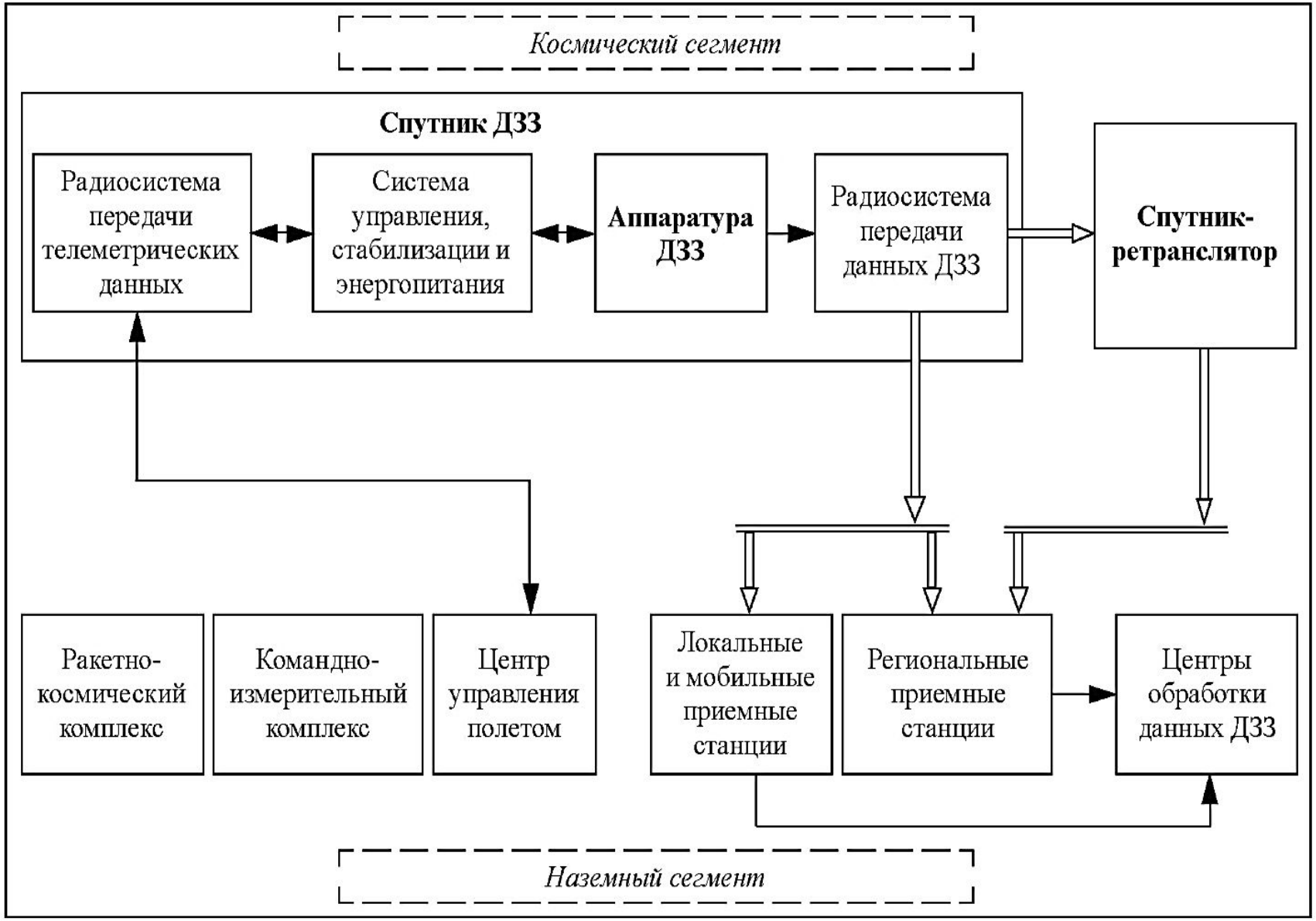
Кафедра 611Б «Системный анализ и проектирование космических систем»

Структура космической системы дистанционного зондирования Земли



Назначение: сбор, обработка, архивация и предоставление пользователям информации об объектах, явлениях и процессах на земной поверхности, в атмосфере и околоземном пространстве.

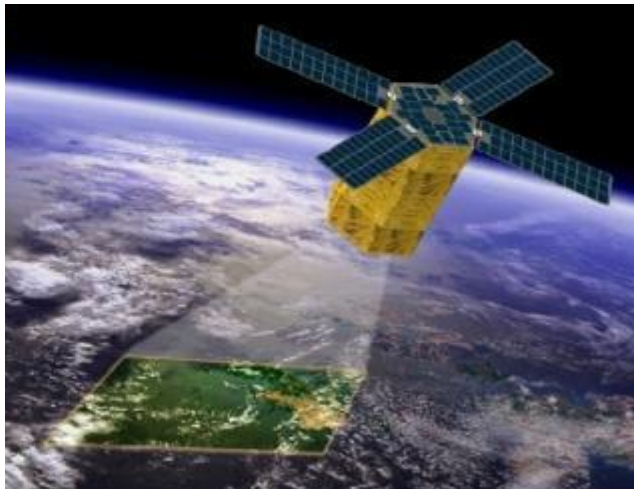
Космический сегмент:
- носители съемочной аппаратуры - космические аппараты (КА), запущенные на специальные орбиты;
- бортовая съемочная аппаратура - «сенсоры», регистрирующие в том или ином виде отраженное или собственное электромагнитное излучение изучаемых объектов;
- бортовые средства передачи данных на Землю по радиоканалу;
- спутники-ретрансляторы.

Наземный сегмент:
- средства выведения КА на орбиту (ракетно-космический комплекс);
- средства управления полетом КА (центры управления полетом, наземные станции командно-измерительной системы, системы связи и передачи телеметрической информации);
- комплекс приема спутниковой информации, включающий распределенную сеть региональных, локальных и мобильных приемных станций;
- комплекс обработки данных ДЗЗ и

Требования к космической системе дистанционного зондирования Земли

1.Требования по наблюдению заданного района (объекта).

От КС ДЗЗ требуется, чтобы она наблюдала заданный район земной поверхности или заданные объекты на Земле. Объекты наблюдения задаются их географическими координатами (широта ϕ_{PH} и долгота λ_{PH}). Границы наблюдаемого района также характеризуются географическими координатами. Для задач метеорологии таким районом может быть весь земной шар, для сельского хозяйства—территория страны, для океанологии—акватория мирового океана в диапазоне широт ϕ_{PH}= ±85° и т.д. Координаты объектов и границы района наблюдения учитываются при выборе параметров орбит КА, определяющих его трассу.

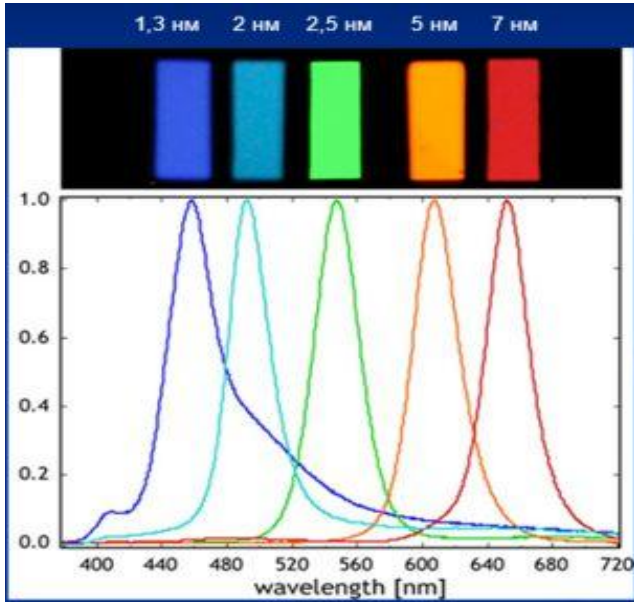


2.Требования к спектральным характеристикам аппаратуры наблюдения.

Наблюдаемые из космоса объекты чрезвычайно многообразны, однако можно выделить общие их спектральные характеристики, имеющие принципиальное значение при синтезе КС ДЗЗ.

Наблюдения объектов из космоса проводятся в следующих диапазонах длин волн λ электромагнитного спектра:

визуальные наблюдения ...0.40—0,64 мкм;
однозональное и многозональное фотографирование 0,4—0,92 мкм;
телевизионные наблюдения ... 0,45—0.75 мкм,
инфракрасная съемка ... 0,72—14,0 мкм;
многоспектральная съемка ... 0.,3—14,0 мкм;
спектрографирование ..0,4—0,7 мкм;
микроволновая съемка ...0,5—30,0 см.



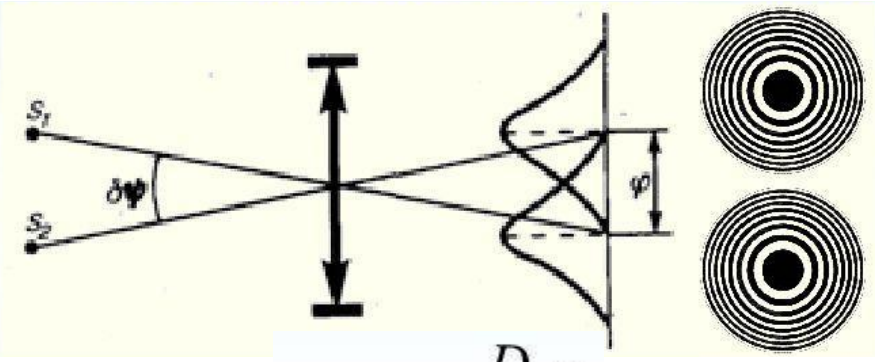
Наблюдения в видимом диапазоне λ= 0,4...0,75 мкм позволяют получать наиболее качественную информацию из-за большой разрешающей способности аппаратуры в этом диапазоне. Особенно высока достоверность информации при многозональной съемке. Многоспектральная съемка еще более эффективна, чем многозональное фотографирование, так как одновременные изображения получаются не только в видимом, но и инфракрасном диапазоне.

Особый вид информации представляют собой спектральные отражательные характеристики объектов, которые определяются при спектрографировании.

Требования к космической системе дистанционного зондирования Земли

3. Требования к пространственной разрешающей способности.

Размеры объектов наблюдения определяют потребную пространственную разрешающую способность *R*. При изучении объекта по изображению различают пространственную разрешающую способность, необходимую для обнаружения объекта R_{map} и для идентификации объекта R_{im}. Обычно R_{im}/R_{map}≈0,3...0,7. Разрешающая способность *R* существенно влияет на выбор параметров сенсоров и КС ДЗЗ. Наибольшее разрешение может быть достигнуто с помощью многозональных фотосистем (10—50 м), несколько меньшее — с использованием телевизионной аппаратуры. При этом наблюдение в видимом диапазоне позволяет получать в 3—4 раза лучшее разрешение, чем в ИК-диапазоне. Самой низкой разрешающей способностью обладают микроволновые радиометры, имеющие, однако, уникальную способность наблюдать сквозь облачный покров.



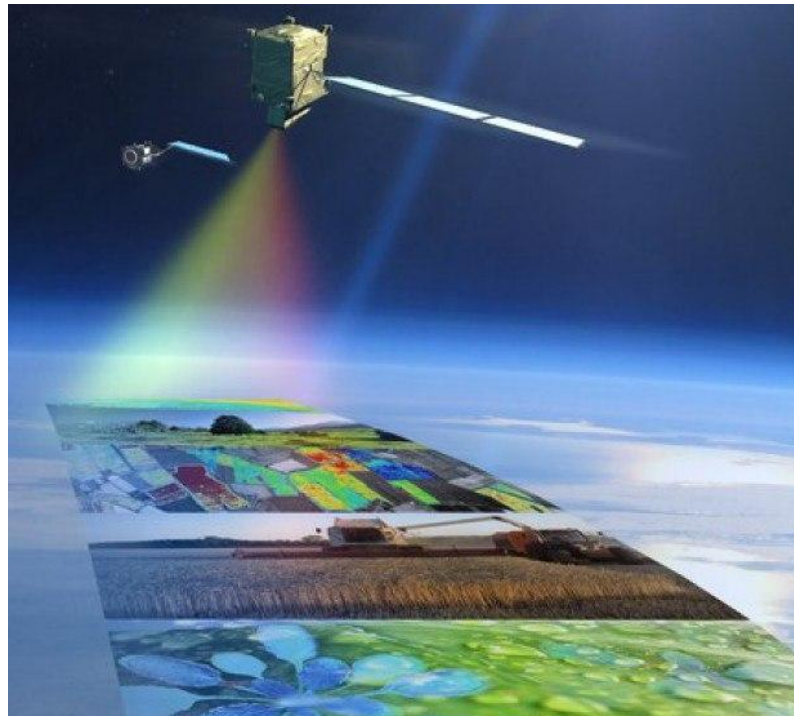
$$A = 1{,}22\frac{D_{об}}{\lambda}$$

4.Требования к обзорности изображения.

