

# СИСТЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ГЛОНАСС (РОССИЯ)

## 3.1. Космический сегмент

Полная (проектная) группировка НКА системы ГЛОНАСС состоит из 24-х спутников, равномерно распределенных в трех орбитальных плоскостях (рис. 3.1). Орбитальные плоскости разнесены относительно друг друга на  $120^\circ$  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  $45^\circ$ . Орбитальные плоскости сдвинуты друг относительно друга на  $15^\circ$ , т.е. спутники в соседних орбитальных плоскостях смещены на  $15^\circ$  по аргументу широты. Нумерация позиций спутников производится по порядку их последовательности на орбите в определенный момент времени и против их движения. Спутникам 1-й орбитальной плоскости присвоены номера 1...8, 2-й орбитальной плоскости – 9...16, 3-й – 17...24.

По состоянию на 0 ч 00 мин 00 с Московского времени 1 января 1983 г. аргументы широты спутников описывались выражением

$$145^\circ 26' 37'' + 15^\circ (27 - 3j + 25k),$$

где  $j = 1 \dots 24$ ;  $k =$  целая часть числа  $(j - 1)/8$ .

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

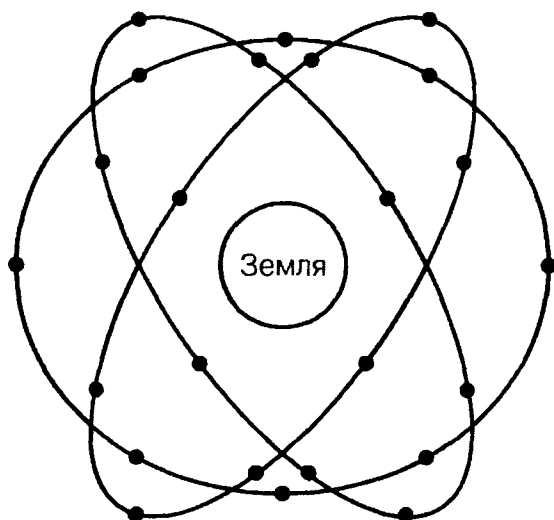


Рис. 3.1. Орбитальная структура СНС ГЛОНАСС

точность координатно-временных измерений может быть достигнута при наличии в системе 21 спутника, по семь в каждой орбитальной плоскости, а остальные используются в качестве "горячего" резерва. Непрерывность навигационного поля системы ГЛОНАСС обеспечивается на высотах до 2000 км. Система сохраняет полную функциональность при одновременном выходе из строя до 6 НКА (по два в каждой плоскости).

Интервал повторяемости трасс движения НКА и, соответственно, зон радиовидимости наземными потребителями составляет 17 витков или 7 сут 23 ч 27 мин 28 с. Отсюда видно, что СНС ГЛОНАСС не является резонансной (или синхронной), т.е. спутники в своем орбитальном движении не имеют резонанса (синхронизма) с вращением Земли. Начало каждого витка смещается относительно поверхности Земли приблизительно на  $21^\circ$  по долготе и орбита каждого НКА имеет многовитковый след. Благодаря этому возмущающее влияние нецентральности гравитационного поля Земли на орбиты НКА значительно снижается и является одинаковым для всех НКА. Как следствие, орбитальная группировка СНС ГЛОНАСС более стабильна по сравнению с GPS, имеющей синхронные 12-часовые орбиты. Орбитальная группировка ГЛОНАСС не требует дополнительных корректировок в течение всего срока активного существования НКА, хотя срок функционирования НКА на сегодняшний день несколько меньше, чем в GPS.

Так как бортовой запас топлива ограничен, изменение действующей конфигурации орбитальной группировки за счет перевода НКА на другую орбиту допускается только в крайнем случае, для

## ***Система глобального позиционирования ГЛОНАСС***

оптимизации навигационных определений или обеспечения электромагнитной совместимости.

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 200 км;
- переход на эллиптическую орбиту с перигеем около 200 км, апогеем 19100 км и наклоном  $64,3^\circ$ ;
- переход на круговую орбиту высотой 19100 км.

Постановка НКА в заданную системную точку может занять от недели до месяца и зависит от соотношения между точкой выведения спутника на орбиту и конечной системной точкой.

