

ГЛАВА 11. ВОЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГЛОНАСС И NAVSTAR

На сегодняшний день в мире существует несколько навигационных систем, использующие искусственные спутники Земли, но предлагают глобальный сервис позиционирования практически в любом месте нашей планеты две: российская ГЛОНАСС и американская NAVSTAR [1, 3].

11.1 Развитие радионавигации в США

GPS изначально разрабатывалась как военная система. Военные нуждались, с одной стороны, в средствах наведения высокоточного оружия дальнего радиуса действия, и, с другой стороны, в универсальной системе навигации, доступной для массового применения в армии. Очевидным решением было объединение этих двух задач в одну – создание системы точного позиционирования. Начиная с 1960-х годов Министерство обороны США начало развивать идею создания глобальной, всепогодной, непрерывно доступной, очень точной системы навигации и позиционирования.

После определения основных требований к системе, Военно-морские и Военно-воздушные силы США приступили к разработке концепции использования в целях навигации и позиционирования радиосигналов, излучаемых со спутников. Были изучены параметры прохождения сигнала через толщу земной атмосферы и возникающий при движении спутника по орбите доплеровский сдвиг частоты. Исследования APL (Applied Physics Laboratory, лаборатории прикладной физики) показали, что по доплеровскому сдвигу можно вычислить полную орбиту спутника. Доктор Фрэнк Мак Клар из APL указал, что наоборот, если известна полная орбита спутника, то по доплеровскому сдвигу можно вычислить точное положение спутника на

орбите. Возник интерес к обратной задаче: расчет координат приемника на основании принятых со спутника сигналов.

Военно-морские силы финансировали две программы, ставшие предшественниками GPS: TRANSIT и TIMATION [14]. Система TRANSIT стала первой действующей спутниковой навигационной системой. Разработанная в 1964г. в лаборатории прикладной физики имени Джона Гопкинса под руководством доктора Ричарда Кешнера, система TRANSIT состояла из 7 низкоорбитальных спутников, которые излучали очень стабильные радиосигналы. Несколько наземных станций слежения контролировали и корректировали параметры орбиты. Пользователи системы определяли свои координаты на земной поверхности, измеряя доплеровский сдвиг частоты от каждого спутника. Изначально разработанная Военно-морскими силами для управления подводными лодками с баллистическими ракетами Polaris на борту, в 1967г. система TRANSIT стала доступной для гражданских пользователей.

Второй предшественник GPS, Timation, был разработан в NRL (Naval Research Laboratory, Военно-морская исследовательская лаборатория) под руководством Роджера Истона. Программа исследований стартовала в 1964г. и включала в себя запуск двух искусственных спутников, несущих на борту разработанные ранее сверхстабильные часы, передачу со спутника прецизионных сигналов точного времени и определения двухмерных координат приемника. Основная идея состояла в использовании синхронизированных передатчиков, излучающих зондированный сигнал. Измеряя задержку прохождения сигнала от спутников, имеющих заранее известные координаты, можно вычислить расстояние до спутников и рассчитать на основании этого координаты приемника.

11.1.1 Современное состояние NAVSTAR GPS

Начиная с 1996г., на орбиту начали выводить спутники нового типа, «Блок 2 R», изготовленные компанией «Martin Marietta», принадлежащей аэрокосмическому отделению концерна «General Electric». Эти спутники имеют расширенные возможности, включая систему автономной навигации AUTONAV. В случае невозможности контакта с наземной станцией управления, автоматически включается система AUTONAV, позволяющая спутнику автономно функционировать без потери точности как минимум 180 дней. К марту 2005г. на орбите находилось 29 спутников NAVSTAR GPS, включая резервные. Для сравнения можно сказать, что российская система ГЛОНАСС состояла из 10 неравномерно распределенных по орбитам спутников. Во время разработки первоначальной концепции GPS считалось, что точности в 100м будет достаточно для гражданских применений. При испытаниях в конце 1970-х годов выяснилось, что возможно достичь реальной точности позиционирования в пределах 20 – 30м.