Обзорность космического изображения — наиболее важный параметр космической съемки, так как реализует ее основное преимущество — территориальную интеграцию. Основной характеристикой обзорности является площадь снимаемого участка $S_{об}$.

По обзорности космическую информацию можно разделить на четыре группы:

1) глобальные съемки обзорностью 10^7-10^8 км**²**, дающие изображение всего или почти всего видимого диска Земли;
2) региональные съемки обзорностью 10^6-10^7 км^2, дающие изображение крупных географических областей и стран;
3) локальные съемки обзорностью 10^5-10^6км^2, дающие изображения отдельных районов;



Требования к космической системе дистанционного зондирования Земли

5.Требования к периодичности и внешним условиям наблюдения.

Периодичность наблюдения — это интервал времени $t_{пер}$ между последовательными наблюдениями одного и того же района или объекта. Различают суточные, сезонные и годовые условия наблюдения.

Суточные условия, в основном, зависят от высоты Солнца над местным горизонтом (она определяет освещенность местности, строение светотеневой и тепловой структуры, развитие местных метеорологических процессов) и метеорологической обстановки.

Они определяют требования ко времени наблюдения в течение суток в зависимости от задач наблюдения. Существенную роль может играть угол Солнца относительно оптической оси АН θ_C из-за возможной засветки объектива. Обычно этот угол должен удовлетворять ограничению $\theta_C \geq \theta_c$, где θ_c зависит от конструкции объектива.

Различают пять групп периодичности съемки земной поверхности:

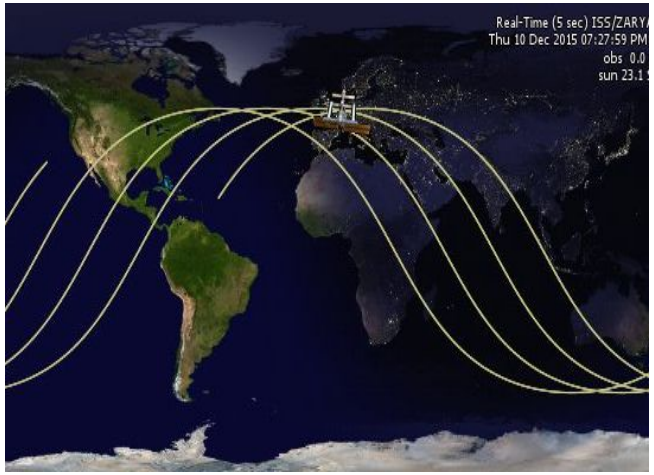
квазинепрерывные (метеонаблюдения, измерение некоторых характеристик океана, наблюдение стихийных бедствий);

ежедневные (метеонаблюдения, наблюдения за вулканами, пожарами лесов, загрязнением атмосферы, развитием пыльных бурь, волнением моря и т.д.);

один раз в 1—2 недели (изучение природных ресурсов, наблюдение за снежным покровом, ледниками, морскими течениями и т. п.);

один раз в месяц или несколько месяцев (изучение эрозионных процессов, землепользования, транспортной системы и т.п.);

детальные съемки один раз в несколько лет (среднемасштабное картирование геологических строений, обновление топографических карт и другие задачи).



$\Delta\lambda = -T^* \omega$, $\omega = 7{,}292\ 10^{-5}\ c^{-1}$.

6.Требования к качеству информации.

Качество специальной информации, поступающей потребителю, зависит от следующих факторов:

характеристики сенсоров (спектральные характеристики, светочувствительность, разрешающая способность и др.);

условия наблюдения (уровень освещенности, облачность, состояние атмосферы, светотеневая структура района наблюдения, высота Солнца над местностью);

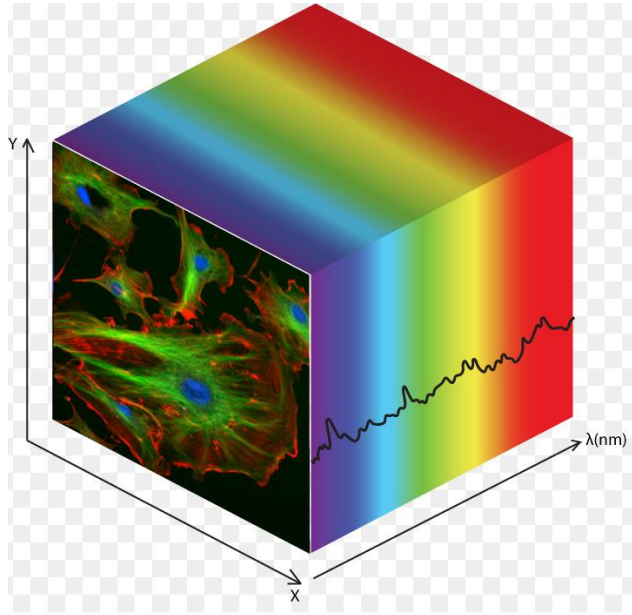
случайные возмущения орбитальной структуры сети КА (уход КА от расчетной орбиты, отказы КА из-за недостаточной надежности бортовых систем или израсходования рабочего тела в СК и СО);

случайные нарушения технологического процесса в АИС (при обработке, накоплении, передаче, сборе, дешифровании и интерпретации информации из-за отказов и сбоев в бортовых и наземных системах, помех в радиоканалах, алгоритмических и программных ошибок и т.п.).

Требования к космической системе дистанционного зондирования Земли

7. Требования к количеству достоверной информации. Количество достоверной информации, получаемой потребителем может оцениваться площадью сфотографированной земной поверхности, числом кадров изображений и т.д. Требование к количеству достоверной информации может задаваться либо в форме ограничения снизу, либо в форме требования максимума.

С учетом стохастического характера процесса наблюдений полноту и качество информации следует оценивать статистическими характеристиками, например, вероятностью получения полной и достоверной информации. Эта вероятность должна быть либо не ниже заданной, либо максимально возможной, т. е. требование к полноте и достоверности информации должно быть отнесено к требованиям эффективности КС ДЗЗ.



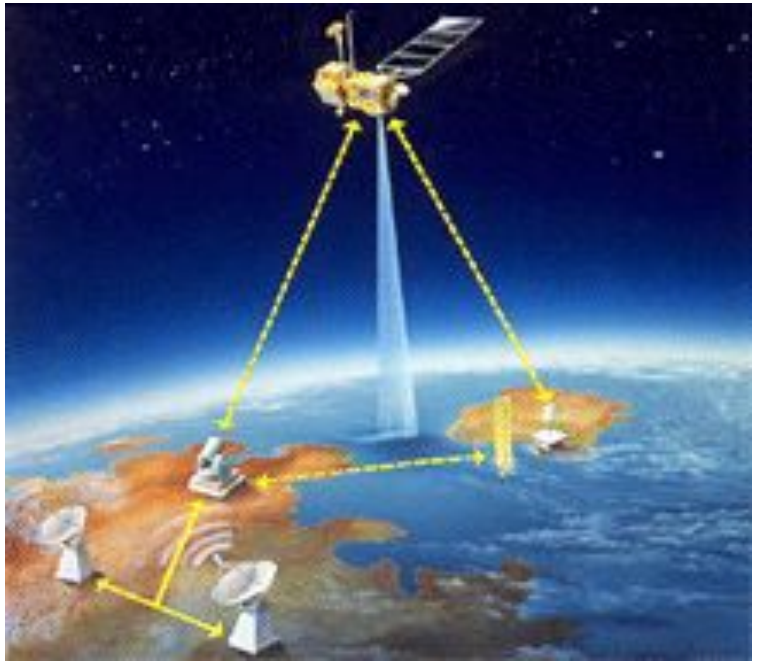
8.Требование к оперативности КСН.

Под оперативностью КС ДЗЗ понимают интервал времени от момента начала наблюдения за районом (объектом) до момента поступления полученной информации потребителю.

Очень часто происходит смещение понятий «периодичность наблюдения» и «оперативность передачи (доставки) информации системой». Система с высокой периодичностью не обязательно должна иметь высокую оперативность, и наоборот.

Например, изучение таких процессов, как интенсивное таяние льда в горах весной или извержение вулкана, должно проводиться при очень высокой периодичности наблюдения, близкой к непрерывному, в то время как доставка этой информации потребителю может быть осуществлена практически в любое планируемое время, т. е. $\tau_{оп} >> t_{пер}$. Для высокооперативных систем, как правило, выполняется условие $\tau_{оп} << t_{пер}$.. Для квазинепрерывных систем может иметь место другой крайний случай: $\tau_{оп} >> t_{пер}$., так как $t_{пер}. \approx 0$.

Выполнение требований по оперативности зависит от относительного положения КА и ППИ в момент наблюдения, от емкости БЗУ, от скорости передачи и приема информации. Естественно требование, чтобы время $t_{оп}^{КСН}$ было минимально или не превышало заданного предела, так как оперативность существенно влияет на доход в надсистеме от КС ДЗЗ.



Требования к космической системе дистанционного зондирования Земли

9. Требование к стоимости КС ДЗЗ.
Стоимость КС ДЗЗ определяется затратами на создание и эксплуатацию системы. Обычно ставится задача, чтобы стоимость была ограничена или минимальна.

10. Требование ко времени функционирования КС ДЗЗ зависит от задач, которые поставлены перед системой. С увеличением времени функционирования возрастают расходы на создание высокоресурсных средств, эксплуатацию КС ДЗЗ, замену КА в сети. Следовательно, время функционирования КС ДЗЗ есть возрастающая функция стоимости КС ДЗЗ. Время функционирования КС ДЗЗ должно быть максимально или не ниже заданного.

11. Требование к экономической эффективности КС ДЗЗ — основное, так как именно по ней можно судить о том вкладе, который дает КС ДЗЗ для экономики, и о целесообразности создания КС ДЗЗ. Экономическая эффективность непосредственно связана с тем прибылью, которую дает использование КС ДЗЗ, с одной стороны, и с затратами на нее — с другой.
Требование к экономической эффективности КСН может быть задано либо в виде ограничения, когда она должна быть не ниже заданной, либо в виде требования максимальной эффективности.