На момент подготовки материала книги состояние орбитальной группировки ГЛОНАСС, по данным информационного бюллетеня КНИЦ МО РФ от 31 декабря 2003 г., соответствовало приведенному в табл. 3.1.

Таким образом, по состоянию на 31.12.2003 г. орбитальная группировка ГЛОНАСС включала в себя лишь семь действующих НКА, с последующим увеличением до десяти за счет введения НКА, запущенных 10.12.2003 г.

Служебные системы и специальное оборудование НКА помещены в цилиндрический гермоконтейнер диаметром 1,35 м. Для уменьшения возмущений орбиты, возникающих от истечения микроструй газа, герметичность навигационного спутника повышена на порядок по сравнению с другими спутниками.

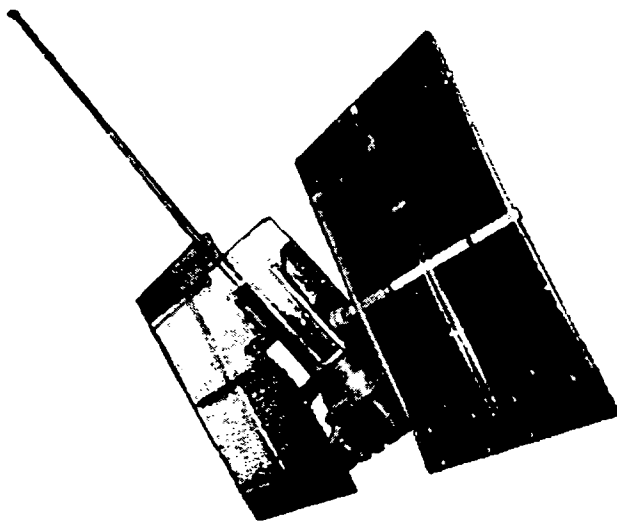


Рис. 3.2. Внешний вид спутника системы ГЛОНАСС

Таблица 3.1

## Состояние орбитальной группировки СНС ГЛОНАСС

Номер ГЛОНАСС	Номер КОСМОС	Плос-кость/точка	Номер частотного канала	Дата запуска	Дата ввода	Состояние спутника	Дата вывода
701	2404	1/01		10.12.2003			
794	2402	1/02		10.12.2003			
789	2381	1/03	12	01.12.2001	04.01.2002	В системе	
795	2403	1/04		10.12.2003			
711	2382	1/05	02	01.12.2001	15.04.2003	Выведен	31.12.2003
787	2375	3/17	05	13.10.2000	04.11.2000	В системе	
783	2374	3/18	10	13.10.2000	05.01.2001	В системе	
792	2395	3/21	05	25.12.2002	31.01.2003	В системе	
791	2394	3/22	10	25.12.2002	10.02.2003	В системе	
793	2396	3/23	11	25.12.2002	31.01.2003	В системе	
788	2376	3/24	03	13.10.2000	21.11.2000	В системе	
790	2380	1/06	09	01.12.2001	04.01.2002	Прекращен	19.12.2003
784	2363	1/08	08	30.12.1998	29.01.1999	Прекращен	19.12.2003

## Система глобального позиционирования ГЛОНАСС

На поверхности контейнера, обращенной к Земле, смонтированы антенно-фидерная система и панель уголковых отражателей. На противоположной стороне находятся топливные баки двигателей ориентации. Спутник снабжен солнечными батареями, ширина которых в раскрытом виде составляет 7,23 м. Во время нахождения спутника в тени питание бортового оборудования осуществляется от аккумуляторов. Общая масса аппарата составляет 1487 кг, из которых на долю целевого оборудования приходится 237 кг.

Время активного существования спутника увеличено с 3,5 лет до 5 лет и ведутся работы по увеличению этого срока до 12...15 лет. В противном случае расходы на поддержание орбитальной группировки наряду с необходимостью ее доукомплектования могут оказаться чрезмерно большими.

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 – 207 кг.

