

СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ



Спутниковые системы навигации

Исторические - Transit  Цикада  Циклон 

Действующие - NAVSTAR/GPS 

Проектируемые – Галилео 

ГЛОНАСС 

IRNSS 

КОСПАС/SARSAT 

Бэйдоу 

Системы радионавигации наземного базирования

Омега  Loran-C  Альфа  Чайка  Децца  Consol 

Система GPS



GPS WORLD

Система Глобального позиционирования (GPS или Global Positioning System) работает под управлением Министерства Обороны США и обеспечивает возможность получения точных координат и времени в любую погоду 24 часа в сутки.

В спутниковую группировку NAVSTAR входит 24 рабочих спутника (+ 5 резервных) с орбитальным периодом обращения 12 часов на высоте примерно 20200 км от поверхности Земли. Спутники располагаются в шести орбитальных плоскостях (по 4 спутника) имеющих наклон к экватору в 55° .

Каждый спутник непрерывно передает радиосигналы с собственным уникальным идентификационным псевдослучайным кодом (PRN или Pseudo Random Number code) и идентифицируется по своему коду.

МО США имеет 4 станции слежения за спутниками, три станции связи и центр осуществляющий контроль и управление. Станции слежения непрерывно отслеживают спутники и передают данные в центр управления.

В центре управления вычисляются уточнённые элементы спутниковых орбит и коэффициенты поправок спутниковых шкал времени, после чего эти данные передаются по каналам станций связи на спутники по крайней мере один раз в сутки.

Другой частью системы является GPS-навигатор - обычный радиоприемник, работающий на фиксированной частоте и постоянно "прослушивающий" сигналы, передаваемые этими спутниками. В радиосигнале излучаемом спутником содержатся данные о параметрах его орбиты, состоянии бортового оборудования и о точном времени.

GPS-приемник с помощью встроенного процессора обрабатывает полученный сигнал и вычисляет координаты Вашего местоположения.

Все спутники вещают одновременно на одних и тех же частотах и независимо от того, сколько и каких спутников находятся в поле зрения приемника, последний может без труда идентифицировать источники сигналов.

Все GPS-приемники можно условно квалифицировать как переносные (туристические, геодезические и т.п.) и стационарные (авиационные, судовые и т.п.), а так же как приемники гражданского и специального назначения.

В тоже время переносные навигаторы можно разделить на два типа.

Базовые GPS-навигаторы Garmin серии eTrex



eTrex



eTrex Camo



eTrex Summit



eTrex Venture

Картплоттеры Garmin



eTrex Legend



eTrex Legend
Cx



eTrex Vista



eTrex Vista Cx



GPSMAP
60CSx

Первый тип – базовые GPS-навигаторы не поддерживающие загрузку навигационных карт. Они позволяют определить своё местоположение, создать виртуальную карту из точек, записать маршрут и прийти в заданную точку.

Более дорогие модели имеют встроенный магнитный компас, что помогает ориентироваться в зонах неуверенного приёма GPS сигнала (в густом лесу, глубоком ущелье и пещерах), а так же функцию звукового оповещения при приближении к заданным точкам, имеют гнездо для подключения внешней антенны, что улучшает прием сигнала.

Второй тип - картплоттеры, приборы поддерживающие загрузку навигационных карт. Обычно имеют цветной экран, встроенный барометр и магнитный компас, функцию оповещения при приближении к опасным точкам. Некоторые модели используют в качестве памяти флэш-карты, что даёт возможность загрузить на них множество карт.

Все GPS-навигаторы имеют интерфейс для возможности подключения к ноутбуку или ПК.

Обычно навигаторы питаются от двух пальчиковых батареек или аккумуляторов формата AA.

Принцип работы спутниковой системы GPS

Если Вы точно знаете местоположение какого-либо реперного ориентира и расстояние до него, то можно начертить некую окружность (в 3-х мерном случае - сферу), на поверхности которой расположена точка Вашего положения. На практике, если вышеуказанное расстояние, т.е. радиус, достаточно велик, то можно заменить дугу окружности отрезком прямой линии. Если провести несколько таких линий, соответствующих разным реперным ориентирам, то точка их пересечения укажет Ваше местоположение.

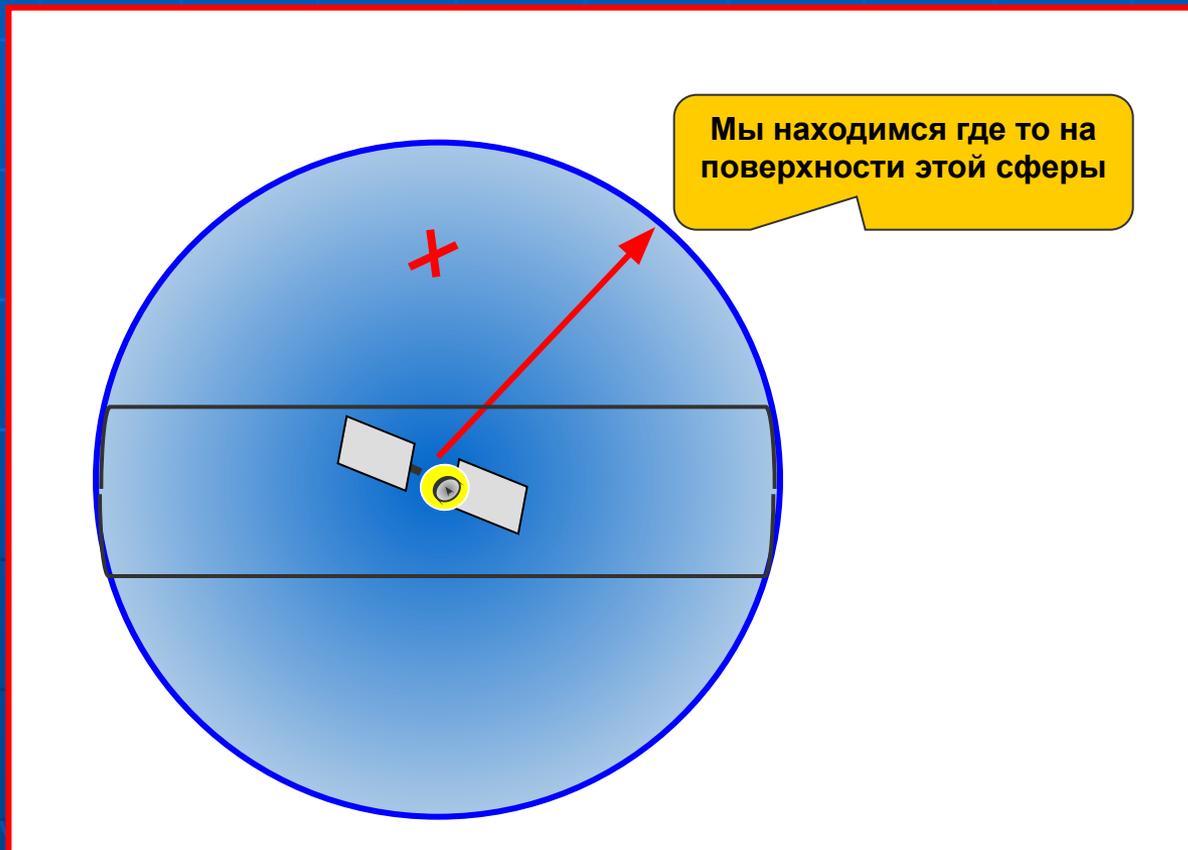
В GPS роль таких реперов играют спутники, местонахождение которых с высокой точностью известны бортовым компьютерам.