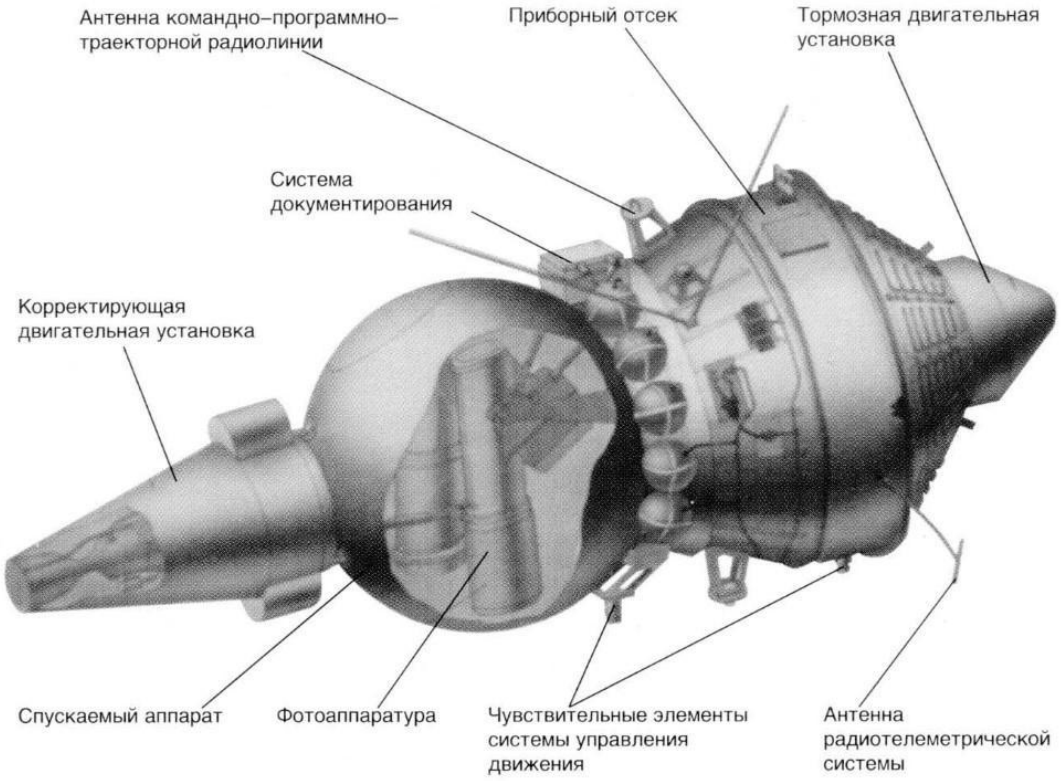
Данные ДЗЗ полученные с помощью КА

Стоимость 1 снимка 60х60 км – 100 000 р.

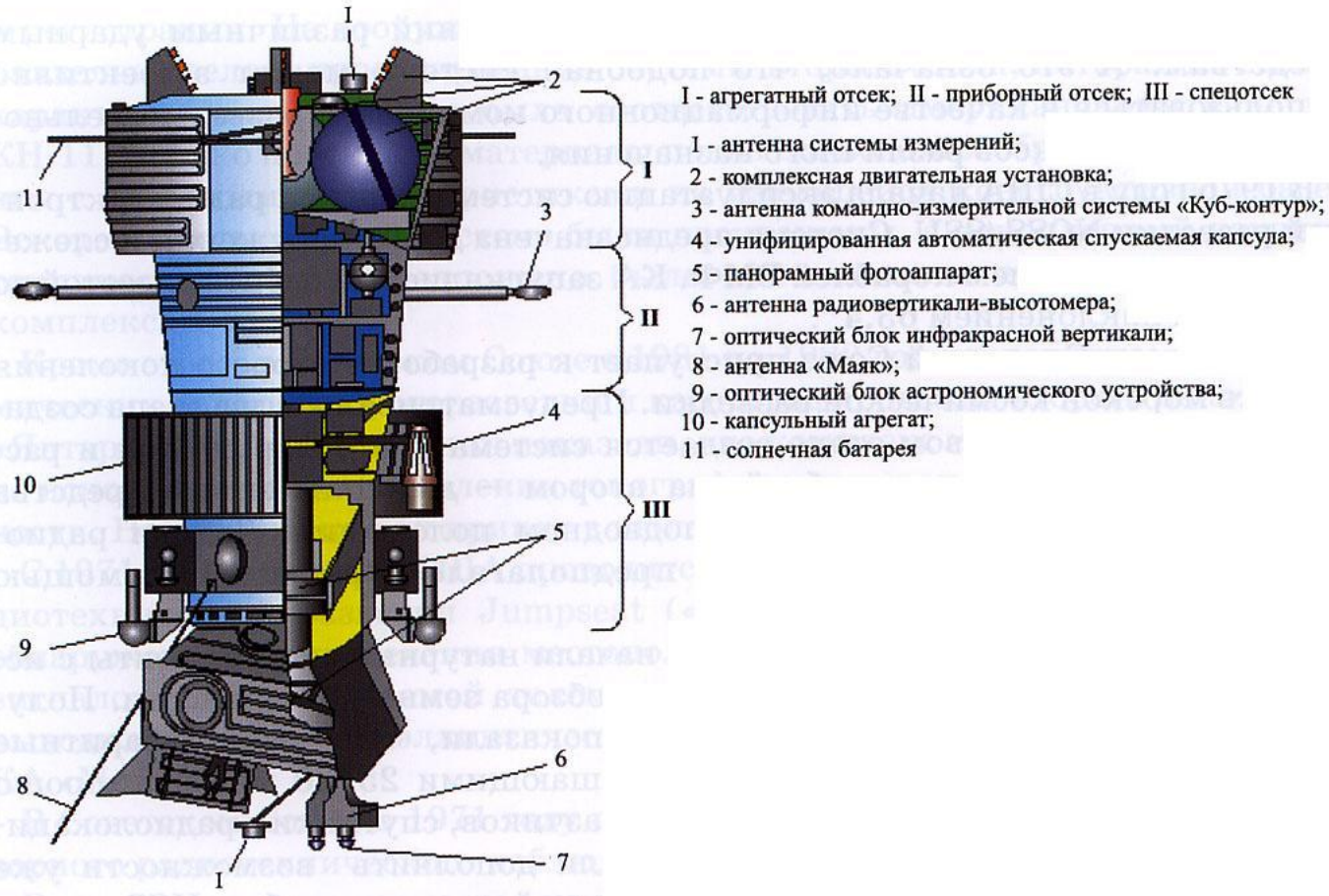
Пространственное разрешение ≥ 30 см/Пикс

Точность привязки на местности ≈ 10 м

Космические аппараты фотонаблюдения



Один из первых КА фотонаблюдения "Зенит-4МК" (1962 г., ЦСКБ, Самара)



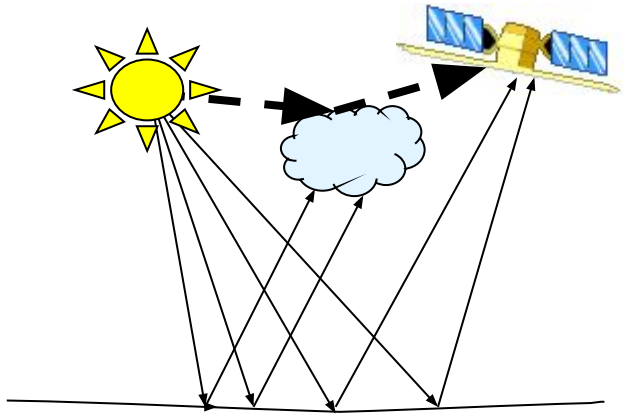
КА широкополосного детального и обзорного фотонаблюдения «Орлец» (1992-2006 гг., ЦСКБ, Самара)

Тяжелый космический аппарат детальной фоторазведки «Янтарь-2К»

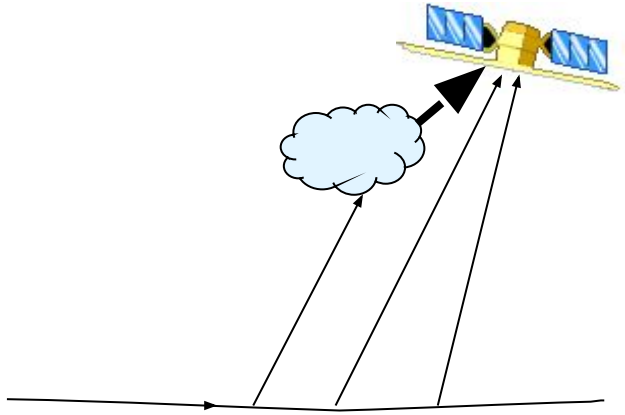
На заре первых космических спутников в начале шестидесятых, стало ясно что если запустить спутник с фотоаппаратом на орбиту, то можно эффективно наблюдать за противником при этом враг не сможет его сбить.
Конструкторы РКЦ "Прогресс" создали аппарат "Янтарь-2К" на первой тяжелой платформе "Янтарь". У аппарата был приборно-агрегатный отсек с маршевым двигателем, солнечными батареями и баками с топливом, приборный отсек с системами электропитания и терморегуляции, отсека специальной аппаратуры с приборами наблюдения в виде фотоаппарата "Жемчуг-4", пленки и связи. На боку этого отсека крепились две капсулы для оперативного возвращения отснятой пленки на Землю. Сам отсек также сделан возвращаемым. При входе в атмосферу отсек специальной аппаратуры сбрасывает другие два отсека, фотокамера задвигается внутрь и приземлялся на парашюте. Потом он мог быть использован повторно. Наш "Янтарь-2К" - это первый в мире частично возвращаемый на Землю спутник. Спутник находился на орбите всего месяц и потом сходил с орбиты. Первые космические фотоаппараты вынуждали использовать очень низкие орбиты высотой 160 км над Землей. Первый удачный пуск средней ракеты-носителя "Союз-У" с аппаратом "Янтарь-2К" ("Космос-697") состоялся 13 декабря 1974 года с "Плесецка". Всего было запущено 30 аппаратов. Последний запуск 28 июня 1983 года. На смену "Янтарь-К2" пришел более совершенный "Янтарь-4КС1".

Принципы дистанционной регистрации изображений

видимый диапазон



инфракрасный диапазон



радарное зондирование

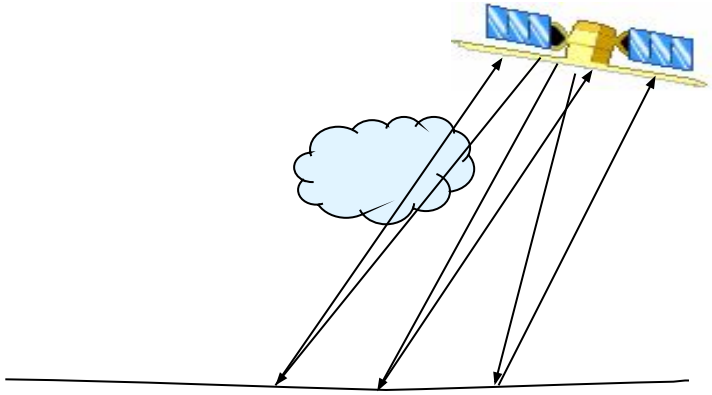
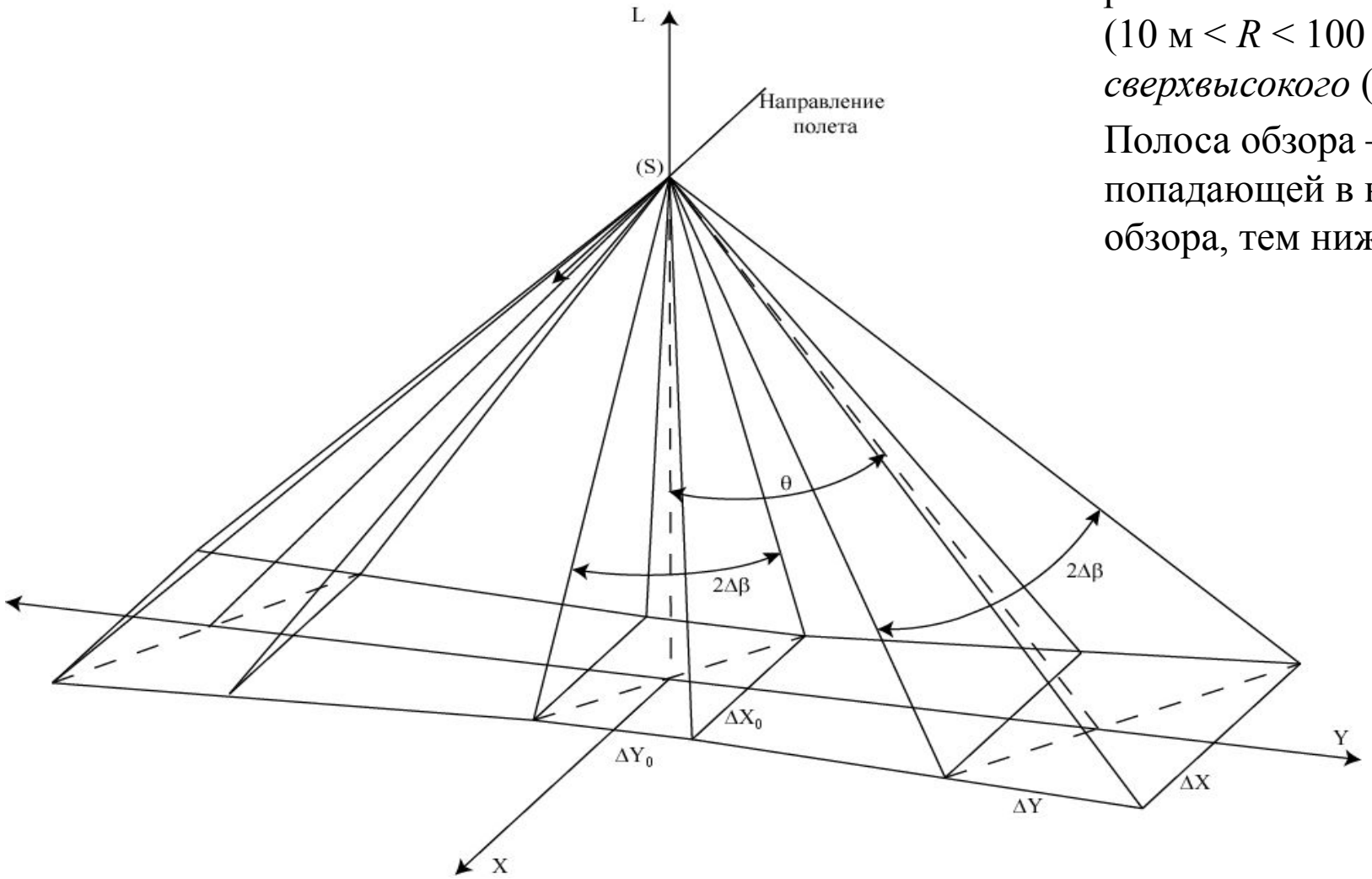