11.1.2 Современное военное применение GPS

В 1980-х годах GPS играла вторичную роль в реальных военных операциях, проводимых Вооруженными силами США. Например, ВМФ США использовали GPS для определения расположения минных полей в Персидском заливе в 1987 – 1988гг., а ВВС США применяли GPS во время вторжения в Панаму в декабре 1989года для устранения неточностей в имеющихся картах.

Кризис в Персидском заливе, случившийся в 1990 – 1991гг., стал для GPS первым полномасштабным боевым испытанием, разрешившим все сомнения в полезности системы NAVSTAR.

Для большинства пользователей GPS из числа задействованных во время операции «Буря в пустыне», система навигации была незаменимым техническим средством ведения боевых действий в пустыне. Спутники GPS

позволили силам антииракской коалиции маневрировать, определяться на местности и вести огонь с беспрецедентной точностью 24ч. в сутки и в тяжелейших условиях – частые песчаные бури, отсутствие мощных дорог, растительного покрова и других заметных ориентиров на местности.

После войны в Персидском заливе США несколько раз использовали GPS в различных военных и миротворческих операциях. Например, в 1993г. GPS использовалась для доставки продовольствия и гуманитарных грузов в Сомали. (Стандартных высокоточных карт для многих районов этой страны не существует, поэтому использовалась привязка к заранее определенным наземным пунктам с точно известными координатами.) Высадка американских войск на Гаити в 1994г. также сопровождалась интенсивным использованием GPS. Сочетание высокоточной спутниковой съемки и ракет со сверхточным наведением позволило уничтожить большинство прочных укрытий, сооруженных в горных тоннелях, пещерах и ущельях во время проведения антитеррористической операции в Афганистане. Боеголовки ракет включали в себя комплекс из системы интеллектуального оптического наведения и GPS, в режиме реального времени вычисляющую трехмерные координаты ракеты.

Военные и гражданские пользователи предъявляют к приемникам GPS одни и те же требования: малый вес, низкая цена, надежность, простота в обращении. Поэтому, военное навигационное оборудование военного и коммерческого назначения в США производят одни и те же фирмы.

11.2 Развитие радионавигации в СССР и России

Ведущая роль в создании основных теоретических положений спутниковой навигации принадлежит научному коллективу Ленинградской военно-воздушной инженерной академии им. А.М.Можайского под руководством профессора В.С.Шебшаевича [9, 14].

Работы по созданию отечественной навигационной спутниковой системы были развернуты в середине 60-х годов, а 27 ноября 1967г. был выведен на орбиту первый навигационный отечественный спутник «Космос - 192» [5]. Навигационный спутник обеспечивал непрерывное в течение всего времени активного существования излучение радионавигационного сигнала на частотах 150 и 400МГц. Среднеквадратическая погрешность местоопределения по этому спутнику составляла 250 – 300м.

В 1979г. была сдана в эксплуатацию навигационная система первого поколения «Цикада» в составе 4-х навигационных спутников, выведенных на круговые орбиты высотой 1000км., наклоном 83 и равномерным распределением плоскостей орбит вдоль экватора. Она позволяет потребителю через каждые два часа входить в радиокontakt с одним из навигационных спутников и определять плановые координаты своего места при продолжительности навигационного сеанса до 6 мин.

В дальнейшем спутники системы «Цикада» были дооборудованы приемной измерительной аппаратурой обнаружения терпящих бедствие объектов, которые оснащаются специальными радиобуями, излучающими сигналы бедствия на частотах 121МГц. и 406МГц. Эти сигналы принимаются спутниками «Цикада» и ретранслируются на специальные наземные станции, где производится вычисление точных координат аварийных объектов (судов, самолетов и др.)

Успешная эксплуатация низкоорбитальных спутниковых навигационных систем морскими потребителями привлекла широкое внимание к спутниковой навигации. Возникла необходимость создания универсальной навигационной системы, удовлетворяющей требованиям всех потенциальных потребителей: авиации, морского флота, наземных транспортных средств и космических кораблей.

Выполнить требования всех указанных классов потребителей низкоорбитальные системы в силу принципов, заложенных в основу их построения, не могли. Перспективная спутниковая навигационная система должна обеспечивать потребителю в любой момент времени возможность определять три пространственные координаты, вектор скорости и точное время. Для получения потребителем трех пространственных координат беззапросным методом требуется проведение измерений навигационного параметра не менее чем до четырех спутников, при этом одновременно с тремя координатами местоположения потребитель определяет и расхождение собственных часов относительно шкалы времени спутниковой системы.