При определении точки положения в системе GPS используют пять основных систем расчета и поправок:

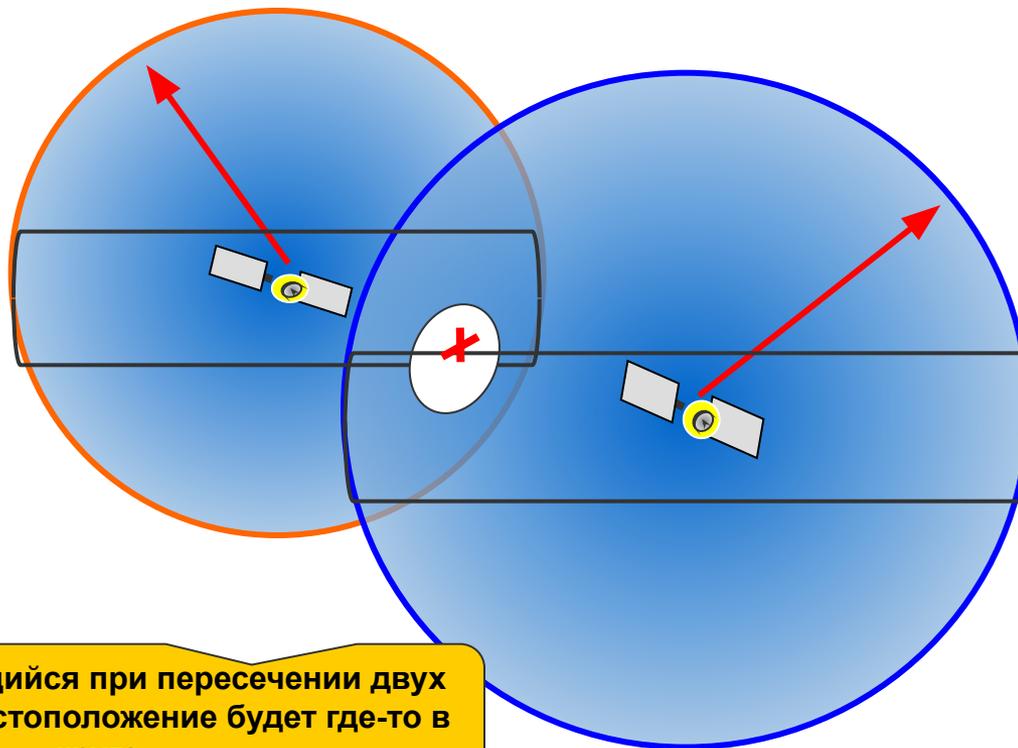
- спутниковая трилатерация – основа системы;
- спутниковая дальнометрия – измерение расстояний до спутников;
- точная временная привязка – согласование часов в приёмнике и на спутнике;
- расположение спутников – определение точного положения спутников в космосе;
- коррекция ошибок – учёт ошибок вносимых задержками в тропосфере и ионосфере.

Спутниковая трилатерация

Точные координаты места на поверхности Земли вычисляются по измерениям расстояний от группы спутников до точки положения. Спутники являются точками с известными координатами и во круг каждого спутника можно описать условную сферу заданного радиуса. Одно измерение укажет наше положение где то на поверхности сферы