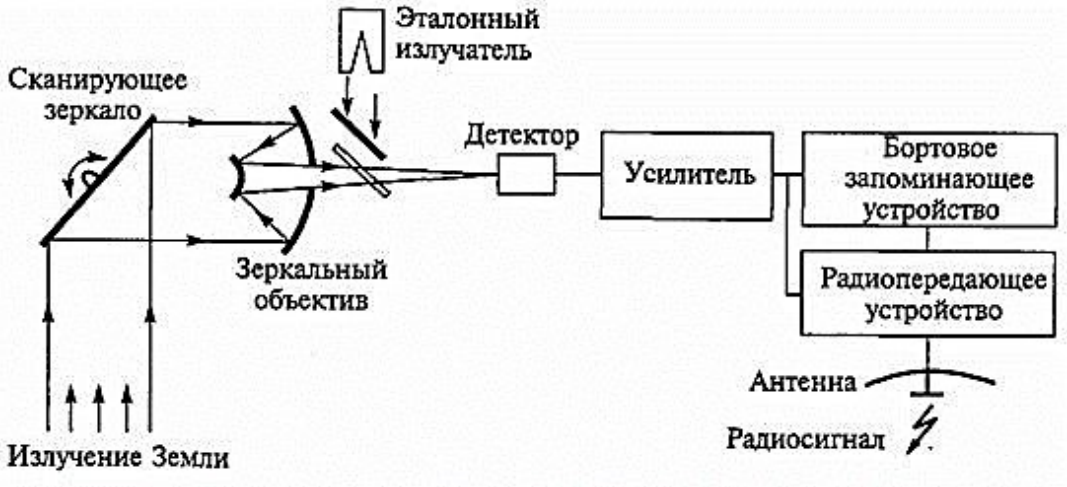
Схема действия сканирующих систем



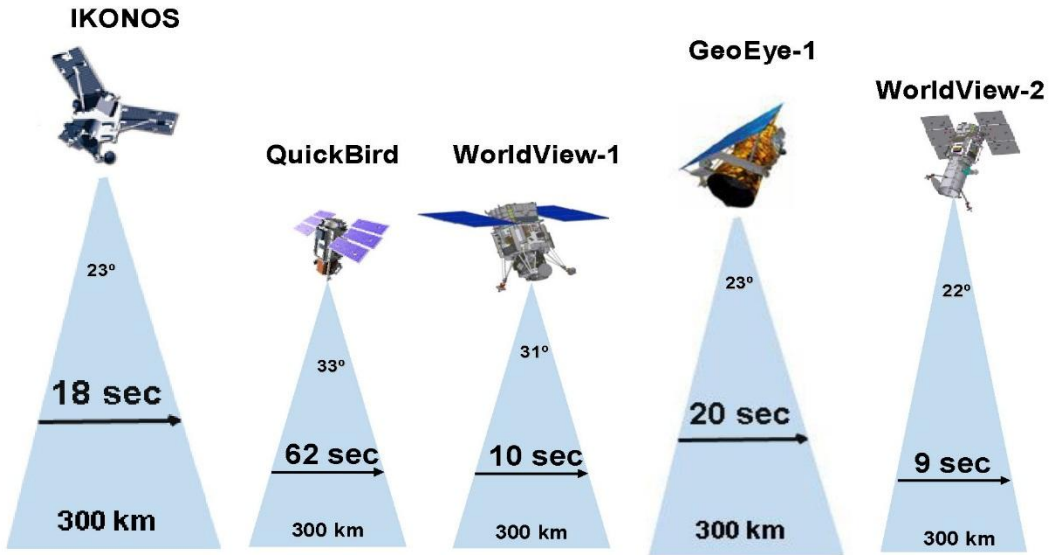
В зависимости от пространственного разрешения различают системы *низкого* ($R > 100$ м), *среднего* ($10 \text{ м} < R < 100$ м), *высокого* ($1 \text{ м} < R < 10$ м) и *сверхвысокого* ($R < 1$ м) разрешения.

Полоса обзора – определяет размеры поверхности попадающей в кадр. Как правило, чем шире полоса обзора, тем ниже разрешение.

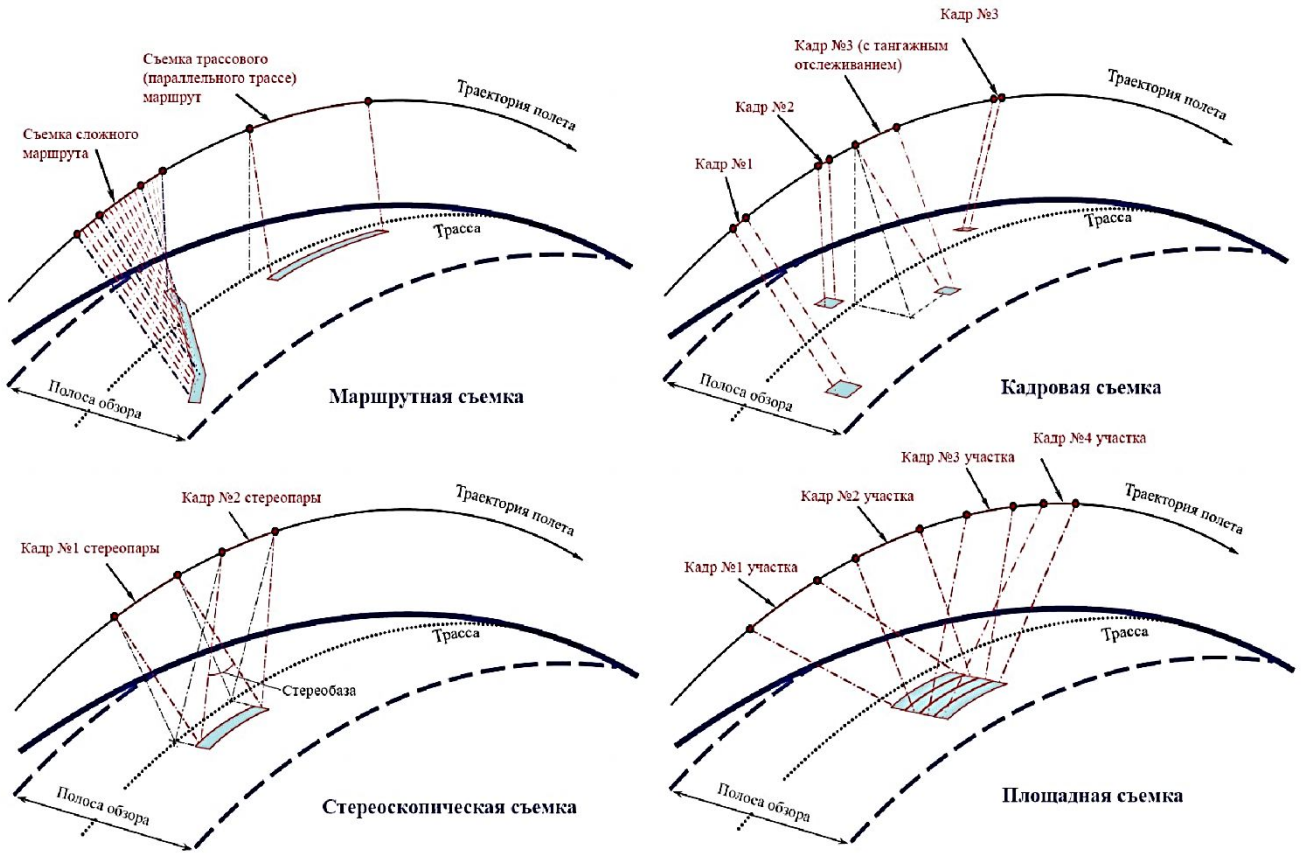
Сенсоры КА ДЗЗ. Оптико-электронный сканер



Принцип действия оптико-электронного сканера



Времена перенацеливания современных КА ДЗЗ в пределах единой полосы обзора 300 км



Режимы съемки КА ДЗЗ оптико-электронного наблюдения

Первые отечественные оптико-электронные сканирующие устройства

Характеристики сканирующих устройств малого и среднего разрешения (КА типа «Метеор-Природа», 1970-е гг)

Параметр	МСУ-М	МСУ-С	МСУ-СК 1 (МСУ-С К2)
Номинальная высота орбиты, км	650	650	650
Разрешение на местности в надире, км по направлению полета вдоль строки	1,7 1	0,14 0,24	0,14 0,175
Полоса захвата, км	1930	1380	600
Скорость сканирования, строк/с	4	50	50
Спектральные каналы, мкм	0,5-0,6 0,6-0,7 0,7-0,8 0,8-1,0	0,58-0,7 0,7-1,0	0,5-0,6 0,6-0,7 0,7-0,8 0,8-1,0 (10,4-12,6)
Относительная среднеквадратическая погрешность измерений энергетической яркости, %	10-30	10-30	3
Масса, кг	4,5	5.5	47 (64)

Характеристики сканирующих устройств высокого разрешения (КА типа «Ресурс-О», 1980-е гг)

Параметр	«Фрагмент» ИКИ РАИ	МСУ-Э1 ОАО РКС	МСУ-Э2 ОАО РКС	МСУ-В гипо
Номинальная высота орбиты, км	650	650	650	668
Разрешение в надире, м по направлению полета вдоль строки	83 83 (1-5 каналы)	30 30	34 46	50
Полоса захвата, км	88	30	46	195
Скорость сканирования, строк/с	-	218	200	-
Угол поворота линии визирования, град	0	0	±30°	
Спектральные каналы	0,4-0,7 0,5-0,6 0,6-0,7 0,7-0,8 0,8-1,1 1,2-1,3 1,5-1,8 2,1-2,4	0,5-0,67 0,65-0,8 0,8-1,0	0,5-0,6 0,6-0,7 0,8-0,9	0,48-0,52 0,54-0,61 0,63-0,73 0,78-0,92 0,92-0,99 1,47-1,62 2,06-2,38 10,6-12,0
Масса, кг	280	17,5	23	300

