

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ
КАФЕДРА РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 58

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ

НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ СРНС GPS/ГЛОНАСС

Москва 2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 58

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ

НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ СРНС GPS/ГЛОНАСС

Составитель: В. В. Жуков, доцент, к. т. н.

В подготовке и оформлении описания, а также в тестировании и пробном выполнении лабораторной работы принимали активное участие студенты: Вязова М.А, Симонов А.Н.

При составлении лабораторной работы использовались сведения из технических описаний используемого в работе одночастотного двухсистемного навигационного приемника GPS/ГЛОНАСС компании Javad Navigation Systems, Inc (www.javad.com)

Автор благодарит профессора МАИ, д.т.н. Поваляева А.А. за помощь в обсуждении и редактировании теоретического материала для данной лабораторной работы

Издание утверждено советом факультета Р и Т. Протокол № 8 от 16 апреля 2009 г.

Рецензент: Иванюшкин Р.Ю., доцент, к.т.н.

**ВНИМАНИЕ! СОБЛЮДЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ В УЧЕБНЫХ
ЛАБОРАТОРИЯХ РПДУ МТУСИ ПРАВИЛ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ
ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

Действующие в учебных лабораториях РПДУ МТУСИ Правила безопасности, студенты изучают на первом занятии в лаборатории при вводном инструктаже. Работать в лаборатории без изучения этих правил и соответствующего оформления запрещается! Требуется строжайшая дисциплина, как общая, так и в части соблюдения правил техники безопасности.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторная работа № 58 “Изучение и испытание навигационной аппаратуры потребителя СРНС GPS/ГЛОНАСС” предназначена для студентов специальностей 210402, 210405 и 210302 в рамках изучения дисциплин специализаций. Эта работа может быть включена также в программы производственной и преддипломной практик.

Количество лабораторных работ в практикуме и порядок их выполнения определяется графиком лабораторных занятий, который составляется в соответствии с действующей учебной программой и вывешивается не позднее, чем на неделю, предшествующей началу занятий в лаборатории.

К очередной лабораторной работе допускаются студенты, продемонстрировавшие должную степень подготовки и успешно защитившие предшествующие лабораторные работы.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы № 58 является ознакомление с техническими показателями и структурной схемой современной навигационной аппаратуры потребителя спутниковой радионавигационной системы (СРНС) GPS/ГЛОНАСС, а также получение навыков ее практического использования.

ЗАДАНИЕ

ПРИ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКЕ:

1. Изучить по учебной литературе [1, 2] основные сведения о системах спутниковой навигации 2-го поколения GPS/ГЛОНАСС
2. Ознакомиться по настоящему заданию с основными техническими характеристиками навигационного приемника EURO-GG
3. Ознакомиться со структурной схемой приемника и принципом его построения
4. Ознакомиться с принципами управления приемника с помощью команд GREIS и программного обеспечения PCView [7, 8]
5. Изучить состав лабораторной установки и назначение всех входящих в нее измерительных приборов

ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ:

6. Получив разрешение ведущего занятия преподавателя, включить компьютер и запустить программу PCView
7. Ознакомиться с основными навигационными данными, которые программа выводит на экран компьютера
8. Исследовать зависимость между основными параметрами сигнала спутника и точностью определения местоположения

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

Система координат и шкалы времени СРНС

В качестве системы, в которой в СРНС определяются координаты навигационных приемников, используется гринвичская система координат, связанная с вращающейся Землей (рис.1)

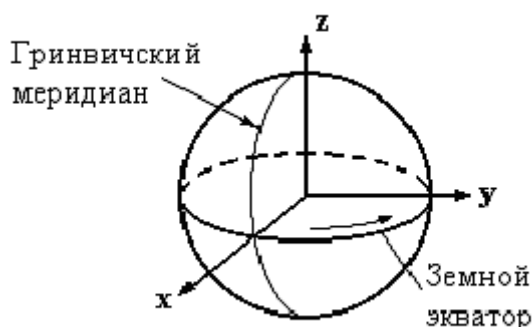


Рис. 1. Гринвичская система координат

Для понимания принципов функционирования СРНС необходимо оперировать с несколькими временными шкалами и в этом случае необходимо различать само время и результаты его измерения на разных шкалах. С этой целью далее для обозначения времени будет использоваться символ t , а для обозначения показаний часов определенной шкалы символ $T(t)$. Таким образом, показания часов на разных шкалах будут рассматриваться как функции единого аргумента t . При этом смысловое содержание конкретных значений аргумента t будет всегда определяться как момент времени, в который наступает некоторое событие, например, появляются определенные показания часов на той или иной шкале.

В общем случае для понимания принципов функционирования СРНС необходимо оперировать с четырьмя шкалами времени. Это шкала времени приемника $T_r(t)$, шкала времени некоторого j -го спутника $T_r^j(t)$, шкала времени системы $T_{sys}(t)$ и шкала времени UTC государственного эталона $T_{UTC}(t)$. Показания часов на этих шкалах в один и тот же момент времени t не совпадают. Отсюда возникает понятие смещения одной шкалы времени относительно другой как разность показаний часов на разных шкалах на один и тот же момент времени t .

Общая организация работы СРНС

СРНС образуется из трех подсистем: подсистемы космических аппаратов (КА), подсистемы управления и подсистемы потребителей. Подсистема КА состоит из некоторого количества (обычно 24) спутников, согласованно движущихся по специально выбранным орбитам.

На рис. 2. показана подсистема КА ГЛОНАСС. Спутники в системе ГЛОНАСС движутся в трех орбитальных плоскостях, сдвинутых друг относительно друга по прямому восхождению восходящего узла на 120° . Наклонение плоскостей орбит к плоскости экватора $64.8^\circ \pm 0.3^\circ$. Орбиты близкие к круговым. Средняя высота орбит 19100 км. В каждой орбитальной плоскости равномерно располагается 8 спутников. Период обращения спутников 11 часов 15 минут 44 ± 5 сек.

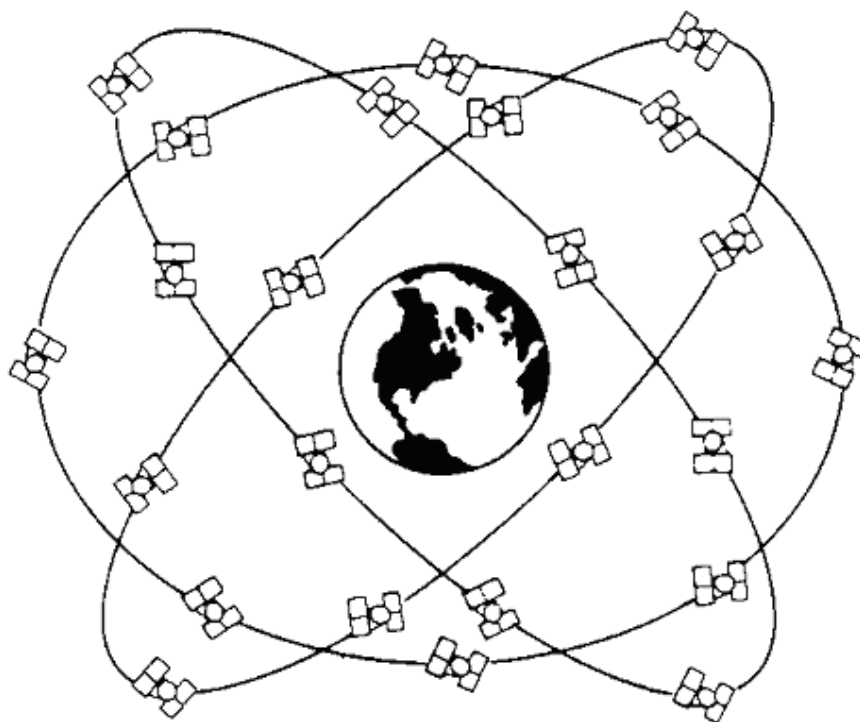


Рис. 2. Подсистема КА ГЛОНАСС.

