

Государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Московской области  
«Университет «Дубна»

**Филиал «Протвино»**  
**Кафедра информационных технологий**

# **GPS и Глонасс**

Старший преподаватель  
Ковцова Ирина Олеговна

# GPS

- **GPS** (англ. *Global Positioning System* — система глобального позиционирования, читается Джи Пи Эс) — спутниковая система навигации — система глобального позиционирования, читается Джи Пи Эс) — спутниковая система навигации, обеспечивающая измерение расстояния, времени и определяющая местоположение во всемирной системе координат WGS 84 — система глобального позиционирования, читается Джи Пи Эс) — спутниковая система навигации, обеспечивающая измерение расстояния, времени и определяющая местоположение во всемирной системе координат WGS 84. Позволяет в любом месте Земли — система глобального позиционирования, читается Джи Пи Эс) — спутниковая система навигации, обеспечивающая измерение расстояния, времени и определяющая

местоположение во всемирной системе координат WGS 84

# Что такое GPS?

- Как указано в приведенном выше определении GPS означает Глобальная Система Позиционирования (Global Positioning System), и относится к группе спутников Министерства Обороны США, постоянно вращающихся вокруг Земли.
- Спутники передают радио сигналы малой мощности, позволяя каждому, у кого есть GPS навигатор, определять свое месторасположение на Земле.
- Создание этой выдающейся системы было не дешевым и стоило США миллиардов долларов. Текущее техническое обслуживание, включая запуск новых спутников на замену старым, увеличивает стоимость системы.
- Удивительно, GPS фактически предшествовал появлению персональных компьютеров. Разработчики возможно и предвидеть не могли тот день, когда мы сможем носить маленькие GPS навигаторы весом меньше фунта, которые будут не только сообщать нам, где мы находимся в системе координат (долгота/широта), но смогут даже показывать наше месторасположение на электронной карте с городами, улицами и т. п.

# Что такое GPS?

- Изначально разработчики думали о военном применении.
- GPS приемники служили бы целям навигации, дислокации войск и координации артиллерийского огня (среди прочих применений).
- К счастью, административное решение в 1980г. сделало GPS навигатор доступным также для гражданского применения.
- Сейчас каждый может оценить преимущества GPS ! Возможности почти не ограничены. Иногда люди спрашивают, можно ли бесплатно использовать эту систему - ДА! (Ну, вообще-то вашей платой стали уплаченные налоги).

# GPS

- Вся система функционирует на основе орбитальных спутников. Первый из них был запущен в 1978 году. Это был спутник первого поколения — Block I.
- Сейчас же основу орбитальной группировки составляют Block II.
- Всего существует четыре поколения GPS-спутников: Block I, Block II/II-A, Block II-R и Block II-M. Отличаются они временем жизни на орбите, размерами и надежностью бортового оборудования.
- Стоит отметить еще одну особенность спутников семейства Block II — в их задачу, помимо определения координат, входит еще обнаружение ядерных взрывов, в любом месте по всей поверхности земли.

# Техническая реализация

- GPS состоит из трёх основных сегментов: **космического, управляющего и пользовательского.**
- Спутники GPS транслируют сигнал из космоса, и все приёмники GPS используют этот сигнал для вычисления своего положения в пространстве по трём координатам в режиме реального времени.

# Техническая реализация

- Спутники находятся на шести орбитах, высота которых составляет порядка 20000 километров, а скорость движения равна 3000 м/сек. Таким образом, за сутки каждый спутник делает два «витка» вокруг земли.
- Для нормальной работы системы достаточно 24-х спутников.



# Техническая реализация

- Космический сегмент состоит из 32 спутников, вращающихся на средней орбите Земли.
- По состоянию на 1 июня 2014 года используются по целевому назначению лишь 29 КА. На этапе ввода в систему 1 КА, выведены на техобслуживание 2 КА.
- Управляющий сегмент представляет собой главную управляющую станцию и несколько дополнительных станций, а также наземные антенны и станции мониторинга, ресурсы некоторых из упомянутых являются общими с другими проектами.
- Пользовательский сегмент представлен приёмниками GPS, находящихся в ведении государственных институтов, и сотнями миллионов устройств, владельцами которых являются обычные пользователи.