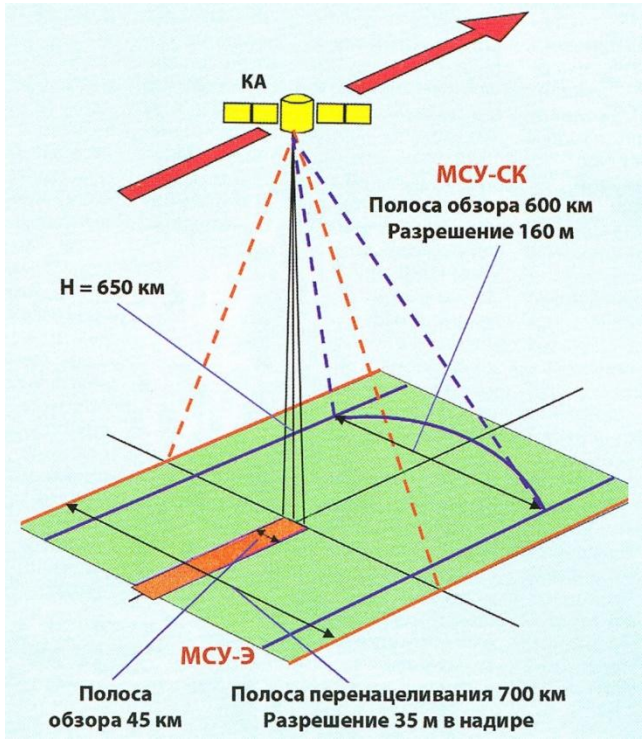
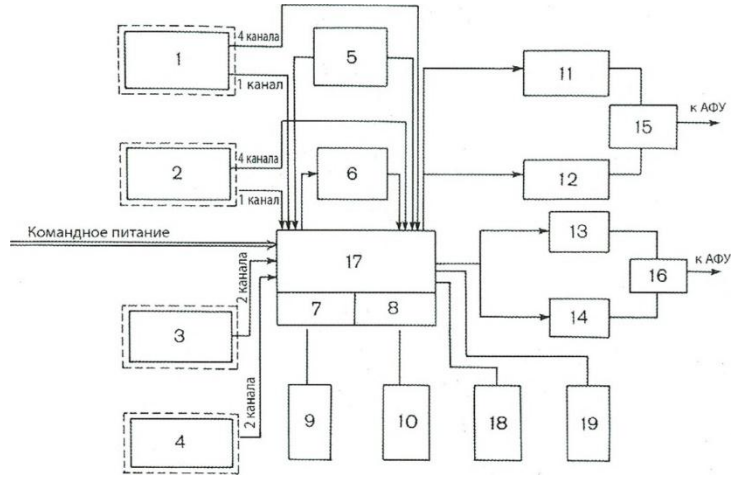
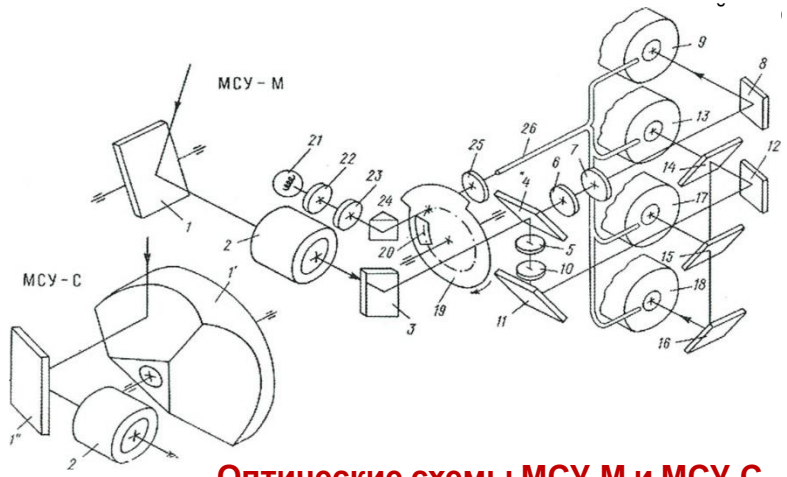


Схема обзора поверхности Земли сканирующими устройствами МСУ-Э и МСУ-СК



Функциональная блок-схема радиотелевизионного комплекса:

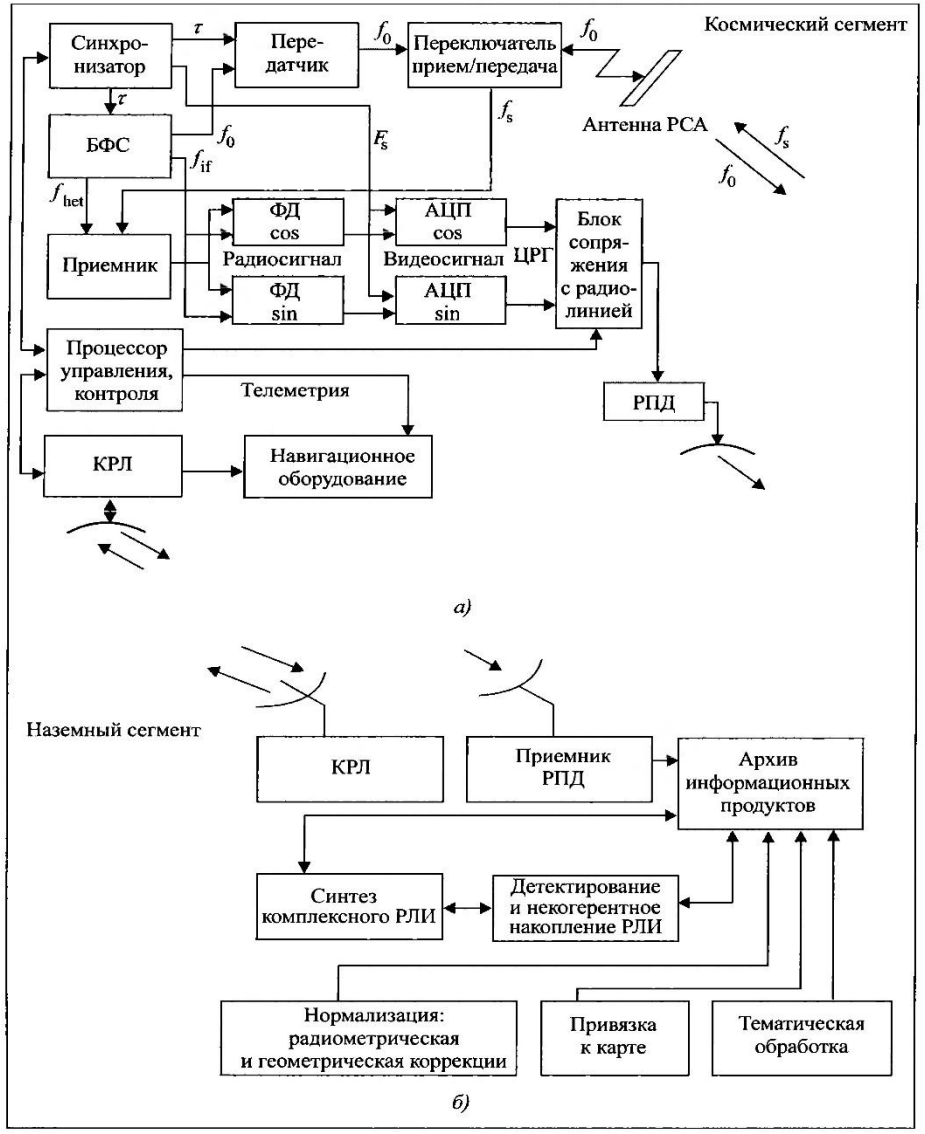
1,2 — четырехзональные оптико-механические сканирующие устройства малого разрешения МСУ-М; 3,4 — двухзональные оптико-механические сканирующие устройства среднего разрешения МСУ-С; 5, 6 — устройства магнитной регистрации; 7,8 — хронизаторы; 9,10 — задающие генераторы; 11,12 — передающие устройства дециметрового диапазона; 13,14 — передающие устройства метрового диапазона; 15,16 — [illegible] 17 — блок автоматики; 18,19 — отображения бортового времени



Оптические схемы МСУ-М и МСУ-С (коническое сканирование)

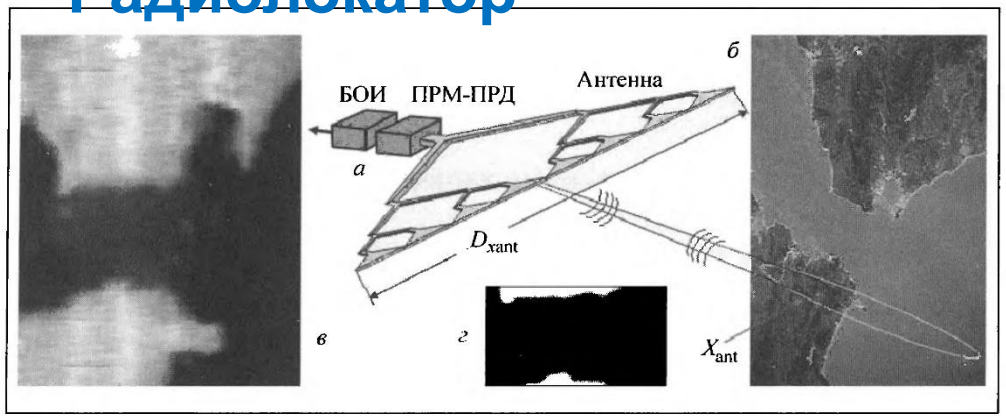
Поток излучения, отразившись от зеркала (1) либо от одной из граней пирамиды (1′) и зеркала (1″ и пройдя через объектив (2), направляется зеркалом (3) на спектроделительное зеркало (4). Последнее отражает поток излучения в видимом диапазоне на диафрагму (5), а излучение в инфракрасном диапазоне пропускает на диафрагму (6). Пройдя через нее, этот поток собирается линзой (7) и с помощью зеркала (8) направляется на фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Видимое излучение после прохождения диафрагмы (5) и собирающей линзы (10) делится на три зоны интерференционными зеркалами (11, 12, 14, 15, 16) и направляется на ФЭУ (9, 13, 17, 18). В приборе МСУ-С устанавливаются лишь оптические элементы для двух каналов (9, 13) и вместо ФЭУ используются

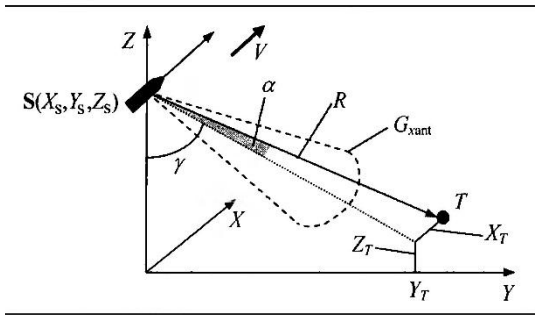
Сенсоры КА ДЗЗ. Радиолокатор



Структурная схема системы радиолокационного наблюдения:

(f_0 - несущая частота сигнала; f_s - частота принятого сигнала; f_{het} - частота гетеродина; f_{if} - промежуточная частота; F_s - частота

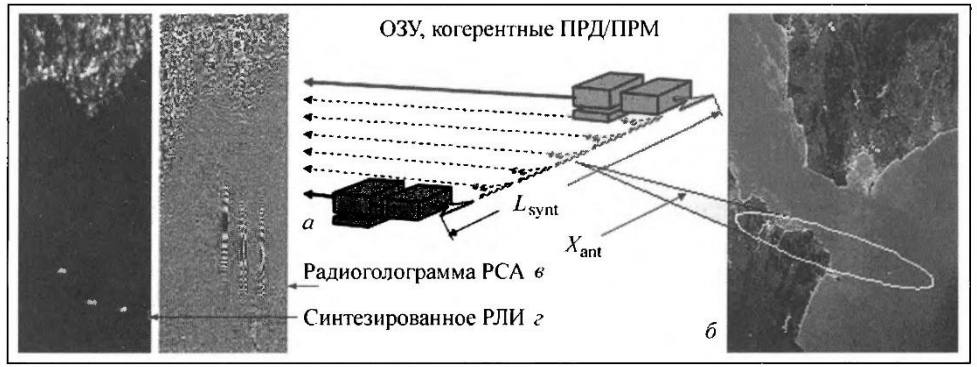




Принцип действия радиолокатора бокового обзора:

а - бортовая аппаратура РБО; *б* - фото района съемки (пролив Гибралтар); *в* - радиолокационное изображение (РЛИ); г - фрагмент РЛИ морской поверхности с отметками от кораблей.

