

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет»


Кафедра философии


РЕФЕРАТ

По дисциплине: История и философия науки

Тема: История и развитие систем глобального позиционирования.

Автор:

Аспирант 1-го года обучения кафедры геодезии  Чан Тхань Шон.

Научный руководитель: д.т.н., профессор  Мустафин М.Г.

ПРОВЕРИЛ: д.филос.н., профессор  Микешин М.И.

sonveotda@gmail.com

Санкт-Петербург

2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1. История создания и развития системы ГЛОНАСС (РФ)	4
2. История создания и развития системы GPS (США).....	12
3. Системы глобального позиционирования других стран.....	16
3.1 Европейская навигационная система Galileo	16
3.2 Китайская навигационная система Beidou	17
4. Роль спутниковых технологий в геодезическом производстве.....	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	24
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	26

ВВЕДЕНИЕ

Исторически для пространственного ориентирования человек использовал небесные светила. Мореплаватели ориентировались по звездам, Луне и Солнцу. По ним они определяли направление движения, а зная время в пути и среднюю скорость движения, можно было сориентироваться в пространстве и определить расстояние до конечного пункта назначения. Однако при плохих погодных условиях данный метод определения местоположения не работал, и можно было легко сбиться с курса.

С появлением компаса задача значительно упростилась: увеличилась точность определения направления и уменьшилась зависимость от погоды. Позднее для определения местоположения, в частности в океане, использовались угловые наблюдения небесных тел. Вначале сам термин «навигация» относился исключительно к управлению морскими/речными судами (*navis*, означающее «корабль», и *agere* — управлять, передвигать), затем этот термин стал применяться к любому виду транспортных средств. Вот как этот термин трактовался в книге «*American Practical Navigator*», изданной в 19 веке: «Навигация — это процесс управления движением транспортного средства, быстрый и безопасный, из одной точки в другую». Советский энциклопедический словарь дает следующее определение термина: навигация — наука о способах выбора пути и методах вождения судов, летательных аппаратов (воздушная навигация или аэронавигация) и космических аппаратов (космическая навигация). Основными задачи навигации является нахождение оптимального маршрута (траектории), определение местоположения, направления и значения скорости и других параметров движения объекта.

Таким образом, одним из наиболее важных и практически заметных научно-технических достижений 20 в. стало создание спутниковых радионавигационных систем (СРНС) - ГЛОНАСС (РФ) и GPS (США). В современной научно-технической литературе ГЛОНАСС, GPS, а также сходные с ними по параметрам ГНСС, создаваемые другими странами, объединяют под

общим названием «Глобальная навигационная спутниковая система» (ГНСС), в англоязычной литературе - Global navigation satellite system (GNSS).

Введенные в эксплуатацию в конце 1950-х годов, эти системы первоначально предназначались для решения задач местоопределения динамичных объектов военного назначения. Однако полученный в процессе испытаний и эксплуатации ГНСС результат и опыт показал, что создаваемое этими системами глобальное навигационно-временное покрытие позволяет обеспечивать не только высокоточную навигацию подвижных средств, но и решать на принципиально новой основе широкий круг других прикладных задач, которые при проектировании данных систем изначально не рассматривались.

В настоящее время ГНСС нашли своё применение во множестве сфер жизнедеятельности человека. Например: геодезические изыскания, морская, автомобильная, авиа- и туристическая навигация, медицина, сельское хозяйство, чрезвычайные ситуации и строительство. Сотни фирм во всем мире выпускают миллионы экземпляров аппаратуры потребителей (АП) ГНСС различных классов, в том числе недорогие малогабаритные приборы для индивидуальных пользователей. В результате АП ГНСС, наряду со средствами мобильной связи и другими новейшими достижениями радиоэлектроники, стала не только средством профессиональной деятельности, но и предметом личного использования.

Целью дипломной работы является рассмотрение основных этапов исторического развития, технологий работы и применения глобальных навигационных спутниковых систем, изучение сфер применения.

1. История создания и развития системы ГЛОНАСС (РФ)

В декабре 1976 г. было принято Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О развертывании Единой космической навигационной системы ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система)". Это постановление де факто узаконило уже начавшиеся работы по созданию новой системы и определило порядок ее разработки и испытаний. Технические предложения по системе ГЛОНАСС в составе КА 11Ф654 "Ураган" были разработаны в красноярском НПО прикладной механики (НПО ПМ) в начале 1976 г. и рассмотрены межведомственной комиссией в августе того же года.

Создание этой навигационной системы было предопределено потребностями новых потенциальных потребителей, прежде всего военных, нуждавшихся в высокоточной привязке своего положения во времени и пространстве.

В 1976 г. на вооружение Советской Армии была принята навигационно-связная система "Циклон-Б" в составе шести космических аппаратов "Парус", обращающихся на околополярных орбитах высотой 1000 км. Позже, через три года была сдана в эксплуатацию спутниковая радионавигационная система (СРНС) "Цикада" в составе четырех космических аппаратов на орбитах того же класса, что и у КА "Парус". И если первая система использовалась исключительно в интересах Министерства обороны СССР, то вторая предназначалась, главным образом, для навигации гражданских морских судов. Оснащение спутниковой навигационной аппаратурой судов торгового флота оказалось очень выгодным, поскольку благодаря повышению точности судовождения удавалось настолько сэкономить время плавания и топливо, что бортовая аппаратура потребителя окупала себя после первого же года эксплуатации.

В ходе испытаний этих и предшествовавшей им системы "Циклон" было установлено, что погрешность местоопределения движущегося судна по навигационным сигналам этих спутников составляет 250-300 м. Выяснилось

также, что основной вклад в погрешность навигационных определений вносят погрешности передаваемых спутникам собственных эфемерид, которые рассчитываются и закладываются на борт КА средствами наземного комплекса управления (НКУ).