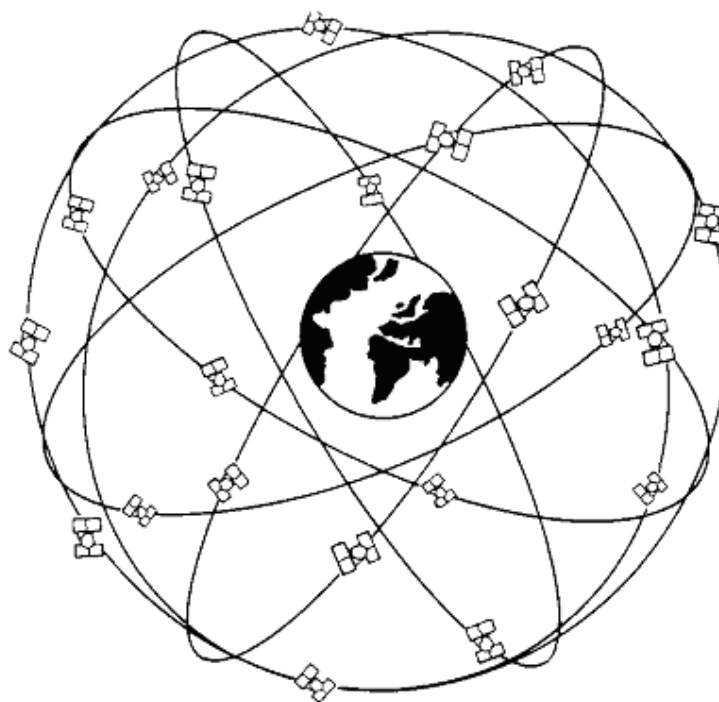


Рис. 3. Подсистема КА GPS.

На рис. 3 показана подсистема КА GPS. Спутники в системе GPS движутся в шести орбитальных плоскостях, сдвинутых друг относительно друга по прямому восхождению восходящего узла на 60° . Наклонение плоскостей орбит к плоскости экватора 55° . Орбиты близкие к круговым. Средняя высота орбит 20189км. В каждой орбитальной плоскости располагается 4 спутника. Период обращения спутников 11 часов 57 минут 59.2 сек

(половина звездных суток).

На каждом спутнике установлены атомные часы, периодически синхронизируемые по командам с Земли. Часы каждого спутника синхронизируют излучение со спутника специального кодового сигнала. Перед излучением кодовые сигналы на спутниках модулируются сообщениями о траекториях движения спутников и параметрах моделей смещения шкал времени спутников относительно шкалы системы. Такие сообщения принято называть навигационными. Структура сигналов, излучаемых разными спутниками, такова, что приемник имеет возможность разделять эти сигналы, оценивать их параметры и выделять навигационные сообщения независимо друг от друга.

Подсистема управления занимается определением траекторий движения и параметров моделей смещения шкал времени спутников относительно шкалы системы. Сведения о спутниковых траекториях и параметрах моделей смещения шкал времени спутников по специальной радиолинии передаются на спутники и там используются для формирования навигационных сообщений. Подсистемы управления ГЛОНАСС и GPS показаны на рис. 4 и 5 соответственно.

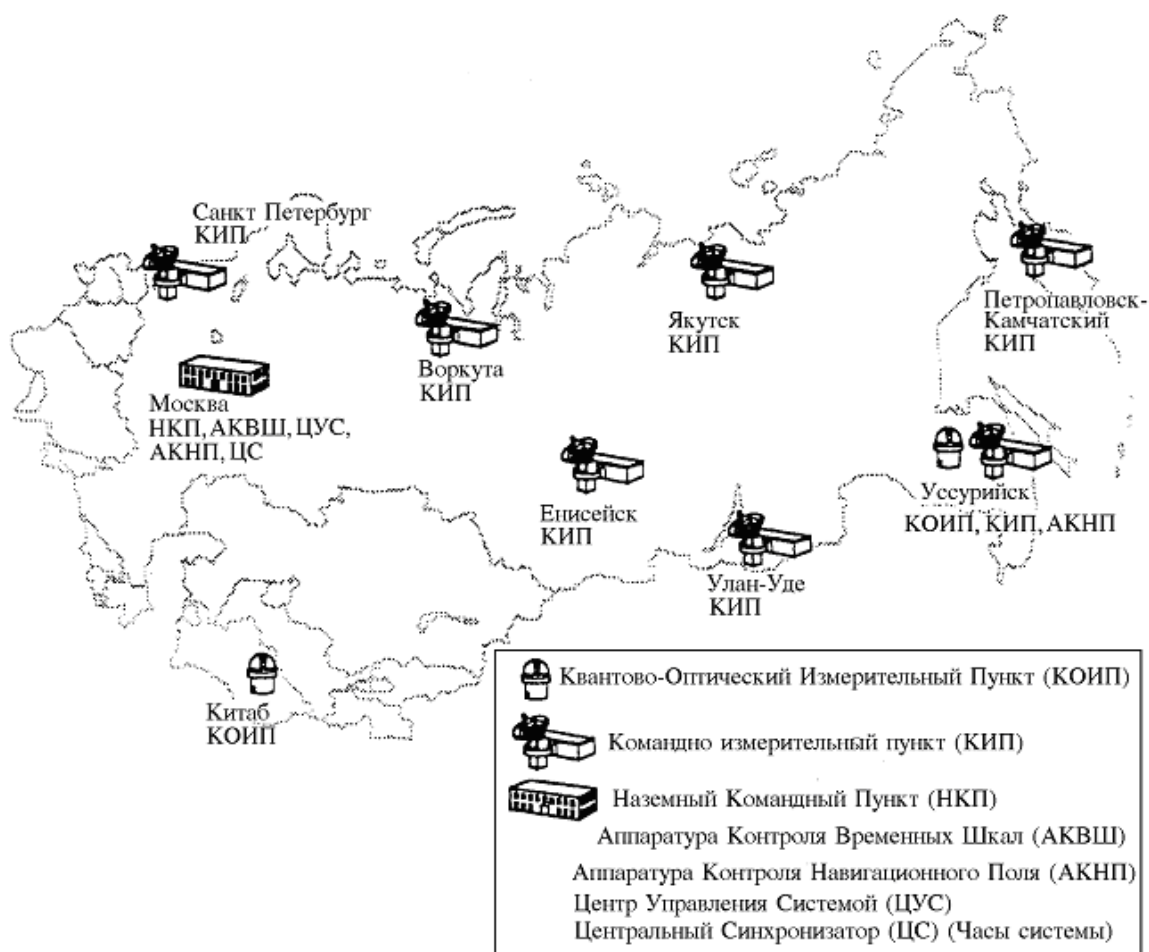


Рис. 4. Подсистема управления ГЛОНАСС.



Рис. 5. Подсистема управления GPS.

Подсистема потребителей состоит из всего множества навигационных приемников, принимающих и обрабатывающих спутниковые сигналы с целью определения своих координат и составляющих вектора скорости. Количество таких приемников неограниченно.

Модели движения КА. Понятие об эфемеридах и альманахе

Понятие траектории движения спутника, использованное в предыдущем разделе, требует уточнения. Количественное описание и использование этого понятия всегда подразумевает представление траектории в виде некоторой математической модели, позволяющей вычислять координаты и составляющие вектора скорости КА на произвольный момент времени. Любая математическая модель траектории обладает рядом постоянных параметров, знание которых делает возможным вычисление координат и скоростей КА.

Рассмотрим кратко классификацию моделей движения КА и соответствующих им параметров. На движение КА оказывают влияние большое число сил разной физической природы. К наиболее существенным можно отнести силу гравитационного поля Земли; центробежную силу; силу гравитационных полей Солнца, Луны и планет; силу давления солнечного света. Для низкоорбитальных спутников необходимо учитывать влияние атмосферы. Конечно, основной силой является сила гравитационного поля Земли. Но это поле нецентрально и является очень сложной функцией координат точек пространства. Поэтому эту функцию аппроксимируют с помощью ряда из сферических гармоник. Наиболее точные аппроксимации содержат до нескольких сотен гармоник.

Самым общим способом точного описания движения КА является использование систем дифференциальных уравнений. Чем большее число сил, действующих на КА в полете, учитывается при составлении этих дифференциальных уравнений, тем более точной является модель. Но одновременно с этим растет и сложность модели, а вместе со сложностью растут требования к вычислительным ресурсам, необходимым для практического использования модели.