Хронизатор обеспечивает формирование сигналов стандартной точности и сетки синхрочастот (Гц):

$f_1$	5 000 000	$f_7$	50
$f_2$	200 000	$f_8$	10
$f_3$	50 000	$f_9$	1
$f_4$	10 000	$f_{10}$	1/60
$f_5$	1 000	$f_{11}$	1/1800
$f_6$	100		

Сигнал  $f_1$  является синусоидальным, остальные – импульсные. Оцифровка времени производится 32-разрядным двоичным последовательным кодом с периодичностью 100 Гц [2].

Бортовой хронизатор может работать в штатном или дежурном режиме. В дежурном режиме в качестве задающего генератора используется кварцевый генератор, и синтезатор частот обеспечивает формирование сетки частот, необходимой на этапе ожидания команд, выведения в заданную точку орбиты или при аварийной ситуации. Оборудование переводится в штатный режим по команде наземного центра управления. При этом происходит синхронное (по фронту импульсов) переключение на атомный стандарт частоты. Если уход бортовой шкалы времени превышает норму, по команде

---

с наземной станции происходит коррекция и фазирование бортовой шкалы.

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.

Бортовой навигационный передатчик состоит из аппаратуры формирования навигационных сигналов и антенно-фидерного оборудования. Для повышения надежности предусмотрено дублирование силовых блоков передатчика и формирователей навигационного сигнала. Для контроля за излучением используются амплитудные датчики ВЧ-излучения антенны, сигнал с которых поступает на бортовую телеметрическую систему. Переключение на резервные блоки может происходить автоматически или по команде с Земли.

Антенно-фидерная система конструктивно представляет собой фазированную решетку, состоящую из двух групп спиральных излучателей: 4 центральных и один периферийный кольцевой из восьми излучателей на кольце диаметром 85 см. Излучатели разделены на 4 сегмента, состоящих из одного центрального и двух ближайших периферийных излучателей. Такая конструкция антенны обеспечивает одновременную работу на частотах  $L1$  и  $L2$ , достаточное подавление внеполосных излучений и необходимую диаграмму направленности.

При проектировании системы первоначально предполагалось разместить на каждом НКА по два передатчика. Один из них должен был излучать навигационный сигнал в направлении центра Земли, для наземных пользователей и низкоорбитальных КА. Второй должен был излучать сигнал в противоположном направлении, "в зенит", для КА на высоких геостационарных орбитах. В результате оптимизации системы остался лишь один передающий комплект, излучающий в направлении земной поверхности.

Эффективная излучаемая мощность составляет: по каналу  $L1$  – 30 Вт; по каналу  $L2$  – 21 Вт при суммарной потребляемой мощности 530 Вт.

Система ориентации и стабилизации спутников построена по активной трехосной схеме с управляющими маховиками и реактивной системой разгрузки [2]. 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.

## **Система глобального позиционирования ГЛОНАСС**

**Система координат.** Передаваемые каждым НКА эфемериды описывают положение фазового центра передающей антенны спутника, так как при определении псевдодалности измеряется время распространения сигнала от фазового центра передающей антенны, до фазового центра приемной. Положение фазового центра передающей антенны легко приводится к положению центра масс спутника, поскольку при орбитальном движении небесного тела орбитой является траектория движения его центра масс.

Координаты фазового центра передающей антенны описываются в связанной с Землей геоцентрической системе координат ПЗ-90. Данная система координат определяется следующим образом:

- начало координат расположено в центре масс Земли;
- ось  $Z$  направлена на Условный полюс Земли;
- ось  $X$  направлена в точку пересечения плоскости экватора и нулевого меридиана, определенного Международным бюро времени;
- ось  $Y$  дополняет геоцентрическую прямоугольную систему координат до правой.

Земля рассматривается как эллипсоид, геометрические параметры которого приведены в таблице 3.2. Геодезическая широта точки  $P$  определяется как угол между нормалью к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора. Геодезическая долгота точки  $P$  определяется как угол между плоскостью нулевого меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через точку  $P$ . Геодезическая высота определяется как расстояние по нормали от поверхности эллипсоида до точки  $P$ .

Таблица 3.2.