Исходя из принципа навигационных определений, выбрана структура спутниковой системы, которая обеспечивает одновременную в любой момент времени радиовидимость потребителем, находящимся в любой точке Земли, не менее четырех спутников, при минимальном общем их количестве в системе. Это обстоятельство ограничило высоту орбиты навигационных спутников 20тыс.км. (дальнейшее увеличение высоты не ведет к расширению зоны радиообзора, а, следовательно, и к уменьшению необходимого количества спутников в системе). 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.

Для экспериментального определения параметров геопотенциала на орбиты навигационных спутников были запущены два пассивных ИСЗ «Эталон» («Космос – 1989» и «Космос – 2024»), предназначенных для измерения параметров их движения высокоточными квантово-оптическими измерительными средствами. Благодаря этим работам достигнутая в настоящее

время точность эфемерид навигационных спутников при прогнозе на 30ч. составляет: вдоль орбиты – 20м.; по бинормали к орбите – 10м.; по высоте 5м. Летные испытания высокоорбитальной отечественной навигационной системы, получившей название ГЛОНАСС, были начаты в октябре 1982г., запуском спутника «Космос - 1413». В 1995г. было завершено развертывание СРНС ГЛОНАСС до ее штатного состава (24 НС).

Основным заказчиком и ответственным за испытания и управление системами являются Военно-космические силы РФ. Механизм государственного контроля и координации работ по СРНС ГЛОНАСС осуществляется на межведомственной основе Координационным Советом, созданным в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 237 от 7 марта 1995г. Рабочим органом Координационного совета определен научно-технический центр «Интернавигация».

11.3 Общие принципы функционирования спутниковых навигационных систем

11.3.1 Обобщенная структура спутниковой навигационной системы

Спутниковые навигационные системы GPS и ГЛОНАСС создавались исходя из требований, соответствующих их прямому назначению. Подразумевалась их глобальность; независимость от метеорологических условий, рельефа местности, степени подвижности объекта; непрерывность работы и круглосуточная доступность; помехозащищенность; компактность аппаратуры потребителя и др.

В СНС GPS и ГЛОНАСС высокие эксплуатационные характеристики достигаются путем совместного функционирования трех основных сегментов:

- космического сегмента;
- сегмента управления;
- сегмента потребителей.

Кроме основных сегментов существует функциональное дополнение - дифференциальная подсистема (DGPS), а также ряд вспомогательных элементов: специальные каналы наземной и космической связи, средства вывода спутников на орбиту и т.п.

Основу концепции СНС GPS и ГЛОНАСС составили независимость и беззапросность навигационных определений. Независимость подразумевает определение искомых навигационных данных непосредственно в аппаратуре потребителя. Беззапросность системы означает, что все вычисления в аппаратуре потребителя вычисляются только на основе пассивно принятых сигналов от НКА с заранее точно известными орбитальными координатами.

11.3.1.1 Космический сегмент

Точность местоопределения и стабильность функционирования СНС в большой степени зависит от взаимного орбитального расположения спутников и параметров их сигналов. Как правило, требуется, чтобы в зоне видимости потребителя находилось не менее 3 – 5 НКА. На практике орбитальная структура строится таким образом, что для большинства потребителей постоянно видны более 6 НКА и потребитель имеет возможность выбирать оптимальное созвездие по определенному алгоритму, заложенному в вычислитель приемника. Действующие в настоящее время средневысотные орбиты с высотой около 20000км позволяют принимать сигналы каждого НКА почти на половине поверхности Земли, что обеспечивает непрерывность

радионавигационного поля. Системы GPS и ГЛОНАСС часто называют сетевыми СНС, т.к. принципиальное значение для их функционирования имеет взаимная синхронизация НКА по орбитальным координатам и параметрам излучаемых сигналов, т.е. объединение НКА в сеть.