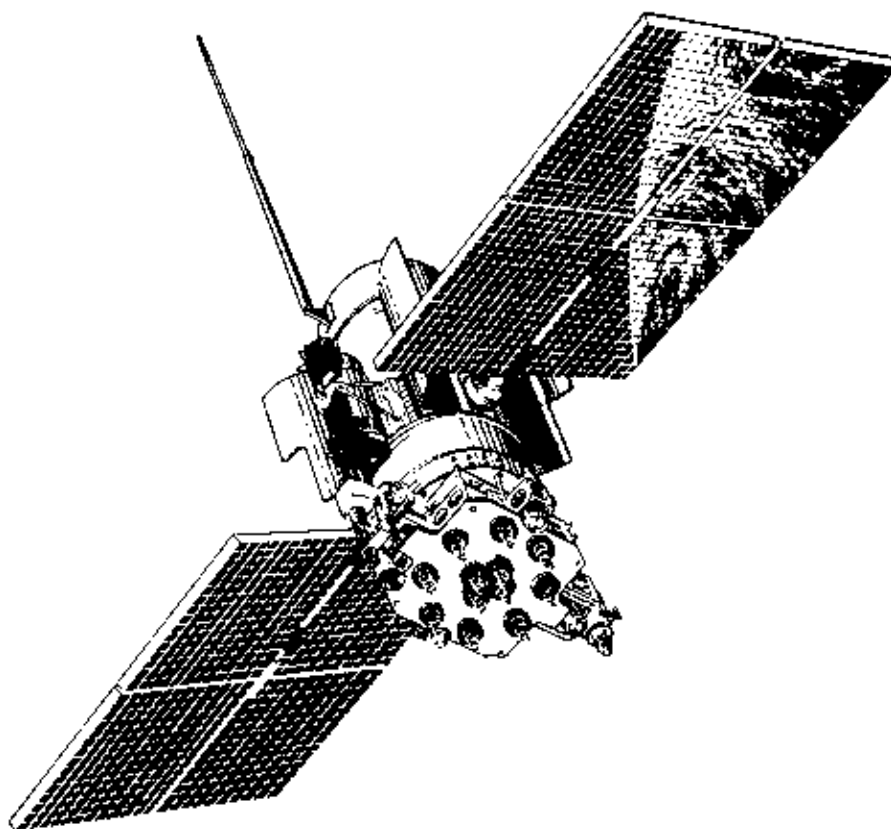


Рис. 1 Спутник ГЛОНАСС - М

С целью повышения точности определения и прогнозирования параметров орбит навигационных спутников была отработана специальная схема проведения измерений параметров орбит средствами НКУ, разработаны более точные методики прогнозирования. Для выявления локальных особенностей гравитационного поля Земли, оказывающих воздействие на выбранные орбиты навигационных космических аппаратов (НКА), на такие же орбиты были запущены специальные геодезические спутники "Космос-842" и "Космос-911". Комплекс принятых мер позволил уточнить координаты

измерительных средств и вычислить параметры согласующей модели гравитационного поля, предназначенной специально для определения и прогнозирования параметров движения НКА.

В результате точность передаваемых в составе навигационного сигнала собственных эфемерид была повышена практически на порядок, так что их погрешность на интервале суточного прогноза не превышала 70-80 м. Как следствие, погрешность определения морскими судами своего местоположения уменьшилась до 80 - 100м.

Однако выполнить требования всех потенциальных классов новых потребителей низкоорбитальные системы не могли в силу принципов, заложенных в основу их построения. Так, если для неподвижных потребителей, имеющих двухканальную приемную аппаратуру, погрешность определения местоположения удалось снизить до 32 м (данные для СРНС "Транзит"), то при движении погрешности сразу же начинают возрастать из-за неточности счисления пути - низкоорбитальные СРНС не позволяли определять скорость движения. Более того, по получаемым измерениям можно определить только две пространственные координаты. Вторым недостатком низкоорбитальных систем было отсутствие глобальности покрытия, поскольку, например, на экваторе спутники проходили через зону видимости потребителя в среднем через 1.5 часа, что допускает проведение только дискретных навигационных сеансов. Наконец, ввиду использования в сеансе лишь одного НКА продолжительность измерений может достигать до 10-16 мин. Большая длительность сеансов и значительные интервалы между ними делают неизбежным применение специальных мероприятий для счисления пути. При этом ошибки счисления и ограничивают точность местоопределения. Тем не менее была испытана самолетная аппаратура применительно к сигналам как системы "Транзит", так и "Цикада". При этом подтвердилось, что погрешность определения местоположения слабо зависит от маневров самолета и действительно определяется преимущественно погрешностями знания путевой скорости, не выходя за пределы 1,8 км.

СРНС второго поколения изначально проектировались как системы, которым все перечисленные недостатки не свойственны. Главным требованием при проектировании было обеспечение потребителю в любой момент времени возможности определения трех пространственных координат, вектора скорости и точного времени, что достигается путем одновременного приема сигналов от как минимум четырех НКА. В конечном итоге, это привело к реализации важной технической идеи - координации пространственного положения НКА на орбитах и координации по времени излучаемых спутниками сигналов. Координация движения всех НКА придает системе сетевые свойства, которых она лишается при отсутствии коррекции положения НКА.

В качестве орбит для новой системы первоначально были выбраны средневысокие (20000 км) полусуточные орбиты, которые обеспечивали оптимальное соотношение между количеством космических аппаратов в системе и величиной зоны радиобзора. Однако впоследствии высота рабочей орбиты была уменьшена до 19100 км. Это было сделано исходя из того, что для спутников, имеющих период обращения, равный половине суток, проявляется резонансный эффект влияния геопотенциала, приводящий к достаточно быстрому "разрушению" заданного относительного положения НКА и конфигурации системы в целом. Очевидно, что в этом случае для поддержания системы пришлось бы чаще проводить коррекции орбиты каждого спутника. При выбранной высоте орбиты для гарантированной видимости потребителем не менее четырех спутников их количество в системе должно составлять 18, однако оно было увеличено до 24-х с целью повышения точности определения собственных координат и скорости потребителя путем предоставления ему возможности выбора из числа видимых спутников четверки, обеспечивающей наивысшую точность. Следует отметить, что в настоящее время это требование потеряло актуальность, поскольку современная стандартная навигационная аппаратура потребителя (АП) имеет возможность принимать сигналы от 8 до 12 спутников в зоне радиовидимости одновременно, что позволяет не заботиться о выборе оптимальной четверки, а просто обрабатывать все принимаемые

измерения.

