**Глобальные Навигационные Спутниковые  Системы (GNSS).**

**Позиционирование** – определение своего местоположения в пространстве

**GPS** – Глобальная Система Позиционирования

**1.** **Назначение спутниковых систем**

Навигационные спутниковые системы предназначены для определения местоположения, скорости движения, а также точного времени морских, воздушных, сухопутных и других видов потребителей. NAVSTAR и ГЛОНАСС -  системы двойного назначения, изначально разработанные по заказу и под контролем военных  для нужд Министерств обороны  и поэтому первое, и основное назначение у систем стратегическое, второе назначение указанных систем гражданское.

**2.**      **Общий состав системы**

Систтема состоит из трёх основных  подсистем:

o    **подсистема космических аппаратов**

o    **подсистема контроля и управления**

o    **навигационной аппаратуры потребителей**

**Подсистема космических аппаратов**

            Спутники, разбитые по группам, вращаются в своих орбитальных плоскостях на неизменной средневысотной орбите, на постоянном расстоянии от поверхности Земли. Для получения сигнала в любое время, в любой точке земного шара и в 100 километрах от поверхности земли требуется 24 спутника. Если разделить условно, то по 12 спутников на каждое полушарие. Орбиты этих спутников образуют “сетку” над поверхностью земли, благодаря чему над горизонтом всегда гарантированно находятся минимум четыре спутника, а созвездие построено так, что, как правило, одновременно доступно не менее шести . Полностью развёрнутая спутниковая система имеет также резервные спутники, по одному в каждой плоскости, для “горячей” замены (в случае выхода основного спутника из строя они могут быть оперативно введены взамен неисправного). Резервные спутники не бездействуют и также участвуют в работе системы, улучшая точность позиционирования и обеспечивая достаточную избыточность. Они также могут быть использованы и для увеличения степени покрытия отдельного региона. Спутники в ограниченных пределах могут быть перегруппированы по команде с наземной станции управления, но в связи с ограниченным запасом топлива на борту спутника делается это только в исключительных случаях. При необходимости в течение срока службы происходит лишь небольшая коррекция движения. На борту спутника располагаются несколько эталонов времени и частоты «высокоточные атомные часы». Работает всегда один эталон, а располагается их в спутнике несколько (от трёх до четырёх).

**Подсистема контроля и управления**

  Эта система состоит из:

-  центра управления навигационной системой со своим мощным вычислительным центром

-  развёрнутой сети станций измерения управления и контроля, связанных между собой

- центром управления каналами связи и наземного эталона времени и частоты “атомных часов”, для синхронизации бортовых “атомных часов” спутников (этот эталон более высокоточный,  чем те, что установлены на спутниках).

В задачи данной подсистемы входит контроль правильности функционирования спутников, непрерывное уточнение параметров орбит и выдача на спутники временных программ, команд управления и навигационной информации. При пролёте спутника в зоне видимости станции измерения, управления и контроля, она осуществляет наблюдение за спутником, принимает навигационные сигналы, производит первичную обработку данных и производит обмен данными с центром управления системой. На главной станции происходит обработка и вычисление всех поступающих от сети управления данных их математическая обработка и вычисление координатных и корректирующих данных, подлежащих загрузке в бортовой компьютер спутника.

**Навигационная аппаратура потребителей**

Состоит из навигационных приемников и устройств обработки, предназначенных для приема навигационных сигналов спутников и вычисления собственных координат, скорости и времени.