В состав стандартного НКА входят: радиопередающее оборудование для передачи навигационного сигнала и телеметрической информации; радиоприемное оборудование для приема команд наземного комплекса управления; антенны; бортовая ЭВМ; бортовой эталон времени и частоты; солнечные батареи; аккумуляторные батареи; системы ориентации на орбите и т.д. Современные НКА могут нести сопутствующее оборудование, такое как детекторы для обнаружения наземных ядерных взрывов и элементы систем боевого управления [7, 14].

Излучаемые НКА сигналы содержат дальномерную и служебную составляющие. Дальномерная составляющая используется потребителями непосредственно для определения навигационных параметров – дальности до НКА, вектора скорости потребителя, его пространственной ориентации и т.п. Служебная составляющая содержит информацию о координатах спутников, шкале времени, векторах скоростей НКА и т.д.

Дальномерная составляющая содержит компоненты стандартной и высокой точности. Стандартная точность измерений доступна всем потребителям, высокая – только авторизованным, т.е. имеющим разрешение военных контролирующих органов. Разграничение доступа достигается путем кодирования сигналов высокой точности.

В условиях военных действий возможны попытки как постановки преднамеренных помех с целью подавления сигнала СНС, так и попытки навязывания, т.е. подмены сигнала и ввода в приемную аппаратуру противника

заведомо ложной информации при помощи сторонних передатчиков. В зарубежной литературе в это понятие включают и применение помехоустойчивых кодов, так как в условиях радиоэлектронной войны попытки навязывания начинаются с постановки активных помех с целью прервать нормальную работу и дезориентировать противника.

11.3.1.2 Сегмент управления

Сегмент управления состоит из главной станции, совмещенной с вычислительным центром; группы контрольно-измерительных станций (КИС), связанных с главной станцией и между собой каналами связи; наземного эталона времени и частоты. Координаты КИС (фазового центра антенны) определены в трех измерениях с максимально доступной точностью. При полете НКА в зоне видимости КИС, она осуществляет наблюдение за спутником, принимает навигационные сигналы, осуществляет первичную обработку информации и производит обмен данными с главной станцией. На главной станции происходит сбор информации от всех КИС, ее математическая обработка и вычисление различных координатных и корректирующих данных, подлежащих загрузке в бортовую ЭВМ НКА.

Данные, подлежащие загрузке, подразделяются на оперативные, обновляемые при каждом сеансе связи, и долговременные. В случае возникновения нештатной ситуации возможно проведение внеплановых сеансов связи и загрузки данных при условии нахождения НКА в зоне видимости одной из КИС.

Наземный эталон времени и частоты имеет более высокую точность, чем бортовые эталоны и предназначен для синхронизации всех процессов, происходящих в СНС и коррекции бортовых эталонов.

Сочетание независимости и беззапросности придает СНС неограниченную пропускную способность – произвольное число потребителей может использовать сигналы СНС в любой момент времени.

11.3.1.3 Сегмент потребителей

Сегмент потребителей условно делят на три части: военные организации, гражданские организации, частные лица. Независимо от назначения потребительского оборудования, в нем присутствуют радиочастотный тракт, в котором происходит прием радиосигналов НКА и их первичная обработка, и вычислитель, предназначенный для вторичной обработки сигнала, выделения навигационной информации, реализации алгоритма выбора оптимального созвездия и вычисления пространственных координат и вектора скорости потребителя. Сначала определяются текущие координаты НКА и дальности до них, затем вычисляются географические координаты потребителя. Вектор скорости потребителя вычисляется путем измерения доплеровских сдвигов частоты НКА при известных векторах скорости спутников. Далее, в зависимости от назначения приемника, информация поступает на устройство отображения, в канал передачи, или на блок управления внешними исполнительными механизмами.

11.4 Система глобального позиционирования ГЛОНАСС

11.4.1 Космический сегмент

Полная проектная группировка НКА системы ГЛОНАСС состоит из 24 спутников, равномерно распределенных в трех орбитальных плоскостях (рис.11.1). Орбитальные плоскости разнесены относительно друг друга на 120 градусов по абсолютной долготе восходящего узла и имеют условные номера 1, 2, и 3, возрастающие по направлению вращения Земли.