Одной из главных проблем создания СРНС, обеспечивающей беззапросные навигационные определения одновременно по нескольким спутникам, является проблема взаимной синхронизации спутниковых шкал времени с точностью до миллиардных долей секунды (наносекунд, нс), поскольку рассинхронизация излучаемых спутниками навигационных сигналов всего в 10 нс вызывает дополнительную погрешность в определении местоположения потребителя до 10-15 м. Для решения задачи высокоточной синхронизации бортовых шкал времени потребовалась установка на спутниках высокостабильных цезиевых стандартов частоты и наземного водородного стандарта (на порядок более стабильного), а также создания наземных средств сличения шкал с погрешностью 3-5 нс.

В 1977-78 гг. в научно-производственном объединении прикладной механики (НПО ПМ) имени академика М.Ф. Решетнёва проводилось эскизное проектирование системы, материалы которого были одобрены в сентябре 1978 г. межведомственной комиссией под председательством генерал-майора И. В. Мещерякова. Тактико-техническое задание на систему ГЛОНАСС было согласовано с главнокомандующими всех видов Вооруженных Сил и министерствами: Минобщемашем, Минрадиопромом, Минавиапромом, Миноборонпромом, Минморфлотом, Минрыбхозом, Минсудпромом и Министерством гражданской авиации. В ноябре 1978 г. ТТЗ было утверждено Министром обороны СССР.

Однако к тому времени из-за слишком долгого периода согласования задания были сорваны первоначальные сроки по развертыванию системы. Поэтому 29 августа 1979 г. по ГЛОНАСС вышло новое Постановление ЦК и совета министров СССР. В нем были установлены следующие сроки выполнения работ по системе:

- начало летных испытаний и создание системы из 4-6 КА "Ураган" для проверки основных принципов и технических характеристик -1981

год;

- создание системы из 10-12 КА "Ураган" (в двух орбитальных рабочих плоскостях) и сдача ее на вооружение в составе и с тактико-техническими характеристиками по согласованию между Минобороны, Минобщемашем и Минрадиопромом - 1984 год;
- дооснащение системы до 24 КА - 1987 год.

Однако и этот порядок и сроки пришлось еще раз уточнить в июле 1981 г. В новом Постановлении ЦК и совета министров сроком начала развертывания системы был назван 1982 г.

Летные испытания системы ГЛОНАСС были начаты 12 октября 1982 г. запуском первого КА 11Ф654 "Ураган" и двух габаритно-весовых макетов 11Ф654ГВМ. Затем в последующих шести запусках на орбиту выводились по два штатных спутника. Это было связано с неготовностью электронной аппаратуры спутников. Лишь с восьмого запуска в рамках развертывания системы ГЛОНАСС (16 сентября 1986 г.) на орбиту были выведены сразу три штатных КА. Дважды (10 января и 31 мая 1989 г.) вместе с двумя КА "Ураган" на орбиту выводились пассивные геодезические КА ПКА "Эталон", используемые для уточнения параметров гравитационного поля и его влияния на орбиты КА "Ураган".

Для отработки навигационной аппаратуры были изготовлены базовые комплекты по шесть штук каждого наименования для ВВС, ВМФ, СВ, МГА, ММФ и РВСН. Всего для летных испытаний было выделено 22 космических аппарата (9-10 запусков). Это число спутников было израсходовано к 16 сентября 1987 г. Однако к этому моменту система не была развернута даже для ограниченного использования (12 спутников в двух плоскостях). Лишь после запуска 4 апреля 1991 г. в составе ГЛОНАСС оказалось одновременно 12 работоспособных космических аппарата.

24 сентября 1993 г. первая очередь системы ГЛОНАСС была принята на вооружение. С этого момента стали проводиться запуски КА в третью

орбитальную плоскость. 14 декабря 1995 г. после 27-го запуска "Протона-К" с "Ураганами" развертывание штатной конфигурации системы ГЛОНАСС было завершено. Всего с октября 1982 г. по декабрь 1998 г. на орбиту были выведены 74 КА "Ураган" и восемь его габаритно-весовых макетов (ГВМ). За время развертывания системы шесть "Ураганов" оказались на нерасчетных орбитах из-за отказов разгонного блока 11С861.

В августе 2001 года была принята федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система», согласно которой полное покрытие территории России планировалось уже в начале 2008 года, а глобальных масштабов система достигла бы к началу 2010 года. Для решения данной задачи планировалось в течение 2007, 2008 и 2009 годов произвести шесть запусков ракетносителей, и вывести на орбиту 18 спутников — таким образом, к концу 2009 года группировка вновь должна была насчитывать 24 аппарата. При этом точность определения местоположения пользователей системы достигнет 1–5 м, как у GPS. Фактически произведённые запуски представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Фактически произведенные запуски НКА [15]

Дата	Последние и планируемые запуски
26 октября 2007	РН «Протон-К» стартовал с Байконура и вывел на околоземную орбиту три модифицированных КА «Глонасс-М»
25 декабря 2007	С космодрома «Байконур» стартовал РН «Протон-М» и вывел на орбиту три КА «Глонасс-М». Запуск увеличил число работающих спутников до 16 (одновременно 4 спутника, запущенные в 2001—2003 годах, были выведены из группировки)
25 сентября 2008	Запуск РН «Протон-М» с тремя КА «Глонасс-М» в каждом. Запуск увеличил число работающих спутников до 18 (1 спутник был выведен из состава группировки).