**Области применения GNSS:**

- потребности Министерства обороны

- гражданская авиация

- морской и речной транспорт

- геодезия и картография

- строительство

- наземный транспорт

- системы безопасности

- спорт

- сельское хозяйство

- спасательные работы

- частное использование

**3.** **Принцип работы системы**

Задача вычисления своего местоположения пользователем является достаточно сложной, так как для вычисления собственных координат на местности необходимо вычислить координаты нескольких спутников, т.е. знать их точное местоположение относительно приёмной аппаратуры. Спутники постоянно двигаются, соответственно координаты постоянно меняются. Для оперативного просчёта и уменьшения вычислительной мощности размеров и стоимости пользовательской аппаратуры, вычисление максимально возможного объема данных было возложено на наземный комплекс управления, в котором по результатам наблюдений за спутниками просчитывается прогноз параметров орбиты в фиксированные (опорные) моменты времени и во время сеансов связи передаются на спутник. Зная предполагаемые параметры орбиты и точные координаты спутника в опорной точке можно вычислить координаты спутника в любой произвольный момент времени. Спрогнозированные параметры орбиты и их производные называются – **эфемеридами**. Набор сведений, применяемых для поиска видимых спутников и выбора оптимального созвездия и, содержащих сведения о текущем состоянии навигационной системы в целом, включая “загрублённые” эфемериды, называются  **альманахом**. Передатчики, находящиеся на спутнике в беспрерывном режиме на высокой частоте передают **навигационные сообщения,** содержащие эфемериды с метками времени и альманахом. Пользовательская аппаратура, принимая такое навигационное сообщение и опираясь на заложенный в памяти предыдущий альманах, максимально быстро и точно определяет собственные координаты, при необходимости выводя их на средства отображения информации.

Вычислив координаты спутника, зная точное расстояние от спутника до земли и эталонное время распространения радиосигнала, приёмная аппаратура сможет вычислить расстояние от спутника до пользовательского приёмника, а вычислив расстояние до нескольких спутников, можно будет определить своё местоположение.

**4. Ведомственная принадлежность спутниковых систем**

Навигационная спутниковая система - это очень сложный и дорогостоящий механизм и принадлежит он государствам (Министерству обороны тех стран, где разрабатывался и внедрялся). GNSS являются также стратегическим видом  вооружения тех стран, которым принадлежат. В случае возникновения боевых действий мирная с виду технология может быть задействована для наведения высокоточного оружия, десантирования грузов, ориентирования на местности целых подразделений, проведения разведывательно-диверсионных операций  и как результат - серьезное преимущество в скорости и точности позиционирования перед противником, не имеющим собственных технологий спутникового позиционирования.

**Виды погрешностей.**

Как бы точны ни были атомные часы на спутниках, все же и у них имеются источники небольших погрешностей. Специальные станции следят за этими часами и могут выверить их, если выявиться хотя бы незначительный уход. Наши приемники на Земле также иногда ошибаются. Компьютер приемника может округлить математическую операцию, или электрические помехи могут привести к ошибочной обработке псевдослучайных кодов. Еще один тип погрешностей - это ошибки "многолучевости". Они возникают, когда сигналы, передаваемые со спутника, многократно переотражаются от окружающих предметов и поверхностей до того, как попадают в приемник. Все источники погрешностей, которые мы до сих пор обсуждали, суммируются и придают каждому измерению GPS некоторую неопределенность.

**Геометрия - некоторые углы лучше других.**

Для достижения наибольшей точности в хорошем приемнике GPS учитывается некоторый своеобразный геометрический принцип, названный "Geometric Dilution of Precision - GDOP" (геометрический фактор снижения точности). Суть в том, что в зависимости от взаимного расположения спутников на небосводе геометрические соотношения, которыми характеризуется это расположение, могут многократно увеличивать или уменьшать все неопределенности, о которых мы только что говорили. Мы представляли наше местоположение относительно спутников в виде окружностей, центры которых совмещены со спутниками. Ну а теперь, когда мы знаем, что каждое измерение содержит в себе и небольшую неопределенность, нам следует эти четкие окружности вообразить размытыми. Наличие областей неопределенности означает, что мы не можем больше считать , что находимся в четко определенной точке. Можно сказать лишь, что мы где-то внутри этой суммарной области неопределенности...

**Вот что такое "Геометрический фактор уменьшения точности".**

В зависимости от угла между направлениями на спутники область пересечения размытых окружностей (область неопределенности местоположения) может быть либо аккуратным небольшим квадратиком, либо сильно растянутым и неправильным четырехугольником. Проще говоря, чем больше угол между направлениями на спутники, тем точнее местоопределение. Исходя из этого, хорошие приемники снабжают вычислительными процедурами, которые анализируют относительные положения всех доступных для наблюдения спутников и выбирают из них четырех кандидатов, т.е. наилучшим образом расположенные четыре спутника.

