

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине "Радиоэлектронные системы"
для студентов дневной и заочной форм обучения
специальности "Радиотехника"

Севастополь – 2009

УДК 629.056.8: 656.22

Исследование приемного оборудования систем спутниковой навигации: Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Радиоэлектронные системы"/ Сост. А.Г. Лукьянчук, С.Н. Поливкин – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. – 39 с.

Целью методических указаний является помощь студентам в изучении принципов организации и функционирования современных спутниковых радионавигационных систем. Изложены принципы построения СРНС, особенности формирования сигналов в «*GPS Navstar*», проанализированы источники погрешностей местоопределения объектов. Представлены методика работы с приемной аппаратурой потребителя «*GPS Navstar*» и порядок выполнения двух лабораторных работ.

Указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения специальности "Радиотехника".

Методические указания рассмотрены и утверждены на методическом семинаре и заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций (протокол № 9 от 26.06.2009 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: А.В. Мельников, канд. техн. наук, доцент.

Ответственный за выпуск: Гимпилевич Ю.Б., доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой радиотехники и телекоммуникаций.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие сведения о системах спутниковой навигации	4
1.1. Состав СРНС	4
1.2. Определение местоположения объектов в СРНС.....	6
1.3. Характеристики действующих глобальных СРНС.....	8
1.4. Состав и основные характеристики « <i>GPS Navstar</i> »	9
1.5. Состав сигналов в системе « <i>GPS Navstar</i> »	11
1.6. Принципы построения НАП СРНС « <i>GPS Navstar</i> ».....	15
2. Лабораторная работа «Изучение принципов управления НАП и исследование протокола обмена информацией в СРНС».....	19
2.1. Описание приемника <i>GPS</i> -сигналов 747A+	19
2.2. Порядок включения приемника <i>GPS</i> -747A+	21
2.3. Процедуры настройки приемника <i>GPS</i> -747A+	22
2.4. Порядок выполнения лабораторной работы	26
3. Лабораторная работа «Исследование погрешностей	27
определения местоположения объекта в СРНС»	
3.1. Виды погрешностей измерения координат в СРНС.....	27
3.2. Порядок выполнения работы	32
Библиографический список.....	33
Приложение А	34
Приложение Б	36

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

1.1. СОСТАВ СРНС

Глобальная спутниковая радионавигационная система (СРНС) включает три сегмента:

- **систему наземного обеспечения**, в составе: космодром с центром управления и наземный командно-измерительный комплекс (НКИК);
- **орбитальную группировку** навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ), выполняющих функции радионавигационных маяков;
- **навигационную аппаратуру потребителя (НАП)**, включающую судовые, самолетные и персональные приемники навигационной информации.

Обобщенная структура СРНС изображена на рисунке 1.

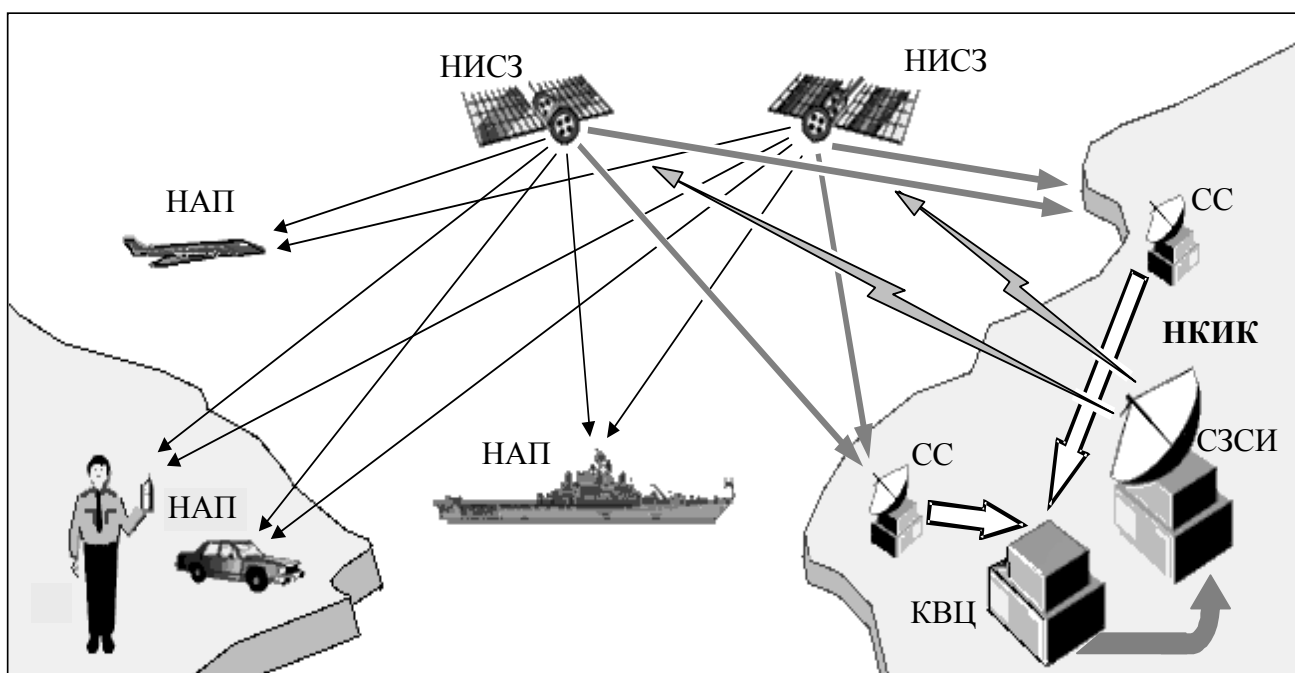


Рисунок 1.1 – Структура СРНС

Система наземного обеспечения управляет работой всех сегментов. Космодром обеспечивает подготовку навигационных спутников к эксплуатации, запуску и выводу их на заданную орбиту. Координирует эту работу центр управления.

Наземный командно-измерительный комплекс (НКИК) включает сеть наземных станций, с помощью которых контролирует состояние спутников, управляет их работой, определяет их координаты и параметры движения.

Наземный командно-измерительный комплекс (НКИК) включает:

- станции слежения (СС), которые ведут траекторные измерения всех НИСЗ системы и передают полученные данные в координационно-вычислительный центр;
- координационно-вычислительный центр (КВЦ) производит расчеты параметров орбит и координат всех навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ), их долгосрочного и краткосрочного прогноза (эфемериды), определяет смещение спутниковых временных шкал, контролирует и обобщает телеметрическую информацию, поступающую от каждого спутника. На основании проведенных вычислений КВЦ формирует массив служебной информации для каждого НИСЗ.

– станции закладки служебной информации (СЗСИ) осуществляют передачу на борт каждого НИСЗ массивов служебной информации, подготовленных в КВЦ.

Орбитальная группировка включает сеть НИСЗ, количество которых должно обеспечивать многократное покрытие поверхности Земли зонами радиовидимости и высокую точность определения местоположения потребителя.

Каждый НИСЗ излучает два вида сигналов:

– первый вид сигналов содержит служебную информацию (собственные координаты спутника, эфемериды, временные поправки, телеметрические данные и т.п.), которая была заложена на борт спутника через станции закладки служебной информации;

– второй вид сигналов представляет высокостабильную последовательность импульсов, по измеренным параметрам которых (времени запаздывания и доплеровской частоте) потребитель определяет свои координаты.

Для раздельного приема потребителем этих двух видов сигналов в разных СРНС используется частотное, временное или кодовое разнесение служебных и навигационных сигналов спутников.

Навигационная аппаратура потребителя (НАП) осуществляет раздельный прием навигационных и служебных радиосигналов от НИСЗ и решает следующие задачи:

– поиск и обнаружение радиосигналов видимых НИСЗ и выбор из созвездия видимых спутников только отдельных НИСЗ, по которым будут производиться радионавигационные измерения;

– выделение и декодирование сигналов со служебной информацией;

– выделение навигационных сигналов НИСЗ и измерение по этим сигналам радионавигационных параметров (временной задержки и доплеровской частоты);

– совместную обработку навигационной и служебной информации, принятой от выбранных спутников, для определения координат и скорости НАП;

– вывод на индикатор вычисленных значений координат и скорости, оценку точности навигационного решения.

Навигационным параметром (НП) называют геометрическую величину, позволяющую определить координаты потребителя (дальность до маяка, разность дальностей до нескольких маяков, направление на маяк, и т.п.). Соответствующий параметр радиосигнала (время, частоту, фазу, амплитуду), по которому оценивают НП, называют радионавигационным параметром (РНП).

Знание координат спутника и результат измерения РНП позволяют потребителю оценить НП и рассчитать поверхность положения, на которой он находится. Несколько таких измерений по сигналам разных НИСЗ позволяют определить несколько поверхностей положения. Место пересечения всех поверхностей положения и есть точка местонахождения потребителя.

Для того чтобы потребитель мог достоверно определить свое местоположение по НИСЗ, он должен с высокой точностью знать координаты спутника не только в момент измерения, но и эфемериды – координаты, вычисленные для предстоящих моментов времени на основании прогнозирования движения спутника.

1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В СРНС

Для определения местоположения объекта в СРНС применяется разностно-дальномерный метод, который позволяет потребителю измерить разность расстояний до нескольких НИСЗ путем измерения временного сдвига радиосигналов, принимаемых от разных спутниковых передатчиков.

Если НИСЗ-1 и НИСЗ-2 одновременно излучают импульсные радиосигналы и НАП эти сигналы принимает одновременно, то это означает, что расстояния до первого спутника D_1 и до второго D_2 одинаковы и их разность: $\Delta D = D_1 - D_2 = 0$. При этом поверхность положения, на которой находится потребитель П, представляет собой плоскость, равноудаленную от НИСЗ-1 и НИСЗ-2 и расположенную перпендикулярно базовой линии 1-2, соединяющей спутники (рисунок 1.2). Пересечение этой плоскости с поверхностью Земли представляет собой линию положения $\Delta D = 0$, равноудаленную от спутников.

При смещении потребителя в сторону НИСЗ-1 дальность D_1 до первого спутника уменьшится, а до второго D_2 – увеличится (сигнал НИСЗ-1 опережает сигнал НИСЗ-2) и поверхность положения $+\Delta D_a$ будет находиться ближе к первому спутнику. По временному смещению сигналов сигнал НИСЗ-1 относительно НИСЗ-2 определяется линия положения, на которой находится НАП.

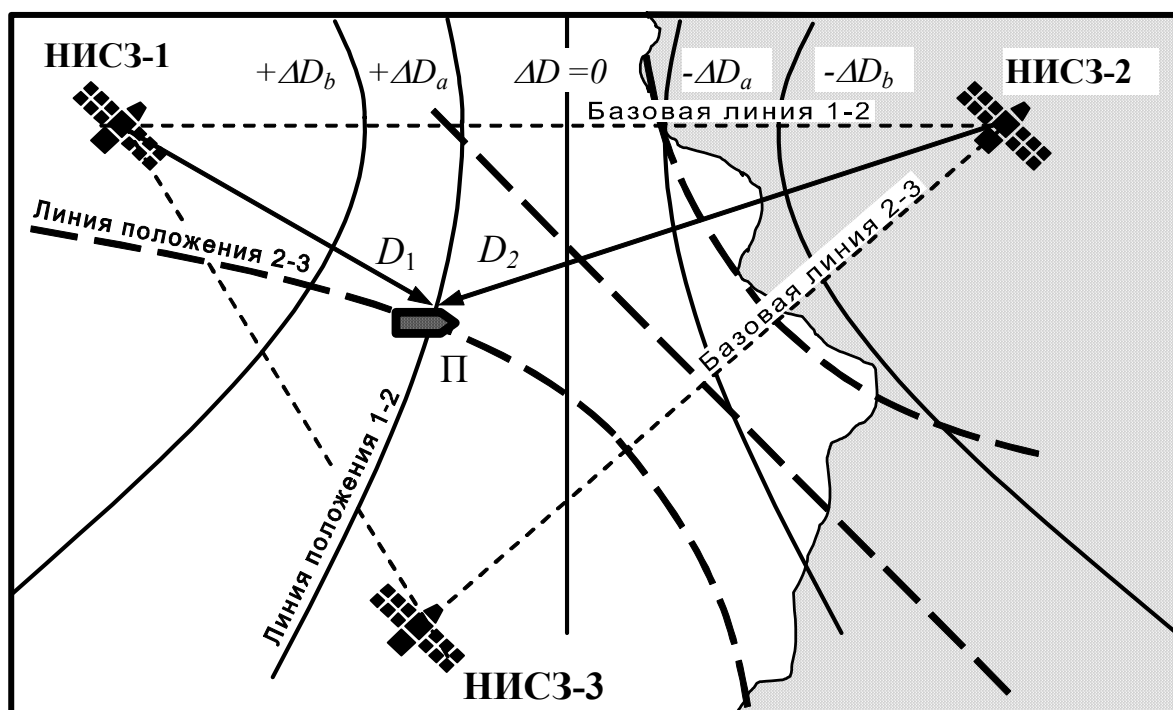


Рисунок 1.2 – Разностно-дальномерный метод определения координат объекта

Одна пара спутников позволяет определить на поверхности Земли только одну линию положения (1-2), на которой расположен потребитель. Для однозначного нахождения местоположения НАП на земной поверхности необходима ещё одна станция НИСЗ-3, работающая синхронно с первыми двумя, что позволяет определить вторую линию положения (2-3) и вычислить координаты наземного потребителя в точке пересечений этих линий.

Если ставится задача определения ещё и высоты нахождения потребителя (самолет, ракета и т. п.) над земной поверхностью, то необходимо производить измерение ΔD по сигналам четырех навигационных спутников.

Рассмотрим принцип определения местоположения объекта в пространстве, то есть измерение кроме координат на поверхности Земли ещё и высоты потребителя.

Для составления навигационных уравнений используем прямоугольную систему координат, в которой точка 0 совмещена с центром Земли (рисунок 1.3). Координаты навигационного ИСЗ обозначим $x_{ИСЗ}$, $y_{ИСЗ}$, $z_{ИСЗ}$, а координаты потребителя – $x_{П}$, $y_{П}$, $z_{П}$. Тогда расстояние D между ИСЗ и П равно

$$D = \sqrt{(x_{ИСЗ} - x_{П})^2 + (y_{ИСЗ} - y_{П})^2 + (z_{ИСЗ} - z_{П})^2}. \quad (1.1)$$

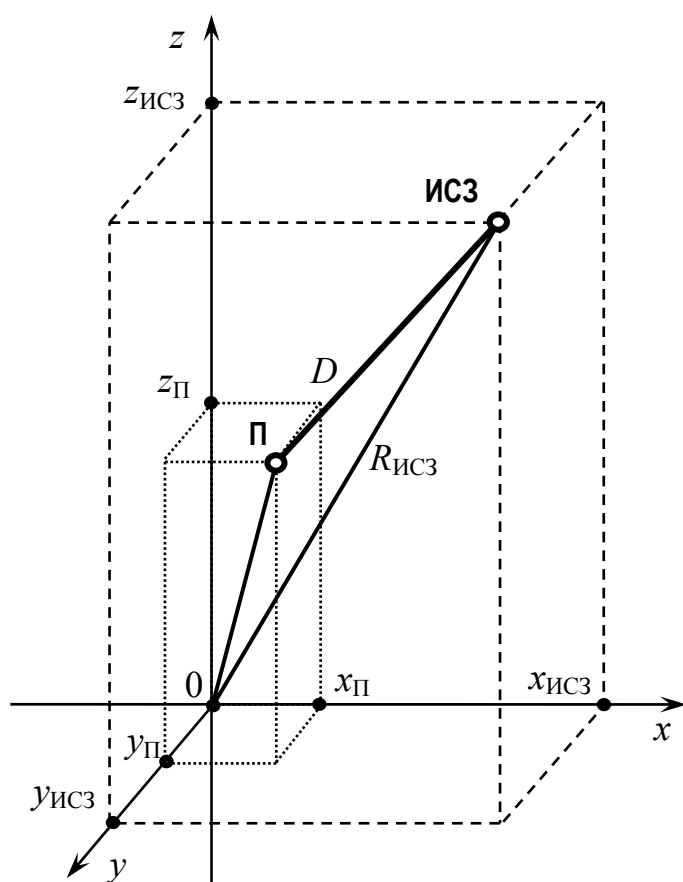


Рисунок 1.3 – Определение местоположения объекта в пространстве

Если произведено измерение дальности до трех спутников D_1 , D_2 , D_3 и координаты всех трёх НИСЗ известны, то получим систему из трех уравнений вида (1.1), решение которой позволит найти три неизвестные: $x_{П}$, $y_{П}$, $z_{П}$. Однако измерить истинную дальность между НИСЗ и П можно только при условии точного совмещения их шкал времени, то есть необходимо, чтобы спутники излучали сигналы синхронно и потребителю был точно известен момент излучения сигналов НИСЗ.