В каждой орбитальной плоскости расположено по 8 спутников со сдвигом по аргументу широты на 45° . Орбитальные плоскости сдвинуты друг относительно друга на 15° , т.е. спутники в соседних орбитальных плоскостях смещены на 15° по аргументу широты. Нумерация позиций спутников производится по порядку их следования на орбите в определенный момент времени и против их движения. Спутникам первой орбитальной плоскости присвоены номера 1..8, второй орбитальной плоскости – 9..16, третьей – 17..24.

Орбиты спутников являются близкими к круговым, с высотой 18840..19440км. (номинальное значение 19100км.). Наклонение орбиты – $64,8^\circ$ с точностью $\pm 0,3^\circ$. Точность выведения спутника в заданную точку орбиты составляет 0,5с. по периоду обращения, $\pm 1^\circ$ по аргументу широты и $\pm 0,01^\circ$ по эксцентриситету.

Орбитальная структура сети спутников построена таким образом, что в каждой точке земной поверхности и околоземного пространства одновременно наблюдаются не менее четырех спутников. Их взаимное расположение обеспечивает необходимые точностные характеристики системы.

Непрерывность навигационного поля системы ГЛОНАСС обеспечивается на высотах до 2000км. Система сохраняет полную функциональность при одновременном выходе из строя до 6 НКА.

Интервал повторяемости трасс движения НКА и, соответственно, зон радиовидимости наземными потребителями составляет 17 витков или 7сут.24ч.27мин.28с. Отсюда видно, что СНС ГЛОНАСС не является резонансной, т.е. спутники в своем орбитальном движении не имеют резонанса (синхронизма) с вращением Земли.

Выведение НКА на орбиту осуществляется по групповой схеме, по три спутника одновременно. Схема выведения НКА состоит из трех этапов:

- выведение головной части на промежуточную круговую орбиту высотой около 200км.;
- переход на эллиптическую орбиту с перигеем около 200км., апогеем 19100км. и наклоном 64,3°;
- переход на круговую орбиту высотой 19100км.

Время активного существования спутника составляет 5 лет, ведутся работы по увеличению этого срока до 15 лет.

Формирование высокостабильных синхрочастот и бортовой шкалы времени происходит при помощи бортового хронизатора. В состав хронизатора входят три комплекта цезиевого атомного стандарта частоты и устройство формирования синхрочастот и шкал времени. Масса бортового хронизатора – 207кг. Хронизатор обеспечивает формирование сигналов стандартной точности и сетки синхрочастот. Первый сигнал является синусоидальным, остальные – импульсные. Оцифровка времени производится 32-разрядным двоичным последовательным кодом с периодичностью 100Гц. [9].

Кроме бортового хронизатора в состав бортового оборудования входят: бортовой навигационный передатчик, блоки формирования навигационных сигналов, бортовая ЭВМ, системы ориентации и коррекции орбиты, телеметрии, приема сигналов наземного комплекса управления, терморегулирования и электропитания.

Система ориентации и стабилизации спутников построена по активной трехосной схеме с управляющими маховиками и реактивной системой разгрузки. Система ориентации обеспечивает реализацию программы начальной ориентации НКА после выведения на орбиту, успокоение спутника, ориентацию продольной оси спутника на центр Земли, а солнечных батарей – на Солнце, управление вектором тяги двигателей системы коррекции.

11.4.2 Сегмент управления

Сегмент управления системы ГЛОНАСС состоит из следующих функциональных компонентов:

- центра управления системой;
- центрального синхронизатора;
- контрольных станций;
- системы контроля фаз;
- кванто-оптических станций;
- аппаратуры контроля поля.

Все компоненты функционально связаны между собой. Наземный сегмент осуществляет:

- траекторные измерения для уточнения и прогнозирования орбит спутников;

- временные измерения для определения расхождения бортовых шкал времени относительно системной шкалы и синхронизацию бортовых шкал;
- формирование и выгрузку на спутники массива служебной информации;
- контроль за работой бортовых систем НКА на основе телеметрической информации;
- контроль за содержанием навигационных сообщений НКА;
- слежение за характеристиками навигационного поля.

Наземные станции слежения находятся в точках, координаты которых определены с максимально доступной точностью и предназначены для проведения траекторных, временных измерений и сбора телеметрической информации. С их помощью также происходит выгрузка служебной информации в бортовое запоминающее устройство НКА.