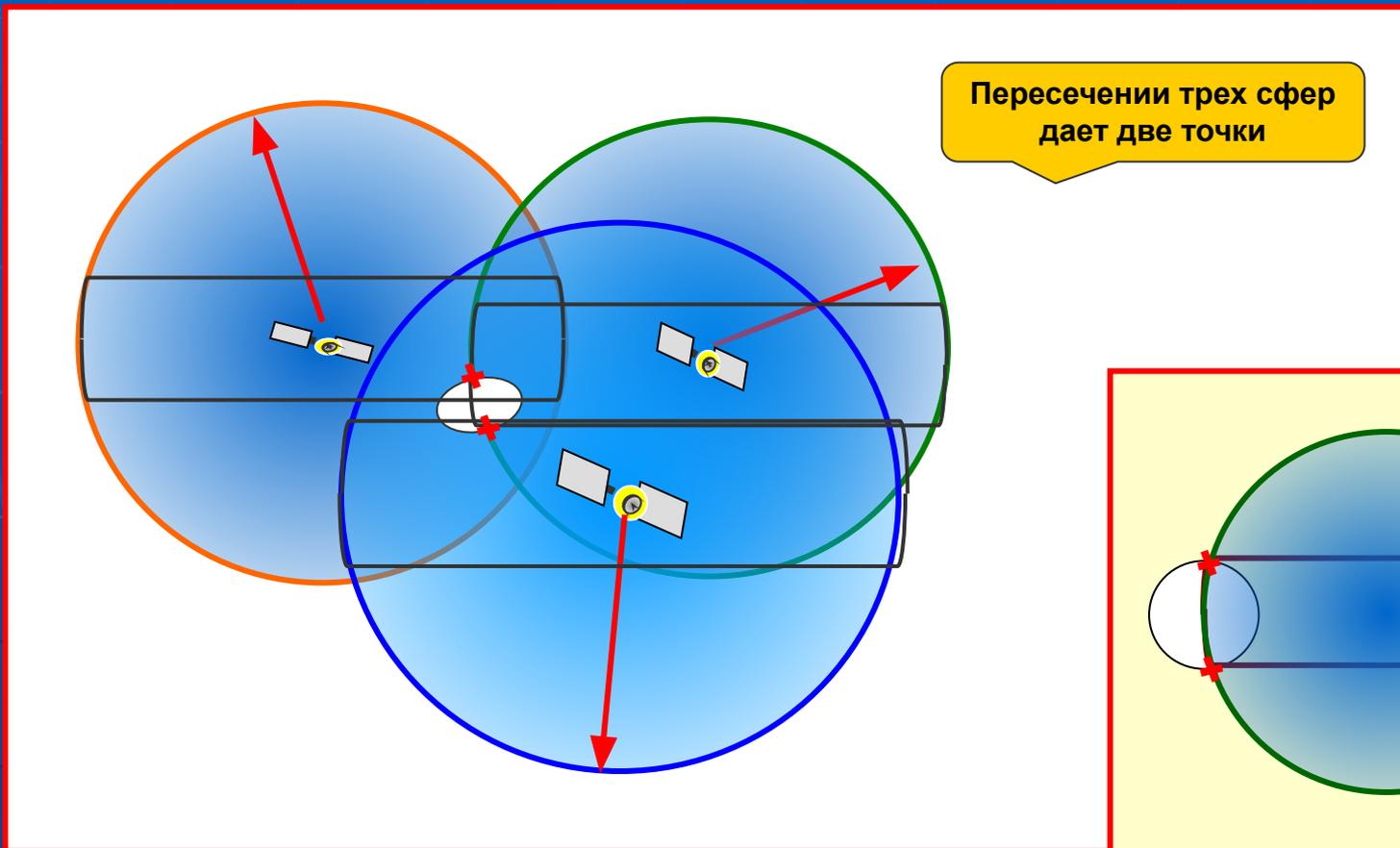


При наличии второго спутника можно сделать второе измерение. Определяемое местоположение будет расположено где-то в круге, задаваемом пересечением двух сфер. Круг образуется в результате наличия разных ошибок в измерениях.



Круг получающийся при пересечении двух сфер. Наше местоположение будет где-то в круге.

Третье измерение (третий спутник) дает местоположение в одной из двух возможных точек. Остается вычислить правильную точку. Таким образом, зная расстояние до трёх спутников, можно вычислить координаты определяемой точки.



Спутниковая дальнометрия

Расстояние до спутников определяется по измерениям времени прохождения радиосигнала от космического аппарата до приёмника. Для этого необходимо знать когда сигнал покинул спутник.

Сегодняшние GPS-спутники передают сигналы на двух частотах L1 (1575,42 МГц) и L2 (1227,60 МГц), каждая из которых содержит псевдослучайные коды.

На частоте L1 излучается два кода - «точный» ограниченный в использовании и «грубый» являющийся общедоступным.

Частота L2 содержит зашифрованный код, предназначенный для использования военными МО США.

Эти псевдослучайные коды позволяют GPS-приемникам точно определять местоположение в любой точке на Земле, отслеживая несколько спутниковых сигналов одновременно.

Приемник и спутник используют одинаковый код.

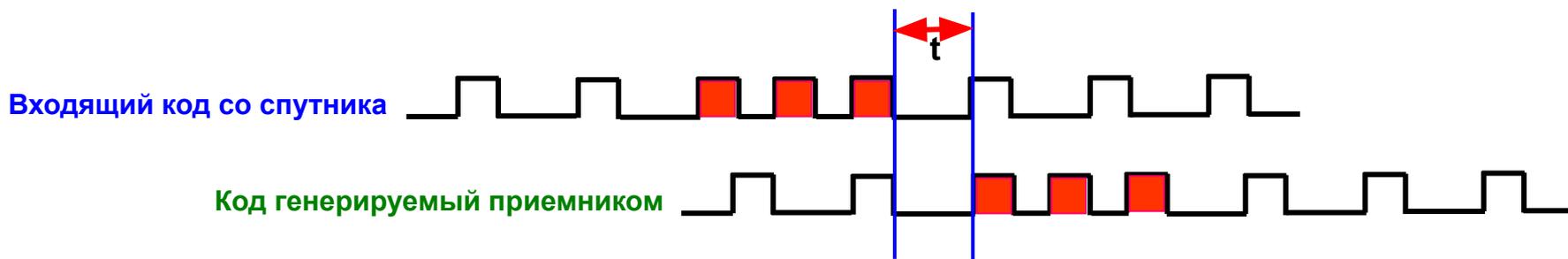
Приемник и спутник синхронизируются так, чтобы они генерировали одновременно одинаковый код.

Приёмник проверяет входящий код со спутника и определяет когда он сам генерировал такой же код.

Полученная разница, умноженная на скорость света (~ 300000 км/с) даёт искомое расстояние.