Синхронность излучения сигналов всех НИСЗ обеспечивается с высокой точностью по командам НКИК в соответствии с единой системной шкалой времени. Совмещение же системной шкалы времени и шкалы времени НАП невозможно, так как его координаты предварительно неизвестны.

Это неизбежное расхождение шкал времени НАП и НИСЗ приводит к появлению временного смещения Δt .

За счет высокой стабильности частоты задающих генераторов НАП и НИСЗ смещение Δt сохраняют постоянным с течение интервала измерений, что приводит к дополнительной фиксированной прибавке ($c\Delta t$) в измеренных значениях дальности D и уравнения (1.1) системы принимают вид:

$$D + c\Delta t = \sqrt{(x_{ИСЗ} - x_{П})^2 + (y_{ИСЗ} - y_{П})^2 + (z_{ИСЗ} - z_{П})^2}. \quad (1.2)$$

Очевидно, что для определения местоположения потребителя в пространстве необходимо произвести измерение дальности до четырех НИСЗ. При этом получим

систему из четырех уравнений вида (3.2), решение которой позволит вычислить четыре неизвестные:

- три координаты потребителя $x_{\text{П}}, y_{\text{П}}, z_{\text{П}}$;
- временное расхождение шкал Δt .

Для решения этой системы уравнений значения координат $x_{\text{НИСЗ}}, y_{\text{НИСЗ}}, z_{\text{НИСЗ}}$ и скорости спутника передаются потребителю в информационном служебном сообщении от НИСЗ.

Измерение скорости движения потребителя может производиться, как путем вычисления приращений его координат при последовательных сеансах измерения, так и путем измерения доплеровского смещения частоты сигнала НИСЗ.

1.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ГЛОБАЛЬНЫХ СРНС

Потребность в высокоточном навигационном обеспечении объектов привела к созданию в 90-е годы среднеорбитальных сетевых навигационных систем второго поколения – GPS «Navstar» (*Global Positioning System «Navigational Satellite Time and Ranging»*) в США и СРНС «Глонасс» (Глобальная Навигационная Спутниковая Система) в СССР (России). Обобщенные характеристики «GPS Navstar» и «СРНС Глонасс» приведены в таблице 1.

Таблица 1.1 – Характеристики «GPS Navstar» и «СРНС Глонасс»

Показатель	«GPS Navstar»	«СРНС Глонасс»
Орбитальная группировка		
Число НИСЗ	24	24*
Число орбитальных плоскостей	6	3
Число НИСЗ в каждой плоскости	4	8
Высота орбиты, км	20 000	19 100
Наклонение орбиты, градусов	55	64,8
Период обращения НИСЗ, часы	12	11,26
Ретрансляторы НИСЗ		
Рабочие частоты, МГц	$f_1 = 1575,42$ $f_2 = 1227,6$	$F_1 = 1602$ $F_2 = 1246$
Мощность передатчика, Вт	50 (f_1); 8 (f_2)	30 (F_1) 8 (F_2)
Поляризация излучения	Круговая, правая	Круговая, правая
Точность навигационных определений**		
Погрешность определения местоположения объекта, м	100 (по C/A коду) 16 (по P коду)	60 (по ПСП-У) 12 (по ПСП-Ш)
Погрешность определения скорости движения объекта, м/с	10 (по C/A-коду) 0,1 (по P коду)	0,9
Погрешность определения времени, 10^{-6} с	0,34 (по C/A коду) 0,09 (по P коду)	1,0

* Число спутников в системе Глонасс по состоянию на март 2009 г. меньше штатного.

** По данным, представленным разработчиками в открытой печати и Интернете.

Системы *GPS* и Глонасс имеют сходную архитектуру. В состав каждой из них входит космический сегмент из 24 НИСЗ, размещенных на средневисотных круговых орбитах. Навигационная аппаратура потребителя (НАП) во время сеанса навигации одновременно принимает радиосигналы не менее чем от четырех видимых спутников и измеряет относительные задержки между сигналами НИСЗ. Результаты этих измерений и эфемериды, переданные НИСЗ, позволяют определить координаты объекта в пространстве.

Благодаря использованию атомных стандартов частоты на НИСЗ обеспечивается взаимная синхронизация навигационных радиосигналов, излучаемых орбитальной группировкой НИСЗ и потребитель может оценить и устранить смещение шкалы времени своей НАП относительно бортовой шкалы времени НИСЗ.

Число потребителей в системах *GPS* и Глонасс не ограничено, поскольку НАП не передает запросных радиосигналов на НИСЗ, а только принимает сигналы от НИСЗ (пассивная автономная навигация).

1.4. СОСТАВ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ «*GPS NAVSTAR*»

Структура системы *GPS* соответствует типовой структуре, рассмотренной в разделе 1.

Наземный командно-измерительный комплекс *GPS* соответствует типовой структуре (рисунок 1.1) и включает главную станцию управления (авиабаза Фалькон в шт. Колорадо), пять станций слежения, расположенных на американских военных базах: на Гавайских островах, островах Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджелейн и Колорадо-Спрингс, и три станции закладки служебной информации: острова Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджелейн (рисунок 1.4). Кроме того, имеется сеть государственных и частных станций слежения, которые выполняют наблюдения для уточнения траекторий движения спутников.

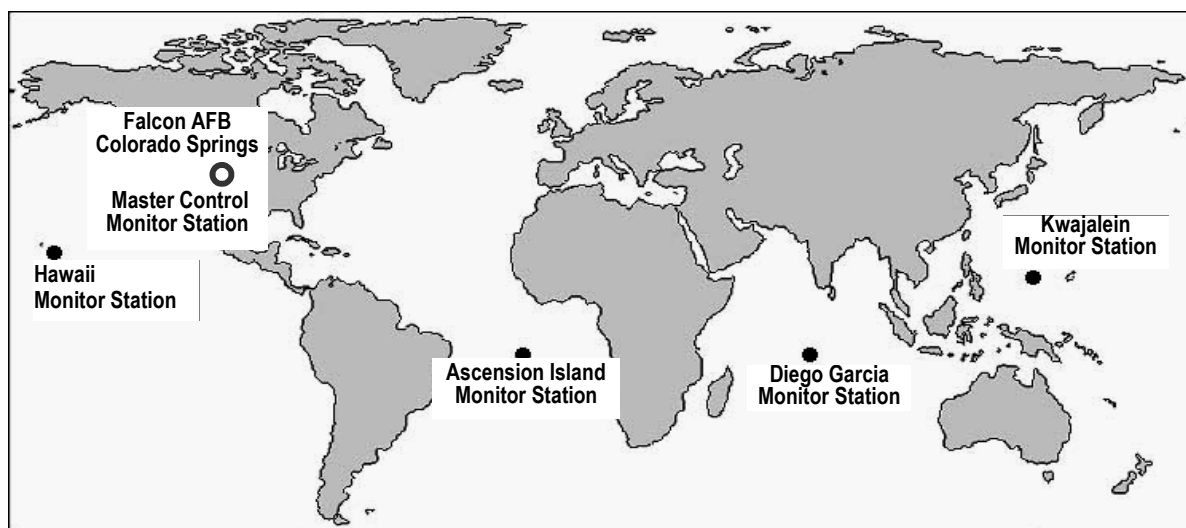


Рисунок 1.4 – Схема размещения станций наземного командно-измерительного комплекса СРНС *GPS*

Каждая СС включает многоканальный приемоизмеритель, который каждые 6 секунд фиксирует временное запаздывание и смещение частоты сигнала НИСЗ относительно колебаний своего атомного стандарта. По результатам этих измерений оцениваются координаты и параметры движения НИСЗ.

Спутниковый сегмент системы *GPS* включает 24 НИСЗ, размещенных равномерно в шести орбитальных плоскостях, разнесенных по долготе на 60° и наклоненных на 55° к экваториальной плоскости (рисунок 1.5). Высота орбит спутников – около 20 тыс. км. Сеть навигационных спутников координирована по движению и излучению сигналов. Период обращения спутника составляет ровно 12 часов, поэтому подспутниковая точка перемещается по поверхности Земли по замкнутой кривой, две волны которой охватывают все долготы за сутки. Спутники в каждой плоскости следуют с интервалом 1,5 часа. Такая конфигурация обеспечивает в любой точке земного шара одновременную видимость от 5 до 11 спутников.

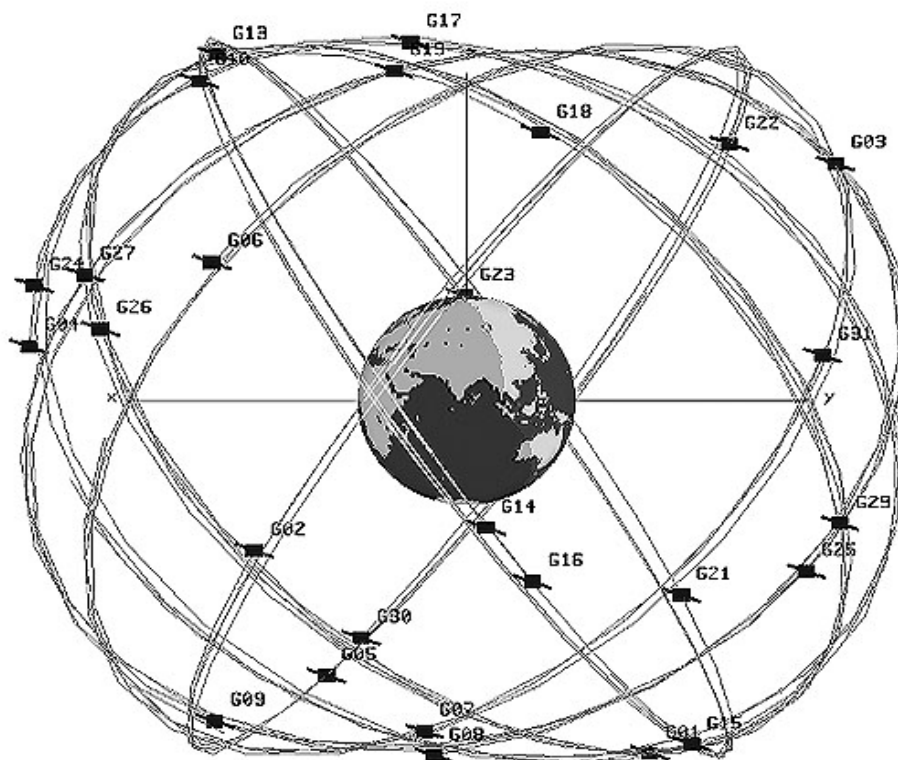


Рисунок 1.5 – Структура спутниковой группировки *GPS*

На сегодняшний день масса каждого из спутников *GPS* составляет около 1000 кг, мощность солнечных батарей 700 Вт, а емкость никель-кадмиевых аккумуляторов 95 Ач. Рабочий ресурс спутника составляет 7 лет.

На борту каждого спутника имеются: приемо-передающая аппаратура; 4 атомных стандарта частоты, обеспечивающие стабильность $1 \cdot 10^{-12} \dots 1 \cdot 10^{-13}$ (два цезиевых и два рубидиевых – для резервирования); вычислительное оборудование; элементы питания и солнечные батареи.

Навигационная аппаратура потребителя выполняет следующие операции:

- поиск и обнаружение кодированных сигналов НИСЗ выбор для работы конкретных спутников из видимого созвездия *GPS*;
- выделение и декодирование эфемеридной информации;
- измерение временной задержки сигнала и его доплеровского смещения;
- совместную обработку измерительной и эфемеридной информации от всех НИСЗ для определения координат и составляющих скорости П;
- накопление из 25 последовательных кадров сигнала НИСЗ полного сборника альманаха, который содержит эфемериды всех спутников *GPS*.

1.5. СОСТАВ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ «GPS NAVSTAR»

В GPS применяется разностно-дальномерный и доплеровский метод определения координат и параметров движения объектов. Измеряемыми радионавигационными параметрами являются временная задержка и доплеровское смещение частоты сигнала, принимаемого от НИСЗ.

Для обеспечения высокой помехоустойчивости и точности измерения сигнал НИСЗ кодируется двоичными последовательностями (единиц и нулей) по определенному закону. Знание этого закона позволяет обнаружить сигнал НИСЗ и определить его временное положение с высокой точностью.

Сигналы в СРНС GPS. Для исключения ионосферной погрешности (см. раздел 2.2) в системе предусмотрено излучение двух сигналов S_1 и S_2 на двух синхронизированных (когерентных) несущих частотах f_1 и f_2 , каждая из которых образуется умножением базовой опорной частоты 10,23 МГц на соответствующий коэффициент:

- сигнал S_1 на частоте $f_1 = 10,23 \times 154 = 1575,42$ МГц;
- сигнал S_2 на частоте $f_2 = 10,23 \times 120 = 1227,60$ МГц.

Каждый из сигналов S_1 и S_2 , представляет собой высокочастотные колебания, фазоманипулированные двоичными последовательностями. Фазовая манипуляция (ФМн) заключается в переключении фазы несущих колебаний в соответствии с заданным кодом через фиксированные интервалы времени $\tau_{\text{и}}$.

Пример ФМн последовательности (0°, 180°) изображен на рисунке 1.6.

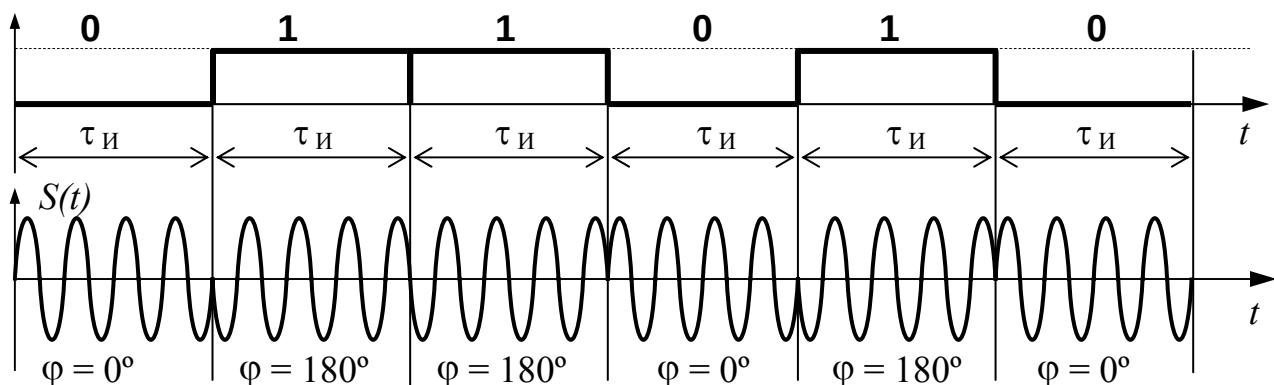


Рисунок 1.6 – Временные диаграммы двоичной кодовой последовательности и соответствующего ФМн сигнала (0°, 180°)

Фазовая манипуляция сигналов НИСЗ, осуществляется тремя кодами:

- открытый C/A-код для гражданских потребителей (общедоступный);
- закрытый P-код для санкционированных (военных МО США) потребителей;
- служебный D-код.