В качестве сведений о траектории своего движения спутники навигационных систем

передают параметры некоторой модели этого движения. Приемник потребителя выделяет эти параметры и на их основе рассчитывает координаты и составляющие вектора скорости каждого спутника на нужный момент. Однако сколь бы точной ни была та или иная модель, она может описывать реальное движение КА с достаточной точностью лишь на ограниченном интервале времени. Желание увеличить длительность этого интервала приводит к усложнению модели. На практике длительность интервала времени, на котором модель описывает движение с достаточной точностью, и сложность модели всегда выбираются из компромиссных соображений. Так, например, в центрах управления системой с помощью очень сложной модели движение КА прогнозируется вперед на сутки с точностью в несколько метров. Но использовать столь же сложную модель в навигационных приемниках невозможно из-за ограниченности их вычислительных ресурсов. Поэтому рассчитанная в центре управления точная прогнозная траектория КА разрезается на интервалы аппроксимации длительностью порядка 1 часа. В центре этих интервалов располагают узловые моменты времени, на которые рассчитывают наборы параметров некоторой более простой модели движения, принимаемой как стандарт в системе. Эта более простая модель используется в приемниках для вычисления координат спутников. Точная траектория, интервалы аппроксимации, узловые моменты и траектории, восстанавливаемые в приемнике на каждом интервале аппроксимации, показаны на рис 6.



Рис. 6. Интервалы аппроксимации.

Помимо параметров более простой модели движения в набор данных, соответствующих каждому интервалу аппроксимации, включают параметры модели смещения шкалы времени спутника относительно шкалы системы на этом же интервале. Наборы данных такого типа принято называть оперативной, или эфемеридной, информацией. Заранее рассчитанные для каждого интервала аппроксимации наборы эфемеридных данных по линии связи закладываются в память бортового компьютера КА. Пока КА движется в пределах некоторого интервала аппроксимации, он непрерывно излучает набор эфемеридных данных, соответствующих этому интервалу. После завершения передачи всего набора данных его передача повторяется. Как только КА переходит в новый интервал аппроксимации, он начинает излучать новый набор эфемеридных данных. Для вычисления координат и составляющих вектора скорости КА приемник всегда использует самый свежий набор эфемеридных данных, сообщаемых спутником.

Помимо эфемеридных данных каждый спутник дополнительно сообщает данные так называемого альманаха. Альманах состоит из параметров более грубых моделей движения спутников и моделей смещения их шкал времени, которые справедливы, однако на гораздо более длительных интервалах времени: порядка нескольких недель. Используются данные альманаха в основном для вспомогательных целей, таких, например, как определение спутников, находящихся в зоне видимости приемника в текущий момент, предсказание появления новых спутников в зоне видимости, приближенный расчет фазы кодового сигнала и доплеровского смещения несущей

частоты нового спутника, для облегчения поиска и захвата его сигнала и т.д. Эфемеридные данные каждый спутник передает только о себе. Данные альманаха каждый спутник передает о всех спутниках системы, работоспособных в данный период времени. Таким образом, приняв сигнал с единственного спутника, приемник получает возможность облегчить поиск и захват сигналов всех остальных спутников, находящихся в данный момент в его зоне видимости.

Структура сигналов, излучаемых спутниками

Основное назначение сигналов, излучаемых спутниками, - это передача сообщений о показаниях спутниковых часов на каждый текущий момент времени. Для этого спутники излучают специальные кодовые сигналы, фаза которых равна фазе сигнала синхронизации спутниковых часов. Помимо основной функции, спутниковые сигналы должны нести информацию об эфемеридах спутников и альманахе системы. Дополнительно структура спутниковых сигналов должна удовлетворять следующим требованиям:

- сигналы, принимаемые от разных спутников, должны эффективно разделяться в приемнике;

- для высокоточных местоопределений структура спутниковых сигналов должна обеспечивать возможность устранения ионосферных искажений в параметрах принимаемых сигналов.

Сигналы, удовлетворяющие всем этим требованиям, имеют достаточно сложную структуру. Каждый спутник в ГЛОНАСС и GPS излучает фазоманипулированные сигналы на двух несущих частотах, т.е. организован разнесенный по частоте прием. Совместная обработка измерений на этих частотах позволяет исключить влияние ионосферных искажений на оценку параметров принимаемых сигналов, оценивать сами ионосферные искажения либо проводить совместную оценку параметров сигналов и ионосферных искажений.

Несущие сигналы, излучаемые каждым спутником, лежат в разных частотных диапазонах, обозначаемых символами L1, L2.

В ГЛОНАСС и GPS предоставляется разный уровень точности местоопределения для гражданских и военных потребителей. Для этого спутники в диапазоне L1 излучают два несущих сигнала на одной и той же частоте, сдвинутых по фазе друг относительно друга на 90°. Для передачи сообщений о показаниях спутниковых часов на первой несущей в диапазоне L1 используется грубый код. Для второй несущей на той же частоте в диапазоне L1 используется точный код. В диапазоне L2 для этих же целей в обеих системах используются точные коды. Используя векторное обозначение, несущие сигналы произвольного спутника можно изобразить в виде диаграммы рис. 7.

Разделение спутниковых сигналов в приемнике в системах ГЛОНАСС и GPS основано на разных принципах. В ГЛОНАСС используется частотное разделение. Это означает, что каждый спутник излучает сигнал на двух только ему присущих несущих частотах. Номинальные значения этих частот соответственно для диапазонов L1 и L2 определяются следующими выражениями

$$f_{k1} = f_1 + k \cdot \Delta f_1,$$

$$f_{k2} = f_2 + k \cdot \Delta f_2,$$

где $k = 1 \div 24$ - номера литеров (частотных каналов) спутников;

$$f_1 = 1602 \text{ МГц}, \quad \Delta f_1 = \frac{9}{16} \text{ МГц} = 0.5625 \text{ МГц},$$

$$f_2 = 1246 \text{ МГц}, \quad \Delta f_2 = \frac{7}{16} \text{ МГц} = 0.4375 \text{ МГц}.$$



Рис. 7. Векторная диаграмма несущих сигналов СРНС.

В предстоящей модификации системы ГЛОНАСС предполагается, что спутники, располагающиеся на орбитах диаметрально противоположно относительно центра Земли, будут излучать на одинаковых частотах. Одновременный прием сигналов от таких спутников в любой точке на поверхности Земли невозможен, что позволяет вдвое сократить диапазон частот, занимаемый сигналами ГЛОНАСС. До 2005 года предполагалось использовать литеры $k = 1 \div 12$, после 2005 года используются литеры $k = -7 \div +4$.

Грубый код в системе ГЛОНАСС называют кодом стандартной точности (СТ). Он одинаков для всех спутников системы и представляет собою периодическую псевдослучайную последовательность максимальной длины с периодом 1 мс. На периоде располагается 511 элементарных импульсов, длительностью $\tau_s = 1000/511 \approx 1.9569$ мкс. Таким образом, тактовая частота синхронизации генератора кода СТ в системе ГЛОНАСС равна 0.511 МГц. Для передачи навигационных сообщений используется последовательность двоичных импульсов цифровой информации длительностью 20 мс. Фазовая манипуляция первой несущей в диапазоне L1 осуществляется двоичной последовательностью, образуемой суммированием по модулю два трех сигналов [1]:

- импульсов навигационного сообщения спутника (рис. 8а),
- вспомогательного меандрового сигнала с длительностью импульсов 10 мс (рис. 8б),
- периодически повторяющегося псевдослучайного кода СТ (рис. 8г).

Через каждые две секунды в потоке цифровой информации навигационного сообщения системы ГЛОНАСС передается специальный стандартный сигнал метки времени (на рис. 8 не показан). Длительность импульсов сигнала метки времени 10 мс. Каждая 15-я метка в навигационном сообщении сопровождается оцифровкой, т.е. показаниями спутниковых часов на момент ее излучения.

Точный код в системе ГЛОНАСС называют кодом высокой точности (ВТ). Структура этого кода является закрытой. В этой связи структура сигнала ГЛОНАСС на второй несущей частоте в диапазоне L2 и в диапазоне L1 здесь не рассматривается.

В GPS для разделения спутниковых сигналов используется кодовый принцип. Это означает, что каждый спутник излучает индивидуальные, только ему присущие, грубый и точный коды, а частоты несущих сигналов в диапазонах L1 и L2 равны соответственно

$$f_{L1} = 1575.42 \text{ МГц},$$

$$f_{L2} = 1227.6 \text{ МГц}$$

и являются одинаковыми для всех спутников.