Измерения траекторных параметров осуществляются запросным способом. По запросу со станции слежения спутник формирует ответ. По задержке ответа и доплеровскому сдвигу частоты определяются радиальная скорость спутника и дальность до спутника с погрешностью не более 2..3м. Одновременно с измерением траекторных параметров происходит сбор телеметрической информации и выгрузка служебных данных.

В настоящее время на территории России, кроме Центра управления, действует семь станций слежения. На станциях предусмотрено тройное резервирование аппаратуры.

Входящие в состав наземного комплекса кванто-оптические станции предназначены для периодического высокоточного измерения дальности до НКА при помощи лазерного дальномера. В настоящее время кванто-оптические станции позволяют измерять дальность до объектов на высотах до 40 000 км. Дальномерная ошибка станций не превышает 1,5...1,8 см., а угломерная – от 0,5" до 2".

Кроме измерения траекторных и временных параметров НКА, наземные станции слежения обеспечивают контроль за качеством навигационного сервиса СНС. Поскольку координаты эталонных приемников точно определены, для каждого видимого НКА можно рассчитать прогнозируемые значения псевдодальностей и псевдоскоростей в заданные моменты времени.

В режиме контроля НКА происходит сбор навигационных сообщений ото всех видимых спутников и измерение псевдодальностей и псевдоскоростей. Затем, в автономном режиме, происходит обработка и проверка полученной информации.

В режиме контроля навигационного поля происходит решение навигационной задачи по оптимальному созвездию над станцией слежения. Результат определения координат сравнивается с эталонным. При наличии сверхнормативных расхождений сообщение об ошибке и пакет принятой информации передаются в Центр управления для дальнейшего анализа и принятия решения [14].

11.4.3 Сегмент потребителей

В состав сегмента потребителей принято включать сообщество потребителей навигационной услуги, приемники навигационного сигнала,

излучаемого спутниками, и подключаемое периферийное оборудование – антенны, устройства отображения информации, блоки информации и т.д.

После приема и обработки навигационных сигналов аппаратура потребителя измеряет и вычисляет навигационные параметры: псевдодальность и псевдоскорость; вычисляет геоцентрические координаты, переводит их в геодезические координаты, вектор скорости и высоту над опорным эллипсоидом; находит поправку к местной шкале времени относительно системного времени.

11.4.4 Интерфейс системы ГЛОНАСС

Интерфейс системы подразумевает под собой перечень требований, описаний и технические стандарты сигналов, путем которых происходит передача информации от космического сегмента СНС ГЛОНАСС к сегменту потребителей. НКА используют для передачи информации шумоподобные фазоманипулированные сигналы, излучаемые на двух несущих частотах: L1 (1600 МГц.) и L2 (1250 МГц.). Навигационные измерения в двух диапазонах частот позволяют свести к минимуму ионосферные погрешности.

Интерфейс СНС ГЛОНАСС беззапросный, т.е. НКА излучают радиосигналы на частотах L1 и L2 непрерывно, и любой приемник потребителя, находящийся в зоне радиовидимости НКА, в произвольный момент времени может получать от него навигационную информацию в пассивном режиме.

В СНС ГЛОНАСС излучаются навигационные сигналы двух типов: стандартной точности и высокой точности. Сигнал стандартной точности с тактовой частотой 0,511МГц предназначен для использования гражданскими потребителями, находящимися в любой стране мира. Сигнал высокой точности

с тактовой частотой 5,11МГц модулирован специальным (закрытым) кодом и не рекомендован к использованию без согласования с МО РФ. В системе ГЛОНАСС не используется режим преднамеренного ухудшения навигационных характеристик кода стандартной точности.

11.5 Система глобального позиционирования GPS NAVSTAR

Система GPS NAVSTAR, как и ГЛОНАСС, состоит из трех сегментов: космического, управляющего и пользовательского [3, 7, 14].

11.5.1 Космический сегмент

Полное созвездие NAVSTAR GPS состоит из 24 действующих и не менее 3-х резервных НКА (рис.11.2). Действующие НКА движутся по шести круговым орбитам. Орбиты наклонены к плоскости экватора под углом 55°, угол между плоскостями орбит 60°. НКА движутся на высоте 10900 морских миль, что соответствует 20180км. Период обращения НКА 11ч.58мин.