# Техническая реализация

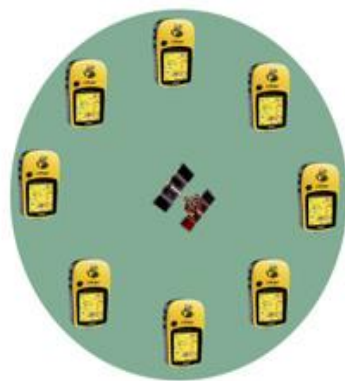
- Слежение за орбитальной группировкой осуществляется с главной контрольной станции, расположенной на авиабазе ВВС США Schriever, штат Колорадо, США и с помощью 10 станций слежения, из них три станции способны посылать на спутники корректировочные данные в виде радиосигналов с частотой 2000—4000 МГц. Спутники последнего поколения распределяют полученные данные среди других спутников.
- Все станции слежения оборудованы GPS-приемниками, которые принимают навигационные сигналы со всех спутников. Затем собранные данные посылаются на главную управляющую станцию в Колорадо. Там ведется анализ и обработка полученной информации. Затем на ее основе вводятся необходимые изменения в орбиты спутников и их встроенные часы. Такая операция проводится один раз в 24 часа с каждым спутником, входящим в орбитальную группировку.

# Точность позиционирования

- Все спутники передают данные на приемник посредством радиосигнала, транслирующегося на две частоты.
- Одна из них считается гражданской и имеет индекс L1 (1575.42 МГц), вторая же используется в основном военными и маркируется как L2 (1227.60 МГц).
- На основании данных, передаваемых с помощью L1, можно добиться точности позиционирования до 3-х метров.
- Если же наряду с «гражданской» L1 использовать еще и «военную» L2, то погрешность определения координат снижается до нескольких миллиметров.
- Однако такая точность необходима крайне редко, поэтому большинство современных коммерческих GPS-приемников используют исключительно L1. L2 же, помимо военных нужд, применяется еще и в дорогостоящем геодезическом оборудовании.

