

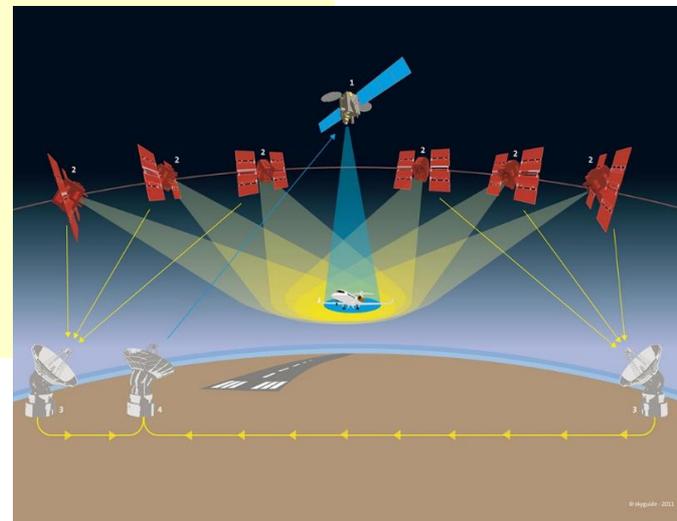


Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

Занятие 35. Общие сведения о спутниковых РНС

1. Особенности спутниковых радионавигационных систем
2. Принципы измерения параметров в СРНС
3. Общие сведения о СРНС «Глонасс»
4. Общие сведения о СРНС GPS
5. Дифференциальный метод позиционирования
6. Перспективы развития системы ГЛОНАСС



- **Спутниковая навигация** – система электронно-технических средств, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования.
- Спутниковая навигация предназначена для определения местоположения (то есть, географических координат и высоты) и параметров движения (скорости и направления движения) наземных, водных и воздушных объектов.

Вид занятия: Лекция



Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

Особенности спутниковых радионавигационных систем



Спутниковые радионавигационные системы (СРНС) основаны на использовании координированной по движению и излучению сигналов сети навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ).

Спутниковые РНС обеспечивают непрерывное и практически мгновенное определение местоположения и скорости потребителя в подавляющем большинстве районов земного шара (*глобальные системы*) с точностью, на порядок превышающей точность РСДН.

Для работы СРНС выделены частоты в диапазоне дециметровых волн, близкие к оптимальным с точки зрения минимального поглощения сигнала при распространении и размеров антенн, используемых для передачи и приема. Функции опорных станций в СРНС выполняют НИСЗ.

Возможны как активные с активным ответом, так и пассивные СРНС. Большинство СРНС представляют собой многопозиционные пассивные системы, имеющие неограниченную пропускную способность.



Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

Особенности спутниковых радионавигационных систем

Особенности определения местоположения потребителя в СРНС

Из возможных методов местоопределения в СРНС наиболее употребителен дальномерный метод. Измерения в дальномерной (квазидальномерной) системе описываются уравнением (1), которое справедливо при точной синхронизации шкал времени на всех НИСЗ.

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2} \quad (1)$$

где X_i, Y_i, Z_i – известные координаты опорных станций; x, y, z – искомые координаты потребителя в некоторой, например, геоцентрической системе координат.

Координаты потребителя в системе получаются посредством их расчета по псевдодальностям до НИСЗ. **Псевдодальности (ПД)** рассчитываются по временным задержкам прохождения сигналов синхронизированных между собой НИСЗ по трассам «НИСЗ–потребитель».

Задержки измеряются в результате сопоставления принятых псевдослучайных кодов и генерируемых в приемнике копий этих кодов с учетом априори известных моментов излучений сигналов НИСЗ.

Предварительно проводится коррекция ПД за счет компенсации эффекта вращения Земли, тропосферных и ионосферных погрешностей.



Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

Особенности определения местоположения потребителя в СРНС

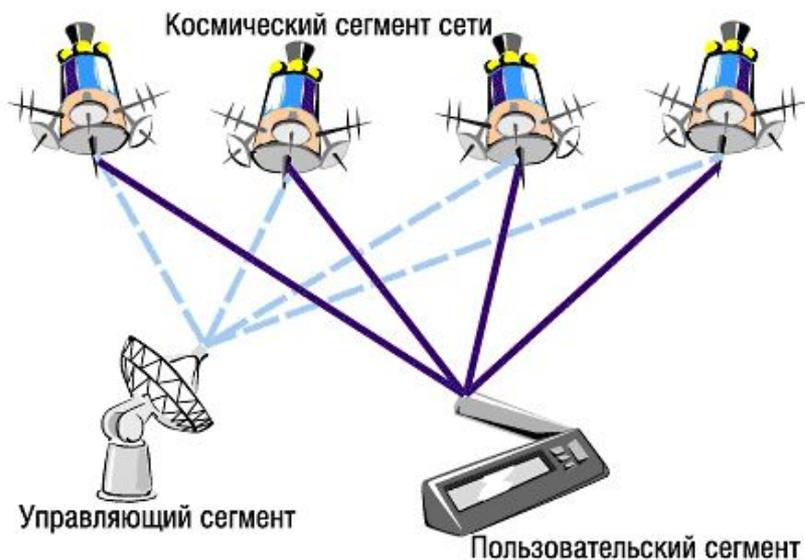
В наиболее распространенных СРНС каждый из НИСЗ вместе с навигационным сигналом передает свои эфемериды (координаты, рассчитанные для определенного момента времени). Эфемериды определяют на наземных станциях слежения за спутниками и периодически транслируют на НИСЗ, где они запоминаются для последующего включения в сигнал спутника.

В аппаратуре потребителя эфемериды пересчитываются на момент измерения и по ним находятся значения, X_i, Y_i, Z_i , спутника. Так как для определения местоположения потребителя необходимо несколько НИСЗ, то со спутника транслируется также так называемый альманах, содержащий эфемериды всех НИСЗ системы. Альманах служит для выбора спутника.

Состав СРНС

Основные компоненты СРНС: i

- подсистема НИСЗ,
- наземный командно-измерительный комплекс (КИК)
- подсистема потребителей.