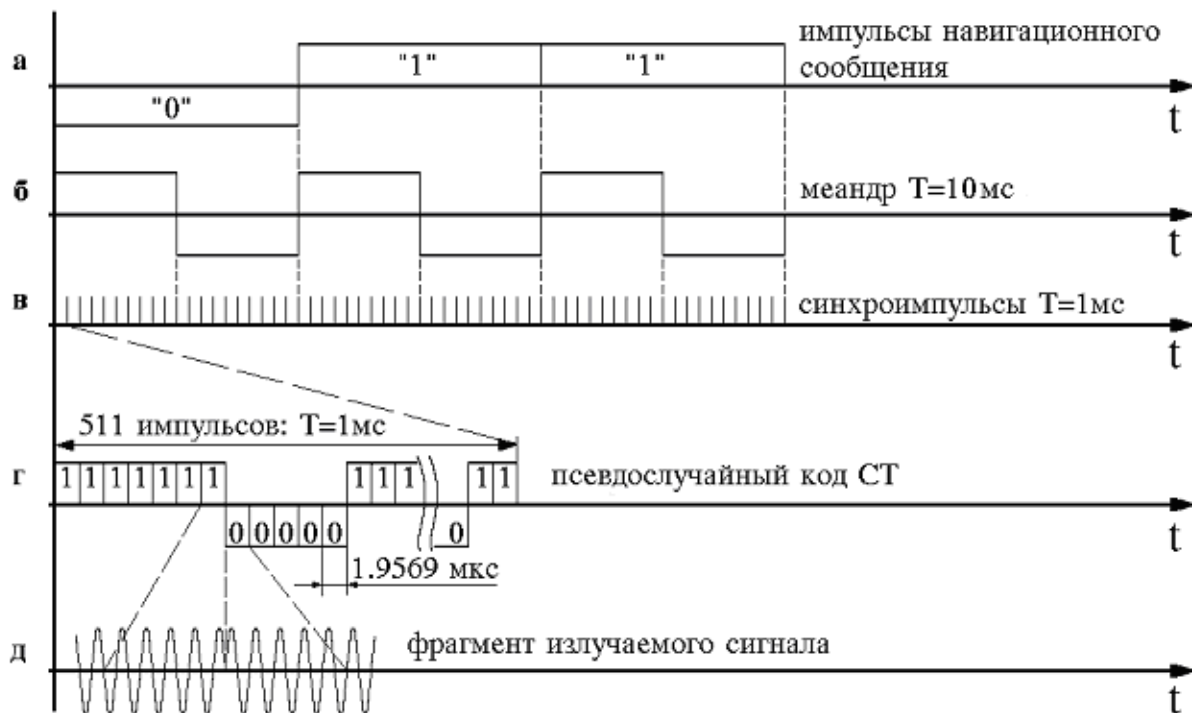


Рис. 8. Структура сигнала ГЛОНАСС.

Грубые коды спутников в GPS называют C/A (coarse/acquisition) кодами. Они обладают достаточно хорошими взаимнокорреляционными свойствами и относятся к классу так называемых кодов Голда [2]. Хорошие взаимнокорреляционные свойства позволяют эффективно разделять в приемнике сигналы, приходящие от разных спутников. C/A коды являются периодическими двоичными последовательностями с периодом 1 мс. На периоде располагается 1023 элементарных импульса, длительностью $\tau_s = 1000/1023 \approx 0.9775$ мкс. Таким образом, тактовая частота синхронизации генератора C/A кода системе GPS равна 1.023 МГц. Внешне коды Голда напоминают псевдослучайные последовательности рис. 4.2г, однако порядок следования "1" и "0" на периоде в этих кодах, конечно, иной. Для передачи навигационных сообщений в системе так же используется последовательность двоичных импульсов цифровой информации длительностью 20 мс. Фазовая манипуляция первой несущей в диапазоне L1 осуществляется двоичной последовательностью, образуемой суммированием по модулю два двух сигналов:

- импульсов навигационного сообщения спутника (аналогично рис. 8а),
- периодически повторяющегося псевдослучайного C/A кода (аналогично рис. 8г).

Через каждые шесть секунд в потоке цифровой информации навигационного сообщения системы GPS передается специальный стандартный сигнал метки времени. Метка содержит 8 двоичных импульсов длительностью 20 мс. Каждая метка времени в навигационном сообщении GPS сопровождается оцифровкой, т.е. показаниями спутниковых часов на момент ее излучения.

Точные коды в системе GPS называют P (precision) кодами. Длительность элементарных импульсов этих кодов в 10 раз меньше длительности элементарных импульсов C/A кодов и равна $\tau_s \approx 0.09775$ мкс. Структуры P кодов открыты. Однако перед излучением P коды подвергается засекречиванию специальным закрытым W-кодом и в результате излучаются закрытые Y коды. В этой связи структура сигнала GPS на второй несущей частоте в диапазоне L2 и в диапазоне L1 здесь не рассматривается.

ОПИСАНИЕ ПРИЕМНИКА ИЗУЧАЕМОГО В ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

НАЗНАЧЕНИЕ

Современные навигационные приемники ГЛОНАСС и GPS (NAVSTAR) предназначены для всепогодного высокоточного определения координат и составляющих вектора скорости навигационного приемника в любое время суток, в любой точке Земли и околоземного пространства. Обе системы используют беззапросный метод измерений. Поэтому количество потребителей каждой из систем неограниченно.

Ниже приведены основные технические характеристики изучаемого приемника EURO-GG.

Технические характеристики навигационного приемника EURO-GG

Описание	40 канальный интегрированный GPS/ГЛОНАСС приемник
Спутниковые каналы Стандартно Обработываемые сигналы	20 GPS L1 + ГЛОНАСС (GG), L1 C/A код GPS и ГЛОНАСС
Точностные характеристики Автономный режим DGPS Статика RTK Холодный старт Горячий старт Повторный старт	< 6 м < 1 м 5мм + 1,5мм/км (L1) 15мм + 2мм/км (L1) < 60 с < 10 с < 1 с
Питание Вход внешнего питания Энергопотребление	От 4 до 14 В постоянного тока Менее 2,4 Вт
Интерфейс и связь Интерфейсные порты, RS-232C Другие интерфейсные сигналы	4 порта 1PPS, Маркер события
Вход/Выход данных Выход данных реального времени (бинарный) ASCII (текстовый) выход Другие выходы (бинарный и текстовый) Частота выхода данных	RTCM SC104 ver. 2.1, 2.2, 2.3, CMR, CMR+ NMEA 0183 ver. 3.0 Формат JPS До 20 раз в сек (20 Гц)
Физические характеристики Температура эксплуатации, °C Температура хранения, °C Размеры, мм Вес, г	от -40 до +75 от -45 до +85 100 X 80 X 14.3 94

Автономный режим позиционирования применяют для непосредственного получения абсолютных координат определяемого объекта с относительно низкой точностью (в метровом диапазоне). Область применения технологии автономного позиционирования может включать: проведение рекогносцировочных работ; получение предварительных координат определяемых объектов; контроля исходных данных, используемых в последующей обработке (координат навигационных спутников, значений кодовых псевдодальностей и т.д.); синхронизации и оценки равномерности шкалы времени

аппаратуры потребителя; развитие специальных геодезических сетей военного назначения.

Методы автономного позиционирования различают по режиму использования измерительной информации (режим разового позиционирования; режим накопительного позиционирования). Оптимальный метод выбирается с учетом характеристик используемой аппаратуры потребителя и требований к точности позиционирования и продолжительности наблюдений на определяемом объекте. Для повышения точности позиционирования при наличии времени для проведения наблюдений следует использовать метод накопительного позиционирования.

Точность автономного позиционирования оценивают с учетом следующих основных помехообразующих факторов: погрешностей эфемерид наблюдаемых спутников ГНСС; погрешностей привязки навигационного сигнала к бортовой шкале времени навигационного спутника; инструментальных погрешностей аппаратуры потребителей; влияние внешней среды на распространение радиосигнала.

DGPS или дифференциальное позиционирование применяют для получения абсолютных координат определяемого объекта на метровом уровне точности с использованием дифференциальных поправок, которые получают в исходном пункте, передают по каналу связи на определяемый объект и вводят в измеренные значения псевдодальности.

Область применения технологии дифференциального позиционирования, как правило, ограничивается развитием специальных геодезических сетей военного назначения. Дифференциальные поправки вычисляются как разности между измеренными значениями псевдодальности в исходном пункте и значениями расстояний между приемником и спутниками, вычисленным по известным значениям координат исходного пункта и бортовым эфемеридам спутника. Возможные методы дифференциального позиционирования различают по режиму учета дифференциальных поправок (режим реального времени, режим постобработки). Применение методов дифференциального позиционирования нормируется с учетом максимально допустимого удаления определяемого объекта от исходного пункта, в пределах которого изменение дифференциальных поправок можно считать несущественным.