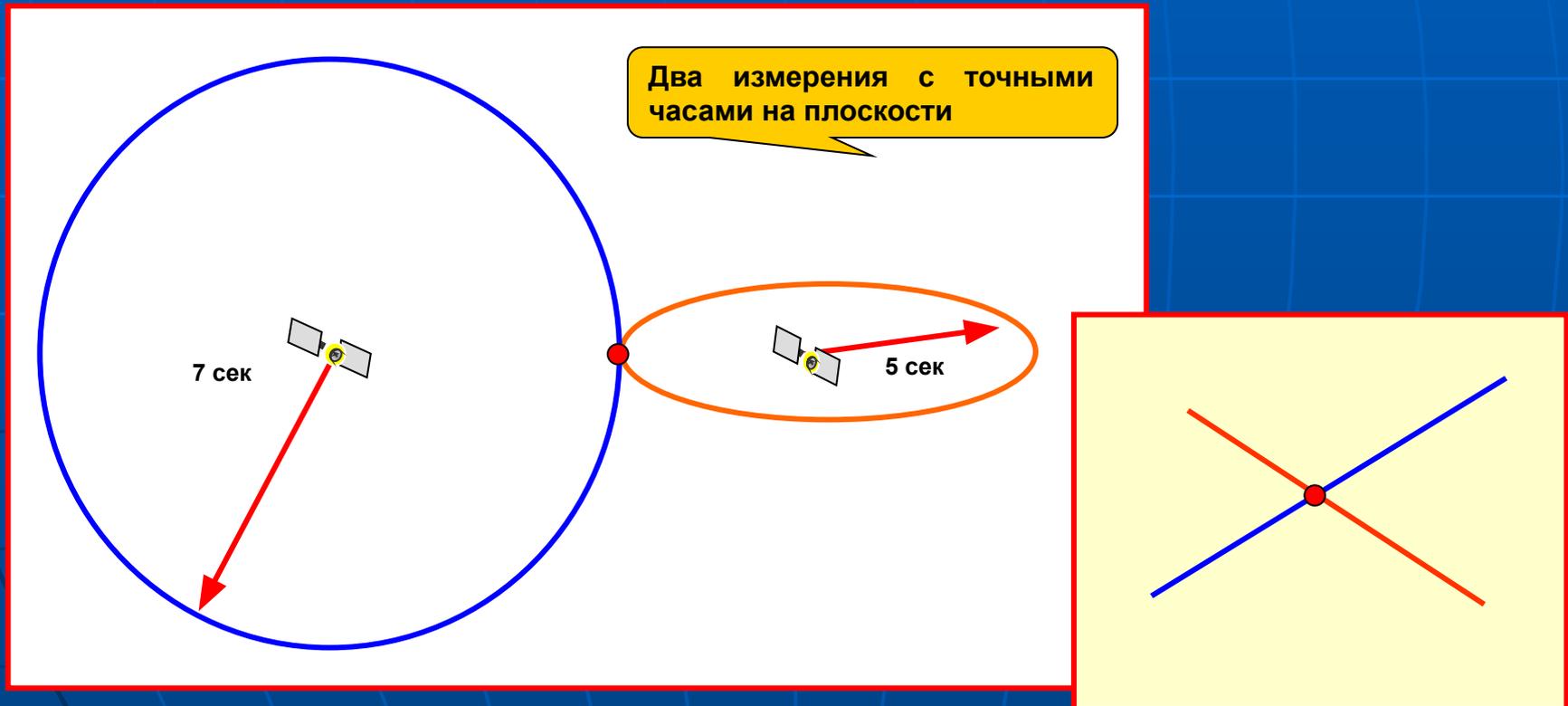
Использование кода позволяет приёмнику определить временную задержку в любое время.

Временная задержка $t=x$
между одинаковыми
участками кода

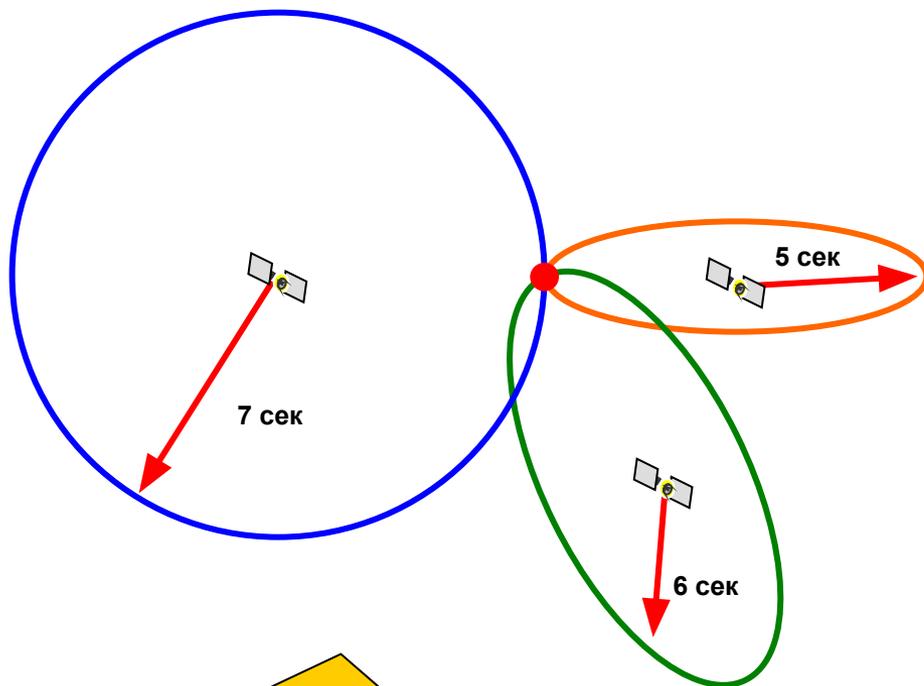


Точная временная привязка

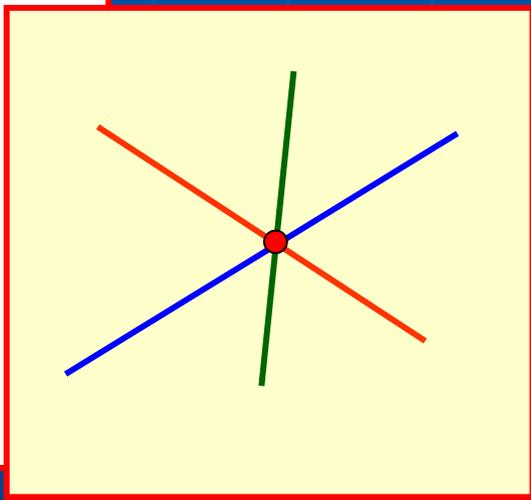
Все вычисления напрямую зависят от точности хода часов. Код должен генерироваться на спутнике и приёмнике в одно и то же время. Если часы на спутнике и в приёмнике имеют одинаковую точность хода, то местоположение может быть найдено по измерениям расстояния до двух спутников.