БОИ - блок обработки информации; ПРМ-ПРД – приемник-передатчик; D_{xant} – раскрыв антенны, луч которой направлен перпендикулярно линии пути; X_{ant} - зона облучения антенной радиолокатора



Принцип действия радиолокатора с синтезированной апертурой:

а - бортовая аппаратура РСА; *б* - фото района съемки (пролив Гибралтар); *в* - радиоголограмма; г - радиолокационное изображение (РЛИ) с отметками от кораблей: L_{synt} - длина синтезированной апертуры, X_{ant} - зона облучения антенной радиолокатора

Наиболее употребительными длинами волн космических радарных систем являются K(Q) - (0,8–1,1 см), X - (2,4–3,8 см), C - (3.8 - 7.5см) и S - (7.5 - 15.8 см) диапазоны.

Особенности радарных изображений определяются пятью параметрами: длиной волны, пространственным разрешением, размером сцены,

Варианты поляризации радарных сигналов

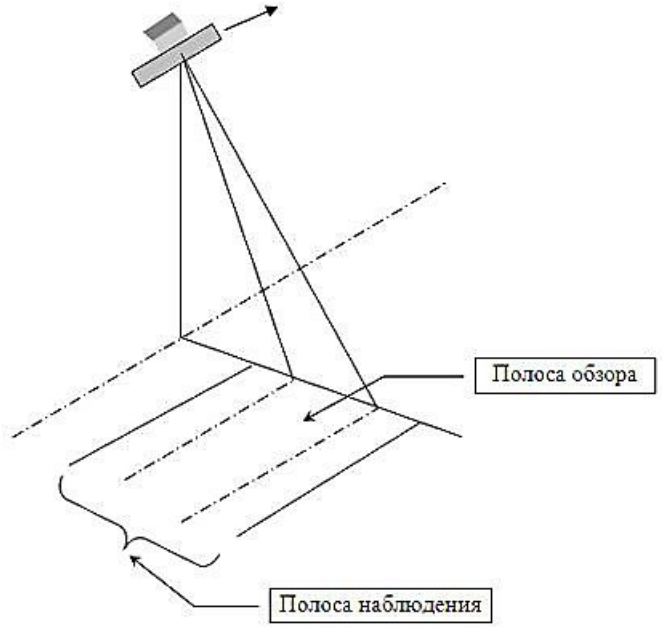
Во всякой электромагнитной волне электрическое поле перпендикулярно направлению распространения волны и направление колебания вектора электрического поля называется поляризацией волны. Управляя поляризацией передаваемого сигнала радара, можно получать различные эффекты. Радары используют горизонтальную, вертикальную, линейную и круговую поляризацию для обнаружения различных типов отражающих сигнал объектов. Например, круговая поляризация используется, чтобы минимизировать помехи, вызванные дождем. Линейная поляризация отраженного сигнала обычно указывают на его отражение от металлических поверхностей. Поляризация случайного характера отраженного сигнала обычно указывает на фрактальные поверхности, такие как камни или

а) **б)**

в)

а) горизонтальная (H), б) вертикальная (V), в) комбинированная

апертурой



На выходе приёмного тракта РСА регистрируется не только амплитуда, но и фаза принимаемых сигналов. Для этого вместо обычного детектора на выходе линейной части приемника включается фазовый детектор. Строки дальности, принимаемые в процессе съемки, представляют собой не готовое радиолокационное изображение, а набор линейных голограмм, каждая из которых соответствует отсчёту времени излучения одного импульса, расположенному вдоль траектории движения носителя.

По сравнению с некогерентными радиолокационными системами бокового обзора РСА обладают некоторыми уникальными свойствами, в том числе тем, что предельное разрешение вдоль пути

$$\delta X \approx \frac{D_H}{2}$$

и перпендикулярное ему разрешение по дальности

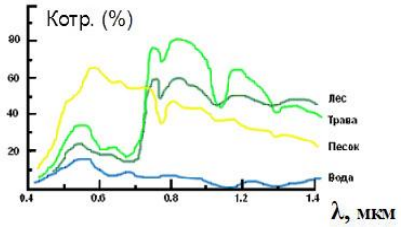
$$\delta Y \approx \frac{C \cdot \tau}{2cos\vartheta}$$

не зависят от расстояния до наблюдаемого объекта и длины волны излучения.

(D_H – диаметр раскрыва антенны, τ - длительность зондирующего импульса, мс)

Сенсоры КА ДЗЗ. Гиперспектрометр

Гиперспектрометрия – метод спектрального анализа, позволяющий исследовать видимую структуру объектов с одновременным пространственным и спектральным разрешением - получать спектральные характеристики всего массива видимых точек исследуемой поверхности (“спектральный гиперкуб” - зависимость $F(x,y,\lambda)$).



Зависимость коэффициента отражения от длины волны

«Гиперкуб»

Принцип формирования гиперспектрального изображения

Структурная схема гиперспектрометра

Предполагается – однозначное соответствие между отраженным сигналом и характеристиками отражающей поверхности

Комплексный учет требований потребителей данных ДЗЗ

Необходимость учета требований по:

- **приоритетности съемки;**
- **радиометрическому и линейному разрешению**
- **оперативности и периодичности;**
- **сочетанию режимов объектовой и площадной космической съемки;**
- **видам космической съемки и др.**

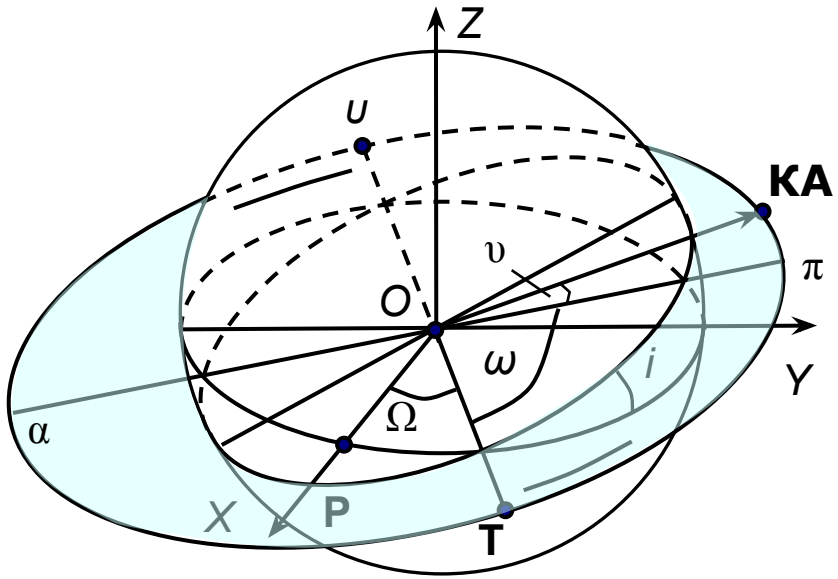
Основа комплексного учета требований –
централизованное комплексное планирование целевого применения ОГ КС ДЗЗ
с использованием возможностей каждого КА ДЗЗ.

Диаграмма требуемых линейных разрешений на местности и периодов обновления информации при решении различных задач КА ДЗЗ

На основе требований к характеристикам космической информации, предоставляемой российской орбитальной группировкой КА ДЗЗ, сформированы следующие подсистемы :

- **Гидрометеорологического наблюдения**
- **Природоресурсного наблюдения**
- **Оперативного наблюдения территории РФ**

Элементы орбиты космического аппарата



α- апогей;
п - перигей (перицентр);
Ω - долгота восходящего узла;
ω - аргумент перицентра;
a – большая полуось орбиты;
ε- эксцентриситет орбиты;
i – наклонение орбиты;
t – время прохождения КА через перицентр

Орбиты: полярные (i = 90°), субполярные (i ≈ 90°), экваториальные (*i*=0), восходящие, нисходящие.

200 – 600 км – *пилотируемые корабли*, 600 – 2000 км – *орбиты ИСЗ*, > 36000 км – *геостационарные орбиты*

Положение КА на эллиптической орбите описывается шестью параметрами:

- долготой восходящего угла Ω;
- наклонением орбиты *i*;
- большой полуосью *a*;
- эксцентриситетом *e* (0≤ *e* <1), при *e*=0 орбита круговая;
- аргументом перигея (угловое расстояние перигея от восходящего узла);
- временем прохождения перигея (динамическим элементом движения).

В случае кеплеровского движения все параметры считаются постоянными.

Для КА ДЗЗ важны три параметра:

- высота орбиты
- наклонение орбиты
- период обращения вокруг Земли

От высоты орбиты (расстояние от КА до поверхности Земли) зависят такие характеристики изображения, как **полоса обзора** и **пространственное разрешение**. Чем выше спутник находится над поверхностью Земли, тем больше потенциальная полоса обзора и тем меньше разрешение. С другой стороны, чем ниже орбита, тем сильней сопротивление среды и, следовательно, тем больше энергии требуется для стабилизации орбиты.

Наклонение орбиты КА - двугранный угол i между плоскостью орбиты КА и плоскостью экватора фиксирует предельные широты доступные для наблюдения. Максимальный обзор обеспечивают так называемые приполярные орбиты (i около 90°).

Период обращения КА вокруг Земли - отрезок времени, за который КА делает один полный оборот. При движении по солнечно-синхронной орбите КА пересекает плоскость экватора в восходящем узле всегда в одно и то же местное время и соблюдается условие одинаковой освещенности при проведении съемок.

Карта покрытия Земли трассами КА спутника TERRA

	Ширина полосы обзора (км)	Периодичность съёмки (дни)	Направление съёмки	Спектральные зоны		Пространственное разрешение (м)
				Кол-во	Диапазон волн (мкм)	
ASTER	60	16	надир, 27,5° назад по направлению полёта	14	3 зоны: 0,5-0,9 6 зон: 1,6-2,4 5 зон: 8,1-11,6	15 30 90
MODIS	2300	2	надир	36	2 зоны: 0,6-0,9 5 зон : 0,4-2,2 29 зон: 0,4-14,4	250 500 1000
MISR	360	2-9	надир, 26.1°, 45.6°, 60.0° и 70.5° вперёд и назад по направлению полёта	4	0.4-0.9	250 275 500 1000
CERES	вся видимая поверхность земли по трассе полёта	1	надир и наклонно по образующей конуса	3	0.3 - 5.0 8 - 12 0.3 до > 100	20 000
MOPITT	640	1	надир	8	2 зоны: 2.3 2 зоны: 2.4	22 000

ASTER – создание карт температуры и спектральных характеристик поверхности Земли;
CERES – радиометр;
MISR - измерение потока солнечного излучения;
MODIS - наблюдение за глобальной динамикой планеты (облачность, радиационный баланс и т.д.);
MOPITT - мониторинг загрязнения атмосферы.