### **Параметры земного эллипсоида и фундаментальные геодезические константы**

Угловая скорость вращения Земли	$7,292115 \cdot 10^{-5}$ радиан/с
Геоцентрическая константа гравитационного поля Земли с учетом атмосферы	$398\,600,44 \cdot 10^9$ м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>
Геоцентрическая константа гравитационного поля атмосферы Земли, $fM_a$	$0,35 \cdot 10^9$ м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>
Скорость света	299 792 548 м/с
Большая полуось земного эллипсоида	6 378 136 м
Коэффициент сжатия эллипсоида	1/298,257839303

Продолжение таблицы 3.2

Гравитационное ускорение на экваторе Земли	978 032,8 мгал
Поправка к гравитационному ускорению на уровне моря, обусловленная влиянием атмосферы Земли	-0,9 мгал
Вторая зональная гармоника геопотенциала, $J_2^0$	$1\ 082\ 625,7 \cdot 10^{-9}$
Четвертая зональная гармоника геопотенциала, $J_4^0$	$-2370,9 \cdot 10^{-9}$
Нормальный потенциал на поверхности обшцеземного эллипсоида, $U_0$	$62\ 636\ 861,074\ \text{м}^2/\text{с}^2$

### 3.2. 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, включая эфемериды, альманах и временные поправки;
- 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 максимальной доступной точностью и предназначены для проведения траекторных и временных измерений и сбора телеметрической информации. С их помощью также происходит выгрузка служебной информации в бортовое запоминающее устройство НКА.





Рис. 3.3. Расположение наземных станций слежения СНС ГЛОНАСС

Сеть станций слежения СНС ГЛОНАСС выгодно отличается от аналогичной сети GPS тем, что расположена только на территории своей страны. Отчасти этому способствует большая протяженность российской территории с востока на запад (рис. 3.3).

Измерения траекторных параметров осуществляются запросным способом. По запросу со станции слежения спутник формирует ответ. По задержке ответа и доплеровскому сдвигу частоты определяются дальность до спутника с погрешностью не более 2...3 м и его радиальная скорость. 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 данный момент существующая сеть станций считается достаточной, так как даже при выходе из строя одной из станций, она равноценно заменяется другой, благодаря избыточности системы [2]. Кроме того, 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 используется несколько типов кванто-оптических станций, в том числе расположенных за пределами России. Так, например, кванто-оптическая станция "Майданак" (Узбекистан) по-

---

зволяет измерять дальность до объектов на высотах до 40 000 км. Дальномерная ошибка станции не превышает 1,5...1,8 см, а угломерная от 0,5" до 2". Для эффективной работы кванто-оптических станций требуется наличие хорошей оптической видимости в ночное время, поэтому они, как правило, применяются не при систематическом наблюдении за НКА, а для юстировки радиодальномерных каналов.

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 от всех видимых спутников (при завершённой системе их может быть от 8 до 11) и измерение псевдодальностей и псевдоскоростей. Затем, в автономном режиме, происходит обработка и проверка полученной информации.

При обнаружении неисправности спутника сигнал об этом автоматически передается в Центр управления, где принимается решение об ограничении функциональности или выведении спутника из системы и о мерах по устранению неисправности.

*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 [2]. С неисправным спутником может быть проведен сеанс запроса телеметрии для поиска неисправности. После анализа ситуации на борт спутника может быть передана команда включения в навигационное сообщение признака неисправности этого НКА или пересчет и перезагрузка обновленного массива навигационных данных. Также для этого НКА могут быть проведены внеплановые сеансы контрольных измерений с использованием других станций слежения.

### **3.3. 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,

## ***Система глобального позиционирования ГЛОНАСС***

---

блоки автоматики и вспомогательное программное обеспечение. Потребитель может быть стационарным или подвижным, наземным (сухопутным или морским), воздушным или космическим. Присутствие человека в качестве оператора или прямого потребителя навигационной услуги не является обязательным. Но, в любом случае, конечными потребителями навигационной услуги являются люди.

Поскольку по ряду причин более широкое распространение в мире получила система GPS, практически все приемники системы ГЛОНАСС принимают также сигналы GPS, но отнюдь не все приемники системы GPS принимают сигналы системы ГЛОНАСС.

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.

## СИСТЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ NAVSTAR, США

Законченная система GPS NAVSTAR, как и ГЛОНАСС, состоит из трех сегментов: космического, управляющего и пользовательского.