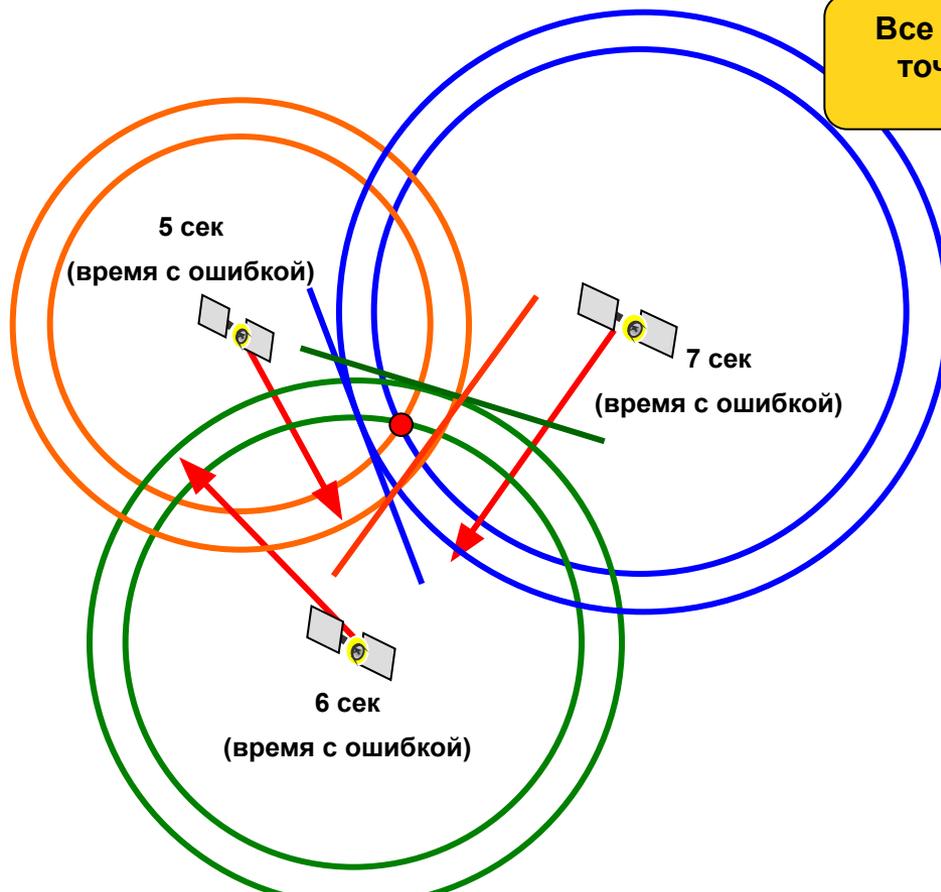
Если получены измерения с трёх спутников и все часы точные, то круги описанные радиус-векторами от трех спутников будут пересекаться в одной точке. Но на самом деле часы на спутнике и в приёмнике не синхронизированы.



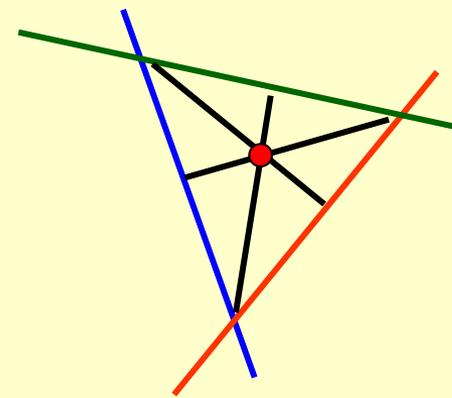
Три измерения с точными часами на плоскости



Предположим, часы в приёмнике спешат на 1 секунду, в этом случае радиус-векторы от трех спутников не пересекутся в одной точке. Если проекцию от векторов перенести на плоскость, то получится треугольник.