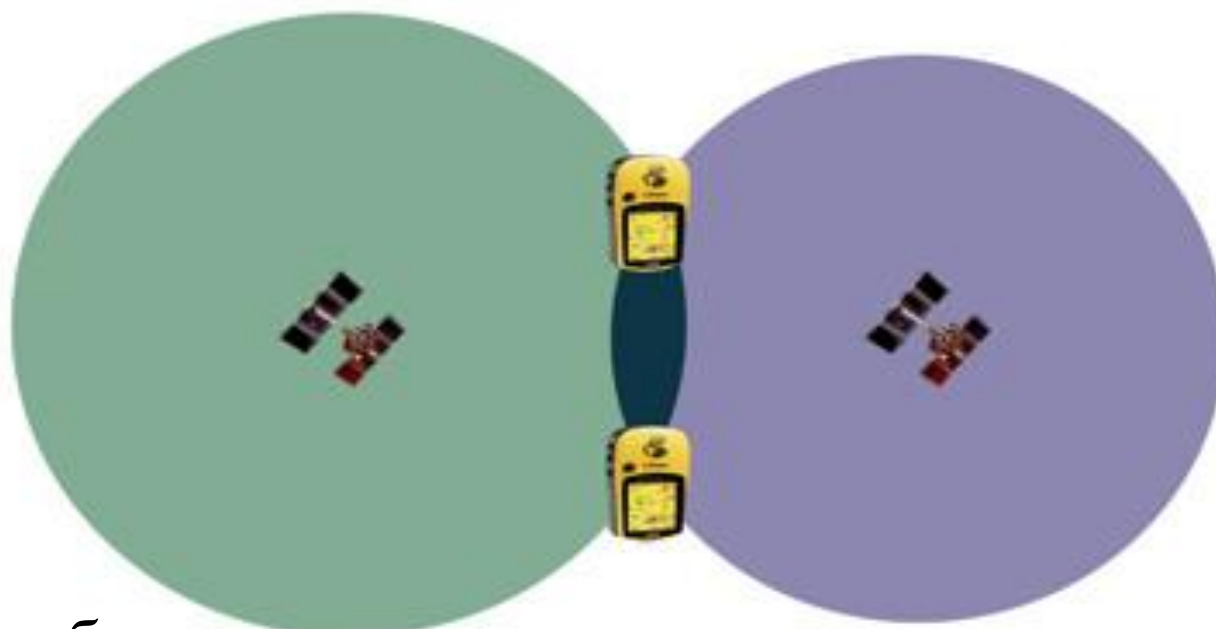
# как определяется местоположение

- Теоретически для определения местоположения необходимы данные с трех спутников.
- Попробуем разобраться, как происходит этот процесс. Допустим, нам известна величина расстояния от одного спутника до приемника. Зная ее, мы можем нарисовать окружность вокруг спутника, на краю которой и будет находиться наш приемник.



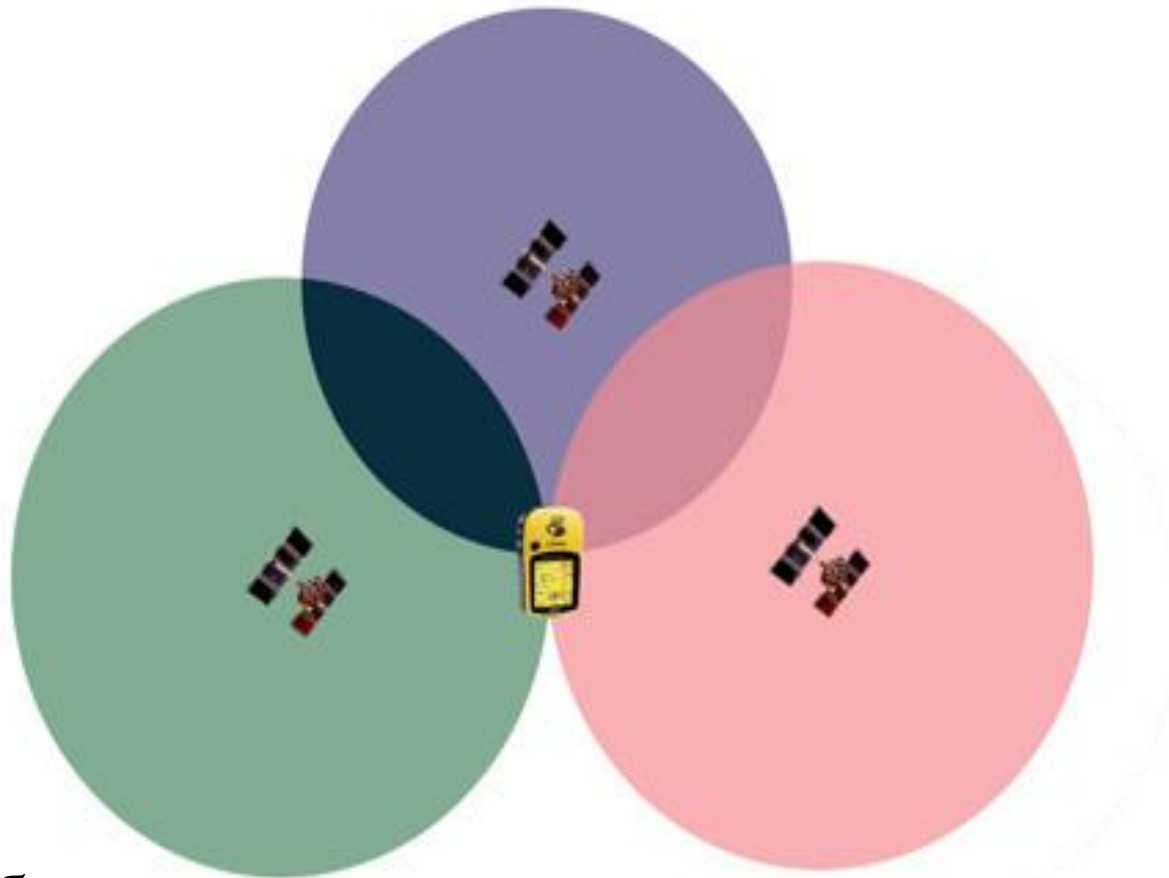
# Как определяется местоположение

- Добавим данные со второго спутника.