### 4.1. Космический сегмент

Полное созвездие NAVSTAR GPS состоит из 24 действующих и не менее 3-х резервных НКА (рис. 4.1). Действующие НКА движутся по шести круговым орбитам. Орбиты наклонены к плоскости экватора под углом  $55^\circ$ , угол между плоскостями орбит  $60^\circ$ . НКА движутся на высоте 10900 морских миль, что соответствует примерно 20180 км. Период обращения НКА 11 ч 58 мин.

Распределение НКА по орбитам подобрано таким образом, что в зоне видимости над каждой точкой земной поверхности постоянно находится созвездие как минимум из пяти НКА. Исключение составляют полярные и приполярные области. Предусмотрено наличие нескольких запасных НКА. Например, по состоянию на сентябрь 2002 г. на орбите находилось 29 НКА GPS. Кроме этого, НКА могут менять свое положение на орбите по команде с Земли, чтобы заменить вышедшие из строя НКА или увеличить покрытие на определенной территории.

Одновременно используются несколько типов НКА. В середине 1980-х годов были запущены первые несколько НКА серии "Block I". Следующая серия НКА, именуемая "Block II" выводилась на орбиту, начиная с 1989 г. К апрелю 1994 г, когда прекратил работу последний НКА серии "Block I", на орбите уже находилось 24 НКА серии "Block II". Следующая серия НКА получила сокращенное название "Block IIR", как сокращение от слова *Replenishment* – новый ресурс, замена. Запуск этой серии начался в 1996 году. И, наконец, серия, запуск которой запланирован на период до 2006 года, получила условное название "Block IIF" от английского термина *Follow-on* – модернизация в процессе эксплуатации.

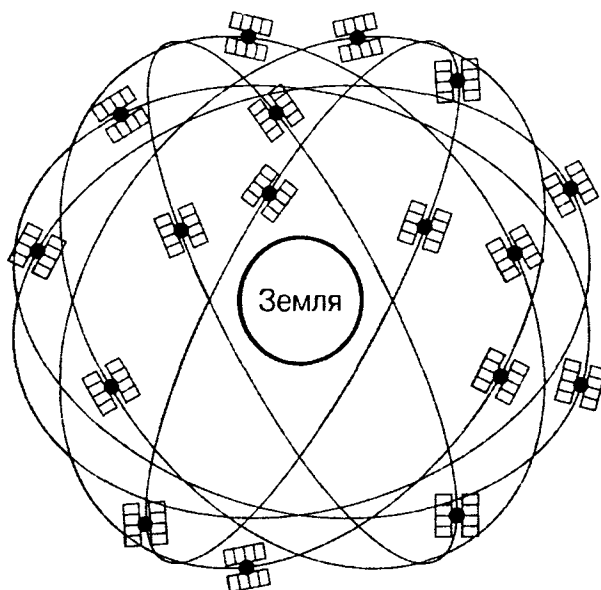


Рис. 4.1. Орбитальная структура системы GPS NAVSTAR

Размеры каждого НКА составляют около 1,5 м в ширину и 5,3 м в длину, включая солнечные панели. Прочие характеристики НКА приведены в таблице:

Серия	Масса, кг	Мощность автономных энергоисточников	Расчетный срок эксплуатации	Год запуска первого НКА
Block I	525	440	–	1978
Block II	844	710	5	1989
Block IIR	1094	1250	~10	1997
Block IIF			14-15	2002

Важнейшим элементом каждого НКА являются рубидиевые и цезиевые атомные стандарты частоты ("часы"), по четыре модуля на каждом НКА. НКА "Block II" несут на борту два рубидиевых стандарта частоты со стабильностью  $5 \cdot 10^{-13}$ , и два цезиевых со стабильностью  $2 \cdot 10^{-13}$ . 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 10,23 МГц для бортовых передатчиков, которые излучают сигнал на двух частотах:  $L1 = 1575,42$  МГц и  $L2 = 1227,6$  МГц. Эти частоты кратны опорной частоте. Мощность бортовых передатчиков в разных модификациях около 50 – 60 Ватт.