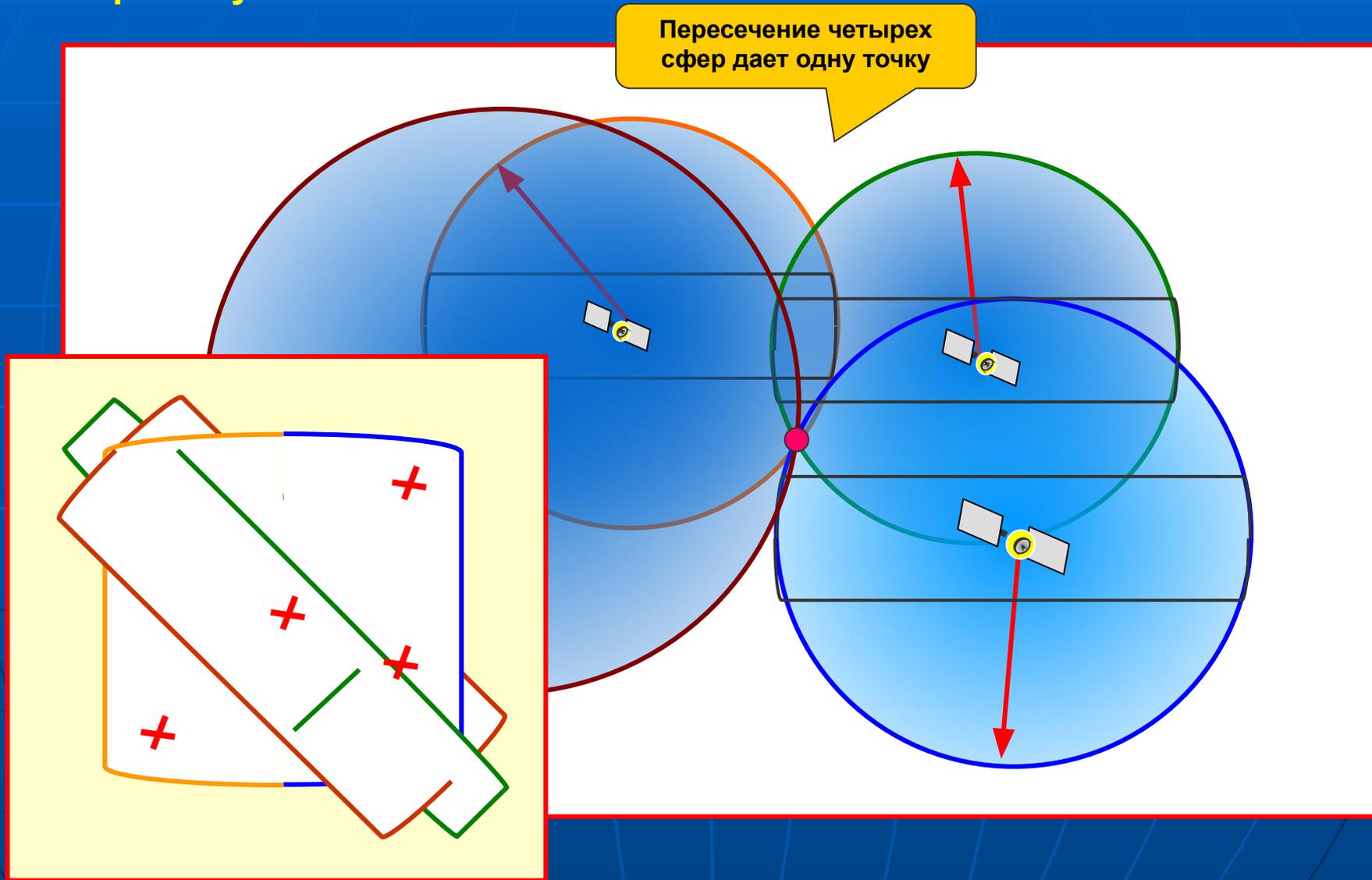
Все измерения можно привести к одной точке проведя из углов треугольника биссектрисы.



В GPS приёмниках, если серия измерений не пересекается в одной точке, то компьютер в приёмнике начинает вычитать (или добавляет) время методом последовательных итераций до тех пор, пока не сведёт все измерения к одной точке. После этого вычисляется поправка и делается соответствующее уравнивание.

Чтобы определить трёхмерные координаты объекта и устранить ошибки хода часов приёмника необходимо принимать сигналы от четырех спутников.

Пересечение четырех сфер дает одну точку



Коррекция ошибок

Некоторые источники ошибок возникающих при работе GPS являются трудноустраняемыми. Вычисления предполагают, что сигнал распространяется с непрерывной скоростью, которая равна скорости света. Однако в реальности скорость света является константой только в вакууме. Когда сигнал проходит через ионосферу (слой заряженных частиц на высоте 130-290 км) и тропосферу, скорость его распространения уменьшается, что приводит к ошибкам в измерения дальности. В современных GPS приёмниках используют всевозможные алгоритмы устранения этих задержек.

Иногда возникают ошибки в ходе атомных часов и орбитах спутников, но они обычно незначительны и тщательно отслеживаются со станций слежения. Специальная техника обработки сигнала и продуманная конструкция антенн позволяет свести к минимуму этот источник ошибок.

До 1 мая 2000 года существовал ещё один источник ошибок – это Избирательный Доступ (Selective Availability или S/A), искусственное снижение точности спутникового сигнала вводимое МО США. Это приводило к тому, что точность полученных координат с помощью GPS снижалась до 100 метров. По решению президента США Избирательный Доступ был отключен.

Модернизация системы GPS

Программа модернизации системы Navstar включает в себя запуск новых спутников, которые будут передавать дополнительные сигналы, позволяющие GPS-приемникам получать два чистых сигнала для коррекции ошибок.

В первой части программы на частоту L2 добавляется коммерческий код L2C (1176,45 МГц), условно названный «гражданским сигналом».

В этой связи большинство старых GPS-приемников не смогут поддерживать новые возможности (старые приемники не утратят возможности принимать старые сигналы).

Второй этап - включение частоты L5 (1176,46 МГц), которая обеспечит более высокий уровень мощности сигнала, чем на других частотах, и будет использовать большую полосу пропускания, позволяя передавать более длинные коды. В результате процедура приема и отслеживания слабых сигналов будут намного легче.

Частота L5 будет введена с выходом нового поколения спутников Block-II/F, которые находятся сейчас в стадии разработки.

Система «ГЛОНАСС»



«ГЛОНАСС» (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) — российская спутниковая система навигации.