Относительное позиционирование применяют для определения взаимного положения исходного пункта и определяемого объекта на сантиметровом и более высоком уровне точности, в зависимости от используемого метода позиционирования.

Возможные методы относительного позиционирования для выполнения геодезических и землеустроительных работ различают по следующим признакам:

по виду используемой измерительной информации (кодовые измерения, фазовые измерения)

по режиму получения и обработки измерительной информации (статический метод, ускоренный статический метод, псевдостатический метод, псевдокинематический метод, относительный метод реального времени).

Точность относительного позиционирования характеризуют величиной среднеквадратической погрешности (СКП) приращений координат между определяемым объектом и исходным пунктом. При оценке точности принимают во внимание особенности используемого метода позиционирования, тип используемой аппаратуры потребителей, удаленность определяемого объекта от исходного пункта, интервал времени синхронных наблюдений и условия видимости спутников.

Нормирование применения методов относительного позиционирования осуществляют исходя из требуемой точности определения координат и допустимых затрат времени на выполнение работ. При этом учитывают, что наиболее высокую точность относительного позиционирования обеспечивает статический метод фазовых измерений, который вместе с этим является наименее производительным – обычно для его реализации требуется проведение сеансов наблюдений продолжительностью от одного часа до нескольких часов. Повышение производительности относительного позиционирования может достигаться, при некотором снижении точности, путем

использования альтернативных методов – ускоренного статического метода, псевдостатического метода, псевдокинематического метода, относительного метода реального времени.

Статика или статический метод обеспечивает получение разностей координат одного или нескольких определяемых объектов и исходного пункта с использованием аппаратуры потребителей, стационарно размещаемой на этих объектах. Данный метод применяют для получения разностей координат определяемого объекта и исходного пункта с повышенной точностью (в режиме фазовых измерений), как правило, при отсутствии жестких ограничений по времени синхронных наблюдений навигационных спутников.

РТК или Относительный метод реального времени предусматривает оперативную передачу данных наблюдений с исходного пункта на определяемый объект по каналу связи, например, с использованием радиомодема. Эти данные оперативно обрабатывают совместно с измерениями, выполненными на определяемом объекте, что обеспечивает получение приращений координат определяемого объекта относительно исходного пункта с сантиметровой точностью в режиме, близком к реальному времени.

Холодным стартом называется включение устройства, при котором скачивается альманах, содержащий параметры орбит всех спутников. Каждый спутник передает альманах для всех спутников. Данные альманаха являются приблизительными и действительны в течение несколько месяцев. Включившись, например, после месячного перерыва, GPS-приемник выполнит холодный старт. Эту процедуру можно также запустить, если выключенный GPS-приемник был перемещен на значительное расстояние — например, при перелете на другой континент.

Горячий старт происходит, если альманах не устарел, но устарели эфемериды (Более точные данные о положении спутника, передаваемые каждым аппаратом только для самого себя). В ходе этой процедуры обновляются только эфемериды. Период обновления эфемерид — от 30 мин до 6 ч (зависит от спутника).

Повторный старт выполняется после кратковременного выключения GPS-приемника. Данные альманаха и эфемерид не устарели, поэтому приемник сразу может использовать сигнал всех ранее найденных спутников.

PPS (Pulse Per Second) – это сигнал точной временной синхронизации приемника или секундная метка (1PPS) – импульсный сигнал прямоугольной формы, полярность положительная, период повторения 1 с, длительностью 2 мкс, амплитуда $3,0 \pm 0,5$ В, сопротивление входа/выхода 50 Ом.

Маркер события (Event Marker) – позволяет сохранить в памяти приемника точное время и координаты наступления некоего события, связанного с устройством, подключенным к этому входу. Например, момент срабатывания затвора камеры будет точно привязан ко времени и координатам, когда был сделан снимок. Применяется широко в аэрофотосъемке и в других приложениях, требующих регистрации события.

RTCM, CMR, CMR+, NMEA, JPS – стандарты отображения и представления информации, используемой при различных методах позиционирования.

УПРОЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА

Независимо от типа системы (GPS/ГЛОНАСС) и частотного диапазона (L1/L2 и др.), в структуре навигационного приемника можно выделить два основных модуля: радиочастотный блок и цифровой вычислитель (рис. 11)

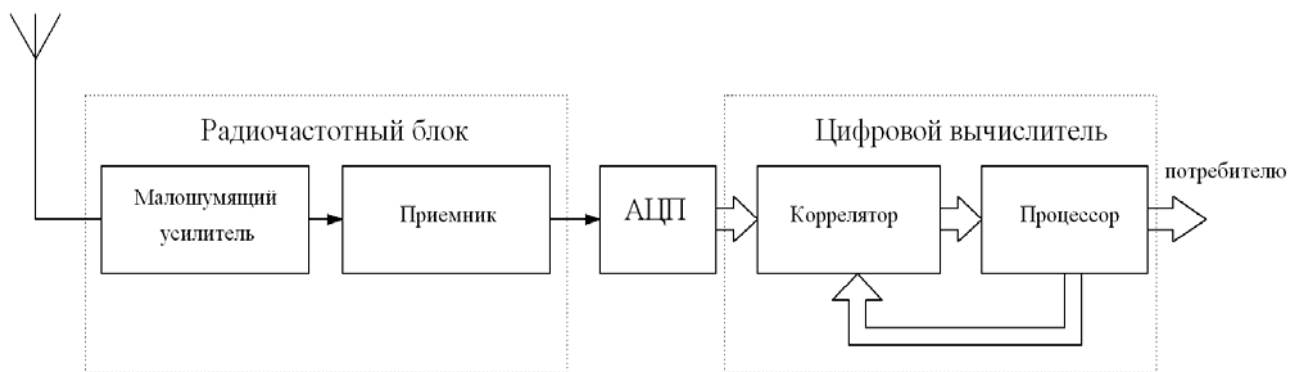


Рис.11. Упрощенная структурная схема навигационного приемника

Радиочастотный блок состоит из преселектора, представляющего собой малошумящий усилитель, совмещенный конструктивно с антенной, и приемника, размещаемого на одной печатной плате с цифровым вычислителем.

Цифровой вычислитель, в свою очередь, состоит из заказной интегральной микросхемы (ASIC), на которой построены корреляторы и процессора, в котором собственно решается навигационная задача и формируются управляющие сигналы для ASIC.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РАДИОЧАСТОТНОЙ ЧАСТИ ПРИЕМНИКА

Сигналы от GPS и ГЛОНАСС принимаются на одну антенну, объединенную конструктивно с преселектором. Входной сигнал поступает на вход полосового ПАВ-фильтра с центральной частота фильтра 1590MHz и полосой пропускания BW 50MHz, далее усиливается на 30 дБ в МШУ и проходит через еще один ПАВ-фильтр.

Сигналы от системы GPS поступают на центральной частоте 1575,42MHz в полосе 20,46MHz. Сигналы от системы ГЛОНАСС - в диапазоне от 1598,0625 MHz до 1605,375MHz.

Приемники GPS и ГЛОНАСС сигнал выполнены по классической супергетеродинной схеме с двукратным преобразованием частоты (Рис. 12). С выхода преселектора, далее сигнал разветвляется на два канала: канал GPS и канал ГЛОНАСС. В канале GPS сигнал усиливается, пропускается через полосовой фильтр с центральной частотой 1575MHz и полосой 30MHz и далее преобразуется по частоте в ПрЧ₁, т.е. с частоты 1575,42MHz спектр сигнала переносится на первую промежуточную частоту 175,42MHz (частота гетеродина 1400MHz). Сигнал на первой промежуточной частоты поступает на вход фильтра с центральной частотой 174MHz и полосой пропускания 22MHz, усиливается и преобразуется по частоте в ПрЧ₂. С частоты 175,42MHz спектр сигнала переносится на вторую промежуточную частоту 13,42MHz (частота гетеродина 162MHz). Сигнал на второй промежуточной частоты отфильтровывается, квантуется по уровню и поступает в ASIC. ASIC - это специализированная интегральная микросхема выполняющая роль многоканального цифрового коррелятора.