25 декабря 2008	Запуск РН «Протон-М» с тремя КА «Глонасс-М»
14 декабря 2009	Запуск РН «Протон-М» с тремя КА «Глонасс-М»
2 марта 2010	Запуск РН «Протон-М» с тремя КА «Глонасс-М». Запуск увеличил число работающих спутников до 21 КА (плюс 2 КА в орбитальном резерве)
2 сентября 2010	Запуск РН «Протон-М» с тремя КА «Глонасс-М». Число работающих спутников 21 КА (плюс 2 КА в орбитальном резерве и на 06.09.2010 3 КА на этапе ввода в эксплуатацию)
5 декабря 2010	Запуск РН «Протон-М» с тремя КА «Глонасс-М». В результате выведения разгонного блока с тремя КА на нерасчётную орбиту потеряны три аппарата «Глонасс-М»
3 октября 2011	Запуск КА «Глонасс-М» при помощи РН «Союз-2-1Б»
4 ноября 2011	Запуск трёх КА серии «Глонасс-М» РН «Протон-М»
26 апреля 2013	Запуск КА «Глонасс-М» при помощи РН «Союз-2-1Б», космодром Плесецк
2 июля 2013	РН «Протон-М» с тремя КА «Глонасс-М» взорвался после старта
сентябрь, октябрь 2013	два запуска с космодрома Плесецк при помощи РН «Союз»
24 марта 2014	Выведен на орбиту спутник Глонасс-М № 54 с помощью ракеты-носителя Союз-2.1б
1 декабря 2014	Выведен на орбиту спутник Глонасс-К с космодрома Плесецк с помощью ракеты-носителя Союз-2.1б Это второй запуск спутника третьего поколения



Рис. 2 Комплекс управления спутниками

В настоящее время орбитальная группировка глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС следующая [16]:

- всего в составе орбитальной группировки ГЛОНАСС: 28 КА;
- используются по целевому назначению: 24 КА;
- на этапе ввода в систему: 0 КА;
- временно выведены на техобслуживание: 0 КА;
- на исследовании главного конструктора: 2 КА;
- орбитальный резерв: 0 КА;
- на этапе лётных испытаний: 2 КА.

2. История создания и развития системы GPS (США)

Навигационная система Global Positioning System (GPS) является частью комплекса NAVSTAR, который разработан, реализован и эксплуатируется Министерством обороны США. Разработка комплекса NAVSTAR (NAVigation

Satellites providing Time And Range - навигационная система определения времени и дальности) была начата ещё в 1973 году, а уже 22 февраля 1978 года был произведён первый тестовый запуск комплекса, а в марте 1978 года комплекс NAVSTAR начали эксплуатировать. Первый тестовый спутник был выведен на орбиту 14 июля 1974 года, а последний из 24 необходимых спутников для полного покрытия земной поверхности, был выведен на орбиту в 1993 году. Гражданский сегмент военной спутниковой сети NAVSTAR принято называть аббревиатурой GPS, коммерческая эксплуатация системы в сегодняшнем виде началась в 1995 году.