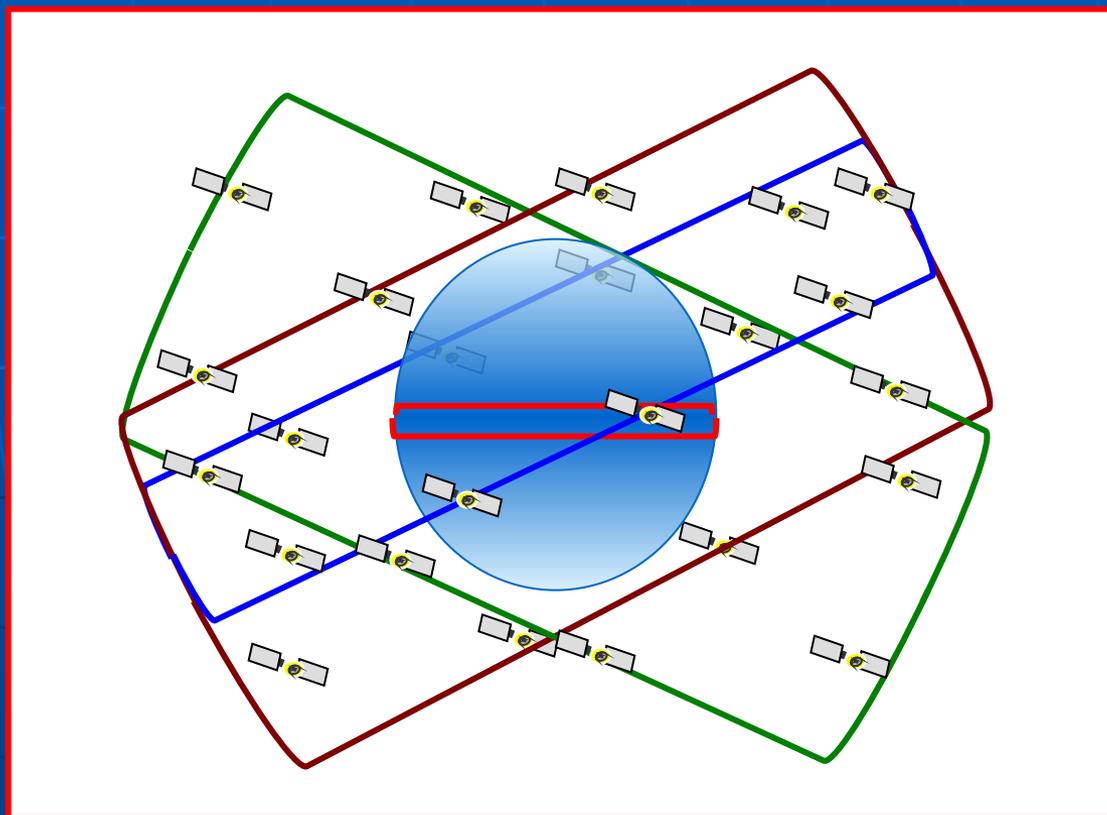
Принцип измерения аналогичен американской системе GPS (NAVSTAR). Первый спутник ГЛОНАСС был выведен Советским Союзом на орбиту 12 октября 1982 года. 24 сентября 1993 года система была официально принята в эксплуатацию.

Принципы построения, архитектура и виды предоставляемых услуг в системах GPS и «ГЛОНАСС» практически одинаковы.

Главные различия состоят в технической реализации, алгоритмах формирования навигационных сигналов на борту и системах отсчета координат и времени. Рабочие частотные диапазоны систем близки, что позволяет в одном навигационном приемнике использовать общие входные сигналы от GPS и «ГЛОНАСС».

Основу системы должны составлять **24** спутника, движущихся над поверхностью Земли в **3** орбитальных плоскостях с наклоном **64,8°**, и высотой **19100 км**.

Минимальная группировка из **18** спутников должна быть развёрнута в **2007** году. Полная группировка в составе **24-х** спутников должна быть развёрнута в **2010** году.



Спутники системы ГЛОНАСС непрерывно излучают навигационные сигналы двух типов: навигационный сигнал стандартной точности (СТ) аналогичный С/А-коду GPS в диапазоне L1 (1,6 ГГц) и навигационный сигнал высокой точности (ВТ) аналогичен Р-коду GPS в диапазонах L1 и L2 (1,2 ГГц).

Информация, предоставляемая навигационным сигналом СТ, доступна всем потребителям на постоянной и глобальной основе и обеспечивает, при использовании приёмников ГЛОНАСС, возможность определения:

- горизонтальных координат с точностью 50-70 м (вероятность 99,7%);
- вертикальных координат с точностью 70 м (вероятность 99,7%);
- составляющих вектора скорости с точностью 15 см/с (вероятность 99,7%)
- точного времени с точностью 0,7 мкс (вероятность 99,7%).

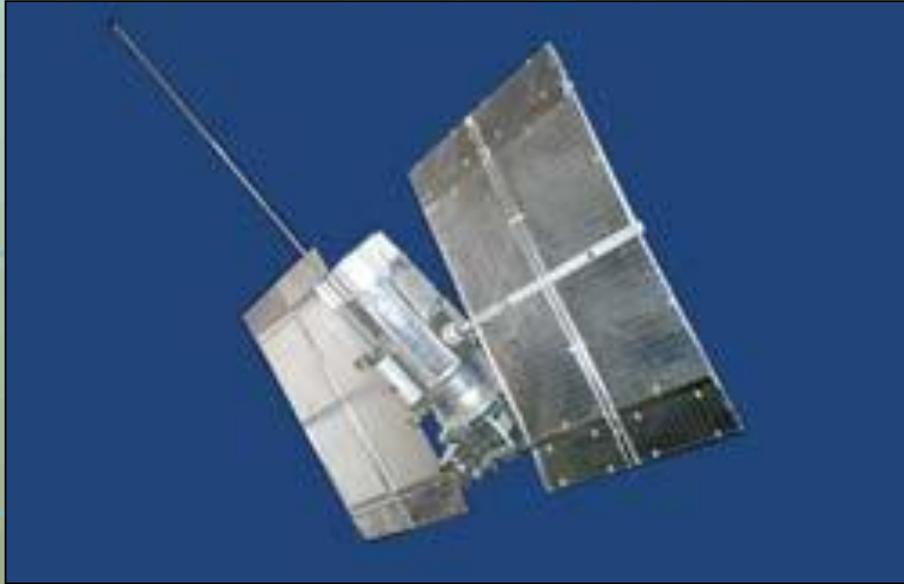
Сигнал ВТ предназначен, в основном, для потребителей МО РФ, и его несанкционированное использование не рекомендуется.

Сигнал доступен для всех потребителей в зоне видимости спутника.

Сравнительные характеристики «ГЛОНАСС» и GPS

Показатель	«ГЛОНАСС-М»	GPS
Число КА в полной орбитальной группировке	24	24 + 5
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число КА в каждой плоскости	8	4
Наклонение орбиты, °	64,8	55
Высота орбиты, км	19 130	20 180
Период обращения спутника	11 ч 15 мин 44 с	11 ч 58 мин 00 с
Система координат	ПЗ-90	WGS-84
Срок активного существования, лет	3	7,5
Несущая частота:		
L1	1598,0625—1604,25 МГц	1575,42 МГц
L2	1,25 ГГц	1227,60 МГц
L3	-	1176,45 МГц

Система «КОСПАС/SARSAT»



Международная спутниковая система аварийного оповещения КОСПАС- SARSAT, предназначенная для обнаружения и определения местоположения потерпевших бедствие судов, самолетов и людей.