Функционирующие и перспективные средства ДЗЗ разработки АО «РКЦ «Прогресс»

Космические аппараты регионального и локального мониторинга «Ресурс-П»

Комплекс целевой аппаратуры включает:

1.Многозональную высокодетальную аппаратуру с разрешением на местности:
— не хуже 1 м (панхроматический режим);
— 2-3 м (мультиспектральный режим);

2.Широкозахватную мультиспектральную камеру с разрешением на местности:
— не хуже 12 м (панхроматический режим);
— 23,8 м (мультиспектральный режим);

3.Широкозахватную мультиспектральную камеру с разрешением на местности (проекция пикселя):
— не хуже 60 м (панхроматический режим);
— 120 м (мультиспектральны режим);

4.Гиперспектральную съемочную аппаратуру с разрешением на местности (проекция пикселя) — не хуже 30 м; количество спектральных каналов не менее 96 в диапазоне от 0,4÷1,1 мкм; спектральное

Спектральные диапазоны съемки (мкм):
— панхроматический (0,60÷0,79);
— синий (0,48÷0,52);
— зеленый (0,54÷0,6);
— красный + крайний красный (0,62÷0,68; 0,66÷0,69; 0,7÷0,74);
— ближний ИК (0,72÷0,8; 0,8÷0,9)

Космические аппараты оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В»

Решаемые задачи

- картографирование;
- обнаружение очагов лесных пожаров, крупных выбросов загрязняющих веществ в природную среду;
- регистрация аномальных явлений для исследования возможности прогнозирования землетрясений;
- мониторинг сельскохозяйственной деятельности, водных и прибрежных ресурсов;
- землепользование;
- высокооперативное наблюдение заданных районов земной поверхности.

Космические аппараты глобального наблюдения атмосферы и подстилающей поверхности Земли «Метеор-М» № 1, 2

Комплекс целевой аппаратуры включает:

МСУ-МР:
Пространственное разрешение — < 1,0 км. Спектральные диапазоны съемки (мкм): красный (0,5 ÷ 0,7), ближний инфракрасный (0,7 ÷ 1,1), средний инфракрасный (1,6 ÷ 1,8), средний инфракрасный (3,5 ÷ 4,1), дальний инфракрасный (10,5 ÷ 11,1), дальний инфракрасный (11,5 ÷ 12,5). Полоса захвата (при съемке с орбиты 835 км) — 2800 км.

БРЛК:
Пространственное разрешение: в режиме малого разрешения – 0,7х1,0 км; в режим среднего разрешения – 0,4х0,5 км. Ширина полосы съемки – не менее 600 км.

КМСС:
Спектральные диапазоны съемки (мкм): зеленый МСУ-50 (0,37 ÷ 0,45), МСУ-100 (0,535 ÷ 0,575); красный МСУ-50 (0,45 ÷ 0,51), МСУ-100 (0,63 ÷ 0,68); ближний инфакрасный МСУ-50 (0,58 ÷ 0,69), МСУ-100 (0,76 ÷ 0,9). Полоса захвата при двух одновременно работающих камерах – 900 км. Разрешение — 60-120 м.

МТВЗА-ГЯ:
Количество каналов – 29. Спектральный диапазон – 10,6 ÷ 183,31ГГц. Полоса обзора – 1500км. Пространственное разрешение – 16-198 км

ССПД:
Количество обслуживаемых платформ (ПСД) — до 5 тыс. Количество одновременно обслуживаемых ПСД — до 150.

КА метеорологического наблюдения «Метеора-М» № 1 (ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

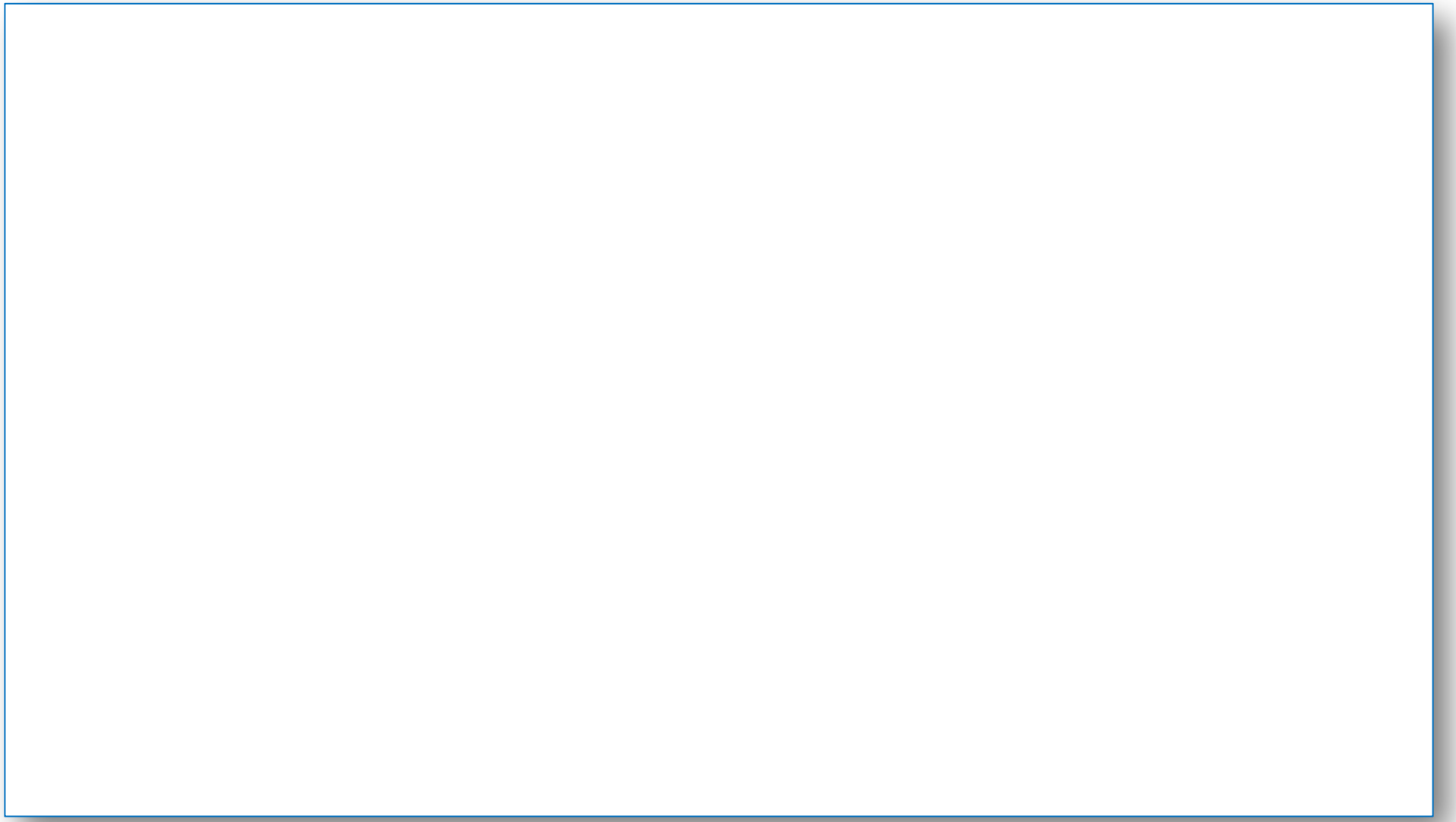
КА метеорологического наблюдения «Метеора-М» № 2 (ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Геостационарный гидрометеорологический космический комплекс «Электро»

Бортовая аппаратура:
гелиогеофизический аппаратурный комплекс (ГГАК-Э);
бортовой радиотехнический комплекс (БРТК);
бортовую систему сбора данных (БССД)

Потребители:
Организации федеральных и государственных служб (Росгидромет, Роскартография, Минприроды и др.), административные, хозяйственные и коммерческие организации.

Мультиспектральный снимок КА ДЗЗ «Ресурс-П»



Опытно-технологический малый космический аппарат ДЗЗ «Аист-2Д» (АО «РКЦ «Прогресс»)

Основные характеристики КА «Кондор-Э»

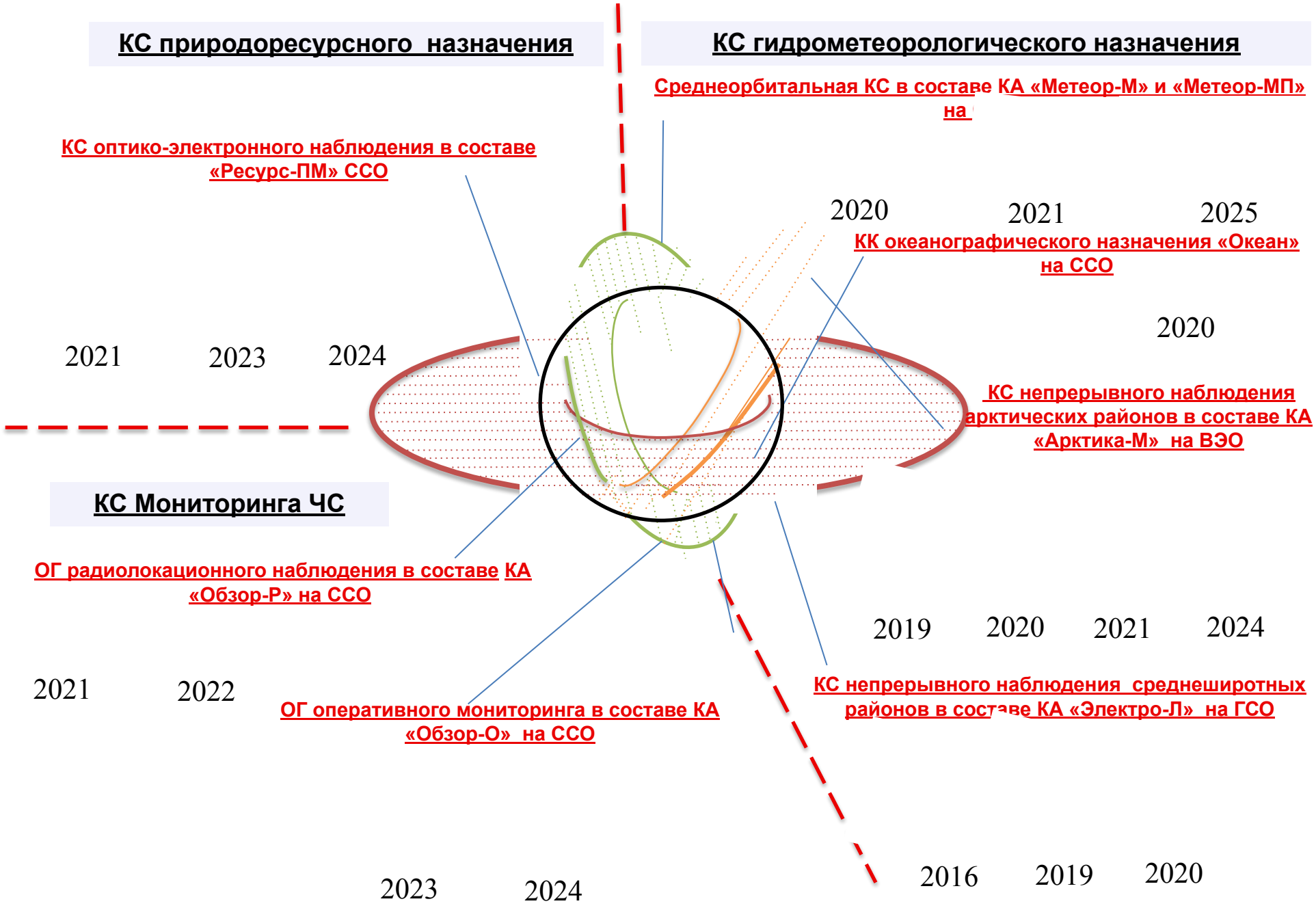
Высота орбиты, км	**~500**		
Масса КА , кг	**~1000**		
Масса РСА, кг	**350**		
Диапазон РСА	**S (9,4 см)**		
Полоса обзора, км	**2х500**		
Диапазон углов визирования по крену, градусы	**$\pm 20^0 \ldots 55^0$**		
Режимы съемки РСА	**ДПР**	**ДНР**	**ОР**
Разрешение, м	**1**	**1 -3**	**6 -12**
Размер кадра/ ширина полосы захвата, км	**10х10**	**10-15**	**20-100**
Протяженность маршрута съемки	**-**	**500**	**500**
Скорость системы передачи информации, Мбит/с	**245,76 (2х122,88)**		
Режимы работы системы передачи информации	**- запись с последующей передачей; непосредственная передача**		

Общий вид КА «Кондор-Э» с раскрытой антенной РСА

Режимы съемки:

- детальный непрерывный (ДНР)
- детальный прожекторный (ДПР)
- обзорный (ОР)

Прогноз состава орбитальной группировки КА КС ДЗЗ в 2025 году



КА радиолокационного наблюдения «Обзор-Р» (АО «РКЦ «Прогресс»)

Характеристики КА ДЗЗ «Обзор-Р»

Задачи решаемые КА «Обзор-Р»

Космический комплекс «Обзор-Р» должен обеспечивать радиолокационную съемку в X-диапазоне заданных участков земной поверхности (УЗП), включая водную поверхность, передачу данных с борта КА по радиоканалу непосредственно на пункты приёма информации и обработку принятой радиолокационной информации, включая формирование радиолокационных изображений (РЛИ).