Распределение НКА по орбитам подобрано таким образом, что в зоне видимости над каждой точкой земной поверхности постоянно находится созвездие как минимум из пяти НКА.

Одновременно используются несколько типов НКА. В середине 1980-х годов были запущены первые несколько НКА серии “Block I”. Начиная с 1989г. выводилась на орбиту следующая серия - “Block II”. Запуск третьей серии – “Block II R” (Replenishment – новый ресурс) начался в 1996г. Четвертая серия, запуск которой запланирован на период до 2006г., получила условное название “Block II F” (Follow-on – модернизация в процессе эксплуатации).

Размеры каждого НКА составляют около 1,5м. в ширину и 5,3м. в длину, включая солнечные панели.

Важнейшим элементом каждого НКА являются рубидиевые и цезиевые атомные стандарты частоты («часы»), по четыре модуля на каждом НКА. Несмотря на то, что бортовые «часы» сами по себе чрезвычайно точны, их показания периодически корректируются с Земли. Кроме генерации собственно сигналов точного времени, атомные стандарты частоты служат источником опорной частоты 10,23МГц для бортовых передатчиков, которые излучают сигнал на двух частотах: $L1=1575,42\text{МГц}$. и $L2=1227,6\text{МГц}$. Эти частоты кратны опорной частоте. Мощность бортовых передатчиков в разных модификациях около 50 – 60Ватт.

Кроме стандартов частоты и передатчиков в состав бортового оборудования входят: синтезатор частот, блоки формирования навигационных сигналов, одна основная и две резервных бортовых ЭВМ, системы ориентации и коррекции орбиты, телеметрии, приема и ретрансляции сигналов наземного комплекса управления, терморегулирования и электропитания.

Система терморегулирования состоит из теплоотводящих панелей и нагревательных элементов. Источником электроэнергии являются панели солнечных батарей, а во время прохождения через тень Земли питание бортового оборудования осуществляется от никель-кадмиевых аккумуляторов.

Для передачи навигационных сигналов применяются фазированные антенные решетки на основе спиральных излучающих элементов. В линии обмена данными с наземным комплексом используются спирально-конические и конические антенны.

Бортовая подсистема телеметрии осуществляет передачу по радиоканалу данных о состоянии бортовой аппаратуры в наземный сегмент управления. По этому же каналу с земли передаются поправки к показаниям бортовых часов. Для точного определения орбит НКА с земли посылается специальный запросный сигнал, который при помощи бортового ретранслятора отсылается обратно. При помощи измерения задержки и доплеровского сдвига частоты этого сигнала осуществляется точное определение орбиты и скорости движения данного НКА. Для канала «Земля - борт» используется частота 2227,5МГц., канал «борт - Земля» использует частоту 1783,74МГц. [14]. Без контакта с Землей в течение 180 дней сохраняется устойчивое функционирование системы с постепенным снижением точности местоопределения.

11.5.2 Сегмент управления

Сегмент управления отслеживает движение НКА и выполняет периодическую корректировку орбит. США располагают пятью полностью автоматическими станциями слежения, расположенными на Гавайях и атолле Кваджалейн в Тихом океане, на острове Вознесения в Атлантическом океане, на атолле Диего-Гарсия в Индийском океане и в Колорадо-Спрингс. Расположение станций подобрано таким образом, чтобы разместить их наиболее равномерно вокруг земного шара по экватору и создать наиболее благоприятные условия для приема навигационных сигналов.

Координаты каждой приемной станции определены с очень высокой точностью, каждая станция оснащена цезиевыми атомными часами. Сигнал от каждого НКА принимается четырьмя из пяти станций слежения. Поскольку заранее известны точные координаты приемных станций и эталонное время, по времени прохождения сигнала от НКА до станций вычисляются псевдодальности, и рассчитывается точное положение НКА на орбите. Измеренные данные передаются в Главную управляющую станцию,

расположенную в Колорадо-Спрингс, на базе ВВС Шривер. Там осуществляется сбор и окончательная обработка данных, полученных от остальных наземных станций. В результате обработки полученной информации вычисляются новые данные о положении НКА на орбите и ошибка бортовых часов.