- Таким образом, мы сузили сектор поиска до пересечения двух окружностей. Остается прибавить информацию о третьем спутнике.

# Как определяется местоположение



- Таким образом, мы получаем точные координаты приемника, который находится на пересечении трех окружностей.

# местоположение

- Теперь нам осталось выяснить, как рассчитывается расстояние от спутников до приемника.
- Все очень просто: достаточно умножить скорость света (скорость распространения радиоволн) на время прохождения сигнала от спутника до приемника.
- Полученная величина и будет искомым расстоянием.
- При этом для вычисления времени необходима точнейшая синхронизация часов космического аппарата с часами принимающего устройства, так как разница даже в 0.0000003 секунды впоследствии вызывает ошибку равную 100 метрам.
- Для этого на каждом спутнике установлено четверо точнейших атомных часов.
- Стоит отметить, что одни такие часы стоят порядка 100000\$. Но даже они могут содержать отклонения от эталонного времени. Что же говорить об обычных часах, установленных непосредственно в принимающих устройствах, тут возможность погрешности в разы больше.
- Именно поэтому для точного определения координат нужно не три, а четыре спутника. Последний как раз и призван нивелировать временные ошибки первых трех.



## Особенности работы GPS-приемников

- Как мы выяснили ранее, для определения координат GPS-приемнику необходимы данные с орбитальных спутников.
- Однако их получение и обработка требуют некоторого времени — от нескольких секунд до десятка минут. Попробуем разобраться, от чего зависит это время. В первую очередь от наличия в приемнике *альманаха* и *эфемерид*.

## приемников

- **Альманах** — это данные, передаваемые спутником и содержащие информацию о параметрах орбит всех спутников.
- С его помощью можно лишь приблизительно вычислить их местоположение.
- Альманах постоянно обновляется, так как передается каждым спутником, входящим в систему GPS. Время его актуальности составляет 2-3 месяца. Это связано с тем, что в работу спутников ежедневно вносятся корректировки, и по прошествии такого длительного времени погрешность будет слишком велика.
- **Эфемериды**, в отличие от альманаха, содержат более точные данные о местоположении спутников, но время их действия составляет не более 4-6 часов. От наличия этих двух типов данных и зависит время старта приемника.



## приемников

- Существует три типа стартов — «Холодный», «Теплый» и «Горячий».
- «Холодный старт» — альманах и эфемериды неизвестны, в современных устройствах занимает несколько минут.
- «Теплый старт» — альманах известен, а эфемериды нет, длится не более минуты.
- «Горячий старт» — известны и альманах, и эфемериды, занимает несколько секунд.
- Определить, какой из стартов используется в данный момент, очень просто: если вы включаете приемник первый раз за 3 месяца, то это будет «холодный старт», если с момента последнего использования устройства прошло более 6 часов, то это будет «теплый старт», если менее 4 часов, то «горячий».

# приемников

- Не стоит забывать и об ошибках, которые могут возникнуть в реальных условиях.
- В первую очередь на точность определения влияет рельеф местности.
- Если вы находитесь в зоне плотной застройки, то вероятность ошибки возрастает в разы, так как на полезный сигнал нередко накладывается отраженный, снижая, таким образом, точность позиционирования.
- Также немалое влияние оказывают погодные явления, например, дождь или снег.
- Не стоит забывать и про такие банальные источники помех, как листва деревьев, бытовые радиоприборы, кузов автомобиля и даже человеческое тело.
- Как раз все эти факторы и вынуждают использовать не четыре спутника, которых, в теории, достаточно для определения координат, а намного больше, дополнительно применяя при этом сложнейшие алгоритмы расчетов устранения ошибок, вызванных помехами.