Система КОСПАС-SARSAT по сигналам аварийно-спасательного радиомаяка, передаваемого на частоте 406 МГц, обеспечивает его идентификацию, определение его географических координат и передачу необходимой информации службам спасения.

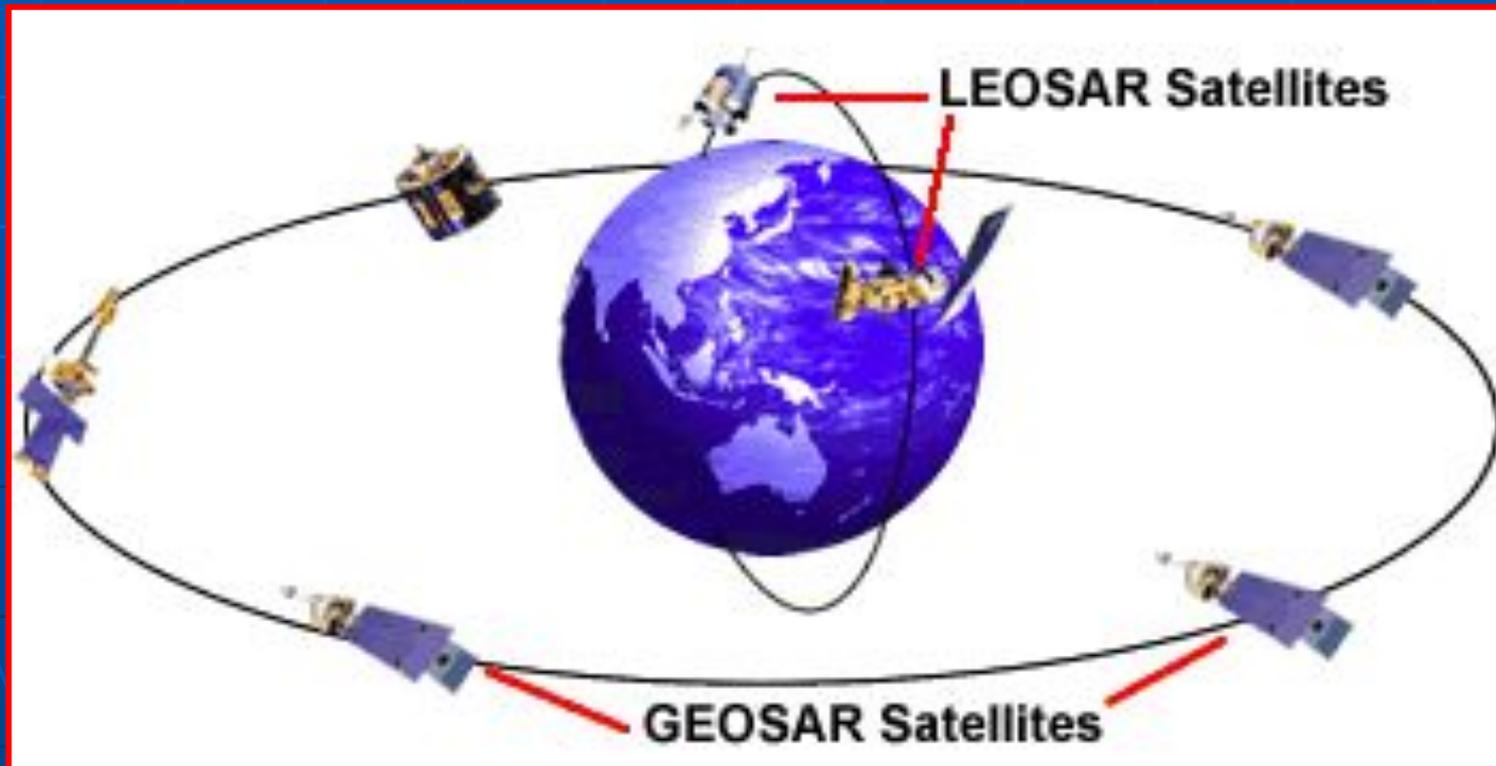
Аварийно-спасательные радиомаяки также обеспечивают излучение аварийных сигналов на частотах 121,5 МГц и 243,0 МГц для пеленгации и выход в точку инцидента поисково-спасательных служб.



Система КОСПАС- SARSAT включает в себя два типа спутников:

-спутники на низкой орбите Земли (НИО), которые формируют Низкоорбитальную спутниковую систему поиска и спасения (НССПС - LEOSAR)

-спутники на геостационарной орбите Земли (ГЕО), которые формируют Геостационарную спутниковую систему поиска и спасения (ГССПС – GEOSAR)



Аварийно-спасательные радиомаяки представляют собой радиопередатчики аварийных сигналов и предназначены для использования в глобальной международной системе поиска и спасения КОСПАС-SARSAT.

Подразделяются на аварийные радиобуи авиационного использования, морского применения и персонального использования.

Электропитание радиомаяков осуществляется от собственных электрических батарей.



При активации радиомаяк излучает сигнал на частоте 406 МГц, принимаемый спутниковой группировкой, который содержит цифровое кодированное сообщение, в нем может содержаться такая информация, как код страны регистрации радиобуя, серийный номер радиомаяка, обозначение эксплуатанта, данные о координатах, полученные от встроенного навигационного устройства.

Ближний поиск обеспечивается приводным маяком, работающим на международной аварийной частоте 121,5 МГц и 243,0 МГц, принимаемой пролетающими спутниками КОСПАС-САРСАТ, самолетами или носимыми пеленгаторами.

Электропитание аварийно-спасательных радиомаяков осуществляется от собственных электрических батарей.