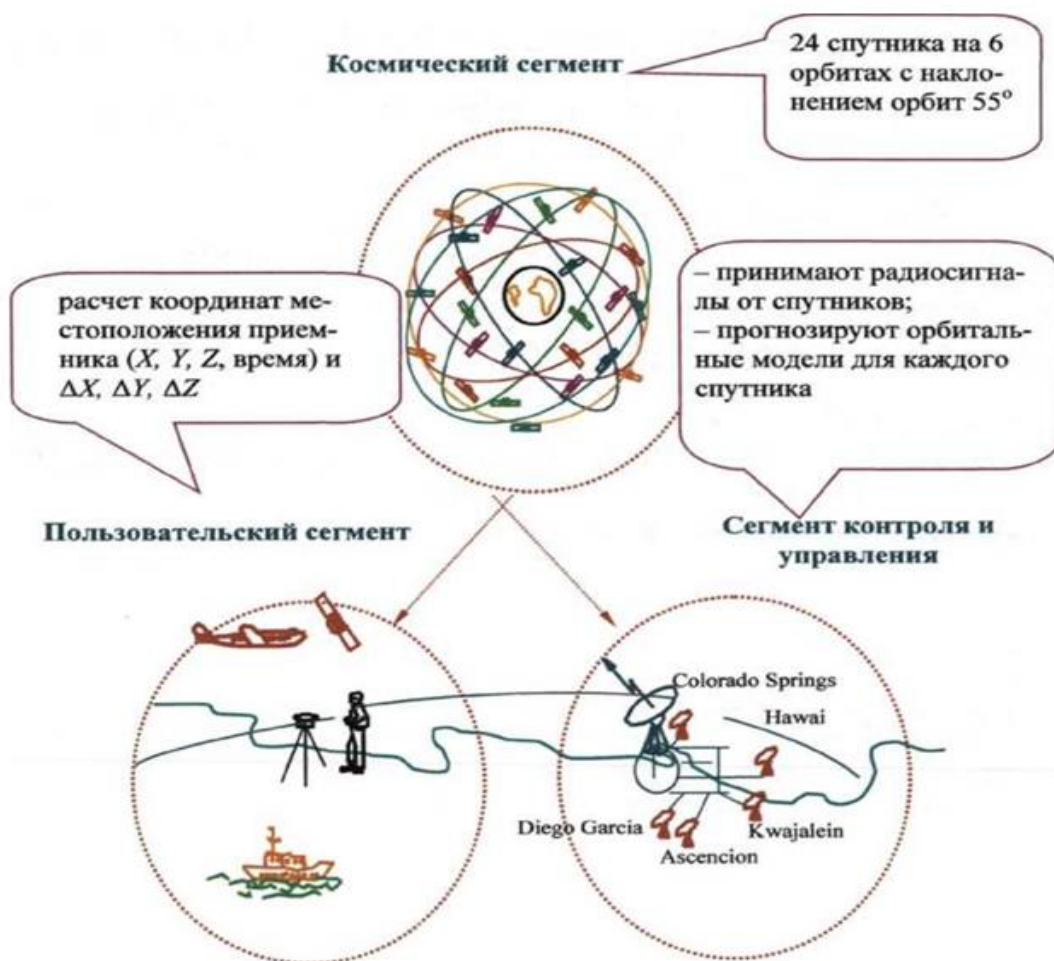


Рисунок. 3 Система NAVSTAR GPS

Спустя более 20-ти лет с момента тестового запуска системы GPS и 5 лет с момента начала коммерческой эксплуатации Глобальной системы позиционирования GPS, 1 мая 2000 года министерство обороны США отменило

особые условия пользования системой GPS, существовавшие до тех пор. Американские военные выключили помеху SA(selective availability), искусственно снижающую точность гражданских GPS приёмников, после чего точность определения координат с помощью бытовых навигаторов возросла как минимум в 5 раз. На рисунке 1 представлены графики ошибки в навигации до и после отключения режима селективного доступа. После отмены американцами режима селективного доступа точность определения координат с помощью простейшего гражданского GPS навигатора составляет от 5 до 20 метров (высота определяется с точностью до 10 метров) и зависит от условий приема сигналов в конкретной точке, количества видимых спутников и ряда других причин. Приведенные цифры соответствуют одновременному приему сигнала с 6-8 спутников. Большинство современных GPS приёмников имеют 12-канальный приемник, позволяющий одновременно обрабатывать информацию от 12 спутников. Военное применение навигации на базе NAVSTAR обеспечивает точность на порядок выше (до нескольких миллиметров) и обеспечивается зашифрованным P(Y) кодом. Информация в C/A коде (стандартной точности), передаваемая с помощью L1, распространяется свободно, бесплатно, без ограничений на использование.

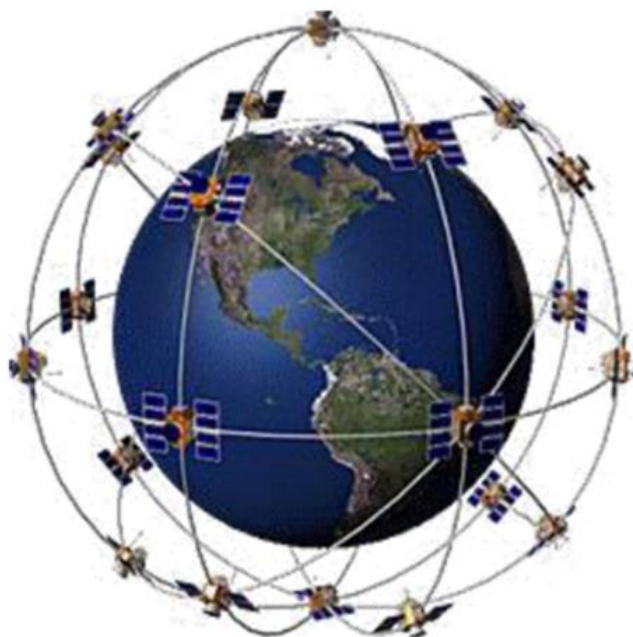
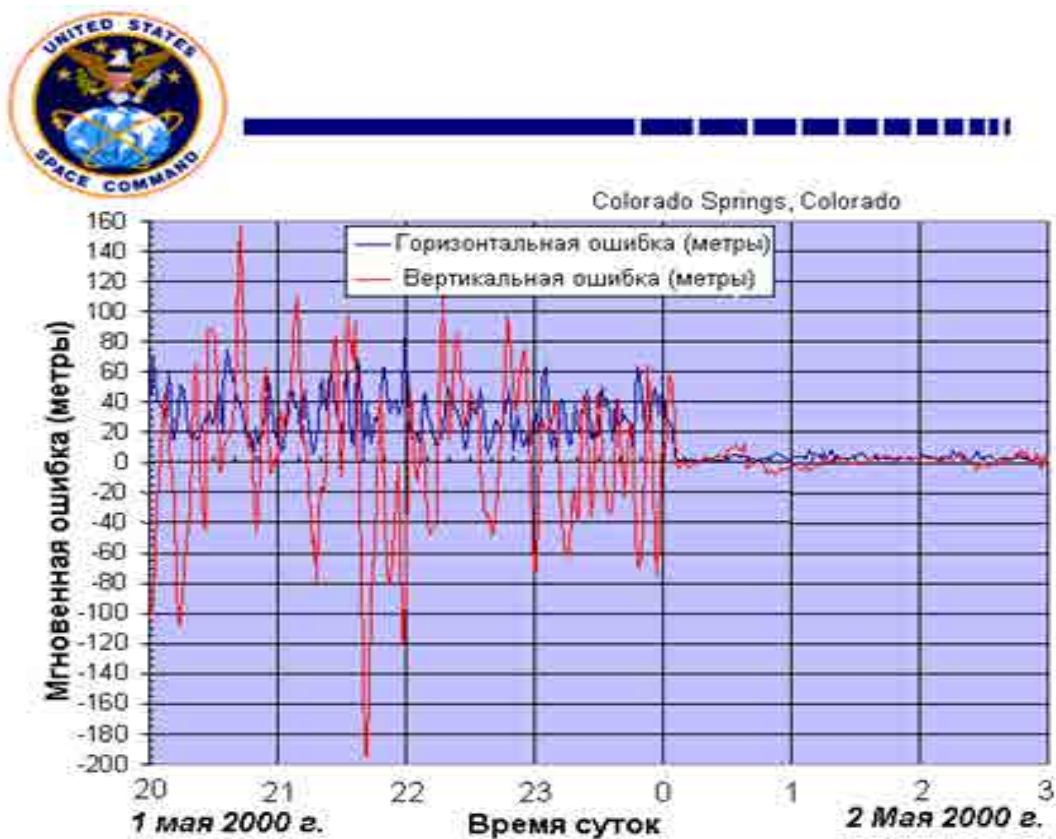