# aGPS

- Итак, мы уже знаем, что самой большой проблемой для приемника является старт.
- Именно в этот момент происходит поиск спутников, запись альманаха и эфемерид.
- И данный процесс может занимать немалое время.
- При этом в таком режиме приемник потребляет в несколько раз больше энергии, сажая, таким образом, аккумулятор устройства в считанные часы.
- Последний факт особенно актуален для обладателей интегрированных устройств, например, коммуникаторов со встроенной функцией GPS. Ведь в случае разряда аккумулятора человек останется не только без навигатора, но и без связи, что в незнакомой местности может привести к совсем неприятным последствиям.
- Решить вышеописанную проблему призвана технология aGPS.

# aGPS — assisted GPS

- В дословном переводе — «ассистирующая GPS».
- Это технология, в которой внешний источник, в большинстве случаев сотовый оператор, помогает приемнику в определении координат.
- В данном случае встроенный в телефон или коммуникатор GPS-модуль только получает данные от спутников и, не обрабатывая, посылает их на сервер оператора.
- Сервер в свою очередь анализирует полученные данные в считанные секунды. После чего посылает уже готовые координаты на телефон.
- Помимо этого, оператор может хранить у себя актуальные данные альманаха и эфемерид, постоянно обновляя их через Интернет.
- И отсылать их на телефон по первому требованию, ускоряя, таким образом, старт в десятки раз.

# aGPS — assisted GPS

- И это лишь два самых простых варианта использования данной технологии.
- В будущем благодаря aGPS может появиться множество мобильных сервисов, основанных на позиционировании.
- Начиная с простейшей загрузки карты местности, на которой вы находитесь, до вызова такси без указания адреса.
- Причем для развития этой технологии есть все предпосылки, так как ее функционирование напрямую зависит от операторов сотовой связи.
- А у последних с каждым годом остается все меньше новых интересных услуг.

# Классификация GPS-приемников

- Все GPS-приемники делятся на два основных типа — кодовые и фазовые.
- Первые для определения координат используют информацию спутникового сигнала, вторые же для вычисления используют сам радиосигнал.
- На сегодняшний день фазовые приемники используются исключительно в геодезии и картографии, их стоимость может достигать нескольких десятков тысяч долларов, а точность измерения доходит до нескольких миллиметров.
- Для гражданских же нужд используются исключительно кодовые приемники.

# Классификация GPS-приемников

- Пожалуй, самым распространенным видом на сегодняшний день являются автомобильные GPS-навигаторы. Эти устройства могут быть как встроены в автомобиль на производстве, так и установлены после покупки.
- Они всегда снабжены подробной картой, с помощью которой можно проложить маршрут, учитывающий все правила движения. Они обладают большим и нередко сенсорным цветным дисплеем и оптимизированы под использование в автомобиле.
- Многие модели позволяют загружать информацию о пробках и дорожных работах.

# Классификация GPS-приемников





# Классификация GPS-приемников

- Пешеходные навигаторы предназначены, прежде всего, для туристов.
- Эти устройства могут быть ориентированы на работу с картой или функционировать без нее.
- В последнем случае они выполняют функцию продвинутого компаса.
- Например, уходя в лес, вы отмечаете контрольной точкой местоположение своего автомобиля, после чего отправляетесь в путь. Когда же приходит время возвращаться, вы уже четко знаете, в каком направлении вам надо двигаться, чтобы попасть к контрольной точке, машине, так как она отмечена на дисплее вашего навигатора.

# Классификация GPS-приемников



# Классификация GPS-приемников

- Назначение морских навигаторов можно определить по названию.
- В них сосредоточено, пожалуй, наибольшее количество специализированных функций.
- Здесь и прием данных о погоде, и информация о морских течениях, глубинах, приливах/отливах, и возможность прослушивания спутниковых радиостанций.
- Они, как правило, имеют довольно внушительные размеры и водонепроницаемый корпус.