**Точность GPS**

Результирующая погрешность GPS определяется суммой погрешностей от различных источников. Вклад каждого из них варьируется в зависимости от атмосферных условий и качества оборудования. Кроме того, точность может быть целенаправленно снижена Министерством обороны США в результате установки на спутниках GPS так называемого режима S/A ("Selective Availability"- ограниченный доступ). Этот режим разработан для того, чтобы не дать возможному противнику тактического преимущества в определении местоположения с помощью GPS. Когда и если этот режим установлен, он создает наиболее существенную компоненту суммарной погрешности GPS.

**Таким образом:**

Ионосфера и атмосфера Земли вызывают задержки сигнала GPS, которые можно пересчитать в ошибки местоопределения. Некоторые из этих ошибок могут быть устранены математически и путем моделирования. Другие источники ошибок - это часы спутников, приемники, и многолучевость. Не наилучшее взаимное расположение спутников в небе приводит к увеличению всех компонент суммарной погрешности местоопределения.

**Эфемериды, их виды**

Что такое эфемериды?

В знаменитом словаре определений Вебстера, приводится следующее определение термина эфемериды" "*Эфемериды – это таблица координат небесного тела, приведенная в различные периоды времени за определенный период.* Астрономы и геодезисты используют эфемериды для определения положений небесных тел, которые берутся в дальнейшем для вычисления координат точек на поверхности земли.

В общем, для нас GPS эфемериды можно сравнить с GPS спутниками, и представить их в качестве созвездия искусственных звезд. Для того, чтобы вычислить наше местоположение относительно спутников GPS, нам нужно знать их местонахождение в пространстве, другими словами их эфемериды. Существует два типа эфемерид: переданные (бортовые) и точные.

Переданные (бортовые) эфемериды

Переданные (бортовые) эфемериды, как видно из их названия, передаются непосредственно от GPS спутников. Переданные эфемериды содержат информацию об элементах кеплеровской орбиты, которые позволяют GPS приемнику вычислять общеземные геоцентрические координаты каждого спутника, относительно исходной геодезической даты WGS-84. Эти кеплеровские элементы состоят из информации о координатах спутников на определённую эпоху и изменений параметров орбиты от отчетного периода до момента наблюдения (принимается рассчитанная скорость изменения параметров). Пять станций мониторинга постоянно отслеживают заранее предсказанные положения орбит спутников, формируя поток эфемеридной информации. Далее [главная управляющая станция Navstar](http://www.navgeocom.ru/gps/gengps/index.htm) ежедневно передает переданные эфемериды на спутники. Вычисленная точность переданных эфемерид составляет ~ 260 см и ~ 7 нс.

Точные эфемериды (Final products)

Точные эфемериды состоят из общеземных геоцентрических координат каждого спутника, определенных в Общеземной наземной системе отчета и включают поправки часов. Эфемериды вычисляются для каждого спутника с интервалом 15 мин. Точные эфемериды – это продукт постобработки. Данные собираются станциями слежения, расположенными по всей территории Земли. Далее эти данные передаются в Международную Службу GPS (IGS), где и происходит вычисление точных эфемерид. Точные эфемериды становятся доступными приблизительно через 2 недели после времени сбора данных и имеют точность менее 5 см и 0.1 нс.

Быстрые эфемериды (Rapid products)

Быстрые эфемериды вычисляются по тому же принципу, что и точные эфемериды, однако при обработке используется меньший набор данных. Быстрые орбиты, как правило, “выкладываются” на службы международных агентств на следующий день. Точность быстрых эфемерид составляет 5 см и 0.2 нс.

Предсказанные или Ультрабыстрые эфемериды (Ultrarapid products)

Ультрабыстрые эфемериды передаются, как и переданные эфемериды, но обновляются они дважды в день. Иногда их называют эфемеридами в реальном времени. Это можно объяснить тем фактом, что их используют также как и переданные эфемериды, но для приложений в реальном времени. Точность ультрабыстрых эфемерид составляет ~ 25 см и ~ 5 нс.

А нужны ли нам точные эфемериды?

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, давайте установим связь между точностью эфемерид и точностью решения GPS вектора. Предположим, речь идет о базовой линии длиной 10 км. Мы обрабатываем линию, используя при этом, переданные эфемериды (точность 2.60 м). В этом случае, ожидаемая точность будет равна (10 км /20000 км) \* 2.60м = 1.3 мм. Если длина базовой линии будет равна 100 км, ошибка возрастет до 13 мм. Эти цифры позволяют сделать вывод о том, что на коротких базовых линиях (до 100 км) использование переданных эфемерид является более чем достаточным.