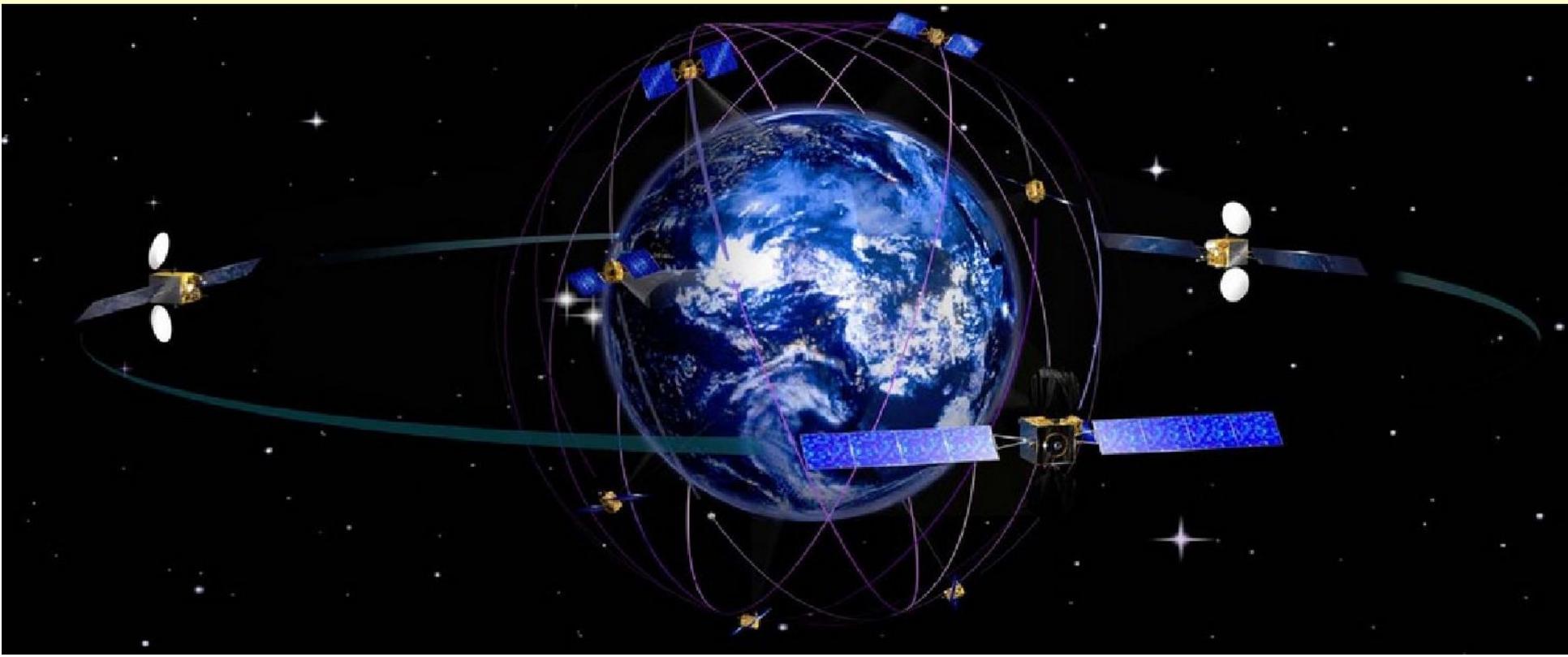


Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

Основные компоненты СРНС

Подсистема НИСЗ содержит такое число спутников, при котором в любой точке земного шара в зоне видимости потребителя наблюдаются не менее четырех спутников. Одна из наиболее подходящих конфигураций созвездия НИСЗ для СРНС содержит от 18 до 24 спутников, размещенных равномерно на нескольких круговых орбитах, смещенных на равные интервалы по долготе. Высота орбит около **20000 км**, а время обращения спутника примерно **12 ч**.





Основные элементы спутниковой системы навигации

Наземный сегмент

- В состав наземного сегмента входят космодром, командно-измерительный комплекс (КИК) и центр управления. Космодром обеспечивает вывод спутников на требуемые орбиты при первоначальном развертывании навигационной системы, а также периодическое восполнение спутников по мере их выхода из строя или выработки ресурса.
- Командно-измерительный комплекс служит для снабжения навигационных спутников служебной информацией, необходимой для проведения навигационных сеансов, а также для контроля и управления ими как космическими аппаратами.
- Центр управления, связанный информационными и управляющими радиопередачами с космодромом и командно-измерительным комплексом, координирует функционирование всех элементов спутниковой навигационной системы.