# Классификация GPS-приемников



# Классификация GPS-приемников

- Ну и последними мы рассмотрим сравнительно недавно появившиеся интегрированные GPS-приемники.
- Несмотря на то, что на данном этапе они имеют наименьшую численность среди существующих GPS-устройств, в будущем их доля будет увеличиваться, и в гражданском сегменте они должны полностью вытеснить специализированные устройства.
- Современные встраиваемые GPS-чипы имеют очень скромные размеры, при этом практически не уступая своим старшим аналогам в точности определения координат.
- Не стоит забывать и про то, что их цена с каждым днем становится все меньше. А это может привести к тому, что обладать подобной функцией будут не только топовые модели, но и аппараты, относящиеся к бюджетному сегменту. Вспомните ситуацию с камерами в мобильных телефонах. Тут история может повториться, а GPS имеет все шансы стать столь же обыденной функцией.

# Применение технологии GPS

- Несмотря на то, что изначально проект GPS был направлен на военные цели, сегодня GPS широко используются в гражданских целях. GPS-приёмники продают во многих магазинах, торгующих электроникой, их встраивают в мобильные телефоны, смартфоны, наручные электронные часы, автомобильные компьютеры.
- Потребителям также предлагаются различные устройства и программные продукты, позволяющие видеть своё местонахождение на электронной карте; имеющие возможность прокладывать маршруты с учётом дорожных знаков, разрешённых поворотов и даже пробок; искать на карте конкретные дома и улицы, достопримечательности, кафе, больницы, автозаправки и прочие объекты инфраструктуры.



# Применение технологии GPS

- Геодезия: с помощью GPS определяются точные координаты точек и границы земельных участков.
- Картография: GPS используется в гражданской и военной картографии.
- Навигация: с применением GPS осуществляется как морская, так и дорожная навигация.
- Спутниковый мониторинг транспорта: с помощью GPS ведётся мониторинг за положением, скоростью автомобилей, контроль за их движением.
- Сотовая связь: первые мобильные телефоны с GPS появились в 90-х годах. В некоторых странах, например США, это используется для оперативного определения местонахождения человека, звонящего 911. В России в 2010 году начата реализация аналогичного проекта — Эра-Глонасс.
- Тектоника, Тектоника плит: с помощью GPS ведутся наблюдения движений и колебаний плит.
- Активный отдых: есть разные игры, где применяется GPS, например, геокэшинг и др.
- Геотеги́нг: информация, например фотографии, «привязываются» к координатам благодаря встроенным или внешним GPS-приёмникам.

# ГЛОНАСС

- **Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС)** — советская/российская спутниковая система навигации, разработана по заказу Министерства обороны СССР. Одна из двух функционирующих на сегодня систем глобальной спутниковой навигации (китайская система спутниковой навигации Бэйдоу на данный момент функционирует как региональная).



# ГЛОНАСС

- ГЛОНАСС предназначена для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа пользователей наземного, морского, воздушного и космического базирования. Доступ к гражданским сигналам ГЛОНАСС в любой точке земного шара, на основании указа Президента РФ, предоставляется российским и иностранным потребителям на безвозмездной основе и без ограничений.

# ГЛОНАСС

- Основой системы должны являться 24 спутника, движущихся над поверхностью Земли в трёх орбитальных плоскостях с наклоном орбитальных плоскостей  $64,8^\circ$  и высотой орбит 19400 км.
- Принцип измерения аналогичен американской системе навигации NAVSTAR GPS.
- Основное отличие от системы GPS в том, что спутники ГЛОНАСС в своём орбитальном движении не имеют резонанса (синхронности) с вращением Земли, что обеспечивает им большую стабильность.
- Таким образом, группировка КА ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования. Тем не менее, срок службы спутников ГЛОНАСС заметно короче.