Аналогичное преобразование выполняются в канале ГЛОНАСС. В канале ГЛОНАСС сигнал усиливается, пропускается через ПАВ-фильтр с центральной частотой 1603MHz и полосой 25MHz и преобразуется по частоте в ПрЧ₁. С частоты 1604MHz спектр сигнала переносится на первую промежуточную частоту 174MHz (частота гетеродина 1430MHz). Сигнал на первой промежуточной частоты проходит через фильтр с центральной частотой 174MHz и полосой 22MHz, усиливается и преобразуется по частоте ПрЧ₂. С частоты 174MHz спектр сигнала переносится на вторую промежуточную частоту 12MHz (частота гетеродина 162MHz). Сигнал второй промежуточной частоты фильтруется, квантуется по уровню и поступает на вход ASIC, в котором осуществляется его цифровая обработка.

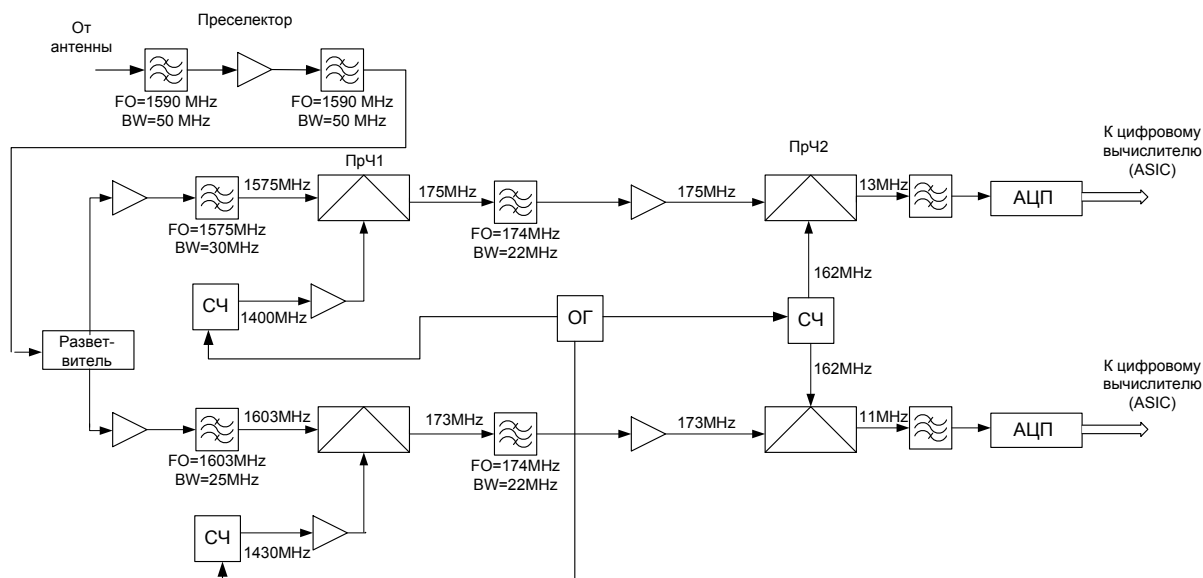


Рис. 12. Структурная схема радиочастотного блока EURO-GG

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка включает следующее оборудование (рис.13):

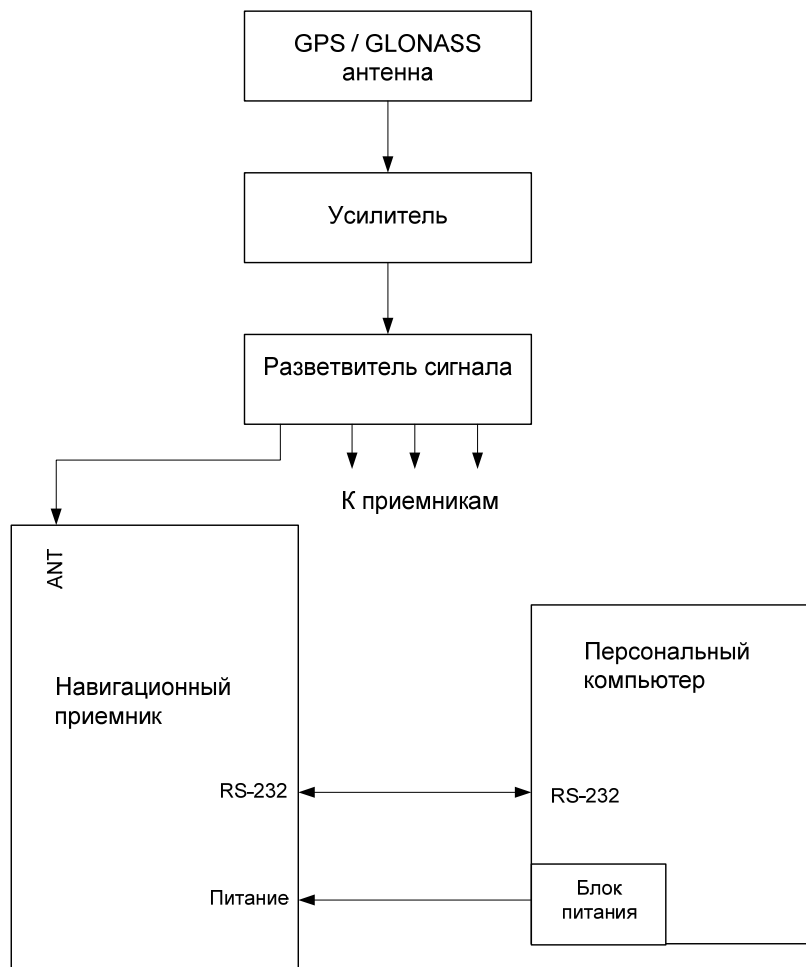


Рис. 13. Структурная схема лабораторной установки

- антенна
- антенный малошумящий линейный усилитель
- разветвитель – служит для использования одного радиочастотного сигнала в нескольких устройствах
- навигационный приемник, подключенный к антенне через разветвитель и усилитель.
- персональный компьютер, на котором установлено ПО PCView, предназначенной для вывода статусной информации, управления приемником, записи файлов данных и пр. Связь компьютера и приемника осуществляется через последовательный RS-232 интерфейс.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторная работа выполняется на компьютере с использованием специализированного программного обеспечения PCView. Включить программу PCView, в появившемся окне (рис. 14) нажать кнопку Connect.

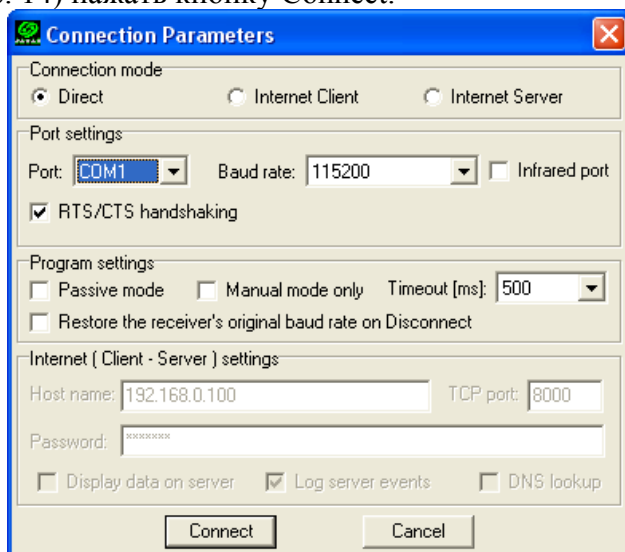


Рис. 14. Окно подключения программы PCView

После подключения программы к приемнику через RS-232 на мониторе появляется главное окно программы (рис. 15).

Окно программы PCView визуально разделено на три части:

- левое поле содержит сведения о найденных спутниках GPS
- правое поле содержит сведения о найденных спутниках GLONASS
- поле посередине содержит основную информацию: координату, время, скорость.