Вообще, можно говорить о том, что в связи с развитием системы GPS, потребность в точных эфемеридах несколько уменьшилась. Например, еще несколько лет назад ошибка переданных эфемерид составляла 20 м, при этом ошибка измерения на 10 км базисе составила бы 1 см.

Зачем использовать точные эфемериды?

Во-первых, необходимо иметь в виду, что величины ошибок, которые приводились ранее, справедливы для линий, имеющих фиксированные решения. Однако на линиях порядка 50 км и выше, весьма трудно получить фиксированное решение, используя переданные эфемериды. Использование точных эфемерид значительно повышает шансы получить фиксированное решение.

Во-вторых, давно известно, что высота с помощью GPS определяется менее точно, чем плановые координаты. Поэтому, при работах, требующих более качественного определения высоты, рекомендуется использовать точные эфемериды.

В-третьих, надо помнить о том, что переданные эфемериды только *предположение* о том, где должны находиться спутники. Иногда могут возникнуть ситуации, когда в переданных эфемеридах содержатся ошибки, которые не могут не отразиться на качестве решения базовой линии. Выходом из такой ситуации, может служить использование быстрых эфемерид, спустя сутки после выполнения наблюдений.

Как формируется название файлов точных эфемерид?

Если Вы впервые используете точные эфемериды, имена их файлов могут показаться вам сложными и не имеющими логического построения. Однако на деле, все оказывается не таким уж сложным. Имена файлов точных эфемерид имеют вид **zzznnnnx.aaa**, где

**zzz** – имя организации (NGS, IGS и т.д.)  
**nnnn** – порядковый номер GPS недели (например 0475)  
**x** –день недели (воскресенье=0, суббота=6)  
**ааа** – тип файлы (например, sp3, e18)

**ГЛОНАСС**

ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) это спутниковая радионавигационная система, позволяющая неограниченному числу потребителей в любой точке Земли и воздушного пространства независимо от метеоусловий определять с высокой точностью свои координаты, скорость движения и точное время. Области использования системы ГЛОНАСС обширны и разнообразны. Среди них можно выделить следующие:

1. Организация воздушного и морского движения, повышение безопасности полетов и мореплавания.
2. Геодезия и картография, составление земельных и лесных кадастров, строительство дорог, прокладка коммуникаций и трубопроводов контроль сейсмически опасных районов, геология и разведка полезных ископаемых, разработка нефтяных и газовых месторождений на участках прибрежных шельфов, определение параметров вращения Земли и т.д.
3. Мониторинг наземного транспорта, организация и управление движением грузов, междугородним железнодорожным и автотранспортом, создание «интеллектуальных» транспортных средств.
4. Синхронизация шкал времени удаленных друг от друга объектов.
5. Экологический мониторинг, организация поисково-спасательных работ.

***Характеристики системы ГЛОНАСС***

Точность навигационных определений по положению, м (99,7 % вероятности) - 50-70

Точность определения составляющих вектора скорости потребителя, м/с (99,7 % вероятности) - не хуже 0,15

Точность привязки эфемеридного времени к всемирному гринвичскому (99,7 % вероятности) - 1 мкс

Время, необходимое для проведения: - первого навигационного определения – от 1 до 3 минут; последующих навигационных определений - от 1 до 10 c

Первый спутник ГЛОНАСС(Космос 1413) был запущен 12 Октября 1982 года. Официально система ГЛОНАСС введена в действие 24 Сентября 1993 по распоряжению Президента Российской Федерации.

***Как работает система ГЛОНАСС***

Для определения трехмерных координат, скорости и времени потребитель использует навигационные сигналы, постоянно передаваемые спутниками ГЛОНАСС. Каждый спутник ГЛОНАСС передает навигационные радиосигналы двух типов: стандартной точности (СТ) и высокой точности (ВТ). Сигнал СТ передается в диапазоне L с использованием принципа частотного разделения каналов. Это означает, что каждый спутник ГЛОНАСС передает навигационный сигнал на собственной несущей частоте: L1 = 1602 MHz + n0.5625 MГц, где n - номер частотного канала (n=0,1.2...). Спутники, которые находятся в противоположных точках плоскости орбиты (антиподальные спутники), могут передавать навигационные сигналы на одной и той же несущей. Одновременное нахождение антиподальных спутников в зоне видимости отдельного потребителя невозможно. Навигационный приемник потребителя автоматически принимает сигналы не менее чем от 4 спутников ГЛОНАСС и проводит измерения псевдодальностей до этих спутников и скоростей их изменения. Одновременно с проведением измерений из сигналов спутников выделяются и обрабатываются навигационные сообщения. В результате совместной обработки в процессоре приемника измерений и навигационных сообщений вычисляются три координаты потребителя, три составляющих скорости его движения и точное время.