Космический комплекс «Обзор-Р» создается для решения широкого круга актуальных задач:

- картографирования;
- обеспечения безопасности мореплавания;
- мониторинга природных и техногенных чрезвычайных ситуаций;
- выявления потенциально опасных геологических процессов, объектов и явлений в районах строительства и эксплуатации ответственных объектов;
- информационного обеспечения задач природопользования, поиска полезных ископаемых, сельского хозяйства.

При этом могут решаться как задачи информационного обеспечения хода производственных процессов по поиску, добыче, переработке и транспортировке производимых продуктов, так и задачи мониторинга экологической обстановки и обнаружения и оценки последствий крупных аварий. Весьма ценный объём данных подобный комплекс должен давать также и для целей топографии и картографии в целом, поскольку по радиолокационным снимкам можно проводить высокоточные топогеодезические измерения положения и высот местонахождения различных

Перспективный КА ДЗЗ «Ресурс-ПМ»

Высота рабочей орбиты, км	700
Спектральные диапазоны: - панхроматический канал, мкм - спектрозональные каналы, мкм	0,5…0,8 0,40…0,45; 0,45…0,51; 0,51…0,58; 0,58…0,62; 0,63…0,69; 0,70…0,74; 0,77…0,89; 0,86…1,05
Проекция пикселя в панхроматическом диапазоне, м	не более 0,4
Проекция пикселя в спектрозональных каналах, м	не более 1,6
Ширина полосы захвата при наблюдении в надир с зачётной высоты, км	не менее 19
СКО определения координат без опорных точек	не более 3м
Емкость ЗУ, Тбит	не менее 4
Срок активного существования, лет	не менее 7

Проектный облик перспективного космиче аппарата сверхвысокого разрешения (АО «Корпор МЭМ»)

Характеристики	Значение		
Тип изображения	панхроматический	мультиспектральный	инфракрасный
Разрешение, м	0,7	2,0	3-5
Спектральные диапазоны, мкм			3-5
Эквивалентная шуму разность температур, К			0,05
Полоса обзора, км	500		500
Полоса захвата, км	16		40
Средняя высота орбиты, км	500		
Выведение МКА на целевую орбиту	РН любого класса, индивидуальное (включая «воздушный старт»), попутное, групповое		
Угловая ориентация	Электромаховичная, трехосная		
Точность ориентации	не хуже 3’		
Точность измерения ориентации	не хуже 10’’		
Точность стабилизации	не хуже 0,0004°/с		
Развороты МКА	по каждой оси со скоростью до 2°/с		
Радиолиния телекомандная	S диапазона		
Радиолиния передачи целевой информации, скорость передачи	8,2 ГГц, до 300 Мбит/с		
Средневитковое потребление	до 650 Вт		
Срок активного существования	не менее 5 лет		
Масса МКА, кг	≈ 450		

КА метеорологического наблюдения «Метеора-М» № 3 (ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»)

Планируемый срок запуска:
КА «Метеор-М» №3 – 2021г.

Океанографический космический аппарат «Метеор-М» №3 предназначен для:

- обеспечения безопасности мореплавания, проведения фундаментальных и прикладных исследований ледяного покрова в приполярных акваториях мирового океана и замерзающих морях, а также крупных озерах умеренных широт;
- прогноза, мониторинга и информационного обеспечения мероприятий по ликвидации последствий наводнений;
- оперативного контроля состояния водной среды и соблюдения правил использования континентального шельфа в исключительной экономической зоне Российской Федерации;
- своевременного обнаружения, определения площади и конфигурации разливов нефтепродуктов на водной поверхности, а также мониторинга динамики развития загрязнений акватории мирового океана;
- мониторинга промысловых районов мирового океана в целях информационного обеспечения производственной деятельности рыболовного флота;
- круглосуточного, всепогодного, высокоинформативного радиолокационного мониторинга с возможностью обнаружения и распознавания объектов, определения скорости их движения, рельефа земной поверхности и др.

Космическая система ДЗЗ компании Planet (МКА Flock-1,2,3,4)

Разработчик:	**Planet, Сан-Франциско, Калифорния, США.**
Разрешение:	**порядка 3…5 м.**
Ширина полосы захвата	**20 км**
Орбиты:	**а) орбита МКС, б) солнечно-синхронная, высотой порядка 600 км**
Численность орбитальной группировки	**170 наноспутников**
Способ выведение на орбиту	**попутный запуск практически на любых доступных ракетах-носителях**
Масса	**5…6 кг**
Габариты (при старте)	**32 х 10 х 10 см (кубсат 3U)**
Срок активного существования	**3 года (оценка)**

170 спутников расположены на орбите равномерно таким образом, чтобы обеспечить непрерывную съемку поверхности Земли

Радиолиния передачи целевой информации работает в X-диапазоне (8025-8400 МГц, линия «космос-Земля», 2 канала по 66,8 МГц) со скоростью от 12,5 до 120 Мбит/с. Высокочастотная мощность передатчика составляет 2 Вт. Микрополосковая антенна установлена на обратной стороне откидывающейся крышки телескопа. Возможно использование манипуляций: QPSK, 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK. Виды помехоустойчивого кодирования: от ¼ до 9/10.

Сеть земных станций

Съемка производится постоянно при полете над сушей с частотой 1 раз в секунду. Оптическая система занимает 11/12 объема наноспутника, на все остальные системы (включая двигатели-маховики и аккумуляторы) остается объем в ¼ литра.
Эксперты прогнозируют до 2022 года запуск нескольких тысяч малых спутников наблюде

Земная станция S/X-диапазона в Brewster, шт. Вашингтон

Разные антенны на одной площадке

Наземный комплекс управления совмещен со специальным комплексом: на 12 площадках развернуты 36 антенн, что позволяет уже сейчас принимать 1 Терабайт данных в сутки (или 1 млн. км.^{2} земной поверхности)

Космическая система ДЗЗ (метео- и АИС) компании Spire Global (МКА Lemur-1, -2)

Разработчик	Spire Global Inc., Сан-Франциско, Калифорния, США
Разрешение:	порядка 3...5 м.
Полезная нагрузка	STRATOS - аппаратура GPS-радиозатменного зондирования атмосферы SENSE - аппаратура системы идентификации судов и самолетов (АИС)
Орбиты:	Высота орбиты - 400-600 км Наклонение орбиты - 0°, 51,6°, 83° и 85°
Численность орбитальной группировки	76 (175 наноспутников - в полностью развернутом состоянии)
Способ выведение на орбиту	Попутный запуск с борта МКС и практически на любых доступных ракетах-носителях
Масса	4,6 кг
Габариты (при старте)	34,5 х 10 х 10 см (кубсат 3U)

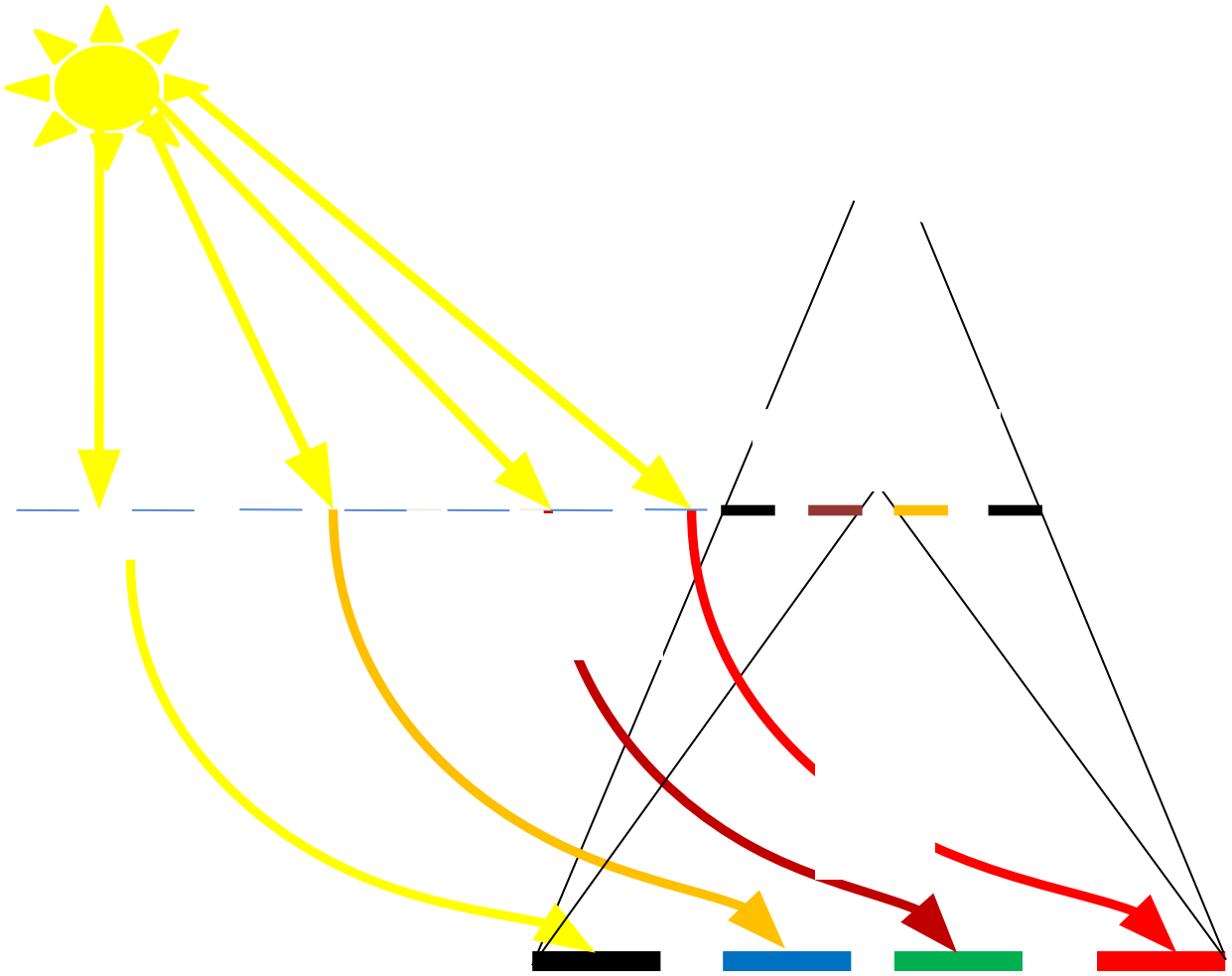
Спутник Lemur-2

Группировка спутников Spire на 10 января 2019 г.

28 наземных станций Spire

Принцип радиозатменного зондирования атмосферы

Система валидации - необходимое условие повышения качества функционирования КА ДЗЗ



Основные задачи:

- проверка и подтверждение соответствия фактических результатов требованиям ТЗ по различным показателям качества;
- калибровка и настройка съемочной аппаратуры и основных систем КА;
- подтверждение факта пригодности материалов для решения целевых задач.

Состав системы:

- сеть тестовых полигонов различного назначения;
- методики калибровки целевой аппаратуры и проведения измерений в интересах валидации космических комплексов ДЗЗ;
- аппаратно-программный комплекс обработки, анализа полученных результатов;
- измерительные приборы оптического, инфракрасного и радиолокационного диапазонов (наземного и воздушного