11.5.3 Сегмент потребителей

Сегмент потребителей GPS, аналогично сегменту потребителей ГЛОНАСС состоит из приемников и дополнительных устройств, таких как антенны, интерфейс с исполнительными устройствами, а также вспомогательного программного обеспечения. В простейшем случае приемник получает от НКА навигационные данные, встроенный вычислитель решает навигационную задачу и выводит на дисплей абсолютные значения координат.

Области применения GPS на сегодняшний день:

- военные задачи (точное целеуказание и целенавешение, позиционирование);
- авиация (прокладка курса, позиционирование, автоматическая посадка);
- морской транспорт (прокладка курса, позиционирование);
- наземный транспорт (прокладка маршрута, контроль движения);
- геодезия и картография(кадастровые съемки и т.п.);
- строительство (мосты, тоннели, нефтепроводы и т.д.);

- сельское хозяйство (разметка и обработка сельхозугодий);
- добыча полезных ископаемых;
- спасательные работы;
- системы безопасности (поиск похищенных автомобилей и грузов и т.п.);
- службы точного времени;
- частное использование в быту (туризм, охота, хобби).

В соответствии с областью применения конструкции и возможности приемников GPS могут значительно отличаться.

11.5.4 Интерфейс системы GPS NAVSTAR

Интерфейс системы подразумевает под собой перечень требований, описаний и технические стандарты сигналов, путем которых происходит передача информации от космического сегмента GPS к сегменту потребителей. Навигационные НКА используют для передачи информации две частоты L1 и L2. Все НКА вещают на одинаковых частотах и используют кодовое разделение каналов.

Интерфейс системы GPS беззапросный, т.е. НКА излучают радиосигналы на частотах L1 и L2 непрерывно, и любой приемник потребителя, находящийся в зоне радиовидимости НКА, в произвольный момент времени может получать от него навигационную информацию в пассивном режиме. В общем случае излучаются три псевдослучайных дальномерных кода:

P-код, являющийся основным дальномерным кодом. Псевдослучайный дальномерный P-код является индивидуальным для каждого НКА;

Y-код, применяемый вместо P-кода при включении режима предотвращения преднамеренных помех и несанкционированного доступа к информации;

C/A-код. Открытый код, который сначала использовался лицензированными пользователями для первичного вхождения в режим слежения и последующего захвата P или Y кода. Сейчас C/A-код находится в распоряжении мирового сообщества для использования в целях позиционирования.

Предусмотрена возможность преднамеренного снижения точности определения координат по коду C/A до уровня 100м.

11.6 Основные системные различия GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС

Основываясь на приведенной в [14, 15] сравнительной таблице технических параметров двух СНС, отметим основные различия между GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС.

Несмотря на то, имеются некоторые различия в орбитальной структуре систем, к основным отличиям, прежде всего, следует отнести различия в навигационных сигналах.

- 1) В GPS применяется кодовое разделение сигналов, а в ГЛОНАСС – частотное.

- 2) В отличие от GPS, в ГЛОНАСС никогда не применялось преднамеренное ухудшение характеристик сигнала стандартной точности.

Орбитальная группировка СНС ГЛОНАСС построена таким образом, что меньше, чем у GPS, подвержена влиянию нецентричности поля тяготения Земли и поэтому коррекция положения СНС требуется реже. Различается и структура навигационного сообщения [14].

Остальные основные отличия представлены в таблице 11.1

Таблица 11.1

Показатель	ГЛОНАСС	GPS NAVSTAR
Число НКА в полной системе	24	24
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число НКА в каждой плоскости	8	4
Наклонение орбиты, град.	64,8	55
Высота орбиты, км	19130	20180
Период обращения НКА	11ч 55 мин 44 с	11ч 58мин 00с
Масса НКА, кг	1450	1055
Мощность солнечных батарей, Вт	1250	450
Срок активного существования, лет	3	7,5

Продолжение таблицы 11.1

Средства вывода на орбиту	Протон-К/ДМ	Delta 2
Число НКА, выводимых за один запуск	3	1
Космодром	Байконур	Мыс Канаверал