Частота f_1 (сигнал S_1) модулируется тремя видами кодов: C/A-кодом (открытым) и P-кодом (закрытым) и D-кодом (служебным), а частота f_2 (сигнал S_2) – закрытым P-кодом и служебным D-кодом (рисунок 1.7).

Коды C/A и P представляют собой псевдослучайные последовательности, а служебный D-код содержит информацию о параметрах орбит всех спутников GPS, о состоянии атмосферы, поправки системного времени и т.п.

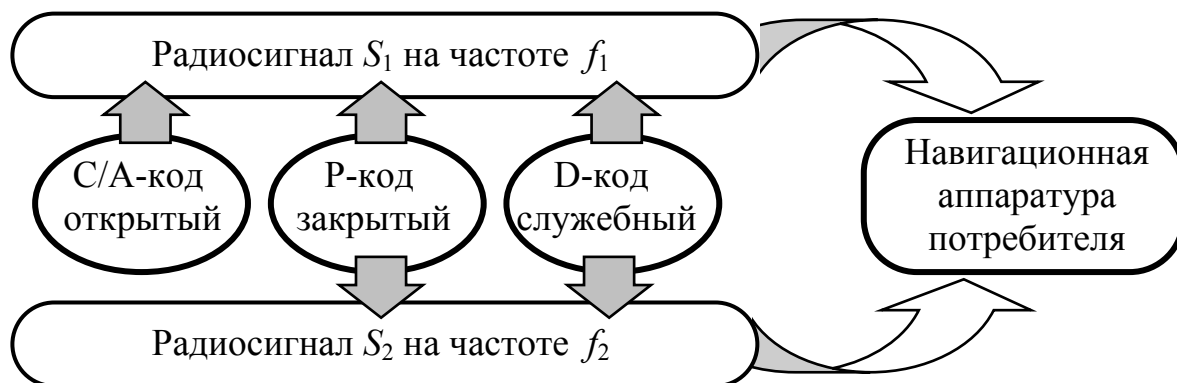


Рисунок 1.7 – Принцип кодирования сигналов в системе GPS

Открытый грубый дальномерный код C/A (*coarse/cheap acquisition* – грубый/легко обнаруживаемый) формируется на основе M -последовательностей. Достоинством такого кода является простота его генерации при хороших корреляционных свойствах, позволяющих осуществить сжатие во времени.

Длина C/A кодовой последовательности 1024 символа. При длительности импульса $\tau_{\text{и C/A-кода}} \approx 1$ мкс и частоте следования символов 1,023 МГц кодовая C/A-последовательность повторяется с периодом 1 мс. Каждый НИСЗ передает свою повторяющуюся C/A-кодovou комбинацию.

Код свободного доступа C/A предназначен для гражданских потребителей и служит для измерения местоположения объектов с довольно большими погрешностями порядка 100 метров.

Закрытый высокоточный дальномерный код P (*precision/protected* – точный/защищенный) – это сложный псевдошумовой код, который должен обеспечить высокую точность местоопределения, скрытность и защиту от помех.

Для выполнения указанных требований выбран очень большой период псевдошумового P-кода – около 267 суток, что соответствует длине неповторяющейся кодовой последовательности $23 \cdot 10^{12}$ символов. Каждый НИСЗ передает свой семи-суточный отрезок этой кодовой последовательности. P-код полностью обновляется один раз в 7 суток. Тактовая частота синхронизации P-кода составляет 10,23 МГц, а длительность элементарного символа $\tau_{\text{и P-код}}$ – менее 0,1 мкс. Для обнаружения этого P-кода НИСЗ передает наземному потребителю соответствующий кодовый ключ.

Сегодня P-код открыт для гражданских потребителей, но без предупреждения может быть включен режим *AS (Anti Spoofing)*, при котором выполняется дополнительное кодирование P-кода, и он превращается в новый Y-код. Расшифровка Y-кода возможна только аппаратно, с использованием специальной микросхемы (криптографического ключа), которая устанавливается в GPS-приемник.

Кроме того, для снижения точности определения координат несанкционированными пользователями предусмотрен «режим выборочного доступа» *SA (Selective Availability)*. При этом режиме в навигационное сообщение намеренно вводится ложная информация о поправках к системному времени и орбитах ИСЗ, что приводит к снижению точности навигационных определений примерно в 3 раза.

Коды C/A и P формируются от одной и той же опорной частоты и привязаны к одному и тому же моменту времени с погрешностью 5 нс, поэтому грубый C/A-код может служить ключом для ускоренного вхождения в синхронизм по P-коду.

Служебный D-код. Кроме дальномерных кодов *P* и *C/A* спутник передает служебную информацию (эфемериды данного НИСЗ; временные и траекторные поправки; альманах – эфемериды всех других спутников *GPS* и др.) с помощью двоичного служебного кода *D* (*data* – данные). Скорость передачи служебной информации невелика (около 50 бит/с), поэтому длительность одного символа *D*-кода близка к 20 мс. Таким образом длительность одного элементарного символа служебной информации *D*-кода равна длительности 20 тыс. символов *C/A*-кода и 200 тыс. символов *P*-кода. За счет такого значительного отличия в временных параметрах сигналов НАП обеспечивает разделение служебной и дальномерной информации.

Структура кадра служебной информации, передаваемой *D*-кодом, в системе *GPS* изображена на рисунке 1.8. При скорости передачи информации 50 символов в секунду кадр состоит из пяти строк по 10 слов. Каждое слово содержит 30 двоичных символов (0 или 1). Таким образом, один полный кадр передается в течение 30 секунд и содержит 1500 символов.

СТРОКА содержит 10 слов по 30 символов (всего 300 символов)
 Время передачи одной строки 6 секунд (20 мс × 300)

КАДР (1500 символов) содержит 5 строк по 300 символов Время передачи кадра 30 секунд	ТЛМ	КЛЮЧ	Коэффициенты задержки в ионосфере. Поправки для коррекции часов. Время, от начала недельной программы.						
	ТЛМ	КЛЮЧ	Эфемериды: большая полуось орбиты, эксцентриситет, средняя аномалия орбиты. Составляющие возмущения относительно эллиптической орбиты.						
	ТЛМ	КЛЮЧ	Эфемериды: наклонение орбиты, долгота восходящего угла, аргумент перигея и др. Уход восходящего узла. Возмущения относительно эллиптической орбиты						
	ТЛМ	КЛЮЧ	Резерв						
	ТЛМ	КЛЮЧ	Альманах: время закладки альманаха, идентификатор НИСЗ, эфемериды НИСЗ, параметры ухода генератора НИСЗ.						

Рисунок 1.8 – Структура кадра служебной информации GPS

В начале каждой строки передаются телеметрическая информация (ТЛМ) и специальное ключевое слово (Ключ). Ключевое слово вводится в кадр передаваемой информации, чтобы ускорить вхождение в синхронизм.

Информация, передаваемая в кадре, состоит из поправки к временной шкале, эфемерид данного НИСЗ и альманаха – эфемерид остальных спутников системы. Полностью альманах передается в течение суперкадра (25 кадров). Минимальный объем данных, необходимый для решения навигационной задачи, заключен в строках 1, 2, 3, содержащих поправку к временной шкале, эфемериды и ключевые слова.

На текущий момент времени в составе эфемерид потребителю сообщаются 6 кеплеровских элементов орбиты (см. Приложение А) и передаются коэффициенты уходов скорости движения НИСЗ и восходящего узла орбиты.

Формирование сигналов в системе GPS. Для создания на выходе передатчика НИСЗ фазоманипулированных сигналов S_1 и S_2 с использованием C/A , P и D -кодов формируются результирующие коды X_{PD} и X_{CD} . Эти результирующие коды получают из дальномерных кодов P и C/A путем их сложения по модулю 2 со служебным D -кодом:

$$X_{PD} = P \oplus D, \quad X_{CD} = C/A \oplus D.$$

Полученные результирующие коды X_{PD} и X_{CD} модулируют по фазе несущую частоту f_1 . Причем кодом X_{PD} производится фазовая манипуляция (ФМн 0° ; 180°), а кодом X_{CD} – (ФМн $\pm 90^\circ$). Фазовая диаграмма сигнала S_1 изображена на рисунке 1.9.

Так как кодами X_{PD} и X_{CD} промодулированы две ортогональные компоненты сигнала S_1 , сдвинутые на $\pi/2$, то их фазовое различие в приемнике потребителя может быть произведено достаточно простыми схемотехническими методами.

Сигнал, излучаемый НИСЗ на частоте f_1 , можно представить в виде:

$$S_1(t) = A_{PD} X_{PD} \cos(2\pi f_1 t + \Delta\varphi) + A_{CD} X_{CD} \sin(2\pi f_1 t + \Delta\varphi), \quad (1.3)$$

где A_{PD} и A_{CD} – амплитуды ортогональных компонент;

X_{PD} и X_{CD} – модулирующие коды (± 1);

$\Delta\varphi$ – фазовый шум, из-за нестабильности бортового стандарта частоты НИСЗ.

Принцип формирования сигналов S_1 и S_2 изображен на рисунке 1.10.

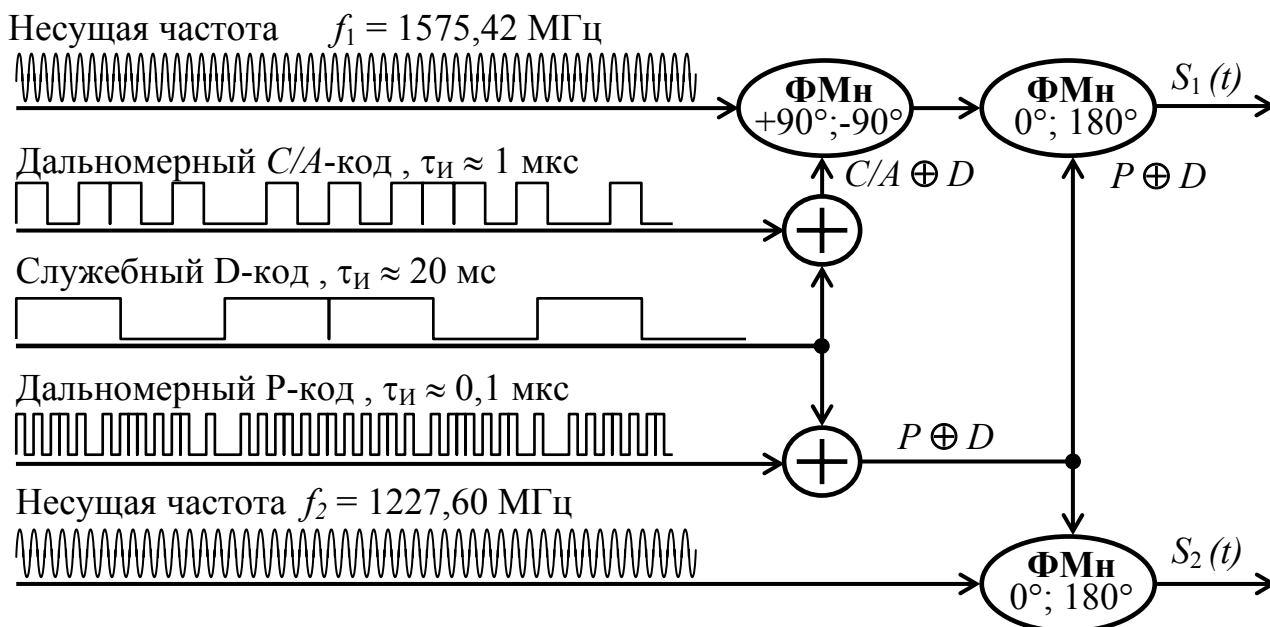


Рисунок 1.10 – Принцип формирования сигналов $S_1(t)$ и $S_2(t)$ в системе GPS

Сигнал S_2 , излучаемый на частоте f_2 , модулируется по фазе только одной кодовой последовательностью X_{PD} , содержащей только P -код и D -код:

$$S_2(t) = A_{PD} X_{PD} \cos(2\pi f_2 t + \Delta\varphi). \quad (1.4)$$

Фазовая манипуляция P -кодом, C/A -кодом и D -кодом сигналов S_1 и S_2 производится синхронно, что облегчает обнаружение и различение сигналов, обеспечивает хорошее быстродействие и высокую помехоустойчивость работы двухчастотных приемоиндикаторов *GPS*.

1.6. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ СРНС *GPS*

Современные приемоиндикаторы СРНС *GPS* и Глонасс могут одновременно принимать и обрабатывать сигналы шести и более НИСЗ. В НАП системы *GPS*, как правило, используется одноканальный усилительный тракт приемника сигнала S_1 на частоте $f_1 = 1575,42$ МГц для гражданских потребителей или двухканальный тракт приема сигналов S_1 и S_2 на частотах $f_1 = 1575,42$ МГц и $f_2 = 1227,60$ МГц. для санкционированных пользователей.

Если требуется высокоточное оперативное определение координат, то слежение за частотой и временем запаздывания сигналов каждого НИСЗ должно производиться несколькими измерителями. Если не предъявляются высокие требования к оперативности, то можно использовать один измерительный канал, в котором оценка параметров сигналов отдельных спутников производится последовательно.

На выходе устройств измерения НАП производится выделение и декодирование навигационной информации (C/A -код) и служебной информации (D -код), заложенной в навигационном сигнале. Число декодеров обычно соответствует числу одновременно принимаемых навигационных сигналов. Измерительные устройства чаще всего выполняются по схеме следящих измерителей.

На рисунке 1.11 изображена упрощенная структурная схема НАП *GPS* с одноканальным приемником и многоканальным устройством выделения навигационной и служебной информации.

Диаграмма направленности приемной антенны близка к полусфере, что позволяет вести одновременный прием радиосигналов от нескольких НИСЗ видимого созвездия.

Приемник строится обычно по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты. Он должен обладать высотой чувствительностью, так как напряженность поля принимаемых сигналов мала из-за относительно небольшой мощности (8...50 Вт) передатчика НИСЗ и большой дальности (более 20 тыс. км.). Ослабление сигнала на такой трассе достигает минус 184 дБ, а уровень сигнала НИСЗ на входе приемника НАП – минус (156...161) дБВт.

Гетеродинные частоты для тракта промежуточной частоты приемника и времязадающие интервалы для измерительных цепей формируются из колебаний высокостабильного опорного генератора с помощью синтезатора частот.

Сигнал ПЧ с выхода усилительного тракта поступает в устройство поиска по частоте и времени сигнала конкретного НИСЗ. При обнаружении сигнала за счет корреляционной обработки производится его захват, и автоматическая система ведет дальнейшее слежение за частотой и задержкой сигнала. В дальнейшем из принятого радиосигнала выделяются закодированные служебные данные и навигационная информация путем измерения временного запаздывания сигнала и доплеровского смещения частоты.