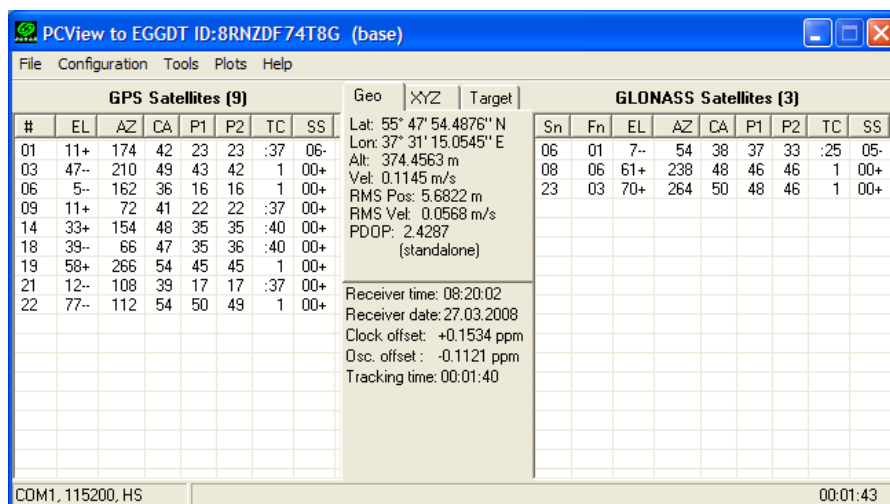


Рис. 15. Главное окно программы PCView

Над полями расположено меню команд (рис. 16).

File Configuration Tools Plots Help

Рис. 16. Меню команд

1. Рассмотрим поле с информацией о спутниках GPS [7].

Параметры, выводимые на экран в полях информации о спутниках GPS и GLONASS, расшифрованы ниже в таблице 1:

Таблица 1

#	Номер спутника в системе GPS. Символ «*», стоящий рядом с номером спутника, значит, что альманах еще не собран.
Sn	Номер спутника в системе ГЛОНАСС. Символ «*», стоящий рядом с номером спутника, значит, что альманах еще не собран.
Fn	Номер частотного диапазона (для ГЛОНАСС).
EL	Угол возвышения (в град.), то есть угловая высота спутника над горизонтом. Знаки «+» и «-», следующие за углом возвышения, сообщают, что спутник поднимается (+) или опускается (-). Если спутник находится в зените, угол возвышения помечен знаком «^».
AZ	Азимут (в град.) - угол между направлением на север и проекцией на горизонт положения спутника.
CA	Отношение сигнал/шум в канале C/A (дБ*Гц)
P1	Отношение сигнал/шум в канале P1 (дБ*Гц)
P2	Отношение сигнал/шум в канале P2 (дБ*Гц)
TC	Время от начала слежения за спутником. Время дано в минутах, или в секундах, если перед цифрой в столбце стоит знак «:».
SS	Статус спутника. Для более подробной информации смотри таблицу 2. Если спутник используется в определении координаты, он обозначен знаком «+», иначе «-».

Значения навигационного статуса приведены в таблице 2.

Таблица 2

00	Измерения по CA коду используются для определения местоположения
01	Измерения по P-коду на частоте L1 используются для определения местоположения
02	Измерения по P-коду на частоте L2 используются для определения местоположения
03	Для вычисления местоположения используется комбинация измерений, свободных от влияния ионосферы
04	Измерения недоступны
05	Эфемериды недоступны
06	Непригодный спутник
07	Частотно-временные параметры, передаваемые в составе оперативной информации, могут быть неверными (**)
08	Навигационные данные ГЛОНАСС могут быть ошибочными (**)
09	Признак пригодности/непригодности спутника для использования в сеансах навигационных определений недоступен (**)
10	Спутник не пригоден для использования в сеансах навигационных определений (в соответствии с альманахом) (**)
11	Установлен флаг "Alert" (*)
12	Отсутствует значение прогнозируемой точности определения дальности от потребителя до данного спутника (*)
13	Спутник исключен из вычисления местоположения пользователем

14	Спутник с данным номером частоты исключен из вычисления местоположения пользователем (**)
15	Спутник исключен из решения, т.к. его системный номер неизвестен (**)
16	Спутник имеет угол возвышения ниже, чем угол, определенный пользователем
17	Запасной код
18	Эфемериды устарели
19	Спутник не принадлежит к системе, выбранной пользователем
20	Спутник не используется в режиме DGPS
21	Запасной код
22	Механизм RAIM обнаружил аномальные измерения
23	Отношение сигнал-шум меньше заданного минимального значения
24, 25	Запасные коды
26	В петле ССЗ не закончились переходные процессы
27	Ионосферные поправки, передаваемые опорной станцией, не получены
28	Обнаружены аномальные измерения
29	Запасной код
30,31	Спутник не используется в режиме RTK
32-50	Запасные коды
51	CA код используется в режиме RTK
52	P L1 код используется в режиме RTK
53	P L2 код используется в режиме RTK
54	P L1 и L2 коды используются в режиме RTK
55	CA и P L2 коды используются в режиме RTK
56-62	Запасные коды
63	Код спутника не определен

(*) только для GPS, (**) только для ГЛОНАСС

Значения 0-3 и 45-62 показывают, какие измерения используются для определения местоположения. Остальные показывают, по какой причине спутник был исключен из вычисления местоположения.

2. Из столбца с геодезической информацией перепишите определенную приемником координату.

Lat – Latitude – Широта;

Lon – Longitude – Долгота;

Alt – ellipsoidal height – Высота над уровнем моря.

Из-за ошибок измерения каждую секунду приемник определяет разную координату, что приводит к мнимому движению и появлению скорости:

Vel – скорость движения объекта.

Перепишите в отчет мнимую скорость.

Следующие важные параметры, находящиеся в окне геодезической информации, это: PDOP, RMS Pos., Clock offset и Osc. Offset.

PDOP – Position dilution of precision – значение фактора снижения точности при определении положения в пространстве.

Также об ошибке измерений можно судить по значению параметра RMS Pos., которое представляет собой среднеквадратическое отклонение текущего измерения от предыдущего.

Clock offset – отклонение тактовой частоты приемника от тактовой частоты спутника;

Osc. offset – отклонение частоты кварца в приемнике от системной частоты,

формируемой на спутнике.

Навигационный приемник определяет текущее значение Всеобщего Скоординированного Времени (UTC).

3. Открыть окно графического представления спутников: в строке меню выбрать Plots, затем Satellites.

На экране появится рисунок, иллюстрирующий положение спутников на небе (рис 17).