Рисунок. 4 Система NAVSTAR



GPS

Рисунок 5. Ошибки в навигации до и после отключения режима селективного доступа

Основой системы GPS являются навигационные спутники, движущиеся вокруг Земли по 6 круговым орбитальным траекториям (по 4 спутника в каждой), на высоте 20180 км. Спутники GPS обращаются вокруг Земли за 12 часов, их вес на орбите составляет около 840 кг, размеры - 1.52 м. в ширину и 5.33 м. в длину, включая солнечные панели, вырабатывающие мощность 800 Ватт. 24 спутника обеспечивают 100 % работоспособность системы навигации GPS в любой точке земного шара. Максимальное возможное число одновременно работающих спутников в системе NAVSTAR ограничено числом 37. В настоящий момент на орбите находится 32 спутника, 24 основных и 8 резервных на случай сбоев.

Слежение за орбитальной группировкой осуществляется с главной управляющей станции (Master Control Station - MCS), которая находится на базе ВВС Шривер, шт. Колорадо, США. С нее осуществляется управление системой навигации GPS в мировом масштабе. База ВВС Шривер (Schriever) является

местом размещения 50-го космического соединения США - подразделения командования воздушно-космических сил.

Наземная часть системы GPS состоит из десяти станций слежения, которые находятся на островах Кваджалейн и Гавайях в Тихом океане, на острове Вознесения, на острове Диего-Гарсия в Индийском океане, а также в Колорадо-Спрингс, в мысе Канаверел, шт. Флорида и т.д.. Количество наземных станций непрерывно растет, на всех станциях слежения используются приемники GPS для пассивного слежения за навигационными сигналами всех спутников. Информация со станций наблюдения обрабатывается на главной управляющей станции MCS и используется для обновления эфемерид спутников. Загрузка навигационных данных, состоящих из прогнозируемых орбит и поправок часов, производится для каждого спутника каждые 24 часа.

Система является глобальной, всепогодной и обеспечивает возможность получения точных координат и времени 24 часа в сутки.

3. Системы глобального позиционирования других стран

3.1 Европейская навигационная система Galileo

Проект навигационной сети Galileo возник в 1999 году как плод совместных усилий всех европейских государств. США сразу же выступили против создания Galileo, так как опасались потери контроля над навигационными спутниками в зонах военных конфликтов. Давление со стороны Штатов привело к совершенно противоположному результату: многие страны решили выйти из-под зависимости от контролируемой Америкой сети GPS. Таким образом, проект Galileo за достаточно короткий срок получил все необходимые на реализацию средства. Полная стоимость проекта ориентировочно составляет 3 миллиарда долларов, в его финансировании помимо европейских государств участвует ещё и Китай.

Проект навигационной сети Galileo изначально ориентирован на

гражданское использование и должен поддерживать большое количество разнообразных сервисов. Реализация проекта подразумевает два варианта его использования: открытый, т.е. бесплатный вариант OS (open service), будет транслировать сигнал по двум полосам частот (1164–1214 МГц и 1563–1591 МГц), что, в случае одновременного их использования, обеспечит точность навигации с погрешностью до 4-х метров. А в варианте CS (commercial service, или коммерческое использование), система будет транслировать сигнал ещё и по третьей, дополнительной полосе частот 1260–1300 МГц. При использовании трёхполосного сигнала и наземных трансляционных станций точность позиционирования достигнет значения погрешности менее 10 см.

Общее количество спутников системы Galileo: 30. Проектная дата завершения работ: 2011 год. Текущее состояние: первый спутник был запущен в декабре 2005 года, а первый сигнал системы Galileo был получен в январе 2006.

3.2 Китайская навигационная система Beidou

Изначально китайская навигационная система планировалась исключительно для военных нужд, однако китайское правительство вскоре изменило свою позицию, объявив, что сеть Beidou будет также работать и для гражданского населения, причём совершенно бесплатно. Это заявление спровоцировало небольшой конфликт с европейским сообществом, которое планировало продавать услуги собственной сети Galileo и ресиверы для приёма её сигнала китайцам. Однако возможно, что для Galileo ещё не всё потеряно: неизвестно, сможет ли сеть Beidou обеспечить такую же точность позиционирования, как Galileo.

Общее количество спутников системы Beidou: 35. Проектная дата завершения работ: покрытие Китая и частей сопредельных государств - к 2008 году, в дальнейшем - глобальное покрытие.

В итоге система была запущена в коммерческую эксплуатацию 27 декабря 2012 как региональная система позиционирования, при этом

спутниковая группировка составляла 16 спутников. Планируется, что на полную мощность система выйдет лишь к 2020 году. Китайские представители также отметили, что ещё предстоит урегулировать вопросы, касающиеся частотных диапазонов, с российской, американской и европейской сторонами, которые также владеют спутниковыми навигационными группировками. А пока китайская система работает на частоте сигнала В1, также отмеченный Евросоюзом как E2, с частотой 1559,052 — 1591,788 МГц. Обе стороны до сих пор не достигли окончательной договорённости по вопросам совместимости своих будущих спутниковых навигационных систем, несмотря на продолжающиеся с 2009 года переговоры по вопросу наложения специальных сигналов системы Compass на специальные сигналы PRS системы Galileo (диапазон L1, центральная частота 1575,42 МГц).

4. Роль спутниковых технологий в геодезическом производстве

Как наука, дисциплина «Космическая геодезия» появилась около 50 лет назад, когда были запущены первые искусственные спутники Земли. В течение почти 30 лет методы спутниковой геодезии рассматривались как чисто научные.