## ***Система глобального позиционирования NAVSTAR, США***

---

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 бортовое оборудование питается 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 и эфемеридам. 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 2227,5 МГц, канал "борт-Земля" использует частоту 1783,74 МГц.

Как уже упоминалось, НКА способны определенное время функционировать без контакта с землей, от 14 дней для "Block II" и до минимум 180 дней для "Block IIR". В первом случае повышения автономности добиваются, накапливая в памяти бортового компьютера большое количество статистических данных об изменениях орбиты и параметрах движения НКА и прогнозируя возможные погрешности. Через 14 дней погрешность местоопределения на поверхности Земли может достигать 425 метров. Во втором случае НКА способны производить взаимный обмен данными и синхронизацию часов без контакта с землей, автоматически вычисляя параметры орбит. В течение 180 дней сохраняется устойчивое функционирование системы с постепенным снижением точности местоопределения. Для нормального функционирования автономной системы коррекции "Autonav" необходимо наличие на орбитах не менее 14 – 16 НКА типа "Block IIR".

---

## 4.2. Сегмент управления

Сегмент управления отслеживает движение НКА и выполняет периодическую корректировку орбит, корректирует их эфемеридные константы и устраняет накапливающиеся ошибки бортовых часов. Соединенные Штаты 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, а также в Колорадо-Спрингс. В будущем планируется создание еще одной станции наблюдения на мысе Канаверал, штат Флорида. 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, и каждая станция оснащена цезиевыми атомными часами. Стационарные атомные часы станций слежения имеют более высокую точность, чем бортовые часы НКА. Сигнал от каждого НКА принимается четырьмя из пяти станций слежения (станция на Гавайях на момент подготовки книги не имела позиционированной наземной антенны). Поскольку заранее известны точные координаты приемных станций и эталонное время, по времени прохождения сигнала от НКА до станций вычисляются так называемые псевдодальности, и рассчитывается точное положение НКА на орбите. Измеренные данные передаются в Главную управляющую станцию, расположенную в Колорадо-Спрингс, на базе ВВС Шривер. На этой станции осуществляется сбор и окончательная обработка данных, полученных от остальных наземных станций. Сколь бы ни были точны данные, получаемые от наземных станций слежения, они имеют свои погрешности, но благодаря некоторой избыточности данных и последующей математической обработке значительную часть погрешностей удается скомпенсировать.

Кроме основных данных со станций слежения, на главную станцию поступают данные от астрофизических и метеорологических НКА. Дело в том, что состояние ионосферы Земли значительно влияет на скорость распространения радиосигнала, а мало поддающиеся прогнозированию вспышки на Солнце не только ионизируют верхние слои атмосферы, но и влияют на орбиты НКА.

В результате обработки полученной информации вычисляются новые эфемериды НКА (данные о положении НКА на орбите) и ошибка бортовых часов.