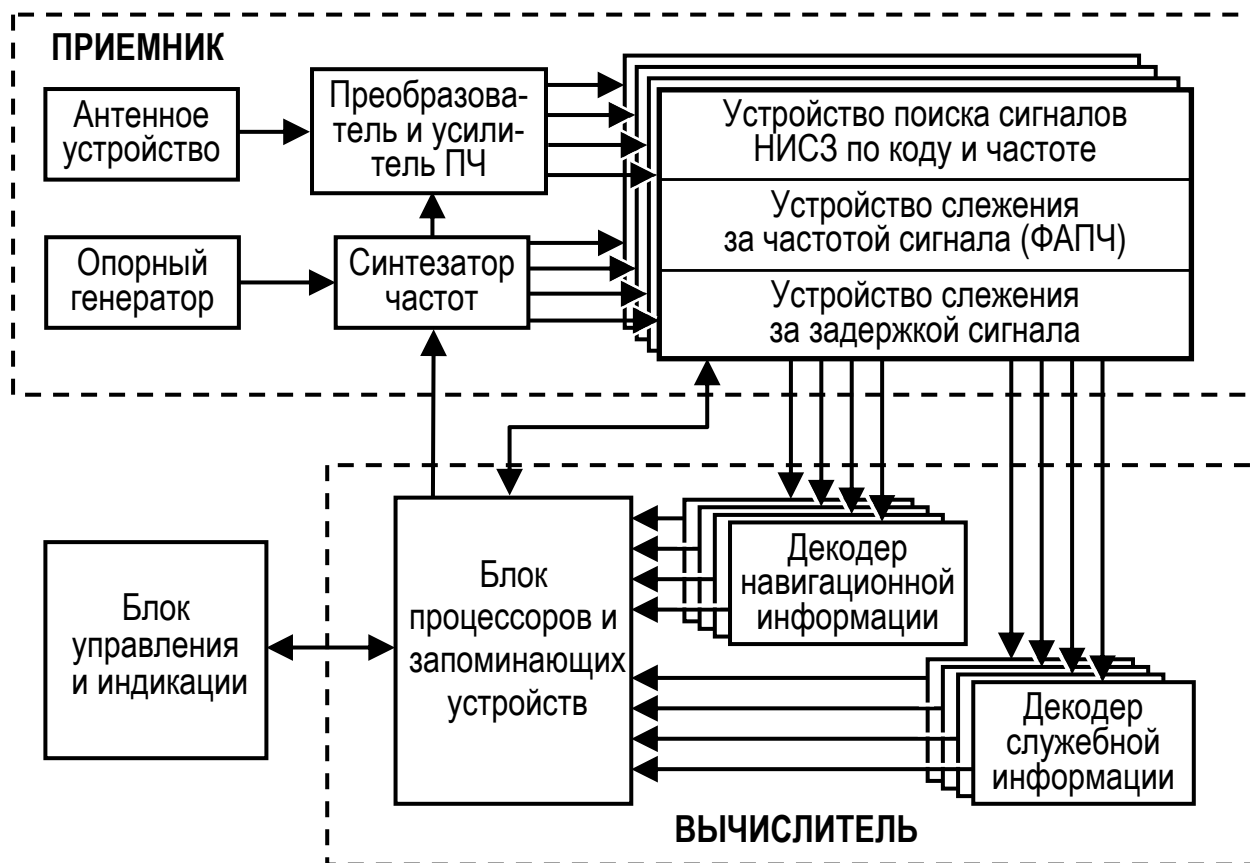


Рисунок 1.11 – Упрощенная структурная схема приемоиндикатора GPS

Вычислитель, построенный на микропроцессорах, управляет работой НАП и производит расчеты, необходимые для преобразования измеренных временных задержек и доплеровских смещений частоты в координаты объекта и их производные.

В число основных задач, решаемых вычислителем, входят:

- выбор рабочих спутников из видимого созвездия НИСЗ;
- предварительный расчет и выдача исходных данных в системы поиска сигнала и систем слежения за частотой и задержкой сигнала;
- решение навигационной задачи определения координат и скорости потребителя и выдача результатов на средства индикации.

Быстродействие, разрядность, система команд, объем запоминающих устройств вычислителя определяются составом решаемых задач.

Для ускорения захвата сигналов НИСЗ и выбора рабочих НИСЗ целесообразно ввести предварительные текущие значения координат или параметров движения объекта. Потому некоторые модификации НАП (судовые и авиационные) в свой состав такие автономные средства, как курсоуказатель (гирокомпас, магнитный компас), измеритель скорости (лаг), датчики крена (дифферента) и т. п. В этом случае в вычислителе ведется счисление текущих координат, которые и используются в качестве априорной информации для измерителей. В дальнейшем вычислитель ведет совместную обработку данных от этих средств и от спутниковой аппаратуры.

Блок индикации и управления позволяет оператору включать и выключать аппаратуру, управлять режимом её работы, выводить на устройство индикации необходимую информацию.

Основные тенденции в развитии аппаратуры СРНС:

- минимизация габаритов и массы аппаратуры за счет использования современной элементной базы в виде БИС и микропроцессорных наборов;
- высокая степень автоматизации работы НАП на основе высокоразвитой логики. При этом оператор должен лишь включать аппаратуру и выбрать режим её работы;
- большое число сервисных задач, решаемых НАП, поскольку потребителю порой предпочтительно знать не только свои координаты, но и величины функционально от них зависящие. Например: для прибытия в пункт назначения строго по расписанию штурману морского судна, следующего по определенному маршруту, важнее знать не абсолютные значения координат, а поправки к текущим курсу и скорости.

Режим поиска сигнала НИСЗ. Поиск сигналов спутников должен производиться НАП во всех частотных и временных диапазонах его возможного существования. Для этого весь диапазон (зона неопределенности) разбивается на отдельные дискреты (ячейки).

Количество ячеек в зоне неопределенности системы *GPS* по времени определяется числом элементарных символов *C/A* кодовой последовательности (1024 символа за период кода). Априорный максимальный интервал доплеровского сдвига частоты НИСЗ *GPS* составляет 5 кГц, а ширина полосы захвата системы АПЧ – около 500 Гц. Отсюда общее число анализируемых ячеек $1024 \cdot 500 / 5 \approx 10^4$.

В простейшем случае некогерентный обнаружитель анализирует ячейки зоны неопределенности методом последовательного перебора по частоте и времени. При длительности кодовой последовательности *C/A* 1 мс продолжительность такого однократного поиска и обнаружения сигнала одного НИСЗ составит 10 с. Продолжительность последующего поиска сигналов других НИСЗ может быть сокращена за счет использования служебной информации, полученной в служебном сообщении.

На рисунке 1.12 изображена структурная схема устройства поиска по времени и частоте сигнала, модулированного кодом *C/A* приемника *GPS*.

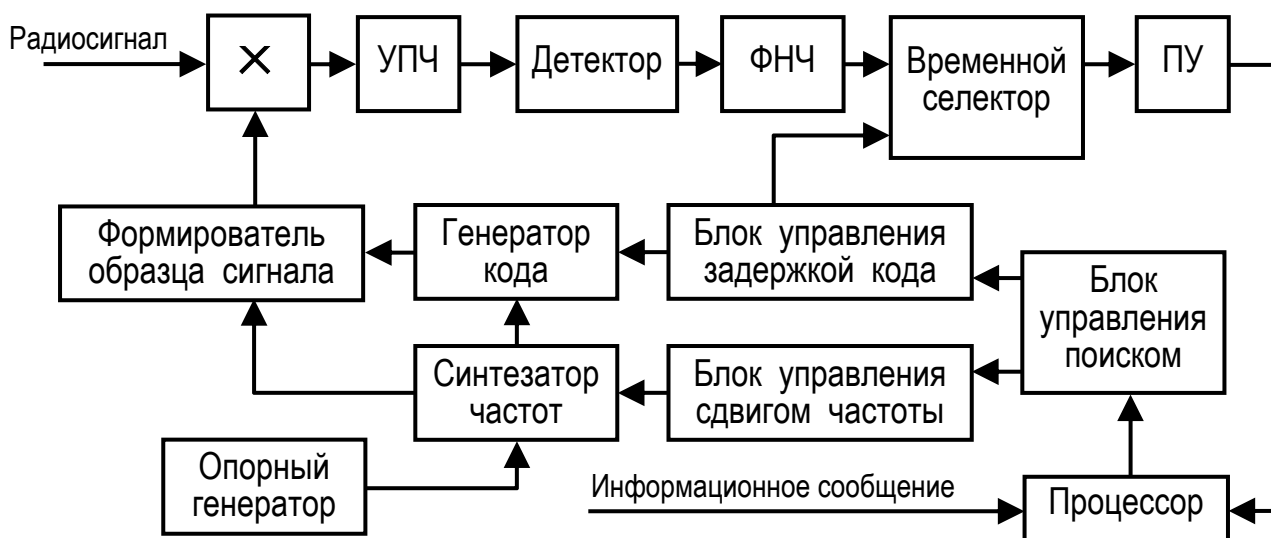


Рисунок 1.12 – Упрощенная структурная схема приемоиндикатора *GPS* в режиме поиска радионавигационных сигналов

После усиления сигнал промежуточной частоты поступает на перемножитель. На второй вход перемножителя поступает опорный образец сигнала. Опорный образец сигнала формируется из псевдослучайной последовательности генератора кода C/A искомого НИСЗ и гармонических колебаний с частотой $f_{ПЧ}$, поступающих с выхода синтезатора частот. Структура этого опорного сигнала повторяет структуру сигнала искомого НИСЗ (см. раздел 1.5) фазоманипулированного кодом C/A :

$$S_{\text{оп}}(t) = A_C X_{Ci} \sin(2\pi f_j t \Delta\phi). \quad (2.1)$$

При поиске несущая частота опорного образца сигнала изменяется скачками с шагом 500 Гц по команде блока управления сдвигом частоты. Для каждого j - значения частоты производится перебор всех 1024 временных задержек кода C/A . Такая процедура обеспечивает последовательный перебор всех анализируемых ячеек зоны неопределенности по времени и по частоте.

При условии совпадения по коду C/A принимаемого сигнала (1.3) и образца (2.1) по времени и частоте на выходе перемножителя появляется отклик, амплитуда которого после усиления, детектирования и временной селекции анализируется пороговым устройством (ПУ).

При превышении порога сигнал считается обнаруженным, и включаются следящие системы автоматической подстройки частоты и автоматической подстройки временного сдвига, а схема поиска переключается на поиск сигнала другого НИСЗ.

При непревышении порога процессор через блок управления поиском задает новые значения частоты синтезатора и временной задержки кода образца сигнала. Процесс сравнения повторяется. Перебор значений частоты и временного сдвига производится до тех пор, пока принимаемый сигнал и образец не совпадут.

Поиск сигналов второго и последующих НИСЗ упрощается, так как в сигнале, полученном от первого спутника, содержится альманах – служебная информация о движении и координатах других спутников системы на данный момент времени. После дешифрирования этой информации известны ожидаемые смещения частоты и времени, поэтому пространство поиска и время поиска сокращаются. Время поиска может быть также сокращено за счет многоэтапных процедур поиска, сначала – грубого, а затем – точного.

Общее время, затрачиваемое на поиск сигналов созвездия из четырех НИСЗ в современных образцах НАП составляет от десятка до сотни секунд.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ НАП И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТОКОЛА ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ В СРНС

Цель работы: ознакомиться с принципами построения, методами измерения координат и структурой сигналов в СРНС, экспериментально исследовать протокол обмена информацией с ПК приемника *GPS*-сигналов 747A+.

2.1. ОПИСАНИЕ ПРИЕМНИКА *GPS*-СИГНАЛОВ 747A+

Потребительский сегмент систем спутниковой радионавигации включает разнообразные виды оборудования НАП. В качестве примера, иллюстрирующего принципы построения и обмена информацией в современных радиотехнических системах, рассмотрим приемник *GPS*-сигналов 747A+.

Этот прибор относится к классу портативных устройств и предназначен для определения собственных координат, а также записи трассы перемещения объекта-носителя. Основные технические характеристики приемника *GPS*-сигналов 747A+, заявленные изготовителем – фирмой «TSI», представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики приемника *GPS*-сигналов 747A+

Характеристика	Значение
Рабочий диапазон частот	$f_1 = 1575,42$ МГц
Индекс геодезической системы	WGS-84
Погрешность определения местоположения	Порядка 3м
Погрешность определения скорости	Порядка 0,1 м/с
СКЗ погрешности внутренних часов	50 нсек
Чувствительность в режиме слежения	не хуже – 165 дБм
Чувствительность в режиме захвата	не хуже – 145 дБм
Время до первой выдачи координат в режиме «холодного старта»	35 сек
Время до первой выдачи координат в режиме «горячего старта»	1,5 сек
Скорость обновления текущих координат	1 сек
Максимальная определяемая высота объекта	18 км
Максимальная измеряемая скорость объекта	515 м/сек
Напряжение питания	5 В $\pm$ 10%
Скорость передачи данных	115200 бод
Протокол передачи данных	NMEA 0183 v.3.01
Дальность действия интерфейса <i>Bluetooth</i>	До 10 м
Параметры интерфейса <i>USB</i>	USB 2.0 12 Мбит/сек
Объем внутренней памяти приемника	32 Мбайт
Количество регистрируемых точек	До 125000
Габаритные размеры	46,6×72,2×20 мм

Характерной особенностью рассматриваемого прибора является отсутствие встроенного дисплея для отображения информации. Вместо этого прибор оснащен интерфейсами *USB* и *Bluetooth*, с помощью которых прибор может быть подключен к персональному компьютеру, ноутбуку, бортовому компьютеру автомобиля и т.п. Внешний вид *GPS*-приемника 747A+ и расположение органов управления представлены на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Расположение органов управления и индикации *GPS*-приемника 747A+

Рассмотрим назначение органов управления и индикации:

1 – разъем типа *mini USB* расположен на правой боковой панели и предназначен для подключения *GPS*-приемника к компьютеру. Кроме того, через этот разъем производится зарядка аккумулятора приемника;

2 – переключатель режимов работы *GPS*-приемника расположен на левой боковой панели. С помощью этого переключателя производится выключение приемника «*OFF*», включение режима «*NAV*», в котором он будет передавать только текущие координаты, или переключение в режим «*LOG*», в котором он, помимо передачи текущих координат и параметров движения, будет записывать их во внутреннюю память;

3 – светодиодный индикатор состояния соединения *Bluetooth* синего цвета расположен в левом нижнем углу верхней панели и обозначен символом ✶ . Он предназначен для контроля режима беспроводного подключения приемника к персональному компьютеру и обмена данными. Постоянное свечение сигнализирует о том, что идет процесс соединения; прерывистое свечение – идет передача данных; потух – связи нет (в режиме экономии);

4 – светодиодный индикатор состояния заряда аккумулятора приемника расположен в правом нижнем углу верхней панели и маркирован значком ⎓ . При работе с разряженной батареей этот индикатор будет светиться красным светом, при зарядке – зеленым;

5 – светодиодный индикатор состояния GPS-приемника желтого цвета расположен в центре верхней панели и маркирован значком . В режиме поиска и захвата сигналов этот индикатор светится непрерывно, а в режиме измерения и сопровождения – периодически вспыхивает;

6 – встроенная антенна GPS-приемника расположена под крышкой в верхней части прибора;

7 – центральная кнопка предназначена для записи текущего значения координат приемника в любом из режимов «NAV» и «LOG».

2.2. ПОРЯДОК ВКЛЮЧЕНИЕ ПРИЕМНИКА GPS-747A+

Приемник GPS-сигналов работает в двух режимах:

- в режиме поиска и захвата, при котором производится поиск и обнаружение сигналов НИСЗ, а так же выбор рабочего созвездия навигационных спутников;
- в режиме измерения и сопровождения производится оценка временного запаздывания и доплеровского смещения частоты сигналов НИСЗ, а так же декодирование служебных информационных сообщений спутников.

Для включения приемника необходимо перевести переключатель 2 в положение «NAV» или «LOG». При этом индикатор питания 4 должен кратковременно вспыхнуть и погаснуть (непрерывное свечение красным цветом индикатора 4 говорит о том, что аккумулятор приемника требует зарядки).