Точность определения положений пунктов составляла в лучшем случае единицы метров, но и это требовало применения дорогой аппаратуры, продолжительной и кропотливой обработки с применением большого объема ручного труда. Коренной перелом в космической геодезии был совершен в начале 1980-х гг., когда появились спутниковые радионавигационные системы второго поколения – американская система GPS (NAVSTAR) и советская система ГЛОНАСС. Уже первые практические результаты геодезических измерений, проведенных с помощью аппаратуры, работающей по сигналам системы СРНС, продемонстрировали точности, превышающие точность методов классической геодезии.

Термин «GPS технологии» (или ГЛОНАСС/GPS технологии) применяется для способов определения координат с применением спутниковых радионавигационных систем (СРНС) – американской системы GPS и российской ГЛОНАСС. Каждая из этих СРНС при полном развертывании состоит из 24 спутников, вращающихся на орбитах с высотой около 20 000 км. Спутники непрерывно передают сигналы, содержащие информацию об их положении и точном времени, а также дальномерные коды, позволяющие измерять расстояния.

Определение координат пользователя СРНС производится с помощью специальных спутниковых приемников (рис. 6), измеряющих либо время прохождения сигнала от нескольких спутников до приемника, либо фазу сигнала на несущей частоте. В первом случае расстояния измеряются с метровым уровнем точности, во втором случае – с миллиметровым уровнем точности. При этом реализован однонаправленный метод измерения расстояний, поскольку и GPS, и ГЛОНАСС являются беззапросными спутниковыми системами, допускающими одновременное использование их многими пользователями.

Каждый приемник может производить измерения либо независимо от других приемников, либо синхронно с другими приемниками. В первом случае, называемом абсолютным методом, достигается точность однократного определения координат по кодам порядка 1-15 м. Такой метод идеально подходит для навигации любых перемещающихся объектов, от пешеходов до ракет. Однако более высокую точность можно получать при одновременных наблюдениях спутников несколькими приемниками по фазовым измерениям. При такой методике наблюдений один из приемников обычно располагается в пункте с известными координатами. Тогда положение остальных приемников можно определить относительно первого приемника с точностью несколько миллиметров. Этот метод GPS получил название относительного метода. При этом возможны измерения на расстояниях от нескольких метров до тысяч километров.



Рис. 6. Студенты на практических занятиях со спутниковой аппаратурой во Вьетнаме

При обработке данных в реальном времени, то есть в процессе наблюдений на точке, спутниковая аппаратура дополняется радиомодемами и другими средствами беспроводной связи для обмена данными между приемниками. Пост-обработка обычно выполняется более строго, однако допущенные в поле промахи могут потребовать повторных выездов на измерения.

Методы GPS измерений можно разделить на статические и кинематические. При статических измерениях участвующие в сеансе приемники находятся на пунктах в неподвижном состоянии. Продолжительность наблюдений составляет от 5 минут (быстрая статика) до нескольких часов и даже суток, в зависимости от требуемой точности и расстояний между приемниками. При кинематических измерениях один из приемников находится постоянно на опорном пункте, а второй приемник (мобильный) находится в движении. Точность кинематических наблюдений немного ниже, чем в статике (обычно 2-3 см на линию до 10 км).

Интенсивное внедрение СРНС в геодезию обусловлено рядом

прогрессивных возможностей. Основные из них следующие.

1. Широкий диапазон точностей – от единиц метров до субсантиметров

практически на любых расстояниях. Наблюдение высоких целей ослабляет влияние атмосферы. Выигрыш в точности от этого достигает 1-2 порядка.

2. При построении геодезических сетей отпадает необходимость в прямой видимости между пунктами. Поэтому не нужно строить высокие знаки-сигналы, выбирая места на возвышенностях. Строительство знаков занимало в геодезии до 80% от стоимости работ. Новые пункты закладывают в местах, удобных для подъезда.

3. Повышение производительности спутниковых технологий, по сравнению с обычными технологиями, в 10-15 раз.

4. Выполнение кинематических измерений, то есть измерений в движении. Особенно ценно применение таких методов в морской геодезии, аэрофотосъемке. При этом отпадает необходимость создавать наземное обоснование, производить привязку опознаков.

5. Обеспечение непрерывных наблюдений, например, для мониторинга деформаций в режиме реального времени.

6. Одновременно могут определяться три координаты. Деление классических геодезических сетей на плановые и высотные привело к тому, что на пунктах триангуляции оказываются грубые высотные отметки, а на реперах отсутствуют плановые координаты.

7. Благодаря высокому уровню автоматизации, обеспечиваются быстрота обработки, уменьшение субъективных ошибок.

8. Почти полная независимость от погоды.

Принципиальное различие между классическими и спутниковыми методами геодезии состоит в том, что в классической геодезии измерения

производятся относительно отвесной линии (или поверхности геоида), то есть в основе измерений лежит физический принцип измерений. В результате, геодезические сети, построенные классическими методами, делятся на плановые и высотные сети. В основе спутниковых методов лежит геометрический принцип измерений, когда измеряются расстояния, являющиеся инвариантными величинами относительно систем координат и не дающие связь с геоидом. Поэтому одна из принципиально важных проблем, связанных со спутниковыми методами, – это преобразования полученных координат в государственную систему координат и высот. По этой причине нельзя говорить о том, что спутниковые методы универсальны. Отметим следующие недостатки методов GPS:

1. Проблема преобразования высот и координат в локальную геодезическую систему, а высот – дополнительно в систему нормальных (или ортометрических) высот.

2. Зависимость от препятствий и радиопомех. Спутниковые методы невозможно применять под землей.

3. Точность определения высот в 2-5 раз уступает точности определения плановых координат.