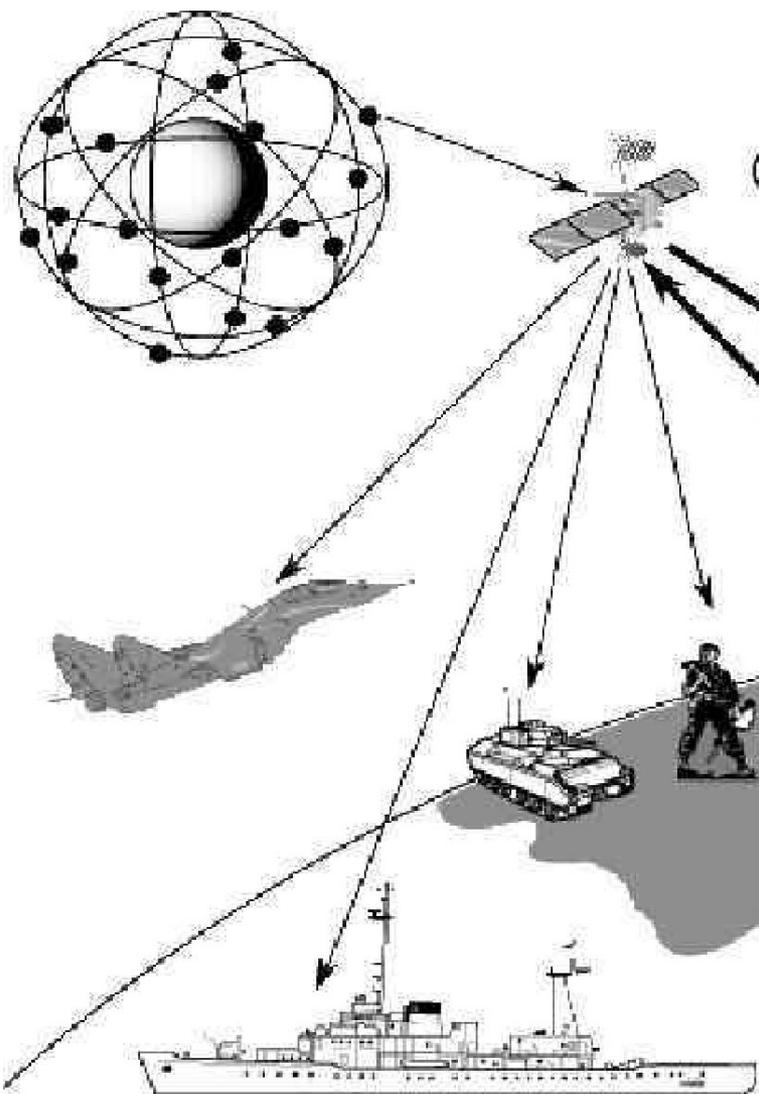




Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

Основные компоненты СРНС



Подсистема потребителей состоит из аппаратуры, установленной на космических кораблях, самолетах, вертолетах и других объектах и позволяющей найти местоположение и другие интересующие потребителя навигационные элементы.

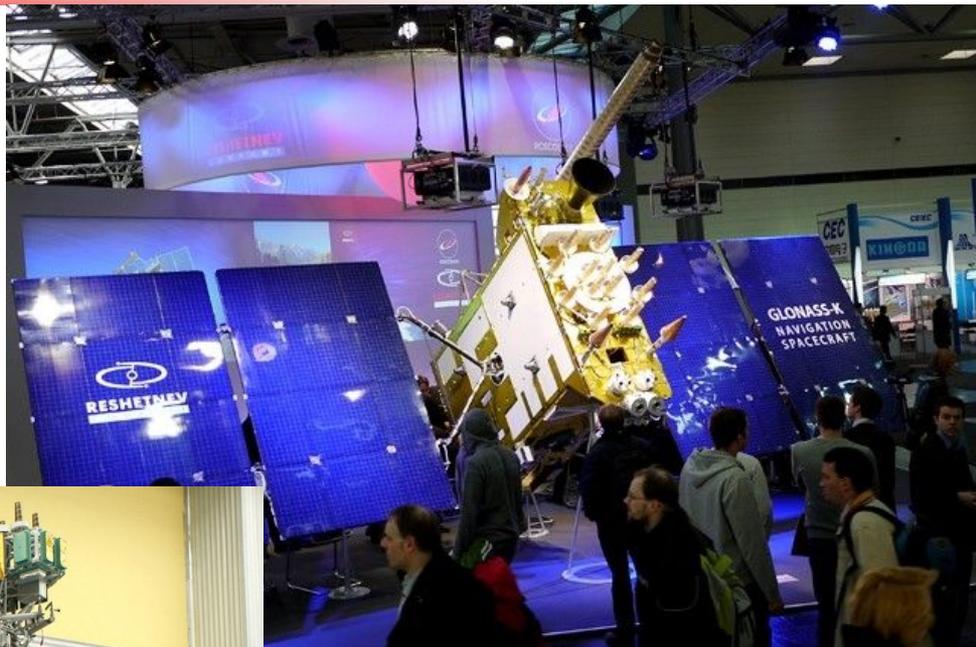
Рассматриваемая аппаратура выполняет следующие операции:

- выбор четырех, необходимых для работы квазидальномерной системы НИСЗ из числа наблюдаемых потребителем;
- расчет ожидаемых значений навигационных данных для выбранных НИСЗ;
- поиск сигналов выбранных спутников;
- выделение эфемеридной информации;
- измерение временной задержки и доплеровских частот сигналов;
- обработка результатов измерений и данных об эфемеридах для определения координат и скорости потребителя;
- оценка точности полученного навигационного решения.

Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

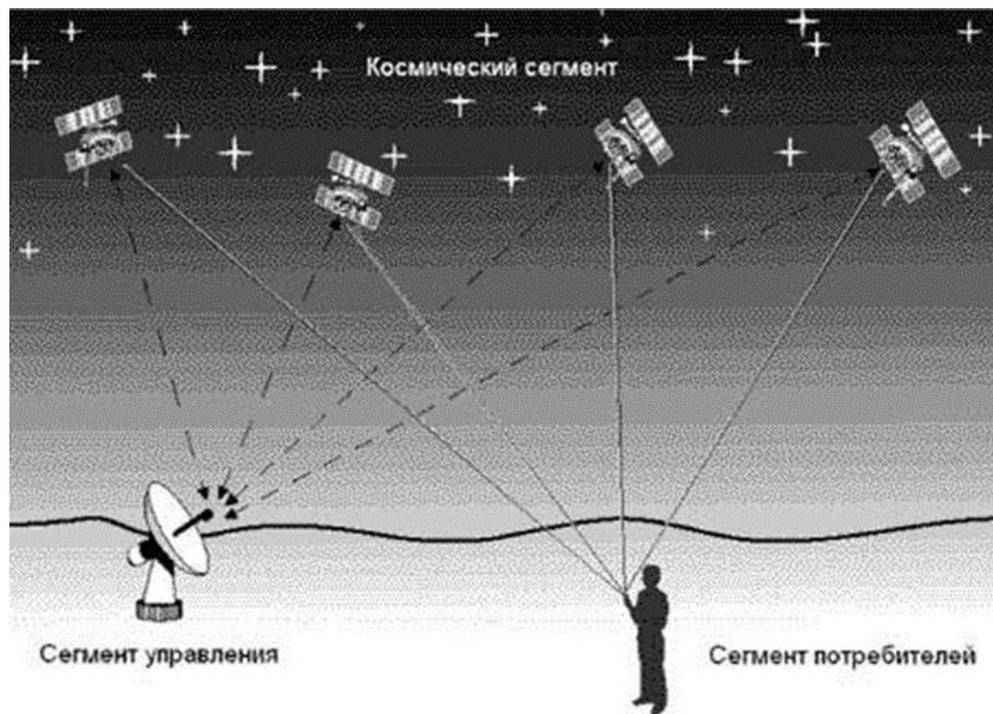
Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС



Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС

Система ГЛОНАСС предназначена для оперативного глобального обеспечения неограниченного числа потребителей — наземного, морского, воздушного и космического базирования — навигационной информацией и сигналами точного времени.

СРНС разработана по заказу Министерства Обороны. По своей структуре ГЛОНАСС так же, как и GPS, считается системой двойного действия, то есть может использоваться как в военных, так и в гражданских целях.



Система в целом включает в себя три сегмента

- **космический сегмент**, в который входит орбитальная группировка искусственных спутников Земли (иными словами, навигационных космических аппаратов (НКА));
- **сегмент управления**, наземный комплекс управления (НКУ) орбитальной группировкой космических аппаратов;
- **аппаратура пользователей системы**.

Сегменты высокоорбитальных навигационных систем ГЛОНАСС и GPS



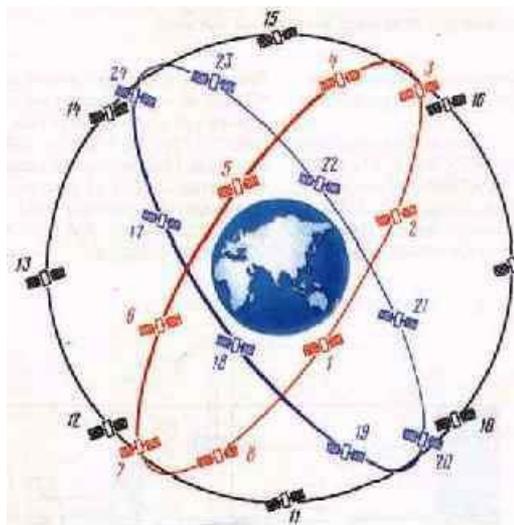
Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

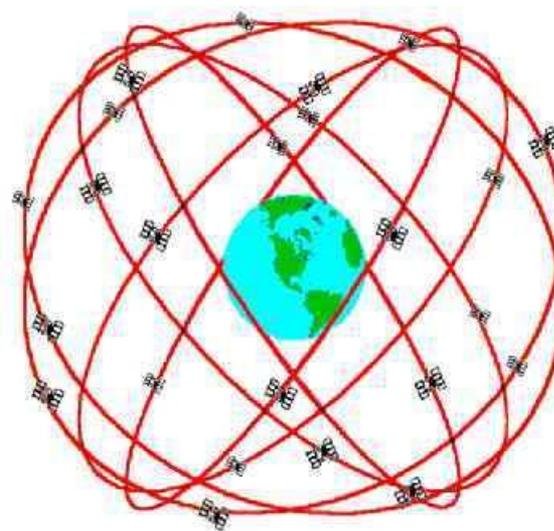
Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС

Внешний вид орбитальных группировок

ГЛОНАСС



GPS



Космический сегмент систем ГЛОНАСС и GPS

В системе ГЛОНАСС в качестве радионавигационной опорной станции используются **навигационные космические аппараты (НКА)**, вращающиеся по круговой геостационарной орбите на высоте ~ 19100 км. Период обращения спутника вокруг Земли равен, в среднем, **11 часов 45 минут**. Время эксплуатации спутника – **5 лет**, за это время параметры его орбиты не должны отличаться от номинальных значений больше чем на **5%**.



Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС



Сам спутник представляет собой герметический контейнер диаметром 1,35 м и длиной 7,84 м, внутри которого размещается различного рода аппаратура. Питание всех систем производится от солнечных батарей. Общая масса спутника – **1415 кг**.

В состав бортовой аппаратуры входят: бортовые навигационный передатчик, хронизатор («часы»), управляющий комплекс, средства заправки и обеспечения параметров среды в гермоконтейнере, системы ориентации и стабилизации, коррекции, электропитания, элементы конструкции и кабельная сеть.

Подсистема космических аппаратов (КА)

- Каждая из подсистем и включает группировку из КА (ГЛОНАСС – 24, GPS – 28).
- Спутники GPS распределены в шести, а спутники ГЛОНАСС в трех орбитальных плоскостях, развернутых соответственно через 60° и через 120° по долготе.
- Орбиты расположены так, что в любое время над любой точкой земной поверхности видно «созвездие» не менее чем из четырех КА.





Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС

Сегмент наземного комплекса управления системы ГЛОНАСС выполняет следующие функции:

- эфемеридное и частотно-временное обеспечение;
- мониторинг радионавигационного поля;
- радиотелеметрический мониторинг НКА;
- командное и программное радиоуправление НКА.



Спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС

Наземный сегмент обеспечивает эфемеридное обеспечение спутников.

Это означает, что на земле определяются параметры движения спутников и прогнозируются значения этих параметров на заранее определённый промежуток времени. **Параметры и их прогноз закладываются в навигационное сообщение, передаваемое спутником наряду с передачей навигационного сигнала.** Сюда же входят частотно-временные поправки бортовой шкалы времени спутника относительно системного времени. Измерение и прогноз параметров движения НКА производится в Баллистическом центре системы по результатам траекторных измерений дальности до спутника и его радиальной скорости.





Теоретические основы радионавигации

Спутниковая радионавигационная система глонасс



Архитектура системы ГЛОНАСС



Орбитальная группировка



Средства выведения

Протон-М

Союз-2



Байконур

Плесецк

Наземный комплекс управления

Пользователи



Орбитальная группировка:

24 КА + орбитальный резерв (3 плоскости по 8 КА в каждой)

Тип орбит:

Круговые, $H = 19\ 100$ км, $i = 64.8^\circ$

Период : 11ч 15 мин

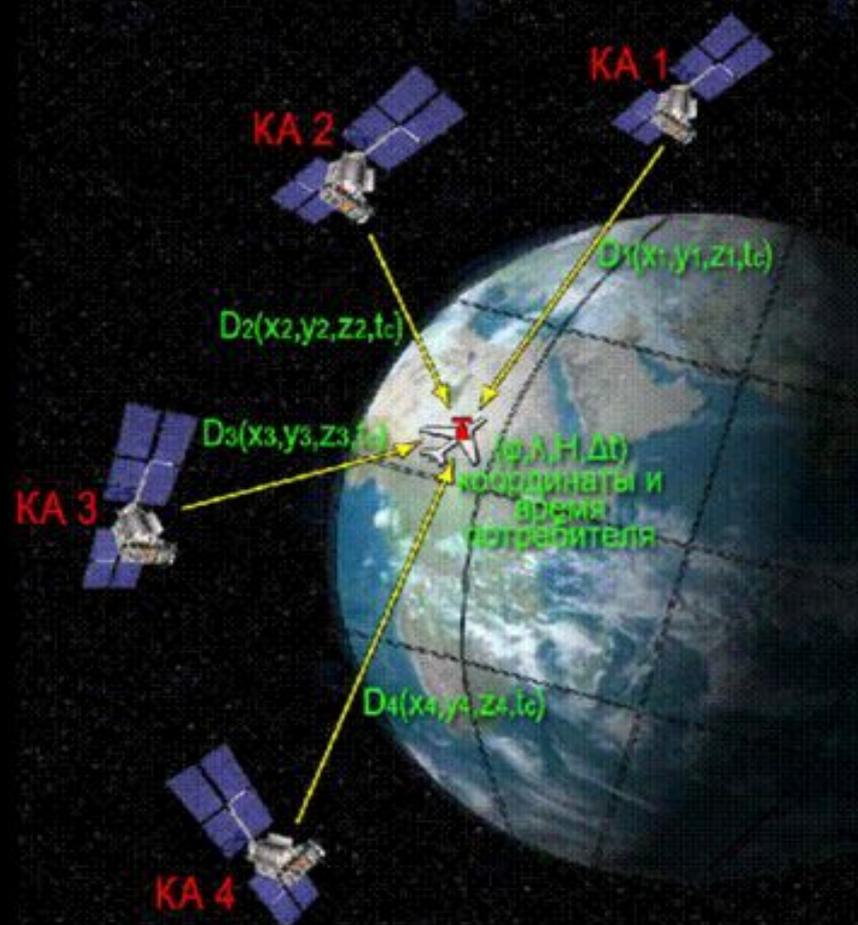
Два типа сигналов:

- Гражданский (открытый)
- Военный (закрытый)



Принцип навигации на базе ГЛОНАСС

- **Навигационные спутники ГЛОНАСС используются в качестве реперов с известными координатами**
- **Потребитель измеряет дальность до навигационных спутников, принимая навигационные сигналы от них и фиксируя время передачи и приема сигналов. Координаты спутников содержатся в навигационных сигналах**
- **По расстояниям до четырех КА потребитель с помощью навигационной потребительской аппаратуры вычисляет**
 - ↙ **свои координаты**
 - ↙ **расхождение своих часов относительно часов системы ГЛОНАСС, которая синхронизирована с госэталоном**



Перспективы развития системы ГЛОНАСС

Поддержание орбитальной группировки на уровне 24–30 космических аппаратов с учетом их орбитального резерва (24 штатных КА + до 6 резервных КА, по 2 КА в каждой орбитальной плоскости).

Плановая замена космических аппаратов «Глонасс-М» космическими аппаратами нового поколения «Глонасс-К» со сроком активного существования до 10 лет (летные испытания «Глонасс-К» начаты в 2011 году), обеспечивающими:

- введение в дополнение к существующим новым гражданских навигационных сигналов с кодовым разделением каналов в диапазонах L1 и L3;
- повышение точности навигационных определений пользователя до уровня – не хуже 3 метров;
- погрешность передачи потребителю системной шкалы времени системы ГЛОНАСС на любом суточном интервале – не хуже 12 нс;
- доступность навигационного поля на суточном интервале – не хуже 98%;
- совместимость и взаимодополняемость с системой GPS и перспективными системами Galileo и Compass;
- реализацию функции поиска и спасания в качестве среднеорбитального сегмента системы КОСПАС/SARSAT.



Перспективы развития спутниковых навигационных систем после 2018 года



Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС)

- ГЛОНАСС (Российская Федерация)  30 КА
- GPS (США)  30 КА
- GALILEO (ЕС)  30 КА
- COMPASS (Китай)  27 КА

Всего 117 КА ГНСС

Региональные навигационные спутниковые системы (РНСС)

- IRNSS (Индия)  7 КА
- Beidou-2 (Китай)  8 КА
- QZSS (Япония)  7 КА
- TRNSS (Тайвань)  7 КА

Всего 29 КА РНСС



Теоретические основы радионавигации

Спутниковые навигационные системы

Спутниковая радионавигационная система глонасс