***Состав системы ГЛОНАСС***

Система ГЛОНАСС включает в себя три подсистемы (сегмента): подсистему космических аппаратов (орбитальный сегмент), наземный комплекс управления (наземный сегмент) и подсистему (сегмент) потребителей.

Подсистема космических аппаратов

Полностью развернутая орбитальная группировка ГЛОНАСС состоит из 24 космических аппаратов, размещенных в трех орбитальных плоскостях. Плоскости разнесены по долготе на 120 градусов и сдвинуты относительно друг друга по аргументу широты на 15 градусов. В каждой плоскости размещены по восемь спутников с равномерным сдвигом по аргументу широты 45 градусов. Спутники расположены на круговых орбитах с наклонением 64.8 градуса и периодом обращения, примерно равным 11 часов 15 минут. Такая конфигурация орбитальной группировки позволяет обеспечивать постоянное присутствие как минимум 5 спутников с приемлемой геометрией созвездия в зоне видимости потребителя, находящегося в любой точке Земли и околоземного пространства.

В настоящее время орбитальная подсистема ГЛОНАСС состоит из 24 работающих спутников и одного резервного. При этом обеспечивается непрерывное навигационное поле с постоянным нахождением 5...8 спутников ГЛОНАСС в зоне видимости потребителя. Характеристики наблюдаемости спутников ГЛОНАСС в северных широтах (> 50 градусов) лучше, чем характеристики наблюдаемости спутников GPS.

Спутник ГЛОНАСС

Выведение спутников ГЛОНАСС на орбиту осуществляется Военно-космическими силами России с космодрома Байконур. Носитель тяжелого класса «ПРОТОН» выводит одновременно три спутника. В состав бортовой аппаратуры спутника ГЛОНАСС входят навигационный комплекс, комплекс управления, системы ориентации, стабилизации, коррекции и т.д. Каждый спутник оснащен цезиевым стандартом времени/частоты, предназначенным для формирования высокостабильной бортовой шкалы времени и синхронизации всех процессов в бортовой аппаратуре. Бортовой компьютер обрабатывает, поступающую из НКУ навигационную информацию, и преобразовывает ее в формат навигационного сообщения для потребителей.

Навигационное сообщение

Навигационное сообщение передается в составе навигационного радиосигнала и включает в себя:

* спутниковые эфемериды, частотно-временные поправки к бортовой шкале времени относительно системного времени ГЛОНАСС и UTC(SU);
* метки времени;
* альманах системы.

Эфемериды представляют собой точные координаты (x,y,z), и их первые и вторые производные, которые описывают положение спутника в геоцентрической системе координат ПЗ-90. Альманах содержит информацию о всех спутниках системы, а именно: кеплеровы элементы, грубые значения временных поправок к бортовому времени относительно системного и признаки исправности/неисправности каждого спутника.

Наземный комплекс управления

Управление орбитальной группировкой ГЛОНАСС осуществляет наземный комплекс управления (НКУ). Он включает в себя Центр управления системой (ЦУС)(г.Голицыно-2, Московская область) и сеть станций слежения и управления, рассредоточенных по всей территории России. Наземный комплекс управления осуществляет сбор, накопление и обработку траекторной и телеметрической информации о всех спутниках системы и выдачу на каждый спутник команд управления и навигационной информации. Траекторная информация периодически калибруется с помощью лазерных дальномеров (кванто-оптических станций) из состава НКУ. Для этого спутники ГЛОНАСС оснащены лазерными отражателями. Для правильного функционирования системы очень важна синхронизация всех процессов. Для этого в составе НКУ предусмотрен Центральный синхронизатор (ЦC), который представляет собой высокоточный водородный стандарт времени/частоты. ЦС синхронизирован с Национальным эталоном времени/частоты UTC(SU).