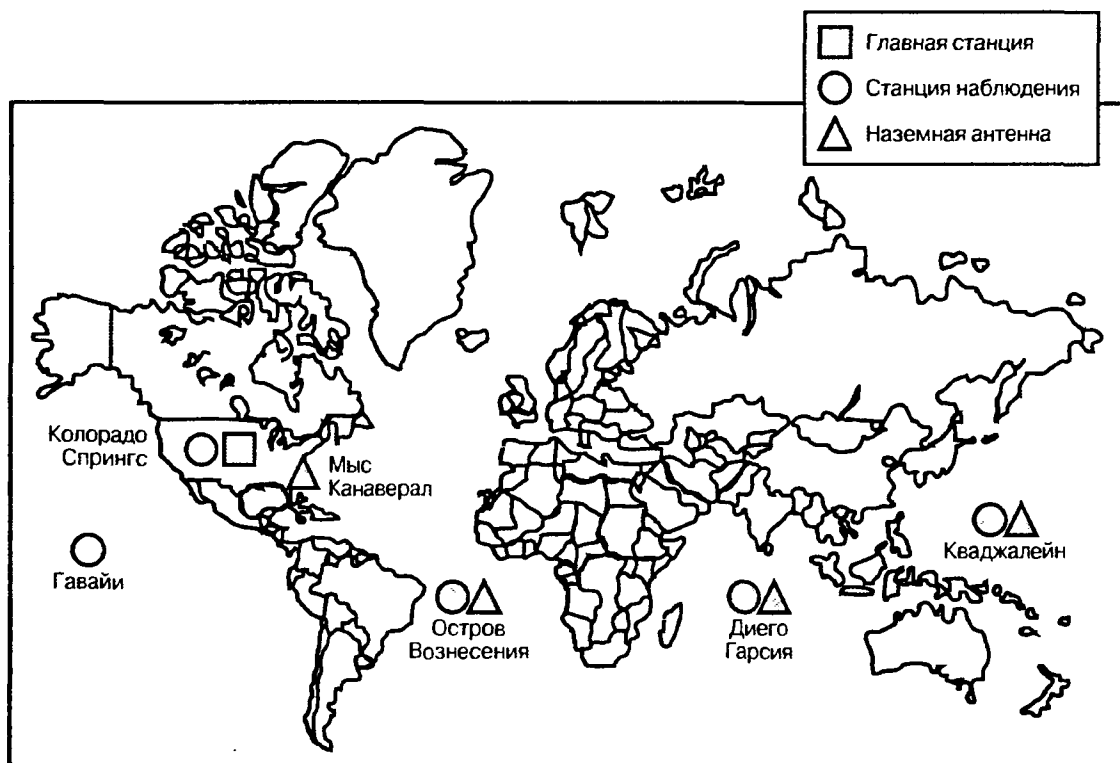


Рис. 4.2. Расположение наземных станций слежения GPS NAVSTAR

Один раз в сутки эфемериды и уточненные показания часов загружаются на НКА при помощи сети наземных передающих антенн, расположенных по всему миру. Кроме навигационных данных на НКА при необходимости передаются команды корректировки орбиты.

Наземные антенны также используются для приема телеметрической информации о состоянии бортового оборудования НКА. За то время, пока НКА находится в зоне видимости, один из операторов центра управления передает на него обновленную навигационную информацию, а второй выполняет тесты по проверке состояния бортовых систем. В случае обнаружения сбоев принимается решение о работоспособности данного НКА. Существующее в данный момент число наземных станций слежения приводит к разрывам в слежении за состоянием НКА, поэтому для обеспечения непрерывного и даже избыточного слежения задействованы шесть станций Национального управления картографирования (NIMA).

Очевидно, что столь сложная система требует проведения профилактических и ремонтных работ. Поэтому для обеспечения надежного сервиса для конечных пользователей, каждый НКА кроме навигационных данных передает информацию, именуемую *health status* – "состояние здоровья". На основании этой информации при-



---

емник пользователя принимает решение, следует ли принимать во внимание данные с конкретного НКА. Обычно НКА объявляется "больным" по команде Центра управления, на время проведения профилактических работ. Так, например, периодически требуется производить накачку ионов в резервные бортовые атомные часы или корректировать орбиту при помощи бортовых двигателей. В экстремальных ситуациях НКА способен самостоятельно объявить себя "больным". Некоторые современные приемники допускают возможность по требованию пользователя игнорировать информацию о непригодности НКА и использовать получаемые от него навигационные данные под свою ответственность. Как правило, необходимость в этом возникает в неблагоприятных ситуациях, когда затруднен или невозможен прием сигналов от достаточного числа НКА.

### **4.3. Сегмент потребителей**

Сегмент потребителей GPS, аналогично сегменту потребителей ГЛОНАСС, состоит из приемников и некоторых 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. Однако для большинства применений столь скромных возможностей недостаточно.

Области применения GPS на сегодняшний день:

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

## ***Система глобального позиционирования NAVSTAR, США***

---

В соответствии с областью применения конструкции и возможности приемников GPS могут значительно отличаться. Так, например, приемники для частного применения, как правило, не измеряют высоту и не вычисляют составляющие вектора скорости в режиме реального времени, тогда как системы автоматизированной посадки выполняют эти измерения обязательно. С другой стороны, существуют приемные устройства GPS, единственной задачей которых является получение сигналов точного времени и образцовой частоты. Наиболее часто подобные устройства используются в системах мобильных коммуникаций, а также для проведения технических измерений и научных экспериментов.