# ГЛОНАСС

- Спроектированная в конце 70-х годов система ГЛОНАСС была полностью развернута в середине 90-х и принята в эксплуатацию Вооруженными Силами Российской Федерации.
- В силу экономических трудностей в конце 90-х годов финансирование системы ГЛОНАСС было значительно сокращено, что привело к деградации орбитальной группировки и значительному отставанию от США, стран Европы и Японии в использовании спутниковых навигационных технологий в интересах обороны и транспорта.

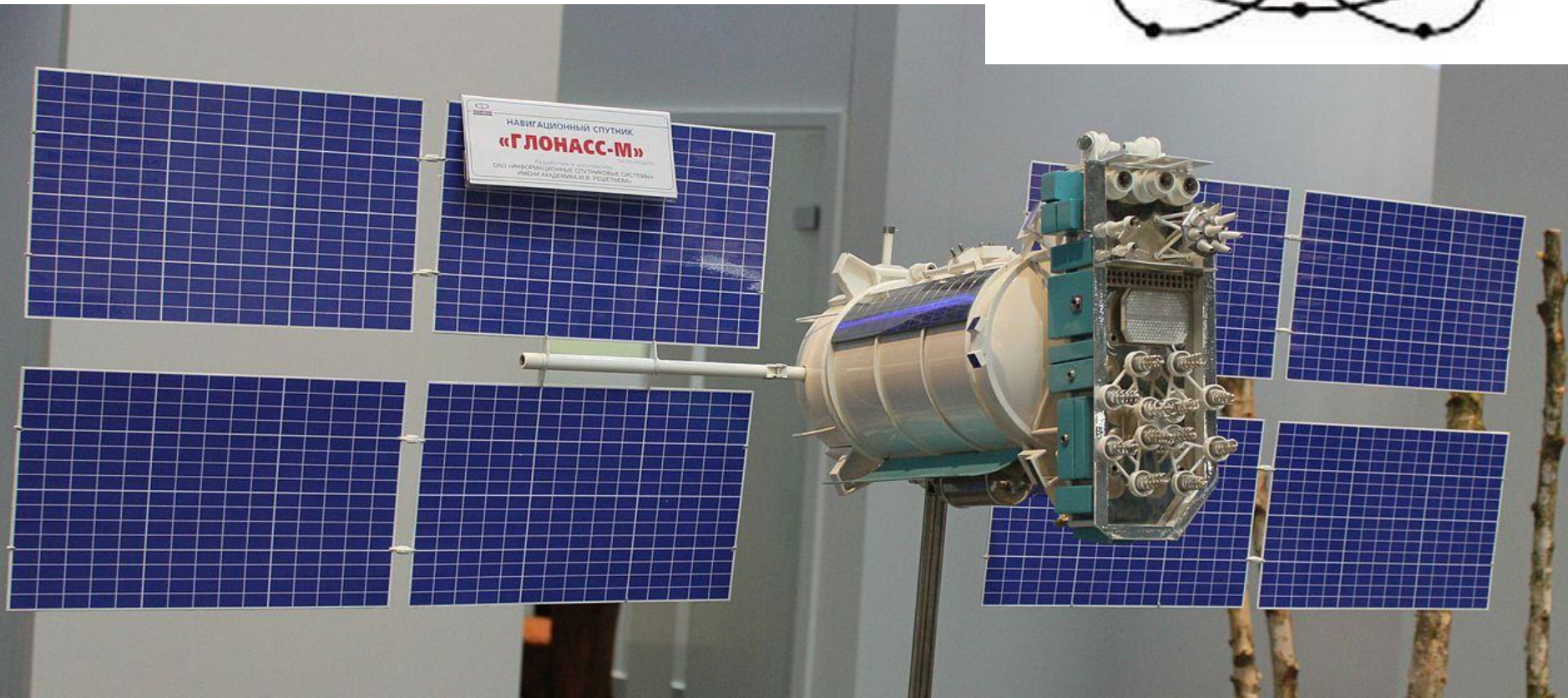
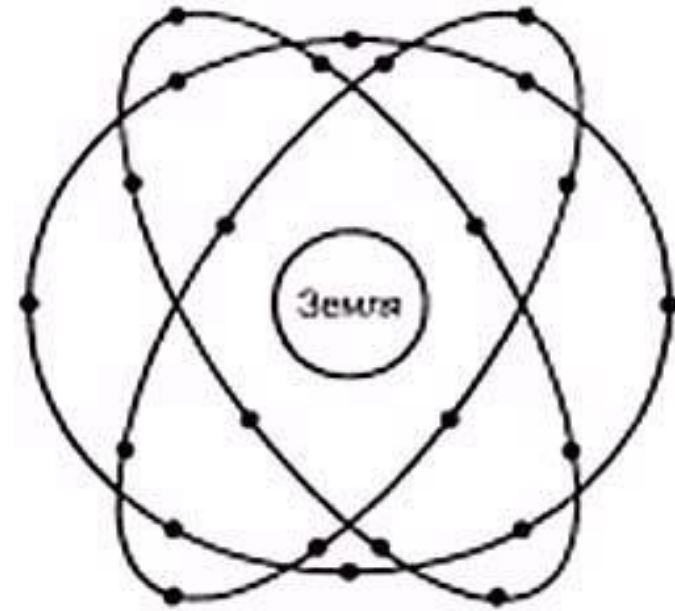
# Состав системы ГЛОНАСС