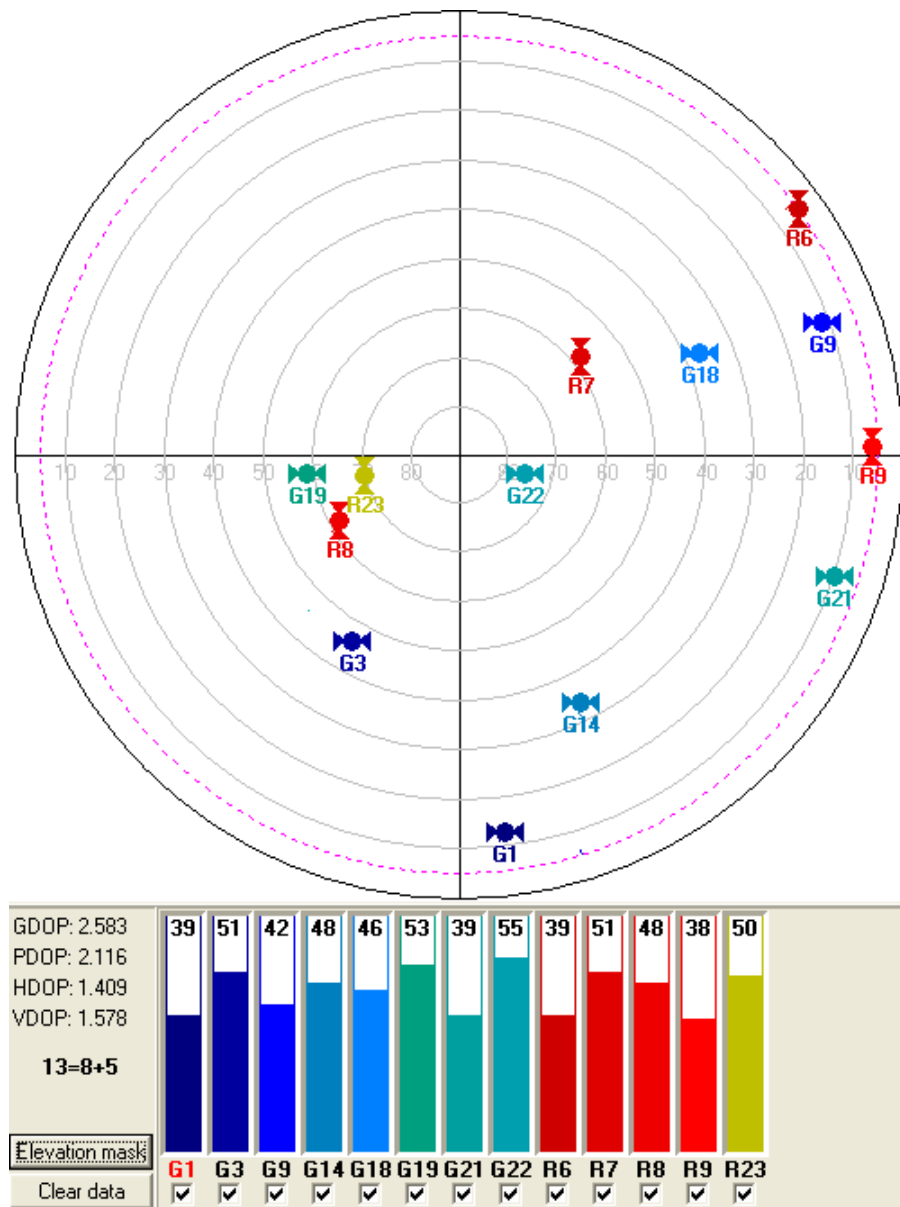


Рис. 17. Графическое представление спутников

Каждая concentрическая окружность представляет собой угол возвышения над горизонтом. Окружность, дальняя от центра – 0 градусов над горизонтом, центр диаграммы – 90 градусов, точка зенита.

Окружность, нарисованная пунктиром, показывает положение угла возвышения или Elevation Mask. Спутники, чей угол возвышения меньше указанного Elevation Mask, не участвуют в определении координаты.

Гистограмма под рисунком иллюстрирует отношения сигнал-шум для каждого наблюдаемого спутника.

Чтобы вывести на экран информацию для конкретного спутника, следует нажать на изображение нужного спутника левой кнопкой мыши. Параметры GDOP, PDOP, HDOP,

VDOP будут рассмотрены в следующих лабораторных работах данного цикла.

4. Рассмотрим связь между возвышением спутника, отношением сигнал-шум и допустимой неточностью в определении координаты.

Из поля с геодезической информацией перепишите значение RMS Pos (см. рис.15).

По гистограмме или по значениям в столбце CA выберите 4 спутника с наибольшим отношением сигнал-шум (Сортировка по столбцу производится при нажатии на заголовок столбца). Запишите номера спутников, их возвышение и CA.

Для выбора спутников, с помощью которых приемник считает координату, необходимо в строке меню выбрать Configuration, затем Receiver. В открывшемся окне выбрать закладку Positioning. (рис.18).

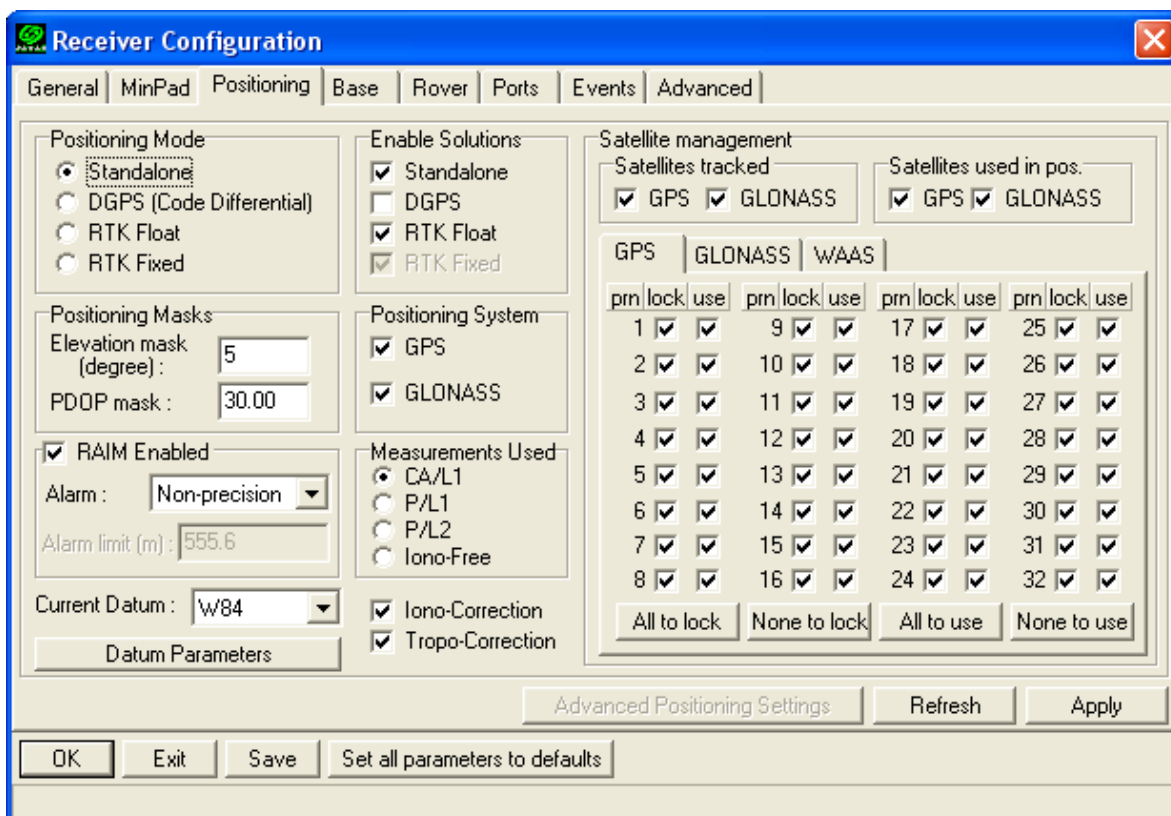


Рис.18. Окно конфигурации приемника

В правой части окна выбрать закладку GPS. В графе lock оставить галочки напротив четырех выбранных спутников – приемник продолжит слежение за этими спутниками. В графе use также оставить галочки напротив выбранных спутников. Они будут использоваться для расчета координаты.

Нажать Apply и затем OK.

После того, как приемник пересчитал текущее местоположение, следует снова переписать значение RMS Pos (см. рис.15).

Затем выберите 4 спутника с наименьшим отношением сигнал-шум, запишите их данные. Пересчитайте координату с использованием информации с этих спутников. Перепишите в отчет значение RMS Pos (см. рис.15).

Сделайте выводы о связи значений угла возвышения и отношения сигнал-шум с допустимой ошибкой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Назовите основные подсистемы СРНС и их назначение
2. Охарактеризуйте основные параметры орбиты КА GPS?
3. Охарактеризуйте основные параметры орбиты КА ГЛОНАСС?
4. Дайте определения основных моделей движения космических аппаратов
5. Какие технические устройства относят к подсистеме потребителей?
6. Какая информация заложена эфемеридах?
7. Чем альманах отличается от эфемерид?
8. Выделите основные сходства и отличия структуры сигналов систем GPS и ГЛОНАСС
9. Дайте определение и укажите область применения и точность автономного режима
10. Дайте определение и укажите область применения и точность DGPS
11. Дайте определение и укажите область применения и точность RTK
12. Сформулируйте основное назначение и область применения приемника СРНС EURO-GG
13. Что такое холодный старт приемника и чем он отличается от горячего старта?
14. Охарактеризуйте назначение сигналов PPS и Event Marker
15. Опишите основные особенности архитектуры построения современных приемников GPS/ГЛОНАСС
16. Как устроен преселектор приемника EURO-GG? В чем его основная особенность?
17. Опишите подробно структуру построения GPS тракта приемника
18. Что такое ASIC и какова его роль в аппаратуре потребителя?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ

1. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ (редакция 5). – М.: Координационный научно-информационный центр, 2002
2. Interface specification IS-GPS-200. Revision D; IRN-200D-001; 7 March 2006; Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces; By ARINC Engineering Services, LLC – USA, 2006.
3. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.
4. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Трендз, 2000.
5. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. Под ред. Харисова В.Н., Перова А. И., Болдина В. А. – М.: ИПРЖР, 1999
6. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. Под ред. Перова А. И., Харисова В. Н. – М.: Радиотехника, 2005.
7. PCView. Software Manual. - JNS, July, 2005
8. GNSS Receiver External Interface Specification. - JAVAD GNSS, April, 2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 58

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ
НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЯ СРНС GPS/ГЛОНАСС
Редактор Т.В. Ракова