После того, как погаснет индикатор 4 (примерно через 1 секунду) включается постоянное свечение: индикатора 3, показывая, что прибор готов к подключению через *Bluetooth*, и индикатора 5, показывающего, что начался поиск сигналов спутников системы GPS. Поскольку в режиме поиска и захвата чувствительность приемника ниже, чем в режиме слежения (см таблицу 2.1), рекомендуется на этом этапе расположить приемник горизонтально таким образом, чтобы его антенна (см. рисунок 6) была направлена на небо.

После перехода приемника в режим измерения и сопровождения (обычно не более 40 секунд с момента включения) индикатор 5 начнет периодически вспыхивать, что говорит о том, что захват сигналов НИСЗ произошел и он готов к выдаче координат объекта на ПК. Если в течение 5 минут приемник не перешел в режим измерения, следует сообщить об этом преподавателю.

При подключении приемника к ПК через порт *USB* или посредством *Bluetooth* непрерывное свечение индикатора 3 сменяется периодическими вспышками. Это говорит о том, что, приемник работает в режиме измерения и идет нормальный процесс обмена информацией между приемником и ПК.

В приемнике *GPS-747A+* используется развитая система снижения энергопотребления. Поэтому, если после включения приемника в режиме «NAV» в течение 3 минут он не подключается к ПК, то происходит его переход в режим пониженного энергопотребления, в котором индикатор 5 прекращает светиться, а индикатор 3 вспыхивает периодически. При установлении связи приемника *GPS-747A+* с внешним устройством его нормальная работа возобновляется и происходит «горячий» старт прибора.

В режиме «NAV» приемник *GPS-747A* передает свои координаты в соответствии с протоколом *NMEA* на ПК.

В режиме «*LOG*» приемник производит запись измеренных координат во внутреннюю память и таким образом фиксирует траекторию своего перемещения. При этом возможны несколько режимов записи координат:

- запись через фиксированные интервалы времени. В этом режиме память заполняется наиболее быстро. При записи координат с интервалом в 1 секунду объема внутренней памяти приемника хватает на 30 часов непрерывной работы;
- запись новых координат при их изменении на фиксированную величину, например, 20 метров. Этот режим является наиболее экономным с точки зрения использования памяти.

Примечание: Не следует во время работы необоснованно пользоваться переключателем «*NAV-LOG*», так как при этом переключении производится перезапуск приемника в режиме «теплого» старта.

2.3. ПРОЦЕДУРЫ НАСТРОЙКА ПРИЕМНИКА *GPS-747A+*

При подключении приемника *GPS-747A+* к ПК с помощью *USB* интерфейса через разъем 1 появляется возможность осуществления ряда служебных настроек прибора, например:

- запрос версии встроенного программного обеспечения;
- рестарт (горячий, теплый холодный);
- сброс настроек (переход к настройкам производителя)
- выбор времени обновления данных (0,2с; 0,5с или 1с)
- выключение или включение режима энергосбережения;
- выбор способа фиксации путевых точек:
 - через установленные интервалы времени;
 - при изменении местоположения приемника на величину, больше заданной;
 - при изменении скорости приемника на величину, больше заданной.

Протокол *NMEA (National Marine Electronics Association)* был разработан для того, чтобы обеспечить обмен информацией приемников *GPS* с другими видами морского навигационного оборудования. На сегодняшний день этот протокол (версия 3.01) стал стандартом и поддерживается практически всеми современными *GPS*-приемниками.

В основе протокола *NMEA* лежит идея формирования и передачи конкретного ограниченного набора данных, который в терминологии протокола называется предложением. Каждое из предложений является независимым от других предложений. Каждое предложение начинается с символа «\$», заканчивается символом возврата каретки и не может быть длиннее 80 знаков видимого текста.

Все стандартные предложения имеют преамбулу из двух букв, которая определяет тип устройства, которое сформировало данное предложение. Для *GPS*-приемников преамбула содержит две буквы – «*GP*».

После преамбулы следует идентификатор (указатель) содержимого предложения, который состоит из трех буквенных символов. Приемник *GPS-747A+*, который рассматривается в данной работе, может формировать 7 различных видов предложений. Идентификаторы этих предложений и их краткое описание приведены в таблице 2.2, а полное описание содержимого предложений – в приложении Б.

Таблица 2.2 – Идентификаторы и краткое описание предложений, формируемых приемником *GPS-747A+*

Преамбула	Идентификатор	Описание набора данных
GP	GGA	Мировое время, долгота, широта, высота, поправка геоида, количество используемых спутников, HDOP
GP	CLL	Долгота, широта, мировое время, статус данных, режим работы
GP	GSA	Режим работы, номера используемых спутников, PDOP, VDOP, HDOP
GP	GSV	Детальная информация о параметрах орбиты и параметрах сигналов видимых спутников
GP	RMC	Мировое время, состояние, долгота, широта, скорость, курс, дата, режим работы. Рекомендованный минимум навигационных данных
GP	VTG	Курс, скорость перемещения
GP	ZDA	Мировое время и дата

Данные внутри предложений разделяются между собой запятыми. В конце каждого предложения после знака (*) указывается контрольная сумма, по которой принимается решение о правильности данных в полученном предложении.

Ниже приводится пример полного пакета предложений, отправляемого приемником *GPS-747A+*.

Первое предложение *PMTKCHN* не входит в число 7 предложений, выводимых на дисплей ПК, и характеризует статус (состояние) каналов с указанием номеров НИСЗ и уровня сигналов от каждого спутника.

\$PMTKCHN,17232,27162,09172,15252,26182,28362,04482,02222,14001,12222,00000*43

\$GPGGA,172310.000,4435.2900,N,03333.7216,E,1,7,1.39,117.2,M,31.6,M,,*58

\$GPGLL,4435.2900,N,03333.7216,E,172310.000,A,A*50

\$GPGSA,A,3,17,27,09,26,28,04,12,,,,,1.64,1.39,0.88*09

\$GPGSV,3,1,10,27,85,292,16,09,63,308,17,26,48,244,18,17,46,057,23*79

\$GPGSV,3,2,10,15,31,205,25,12,31,269,22,04,19,125,48,28,15,073,36*7A

\$GPGSV,3,3,10,02,06,156,,14,01,333,*79

\$GPRMC,172310.000,A,4435.2900,N,03333.7216,E,0.25,91.57,240509,,,A*50

\$GPVTG,91.57,T,,M,0.25,N,0.47,K,A*03

\$GPZDA,172310.000,24,05,2009,,*58

Для исследования данных, получаемых от приемника GPS-сигналов, используется программа «*GPS-NMEA monitor*» версии 1.58, которая позволяет записывать и анализировать данные, поступающие от приемника GPS и посылать ему управляющие команды. Внешний вид главного рабочего окна программы в режиме ожидания сигнала показан на рисунке 2.2.

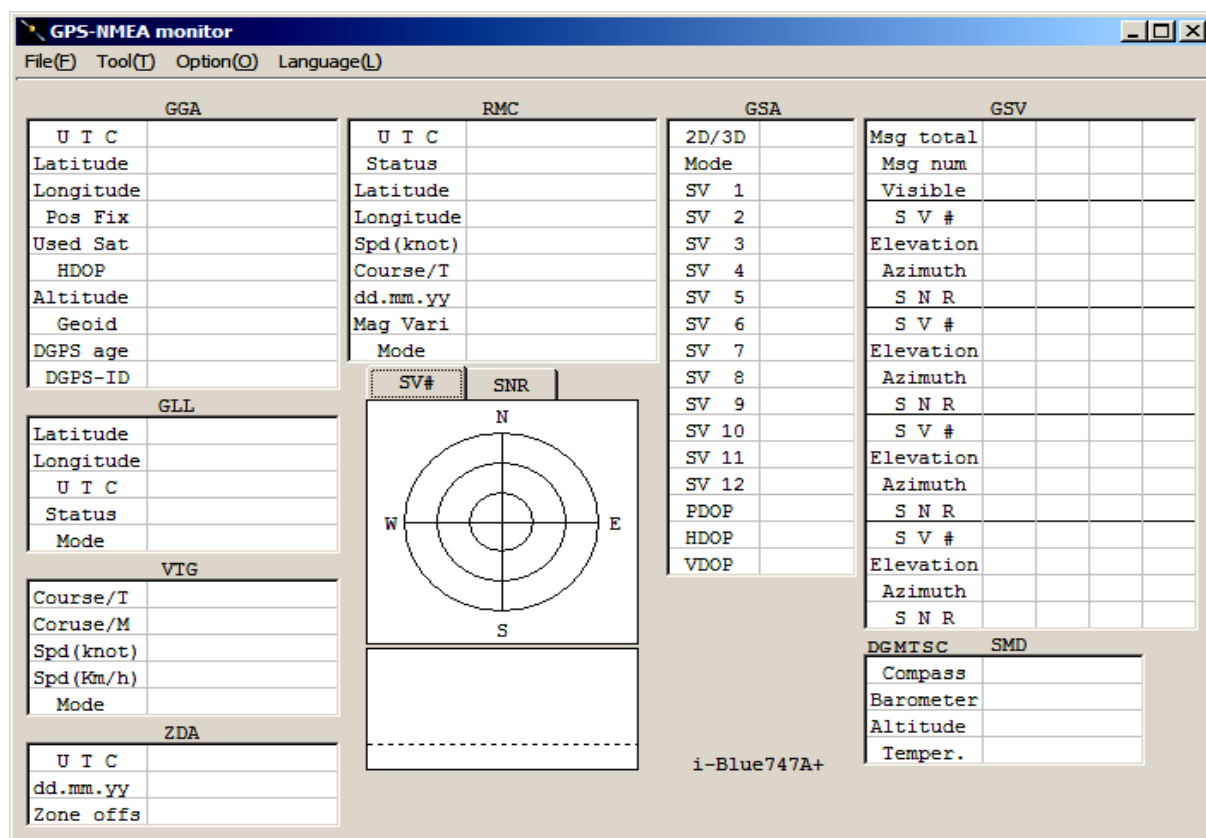


Рисунок 2.2 — Внешний вид рабочего окна программы «*GPS-NMEA monitor*».

При наличии связи с приемником в соответствующих пунктах программы появляются данные и главное рабочее окно примет вид, показанный на рисунке 5.

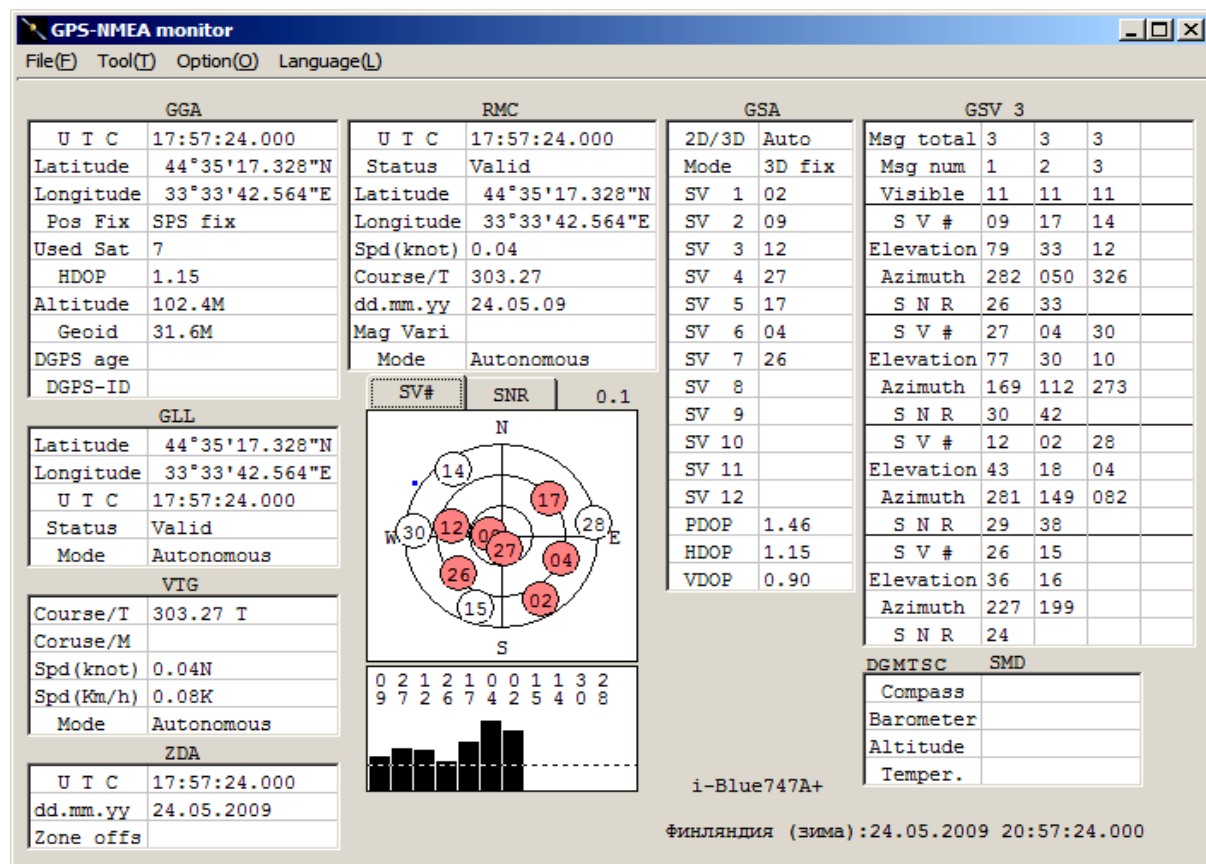


Рисунок 2.3 — Рабочее окно программы «*GPS-NMEA monitor*» в режиме связи с *GPS*-приемником

Рабочее окно включает семь панелей с цифровой информацией, соответствующих семи предложениям, принимаемым от *GPS*-приемника. Восьмая панель – пустая, поскольку передача предложения *SMD*, включающего метеорологические данные в приемнике *GPS-747A+* не предусмотрена.

В центральной области рабочего окна расположено стилизованное изображение небесной полусферы, на которой показано расположение НИСЗ, сигнал от которых принимается в текущий момент времени. Красным цветом выделены спутники, уровень сигнала от которых достаточен для осуществления навигации, белым — с низким уровнем сигнала. В нижней части экрана приводится гистограмма, показывающая относительный уровень сигнала каждого видимого в текущий момент спутника.

Выбором закладок «SV#» или «SNR» можно задать на условном обозначении небесной полусферы отображение либо его номера спутника «SV#» (рисунок 2.4,а), либо отношения сигнал/шум «SNR» в канале каждого НИСЗ (рисунок 2.4,б).