- Технология ГЛОНАСС базируется на трех подсистемах:
  - подсистемы космических аппаратов;
  - подсистемы контроля и управления;
  - подсистемы навигационной аппаратуры потребителей.

# Состав системы ГЛОНАСС

- Спутники ГЛОНАСС находятся на средневысотной круговой орбите на высоте 19400 км с наклоном  $64,8^\circ$  и периодом 11 часов 15 минут.
- Такая орбита оптимальна для использования в высоких широтах (северных и южных полярных регионах), где сигнал GPS ловится плохо.
- Спутниковая группировка развёрнута в трёх орбитальных плоскостях, с 8 равномерно распределёнными спутниками в каждой.
- Для обеспечения глобального покрытия необходимы 24 спутника, в то время как для покрытия территории России необходимы 18 спутников.
- Сигналы передаются с направленностью  $38^\circ$  с использованием правой круговой поляризации, мощностью 316—500 Вт (EIRP 25-27 dBW).
- Космические аппараты «Глонасс-М» со сроком активного существования 7 лет излучают навигационные спутниковые сигналы в двух частотных диапазонах L1 и L2.

# Состав системы ГЛОНАС





# Состав системы ГЛОНАСС

- Подсистема контроля и управления состоит из Центра управления системой ГЛОНАСС и сети станций измерения, управления и контроля, рассредоточенной по всей территории России. В задачи ПКУ (подсистемы контроля и управления) входят контроль правильности функционирования космических аппаратов системы ГЛОНАСС и выдача команд управления.
- Навигационная аппаратура потребителей предназначена для приема навигационных сигналов спутников ГЛОНАСС и вычисления собственных координат, скорости и времени.
- Технические характеристики и потребительские свойства навигационной аппаратуры потребителей, используемой для личных нужд пользователей (по усмотрению производителей) могут подтверждаться системами добровольной сертификации.
- Аппаратура, используемая в качестве средства измерения, в соответствии с российским законодательством, подлежит процедуре обязательной сертификации.

# Концепция навигационных определений технологии ГЛОНАСС

- Навигационной аппаратурой потребителей системы ГЛОНАСС выполняются беззапросные измерения до четырех спутников ГЛОНАСС, а также прием и обработка навигационных сообщений.
- В навигационном сообщении описывается положение спутника в пространстве и времени. В результате обработки полученных измерений и принятых навигационных сообщений определяются три координаты потребителя, три составляющие вектора скорости его движения, а также осуществляется «привязка» шкалы времени потребителя к шкале Госэталона координированного всемирного времени UTC(SU).



# 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;

# Перспективы развития системы ГЛОНАСС

- 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:
  - 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.



# Глонасс-К

