифицированного ряда аппаратуры КИС



Унифицированный ряд аппаратуры КИС должен включать:

- ❑ 2-3 модификации бортовой аппаратуры КИС, отличающиеся функциональными возможностями и блоками сопряжения с бортовыми системами



- ❑ 2-3 модификации наземных станций КИС, отличающиеся функциональными возможностями и дальностью действия

- ❑ полнофункциональную контрольно-проверочную аппаратуру КИС для проведения комплекса проверок и испытаний всех модификаций бортовой аппаратуры КИС





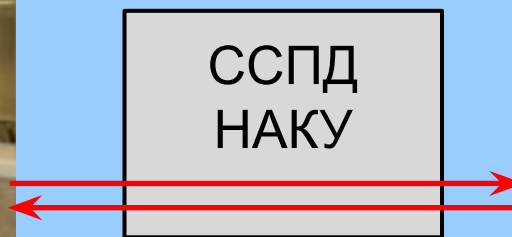
Транзитная передача сигналов управления КА из ЦУП



Транзитный режим передачи сигналов управления КА из ЦУП находит свое развитие в сочетании с применением **необслуживаемых наземных станций КИС**



Центр управления полетом КА



Выделенная линия связи



Необслуживаемая наземная станция КИС

Состав аппаратуры необслуживаемой наземной станции КИС

ВЧ-часть:

- Антенна с системой наведения и фидерный тракт
- Выходные усилители мощности
- Входные малошумящие усилители
- Тест-транслятор

НЧ-часть:

- Аппаратура функциональных каналов передачи КПИ, измерения ТНП и приема ТМИ
- Эталонный генератор
- Система управления и контроля
- Оборудование для подключения к ССПД



Перспективные унифицированные КИС НАКУ

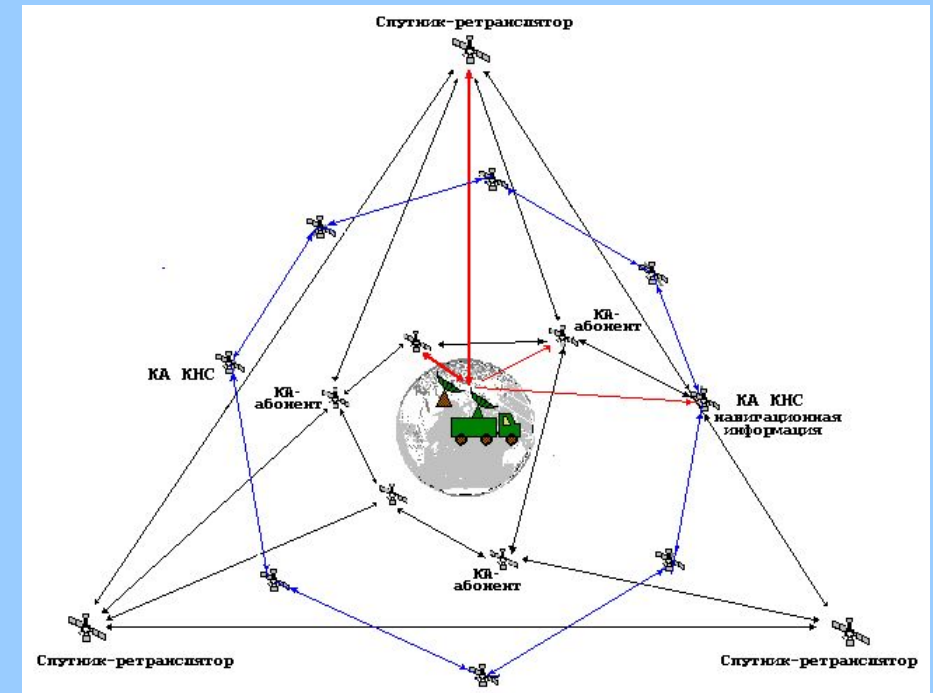


Перспективные базовые унифицированные КИС НАКУ:

- **УКИС** (унифицированная КИС) в стационарном и мобильном исполнении для применения в составе НКУ низкоорбитальными и высокоорбитальными КА ВДН.
- **СУИ** (система управления и измерений) для применения в составе НКУ Глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС.
- **КИС «Клен»** для применения в составе НКУ низкоорбитальными и высокоорбитальными КА НСЭН, в том числе пилотируемых и транспортных КА и долговременных орбитальных станций.

Для УКИС и КИС «Клен» предусматриваются транзитный режим передачи информации на КА и модификации с реализацией ретрансляционной технологии управления низкоорбитальными КА через СР МКСР.

Технологии управления КА в унифицированной КИС



Реализация в унифицированной КИС технологий управления КА при их прохождении в зоне радиовидимости и с ретрансляцией через высокоорбитальные и низкоорбитальные СР



Благодарю за внимание!