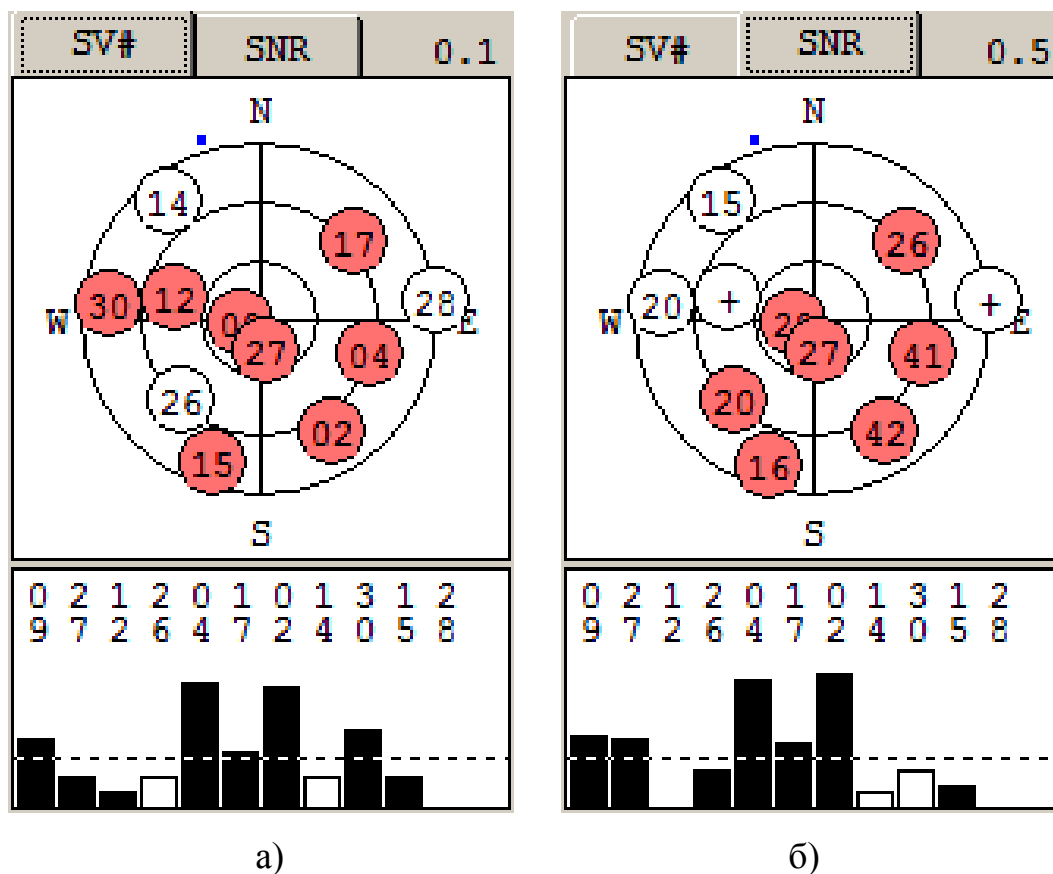


Рисунок 2.4 – Схематичное изображение небесной полусферы, с расположенными НИСЗ и гистограммой уровней сигналов этих спутников

Программа «*GPS-NMEA monitor*» также позволяет исследовать и анализировать сообщения, принимаемые от *GPS*-приемника. Для этого служит инструмент «*GPS Command/Report*». Внешний вид рабочего окна «*GPS Command/Report*» в режиме приема данных показан на рисунке 2.5.

Настройки этого инструмента позволяют отображать все отправляемые предложения, либо только одно из отправляемых предложений, либо только ошибочные предложения.

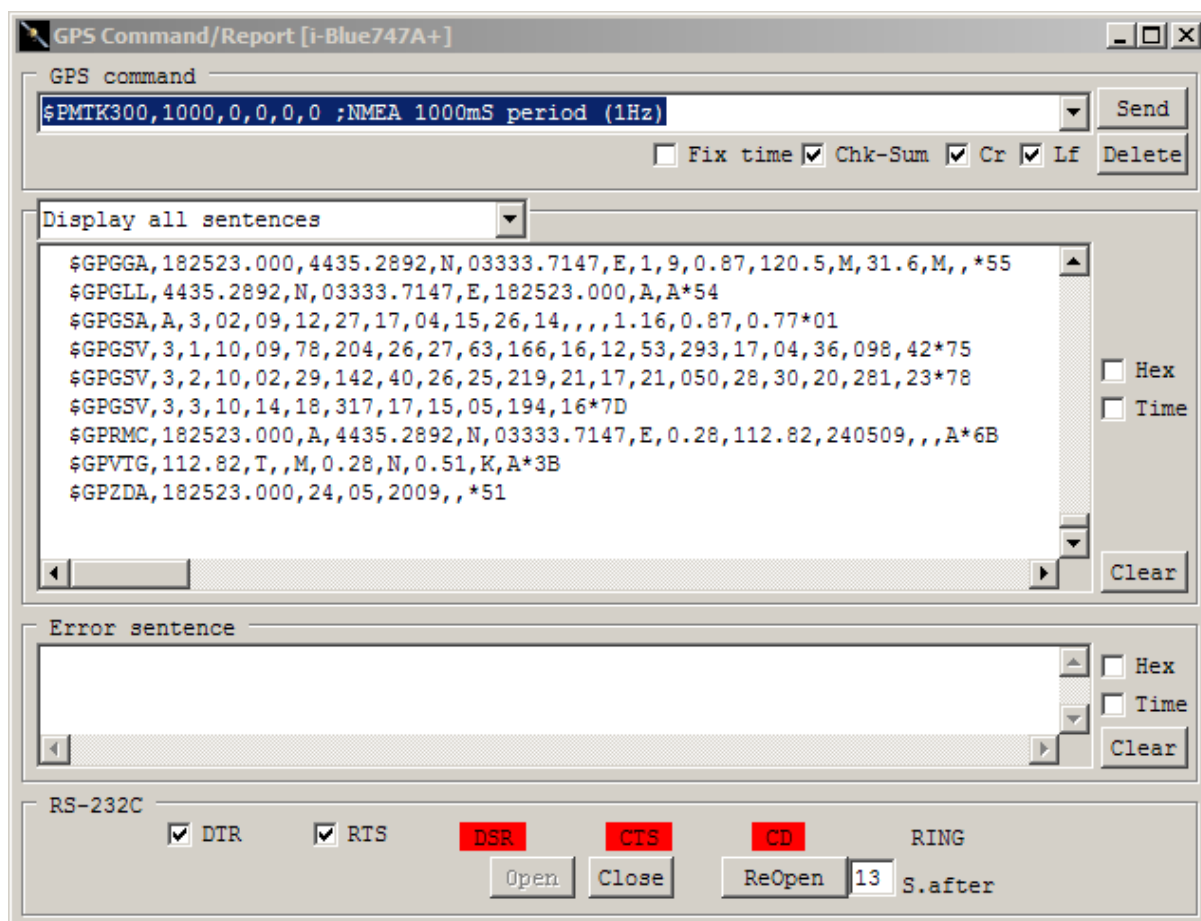


Рисунок 2.5 – Внешний вид окна «*GPS Command/Report*»

2.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Выполнить процедуры включения приемника *GPS*-сигналов *747A+* и обеспечить его соединение через интерфейс *Bluetooth* с персональным компьютером.
2. После захвата сигналов НИСЗ вывести на экран ПК рабочее окно программы «*GPS-NMEA monitor*» и зафиксировать координаты приемника *GPS-747A+*.
3. Перенести полученные значения широты и долготы приемника на план местности.
4. Открыть рабочее окно «*GPS Command/Report*» в режиме приема данных и зафиксировать цифровое сообщение протокола обмена *NMEA*.

Дальнейшее выполнение работы производится по индивидуальным заданиям, выданным ведущим преподавателем.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В СРНС

Цель работы: ознакомиться с принципами построения НАП, изучить виды погрешностей измерения местоположения объекта в системах спутниковой навигации, произвести экспериментальную оценку погрешности измерения координат объекта с помощью приемника *GPS*-сигналов 747A+.

3.1. ВИДЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ В СРНС

На погрешность определения местоположения потребителя СРНС оказывают влияние следующие основные факторы:

- отклонение истинных координат спутника от расчетных значений;
- расхождение шкал времени НИСЗ, НКИК и НАП;
- аппаратные погрешности приемника потребителя;
- условия распространения радиоволн;
- отклонения в форме геоида;
- различия геодезических систем координат;
- расположение спутников в рабочем созвездии НИСЗ;
- применение режимов селективного доступа.

Погрешности из-за неточного знания координат спутника в момент измерения (эфemerидные погрешности) зависят от точности определения траектории НИСЗ наземным комплексом и точности прогнозирования его места на моменты наблюдений. Средние погрешности определения эфemerид при прогнозе на сутки составляют: вдоль трассы – 15 метров, поперек трассы – менее 3 метров и по высоте – менее 2 метров. При двухчасовом прогнозе местоположения НИСЗ эти погрешности уменьшаются в два раза.

Влияние этого фактора на погрешности измерения местоположения потребителя может быть дополнительно снижено за счет усреднения результатов измерений по нескольким НИСЗ.

Погрешность ухода шкалы времени, обусловленная несинхронностью излучения сигналов НИСЗ системы. В СРНС предъявляются высокие требования к формированию системной шкалы времени и ее поддержанию (хранению) в течение всего срока действия системы.

Системная шкала времени задается наземным хранителем времени (НХВ) и играет роль эталона, по которому синхронизируются бортовые хранители времени (БХВ) спутников. Синхронизация временных шкал осуществляется с использованием радиоканалов НИСЗ – Земля и Земля – НИСЗ.

НХВ создает шкалу времени и необходимую сетку синхрочастот путем деления частоты высокостабильного опорного генератора, в качестве которого используются цезиевые или водородные атомные стандарты. Для современных наземных атомных стандартов суточная относительная нестабильность частоты достигает $(1...5) \cdot 10^{-14}$ и выше.

В БХВ временная шкала формируется от высокостабильного опорного генератора, в качестве которого используются цезиевые и рубидиевые атомные стандарты частоты, которые имеют относительную нестабильность до $1 \cdot 10^{-12} \dots 1 \cdot 10^{-13}$.

Для поддержания столь высокой стабильности и синхронизации частот НХВ и БХВ необходим сложный аппаратный комплекс, обеспечивающий термостатирование до сотых долей градуса, защиту от влияния внешних и внутренних электромагнитных полей, исключение вибраций и т. д.

Однако, несмотря на принимаемые меры, после сверки, с течением времени, происходит неизбежное расхождение шкал наземных и бортовых хранителей времени, прежде всего, за счет ухода частоты БХВ, поскольку именно они находятся в наиболее сложных условиях эксплуатации. Погрешности местоопределения из-за расхождения шкал времени составляют в *GPS* и Глонасс менее 2 метров через 2 часа после сверки и менее 10 метров – через 4 часа.

Аппаратурные погрешности навигационной аппаратуры потребителя определяются нестабильностью опорного генератора приемоиндикатора, погрешностью синхронизации, погрешностью следящих систем и т. п. Причинами этих погрешностей являются шумы, неполное согласование узлов и блоков, нелинейность фазовой характеристики приемника и внешние помехи. В современных конструкциях НАП аппаратурные погрешности сведены к минимуму и не превышают 1 метра.

Погрешности из-за условий распространения радиоволн подразделяются на ионосферные, тропосферные и погрешности за счет многолучевости распространения радиоволн.

Наиболее существенная составляющая этих погрешностей обусловлена влиянием ионосферной рефракции. При прохождении радиоволн от НИСЗ до потребителя через ионизированные слои атмосферы происходит искривление траектории и изменение скорости распространения радиоволн. Коэффициент преломления подвержены случайным изменениям и зависят от времени суток, времени года, солнечной активности и других факторов. В диапазоне 1...2 ГГц ионосферная рефракция приводит к ошибкам порядка 20...30 м днем и 3...6 м ночью. Эффективным методом компенсации ошибки, вызванной ионосферной рефракцией, является использование в СРНС сигналов двух разных частот.

Если при истинном значении дальности до спутника $D_0(t)$ получатель проводит измерение на двух разных частотах, которые находятся в соотношении $f_2/f_1 = m$, то измеритель регистрирует два разных значения дальности $D_1(t)$ и $D_2(t)$:

$$D_1(t) = D_0(t) + a/f_1^2; \quad D_2(t) = D_0(t) + a/f_2^2, \quad (3.1)$$

где a – коэффициент, характеризующий ионосферную рефракцию.

Алгоритм получения объединенного результата $D_0(t)$, в котором исключены ионосферные погрешности a/f_1^2 и a/f_2^2 , запишется в виде:

$$D_0(t) = \left(\frac{1}{1-m^2} \right) D_1(t) - \left(\frac{m^2}{1-m^2} \right) D_2(t). \quad (3.2)$$

Поэтому в современных СРНС для точных измерений используются две несущие частоты: в системе *GPS* – 1227,6 и 1575,42 МГц, находящиеся в соотношении $m = 120/154$, а в системе Глонасс – 1246 и 1602 МГц с соотношением $m = 7/9$.

Источником тропосферных погрешностей является изменение коэффициента преломления в нижнем слое атмосферы – тропосфере, который температурой, давлением, влажностью и газовым состоянием этого слоя. Тропосферные погрешности не зависят от частоты, поэтому исключить их влияние радиотехническими методами не удаётся. Однако относительная стабильность параметров тропосферы по сравнению с ионосферой позволяет вычислить поправки к результатам измерений средних значений температуры, давления и влажности воздуха наземными станциями в зоне приема.

Результаты расчета поправок и погрешностей для различных углов возвышения спутника β при средних значениях показателя преломления в тропосфере представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Тропосферные поправки и погрешности СРНС

Угол возвышения НИСЗ β , угл. град	90°	10°	5°
Поправка измерения дальности $\Delta S(\beta)$, м	2,5	15	30
Среднеквадратическая ошибка $\sigma(\Delta S)$, м	0,25	1,5	3,0

Наличие гидрометеоров (дождь, снег, туман) в атмосфере не оказывают существенного влияния на погрешность радионавигационных спутниковых измерений ввиду того, что мала пространственная протяженность этих неоднородностей вдоль траектории распространения радиоволн. Даже при малых углах места НИСЗ протяженность неоднородностей не превышает 10 км.

Воздействие остальных факторов, обусловленных влиянием окружающей среды, таких, как отражение радиоволн от подстилающей земной или морской поверхности, волнение моря, атмосферные шумы, уменьшают до допустимых пределов рациональным размещением антенн приемоиндикаторов и совершенствованием приемной аппаратуры.

Погрешность определения местоположения объектов из-за неидеальности формы геоида. Земля имеет форму геоида – фигуры, поверхность которой совпадает в океанах с поверхностью спокойной воды и мысленно продолжена под материками. Фигура геоида зависит от внутреннего строения Земли и имеет неправильную сложную форму, обусловленную геодезическими аномалиями. При решении навигационных задач в СРНС геоид заменяется его приближенной моделью – **референц-эллипсоидом**, который представляет собой эллипсоид вращения, сжатый вдоль полярной оси. Большая полуось применяемого в СРНС референц-эллипсоида совпадает с радиусом экватора и составляет 6378,24 км, а малая полуось, ориентированная вдоль полярной оси – 6356,86 км. Расхождение между поверхностями геоида и такого эллипсоида не превышает 70 метров и называется геоидной высотой.

В старых модификациях судовой навигационной аппаратуры эта величина учитывается с помощью специальной карты поправок, один из вариантов которой изображен на рисунке 3.1.

В современных образцах НАП эти поправки заложены в память приемника и учитываются автоматически. Однако даже при учете поправок возможны погрешности в геоидной высоте до 10 м вследствие местных гравитационных аномалий.