4. Высокая стоимость оборудования, сложное программное обеспечение. Когда появились первые GPS приемники, возникло мнение, что теперь геодезисту ничего не нужно делать: нажал на кнопку, и приемник тут же выдает координаты. Однако уже первые проведенные работы показали, что приемник может выдавать «не те координаты». То наблюдатель неправильно выбрал место для наблюдений, то нажал «не ту кнопку», то есть неверно задал режим работы и т. д. Сейчас в России накоплен достаточный опыт геодезических работ с применением спутниковых технологий. Появились нормативные документы.

Однако все еще остается масса спорных вопросов, требующих максимально корректного понимания новых технологий. Нужно помнить,

что спутниковые технологии, хотя и во многом подобны классическим методам геодезии, в то же время, имеют множество особенностей, неучет которых может иметь серьезные последствия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешное развитие современных спутниковых радионавигационных систем (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) определяет перспективные направления в формировании информационных технологий.

Совершенствование конструирования космической аппаратуры позволит решить проблемы долговечности спутников на орбитах, повышать автоматизацию управления с наземных контрольно-измерительных комплексов, обеспечить прохождение радиосигналов в любых погодных условиях.

Следует ожидать появления новых функциональных возможностей, новых идей и потребностей при создании портативных спутниковых приемников.

В частности, возможно дальнейшее решение задач автомобильной безопасности – отслеживание координат автомобилей, скорости их передвижения, передача информации о движении автомобилей через сотовую связь на посты контроля.

Спутниковая аппаратура способна отслеживать и оптимизировать движение поездов с применением автоматического торможения при наличии опасности.

Практически спутниковая навигация позволит решать чрезвычайно сложные задачи регулирования и выведения летательных аппаратов на взлетно-посадочных полосах, где следует обеспечивать дециметровые точности в любых погодных условиях.

Спутниковые системы позволяют решить навигационные задачи при прохождении судов в морях и океанах, а в дальнейшем – обеспечить непрерывное отслеживание маршрутов всех судов, находящихся в плавании.

Следует ожидать активного внедрения спутниковой аппаратуры в сельскохозяйственное производство, где будет решена задача не только

координатного обеспечения полей, но и отслеживания мониторинга растений.

Активное внедрение спутниковой навигации в сетевую коррекцию наземными механизмами позволит решать задачи роботизации производства, особенно при управлении машинами в горнорудном производстве.

Разрабатываются портативные приемники сотовой связи с встроенными навигационными операциями определения местоположения, маркировки объектов, направлений передвижения.

Портативные приемники в цифровом исполнении, встроенные в цифровые фотокамеры, позволят получать на изображении точные координаты того места, где был выполнен этот снимок.

Миллиметровые и субмиллиметровые точности, достигаемые приемниками геодезического назначения, позволяют решать фундаментальные научные задачи, в том числе, в науках о Земле.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1]. Власов, И.Б. Глобальные спутниковые системы [Текст]: учеб. пособие. / И.Б. Власов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 182 с.
- [2]. Инструкции по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS [Текст]. ГКИНП (ОНТА)-02-262—02, – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 124 с.
- [3]. Перова, А.И. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования [Текст] / А.И. Перова, В.Н. Харисова. – М.: Радиотехника, 2005. – 688 с.
- [4]. Побединский, Г.Г., Еруков С.В. Использование спутниковых приемников GPS WILD-SYSTEM 200 Верхневолжским АГП / Г.Г. Побединский, С.В. Еруков //Геодезия и картография. – 1994. – № 1. – С. 9– 14.
- [5]. Поваляев, А.А. Спутниковые радионавигационные системы: время, показания часов, формирование измерений и определение относительных координат [Текст] / А.А. Поваляев. – М.: Радиотехника, 2008. – 328 с.
- [6]. Поваляев, А.А., Вейцель В.А., Мазепа Р.Б. Глобальные спутниковые системы синхронизации и управления движением в околоземном пространстве [Текст] / А.А. Поваляев, В.А. Вейцель, Р.Б. Мазепа. – М.: Вузовская книга, 2012. – 188 с.
- [7]. Прихода, А.Г. Геодезическое обеспечение геолого-геофизических работ с использованием глобальных спутниковых систем [Текст]: метод.рекомендации / А.Г. Прихода, А.П. Лапко, Г.И. Мальцев и др. – Новосибирск, 2000. – 158 с.
- [8]. Серапинас, Б.Б. Глобальные системы позиционирования [Текст]: Учеб. изд. / Б.Б. Серапинас. – М.: ИКФ «Каталог», 2002. – 106 с.
- [9]. Синякин, А.К. Физические принципы работы GPS/ГЛОНАСС [Текст]: монография / А.К. Синякин, А.В. Кошелев. – Новосибирск: СГГА, 2009 – 110 с.
- [10]. Соловьев, Ю.А. Системы спутниковой навигации [Текст] / Ю.А. Соловьев. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 267 с.

- [11]. Шибшаевич, В.С. Сетевые спутниковые радионавигационные системы [Текст] / В. С. Шибшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцевич и др. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
- [12]. Яценков, В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС [Текст] / В.С. Яценков. – М.: Горячая линия, 2005. – 272 с.
- [13]. Leick, A. GPS Satellite Surveying (Second Edition) [Текст] / A. Leick. – A Wiley-Interscience Publication, New York, 1994. – 560 p.
- [14]. Schaefers, N.A. RTK GPS Put to Practice. Challenging the Total station / N.A. Schaefers //GIM (Geomatics Info Magazine). – February 1996. – № 2. – Vol. 10. – P. 65–68.
- [15]. Глонасс-101: лучше меньше, да лучше // CNews [Электронный ресурс]. URL: http://zoom.cnews.ru/rnd/news/top/glonass101_luchshe_menshe_da_luchshe/ (дата обращения: 15.04.2015).
- [16]. Состав группировки КНС ГЛОНАСС // Информационно-аналитический центр ГЛОНАСС [Электронный ресурс]. URL: <http://glonass-iac.ru/GLONASS/> (дата обращения: 20.04.2015)