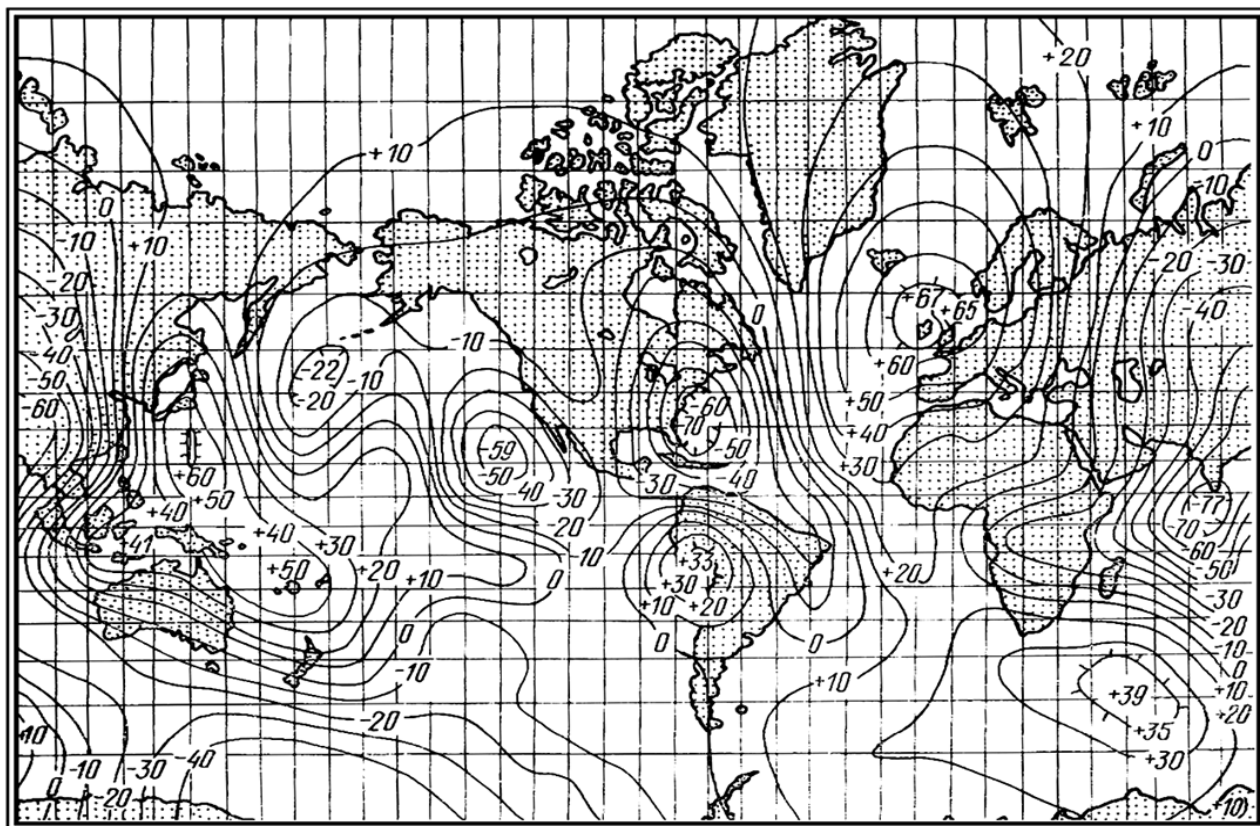


Рисунок 3.1 – Карта высотных поправок

Различие исходных геодезических систем координат. При построении навигационных карт в разных странах принимают различные референц-эллипсоиды с отличающимися параметрами. В спутниковой системе, которая по самому принципу своему геоцентрична, принят так называемый общий земной референц-эллипсоид, наиболее близкий к геоиду. Перенос координат, определенных с помощью спутниковой системы, например, на морскую карту приводит к погрешностям, являющимся следствием различия в принятых моделях Земли. Эти погрешности имеют систематический характер и могут достигать значительных величин.

Устранение этой погрешности может производиться путем расчета поправок по соответствующим таблицам и картам. В устройства памяти современных автоматических приемоиндикаторов производителем загружено до 50 различных систем координат, и для учета поправок достаточно ввести номер соответствующей геодезической системы. В приемнике *GPS-747A+* используется наиболее распространенная в мире глобальная геодезическая система *WGS-84*.

Ошибки, обусловленные геометрией рабочего созвездия НИСЗ. В СРНС второго поколения *GPS* и Глонасс производятся одновременные измерения по нескольким (от 4 до 12) НИСЗ. Оптимальной считается следующая конфигурация рабочего созвездия из четырех спутников: один – в зените и три – вблизи линии горизонта, одинаково удаленные друг от друга. Вид наилучшего созвездия НИСЗ изображен на рисунке 3.2,а.

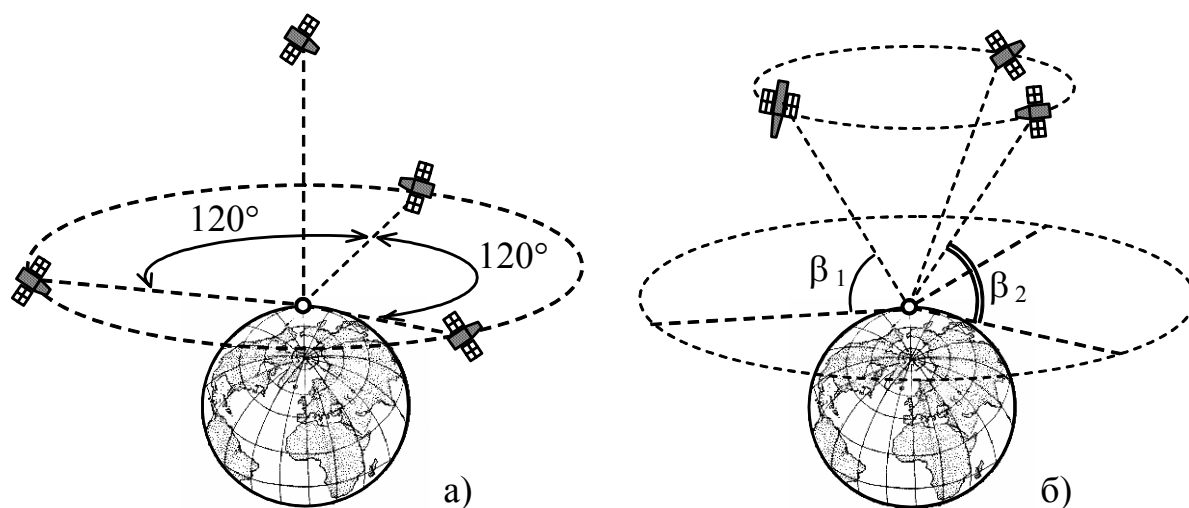


Рисунок 3.2 – Вид рабочих созвездий НИСЗ GPS / Глонасс: оптимальная (а) и неблагоприятная (б) конфигурации созвездий

Влияние спутниковой геометрии на погрешность измерения оценивается факторами *PDOP* (*Position Dilution Of Precision* – геометрический фактор координат места в пространстве) и *HDOP* (*Horizontal Dilution Of Precision* – геометрический фактор координат места на поверхности). Факторы *PDOP* и *HDOP* характеризуют ухудшение точности измерения координат объекта из-за неоптимального расположения НИСЗ. Идеальному расположению спутников соответствует $PDOP = 1$; большие значения говорят о плохой спутниковой геометрии. Геометрические факторы *HDOP* и *PDOP* используются как множитель для оценки ошибок. Каждая измеренная приемником псевдодальность до НИСЗ имеет свою погрешность, зависящую от атмосферных помех, ошибок в эфемеридах, переотражений сигнала и т.д.

Например, если предполагаемые значения этих ошибок в сумме составляют 30 м, то при $PDOP = 1,5$ результирующая ожидаемая ошибка определения местоположения составит 45 м.

На рисунке 3.3 изображены зависимости геометрических факторов *HDOP* и *PDOP* от угла места β_i спутников. Зависимости построены для случая, когда азимуты спутников соответствуют оптимальному созвездию (рисунок 3.2,б), а углы места β_i всех спутников одинаковы и изменяются от 0 до 90°.

Многие современные приемоиндикаторы вычисляют и показывают *EPE* (*Estimated Position Error* – ожидаемую ошибку местопредопределения), которая дает прогноз погрешности в зависимости от расположения НИСЗ, состояния атмосферы, ошибок временных шкал и других данных.

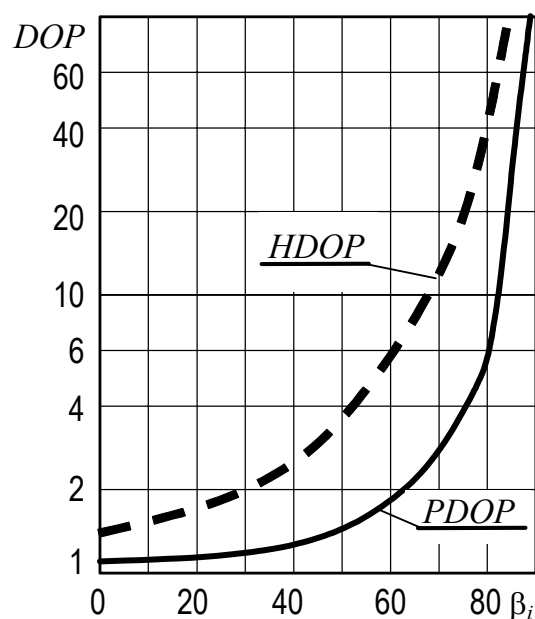


Рисунок 3.3 – Зависимости геометрических факторов от изменения угла места β_i НИСЗ

Спутниковая геометрия существенно влияет на результаты измерения местоположения объекта при использовании приемника GPS внутри транспортных средств, в густом лесу, в горах, вблизи высоких зданий, когда сигналы от отдельных спутников блокированы. Путем оценки HDOP и PDOP по положению оставшихся видимых спутников приемоиндикатор определит, каковы будут погрешности предстоящих измерений и может ли местоположение объекта вообще быть определено.

Погрешности, обусловленные режимом селективного доступа (*Selective availability, S/A*). Реализуя этот режим, провайдер услуг GPS (Министерство обороны США) может намеренно снижать точность определения местоположения для гражданских потребителей.

При этом в режиме *S/A* формируются ошибки искусственного происхождения, вносимые в сигнал на борту GPS-спутников с целью загробления навигационных измерений. Такими ошибками являются неверные данные об орбите спутника и искажения показаний его часов за счет внесения добавочного псевдослучайного сигнала. Величина среднеквадратической ошибки из-за влияния этого фактора составляет примерно 30 метров.

На рисунке 3.4 изображен разброс значений координат объекта, расположенного на земной поверхности, полученный в результате длительных измерений (18 часов) стандартной аппаратурой GPS гражданского потребителя. Максимальная ошибка измерения позиции от среднего значения по широте составила 134 метра, а по долготе – 49 метров. Среднеквадратические ошибки измерения места составили: по широте – 20 м, по долготе – 15 м.

Значительное уменьшение большинства перечисленных погрешностей достигается за счет использования в дифференциального режима определения местоположения. В основе дифференциального метода лежит знание координат опорной точки или системы опорных точек, относительно которых могут быть вычислены поправки. При учете этих поправок в навигационной аппаратуре потребителя точность определения координат может быть повышена в десятки раз.

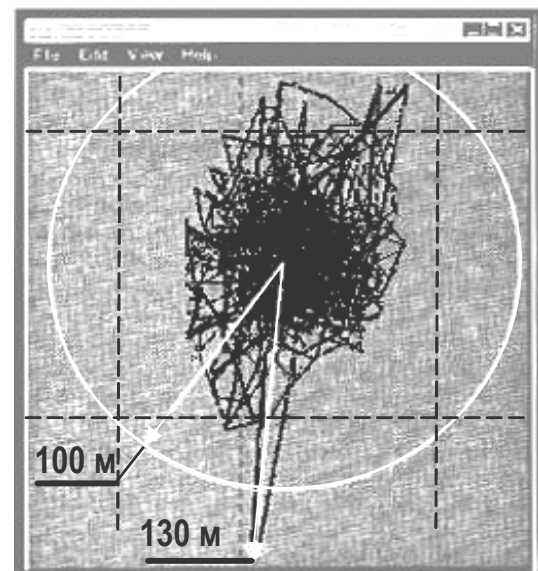


Рисунок 3.4 – Разброс результатов измерения координат наземного объекта в GPS

3.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Выполнить процедуры включения приемника GPS-сигналов 747A+ и обеспечить его соединение через интерфейс *Bluetooth* с персональным компьютером.
2. После захвата сигналов НИСЗ вывести на экран ПК рабочее окно программы «*GPS-NMEA monitor*» и зафиксировать координаты приемника GPS-747A+.

3. Произвести 5 повторных измерений с интервалом 30 секунд и проанализировать полученные результаты. Произвести перевод погрешностей измерения широты и долготы в значения линейных перемещений. Проанализировать изменение геометрических факторов HDOP и PDOP на величину погрешности.

4. Помимо отображения информации, принимаемой от *GPS*-приемника программа «*GPS-NMEA monitor*» позволяет выполнить оценку погрешности определения координат с помощью инструмента «*Average*», который представляет собой средство регистрации текущих координат и определения их среднеквадратичного отклонения. Внешний вид окна «*Average*» показан на рисунке 3.5.

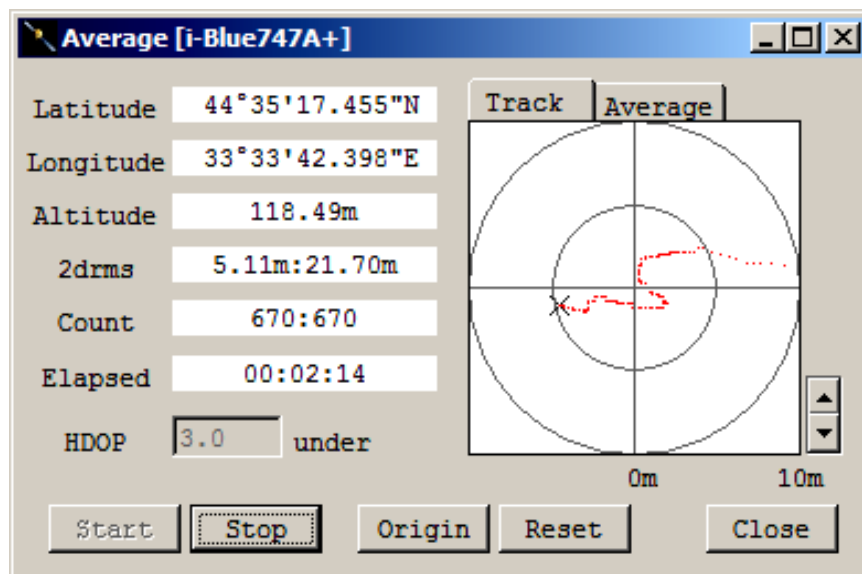


Рисунок 3.5 – Внешний вид окна «*Average*»

5. В процессе измерений произвести быстрое перемещение приемника на расстояние пять метров и оценить изменение результатов измерений.

Дальнейшее выполнение работы производится по индивидуальным заданиям выданным ведущим преподавателем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабак В.П., Конін В.В., Харченко В.П. Супутникова радіонавігація. – К.: Техніка, 2004. –328 с.
2. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. – М.:Изд. Горячая линия-Телеко, 2005. –272 с.
2. Гофман-Вклленгоф.В. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика/ В. Гофман-Вклленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз/ Пер с англ.; За ред. Я.С. Яцківа. – К.: Наук. думка, 1996. – 391 с.
3. Лукьянчук А.Г. Спутниковые системы связи, вещания и навигации: Учеб. пособие/ А.Г. Лукьянчук, Ю.П. Михайлюк, А.А. Савочкин; Под ред. А.Г. Лукьянчука. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 335 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Орбиты и параметры движения ИСЗ

Как известно, спутники Земли движутся по эллиптической орбите. Эллипсом является геометрическое место точек (рисунок А.1,а), для которых сумма расстояний r_1 и r_2 до двух фокусов F_1 и F_2 есть величина постоянная, равная длине большой оси эллипса $2a = r_1 + r_2$.

Фокусы F_1 и F_2 лежат на большой оси эллипса по обе стороны от центра O на расстоянии $c = \sqrt{a^2 + b^2}$.

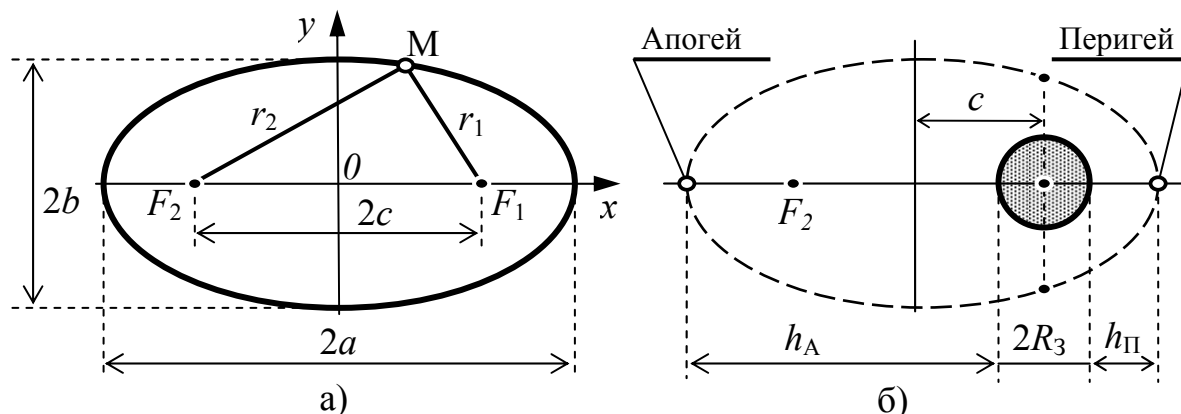


Рисунок А.1 – Параметры эллипса (а) и эллиптической орбиты ИСЗ

Форма эллипса характеризуется эксцентриситетом $\varepsilon = c/a$. В общем случае эксцентриситет эллипса $\varepsilon < 1$. При эксцентриситете, равном нулю, эллипс превращается в окружность. Расстояния от точки M на эллипсе до фокусов F_1 и F_2 выражаются соотношениями:

$$r_1 = MF_1 = a - \varepsilon x; \quad r_2 = MF_2 = a + \varepsilon x. \quad (\text{А.1})$$

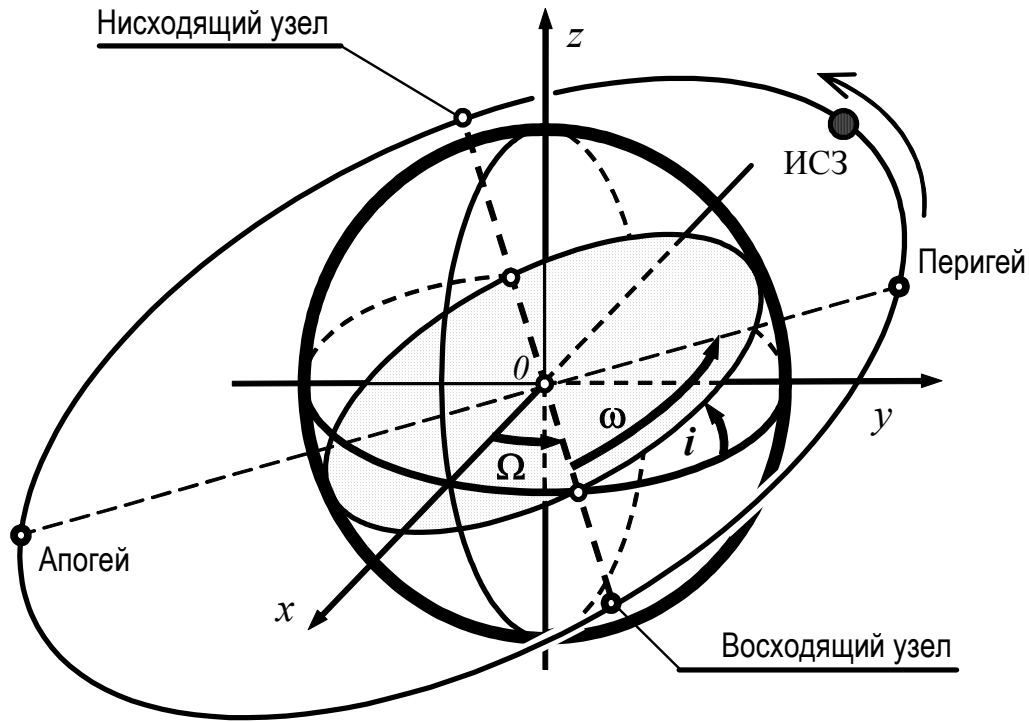
Орбита ИСЗ без возмущений (рисунок А.1,б) представляет собой эллипс, один из фокусов которого совпадает с центром масс Земли. Точка орбиты, наиболее близко расположенная к Земле называется перигеем, а наиболее удаленная точка орбиты — апогеем.

Положение ИСЗ в пространстве относительно Земли определяется шестью кеплеровскими* элементами, два из которых характеризуют размеры и форму орбиты, три — ориентацию орбиты относительно Земли и направление движения ИСЗ, а шестой — положение спутника на орбите.

Этими шестью элементами являются:

- большая полуось орбиты;
- эксцентриситет орбиты;
- наклонение плоскости орбиты относительно плоскости экватора;
- долгота восходящего узла орбиты;
- аргумент перигея;
- время прохождения спутника через перигей.

На рисунке А.2 изображена эллиптическая орбита ИСЗ в абсолютной геоцентрической (экваториальной) системе координат. Начало системы координат совмещено с центром Земли. Ось OZ направлена вдоль оси вращения Земли в сторону северного полюса. Ось OX лежит в экваториальной плоскости и направлена в точку весеннего равноденствия. Ось OY дополняет декартову правую систему координат.



Ω - долгота восходящего узла; i - наклонение орбиты; ω - аргумент перигея

Рисунок А.2 – Элементы орбиты* ИСЗ в геоцентрической (экваториальной) системе координат

Большая полуось орбиты a вычисляется по формулам (А.1) и характеризует среднее удаление движущегося ИСЗ от центра Земли. Большая ось проходит через центр Земли и соединяет точки апогея и перигея.

Эксцентриситет орбиты e характеризует эллиптичность формы орбиты. При движении по эллиптической орбите ($e < 1$) скорость движения спутника изменяется, достигая максимума в области перигея и минимума – в области апогея.

По круговой орбите ($e = 0$) ИСЗ движется с постоянной скоростью, и это важное свойство используется при построении СРНС.

Наклонение орбиты i – двугранный угол между плоскостью орбиты и плоскостью экватора. Восходящим узлом называют точку, в которой ИСЗ переходит из южного полушария в северное. Противоположная точка называется нисходящим узлом. По наклонению орбиты спутников делятся на экваториальные ($i \approx 0^\circ$), наклонные ($0^\circ < i < 90^\circ$) и полярные ($i \approx 90^\circ$).

Долгота восходящего узла орбиты Ω характеризует поворот плоскости орбиты вокруг оси (OZ) вращения Земли. Долгота восходящего узла – это угол, расположенный в экваториальной плоскости и отсчитываемый от направления на точку весеннего равноденствия (ось OX) до направления на восходящий узел.

Аргумент перигея ω характеризует ориентацию большой оси эллипса в плоскости орбиты. Аргумент перигея оценивается как угол между направлениями на восходящий узел и на перигей, отсчитываемый в плоскости орбиты.

Время прохождения спутника через перигей определяет положение ИСЗ в любой момент времени на орбите, которая описывается рассмотренными параметрами.

*элементы, описывающие орбиту спутника, предложены Иоганном Кеплером (1571–1630), немецким астрономом, открывшим законы движения планет.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ОПИСАНИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ NMEA ПРИЕМНИКА GPS-747A+

CHN — *Channel status* — Статус каналов

Пример сообщения:

\$PMTKCHN,17232,27162,09172,15252,26182,28362,04482,02222,14001,12222,
00000,00000,00000,00000,00000,00000,00000,00000,00000,00000,00000,00000,
00000,00000,00000,00000,00000,00000,00000,00000,00000*43

Пример	Название	Единицы	Описание
\$PMTKCHN	<i>Message ID</i>		Заголовок сообщения CHN
17232	<i>Status 1</i>		Канал 1. Статус приемного канала в формате: <i>Satellite ID, SNR, Satellite status</i> без разделителей
27162	<i>Status 2</i>		Канал 2. Статус приемного канала в формате: <i>Satellite ID, SNR, Satellite status</i> без разделителей
...			
*43	<i>Checksum</i>		Контрольная сумма
<CR><LF>			Конец сообщения

GGA — *Global Positioning System Fixed Data* — Данные GPS

Пример сообщения:

\$GPGGA,172310.000,4435.2900,N,03333.7216,E,1,7,1.39,117.2,M,31.6,M,,*58

Пример	Название	Единицы	Описание
\$GPGGA	<i>Message ID</i>		Заголовок сообщения GGA
172310.000	<i>UTC Time</i>		Время UTC в формате hhmmss.sss
4435.2900	<i>Latitude</i>	Градусы	Широта в формате ddmm.mmmm
N	<i>N/S indicator</i>		N — северная, S — южная широта
03333.7216	<i>Longitude</i>	Градусы	Долгота в формате ddmm.mmmm
E	<i>E/W indicator</i>		E — восточная, W — западная долгота
1	<i>Position fix indicator</i>		0 — позиция не определена 1 — режим GPS SPS, позиция определена 2 — режим DGPS SPS позиция определена 3 — режим GPS PPS позиция определена
7	<i>Satellites Used</i>		Значение от 0 до 12
1.39	<i>HDOP</i>		Погрешность по горизонтали
117.2	<i>MSL Altitude</i>	Метры	Высота относительно уровня моря
M	<i>Units</i>		Единицы измерения
31.6	<i>Geoid Separation</i>	Метры	Отклонение от модели геоида
M	<i>Units</i>		Единицы измерения
	<i>Age of Diff. Correction.</i>	Секунды	Пусто, если DGPS не используется
	<i>Diff. Ref. Station ID</i>		Идентификатор опорной станции DGPS
*58	<i>Checksum</i>		Контрольная сумма
<CR><LF>			Конец сообщения

GLL – *Geographic Position-Latitude/Longitude* – Географические координаты

Пример сообщения:

\$GPGLL,4435.2900,N,03333.7216,E,172310.000,A,A*50

Пример	Название	Единицы	Описание
\$GPGLL	<i>Message ID</i>		Заголовок сообщения <i>GLL</i>
4435.2900	<i>Latitude</i>	Градусы	Широта в формате <i>ddmm.mmmm</i>
N	<i>N/S indicator</i>		<i>N</i> — северная, <i>S</i> — южная широта
03333.7216	<i>Longitude</i>	Градусы	Долгота в формате <i>ddmm.mmmm</i>
E	<i>E/W indicator</i>		<i>E</i> — восточная, <i>W</i> — западная долгота
172310.000	<i>UTC Time</i>		Время UTC в формате <i>hhmmss.sss</i>
A	<i>Status</i>		<i>A</i> — данные корректны, <i>V</i> — данные не корректны
*50	<i>Checksum</i>		Контрольная сумма
<CR><LF>			Конец сообщения

GSV — *GNSS Satellites in View* — Видимые спутники

Пример сообщения:

\$GPGSV,3,1,10,27,85,292,16,09,63,308,17,26,48,244,18,17,46,057,23*79

Пример	Название	Единицы	Описание
\$GPGSV	<i>Message ID</i>		Заголовок сообщения <i>GSV</i>
3	<i>Number of Messages</i>		Количество частей (от 1 до 3), в зависимости от количества видимых спутников <i>GSV</i> может разбиваться на несколько частей. В данном случае их 3.
1	<i>Message Number</i>		Номер части сообщения (от 1 до 3)
10	<i>Satellite in View</i>		Количество видимых спутников
27	<i>Satellite ID</i>		Канал 1. Идентификатор спутника (от 1 до 32)
85	<i>Elevation</i>	Градусы	Канал 1. Возвышение (от 0 до 90)
292	<i>Azimuth</i>	Градусы	Канал 1. Азимут (от 0 до 359)
16	<i>SNR(C/No)</i>	<i>dBHz</i>	Канал 1. Сила сигнала (от 0 до 99). Если спутник не обсчитывается, то «пусто»
...			
17	<i>Satellite ID</i>		Канал 4. Идентификатор спутника (от 1 до 32)
46	<i>Elevation</i>	Градусы	Канал 4. Возвышение (от 0 до 90)
057	<i>Azimuth</i>	Градусы	Канал 4. Азимут (от 0 до 359)
23	<i>SNR(C/No)</i>	<i>dBHz</i>	Канал 4. Сила сигнала (от 0 до 99). Если спутник не обсчитывается, то «пусто»
*79	<i>Checksum</i>		Контрольная сумма
<CR><LF>			Конец сообщения

GSA – GNSS DOP and Active Satellites – Погрешность *GPS* и активные спутники

Пример сообщения:

\$GPGSA,A,3,17,27,09,26,28,04,12,,,,,1.64,1.39,0.88*09

Пример	Название	Единицы	Описание
\$GPGSA	Message ID		Заголовок сообщения GSA
A	Mode1		A — автоматич. переключ. режимов 2D/3D M — ручной выбор режимов 2D или 3D
3	Mode2		1 — Позиция не определена 2 — 2D позиция определена, высота — нет 3 — 3D позиция и высота определена
17	Satellite Used		Используемый спутник канала 1
27	Satellite Used		Используемый спутник канала 2
...	...		...
	Satellite Used		Используемый спутник канала 12
1.64	PDOP		Погрешность определения местоположения
1.39	HDOP		Погрешность определения координат
0.88	VDOP		Погрешность определения высоты
*09	Checksum		Контрольная сумма
<CR><LF>			Конец сообщения

VTG — Course Over Ground and Ground Speed — Курс и скорость

Пример сообщения:

\$GPVTG,91.57,T,,M,0.25,N,0.47,K,A*03

Пример	Название	Единицы	Описание
\$GPVTG	Message ID		Заголовок сообщения VTG
91.57	Course	Градусы	Курс
T	Reference		Магнитное склонение — на истинный север
	Course	Градусы	Курс
M	Reference		Магнитное склонение — на магнитный север
0.25	Speed	Узлы	Измеренная горизонтальная скорость
N	Units		Узлы
0.47	Speed	км/ч	Измеренная горизонтальная скорость
K	Units		Километры в час
*03	Checksum		Контрольная сумма
<CR><LF>			Конец сообщения

RMC — *Recommended Minimum Specific GNSS Data* — Рекомендованный минимум данных *GPS*

Пример сообщения:

\$GPRMC,172310.000,A,4435.2900,N,03333.7216,E,0.25,91.57,240509,,,A*50

Пример	Название	Единицы	Описание
\$GPRMC	<i>Message ID</i>		Заголовок сообщения RMC
172310.000	<i>UTC Time</i>		hhmmss.sss — время UTC
A	<i>Status</i>		A — данные корректны, V — данные не корректны
4435.2900	<i>Latitude</i>	Градусы	Широта в формате ddmn.mmmmm
N	<i>N/S indicator</i>		N — северная, S — южная широта
03333.7216	<i>Longitude</i>	Градусы	Долгота в формате ddmn.mmmmm
E	<i>E/W indicator</i>		E — восточная, W — западная долгота
0.25	<i>Speed Over Ground</i>	Узлы	Измеренная горизонтальная скорость
91.57	<i>Course Over Ground</i>	Градусы	Курс
240509	<i>Date</i>		Дата ddmmyy
	<i>Magnetic variation</i>	Градусы	Магнитное склонение. E — восточное, W — западное
*50	<i>Checksum</i>		Контрольная сумма
<CR><LF>			Конец сообщения

ZDA — *Data and Time* — Дата и время

Пример сообщения:

\$GPZDA,172310.000,24,05,2009,,*58

Пример	Название	Единицы	Описание
\$GPZDA	<i>Message ID</i>		Заголовок сообщения ZDA
172310.000	<i>UTC Time</i>		hhmmss.sss — время UTC
24,05,09	<i>Date</i>		Дата dd,mm,yy
	<i>Local zone hours</i>	Часы	Смещение часов текущего локального часового пояса относительно UTC (-13...13)
	<i>Local zone minutes</i>	Минуты	Смещение минут текущего локального часового пояса относительно UTC (0...59)
*58	<i>Checksum</i>		Контрольная сумма
<CR><LF>			Конец сообщения

