

Лабораторный практикум

# Радионавигационные СИСТЕМЫ



Томск

Министерство образования и науки Российской  
Федерации

Томский Государственный Университет Систем  
Управления и Радиоэлектроники  
(ТУСУР)

Кафедра Радиотехнических Систем (РТС)

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой РТС  
\_\_\_\_\_ Г.С.Шарьгин  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

**Спутниковая Радионавигационная Система  
«Навстар» (GPS)**

Методические указания по выполнению лабораторной работы  
по курсу «Космические системы» для студентов  
радиотехнических специальностей

Разработчик:  
доцент кафедры РТС  
А.А. Мещеряков

Томск 2012

## **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Целью данной работы является изучение спутниковой навигационной системы второго поколения «Навстар» (GPS), в том числе приемной аппаратуры сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС); выполнение цикла измерений координат приемной антенны и анализ результатов измерений.

## **2. НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ**

Спутниковая радионавигационная система «Навстар» именуемая также GPS, предназначена, как и Российская система «ГЛОНАСС», для всепогодного, пассивного, непрерывного в реальном масштабе времени, глобального, высокоточного навигационно-временного обеспечения всевозможных потребителей на поверхности земли, в приземном и ближайшем космическом пространстве.

## **3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА**

Лабораторный макет построен на основе приемника GPS сигналов SCA-12S и персонального компьютера (ПК). Приемная аппаратура конструктивно состоит из полосковой антенны, высокочас-

тотного коаксиального кабеля, приемника сигналов с интерфейсом обмена данными RS-232.

Приемник выполняет следующие функции:

- Осуществляет прием и усиление высокочастотных сигналов по 12 каналам, отличающимся дальномерными кодами фазоманипулированного непрерывного сигнала;

- Производит выделение низкоскоростной цифровой информации по каждому каналу;

- Выполняет измерение временной задержки каждого из 12 дальномерных кодов относительно внутренней шкалы времени.

- Осуществляет выполнение сервисных операций, в том числе по планированию измерений.

- Производит расчет координат, скорости и времени.

ПК содержит необходимое программное обеспечение (ПО) для связи и работы GPS приемником: Trimble Office, Ashtech Evaluate.

Лабораторный макет размещен на инженерном столе. Кроме приемника и компьютера в макет входят: щиток включения, блок питания приемника и приборы контроля напряжений 12 и 220 В.

#### **4. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРИЕМНОЙ АППАРАТУРА СРНС «НАВСТАР»**

Каждый приемник, работающий по сигналам СРНС принимает сигналы навигационных спутников, обрабатывает их, производя необходимые измерения, расшифровывает навигационное сообщение и преобразует полученную информацию в значения координат, скорости движения и времени.

Для вычисления пространственных координат и времени ему обычно достаточно четырех спутников.

Современный приемник может быть разделен на пять главных устройств (рис. 1):

- 1) антенна и связанная с ней электроника;
- 2) радиочастотный блок с контурами слежения;
- 3) навигационный микропроцессор;
- 4) блок питания;
- 5) блок команд и контрольного дисплея.

Многие приемники также включают устройства для хранения данных и устройства ввода-вывода данных.



Рис. 1. Основные компоненты, общие для одноканальных GPS приемников

В комплект аппаратуры могут входить дополнительные устройства: накопители данных (контроллеры), радиомодемы, метеорологические системы, штативы, штанги, центриры, рулетки, кабели и т. п.

#### 4.1 АНТЕННЫ

Антенна GPS приемника предназначена для приема радиоволн с правосторонней круговой поляризацией на частотах L1 и/или L2 от выбранных спутников, находящихся выше горизонта. Антенна преобразует модулированные волны несущей частоты в электрический ток, содержащий стандартный и точный коды и модуляции потока данных навигационного сообщения. Сигналы, принятые

антенной, направляются через малошумящий предусилитель, который увеличивает их мощность, облегчая обработку последующими электронными устройствами. Полосовые фильтры в блоке предусилителя пропускают полезные сигналы и подавляют посторонние сигналы. Иногда предусилитель размещается в корпусе антенны, для его питания используется коаксиальный кабель, соединяющий антенну с приемником. Такие антенны называются активными.

Антенны для GPS измерений должны быть прочными, простыми по конструкции, иметь стабильные электрические фазовые центры, быть устойчивыми к многопутности и иметь хорошие характеристики диаграммы направленности, одинаковые во всех направлениях верхней полусферы.

Разработаны разнообразные типы антенн. Они включают монополярные и дипольные конфигурации, квадрифилярные (с намоткой в четыре нитки) спирали, спиральные завитки, щелевые и микрополосковые антенны.

Наиболее распространенными являются микрополосковые антенны из-за их жесткости, простоты конструкции, малой массы и размеров, простоты изготовления и дешевизны.

Антенна, выполненная на несимметричной полосковой линии, носит название полосковой резонансной антенны. Такая антенна (рис.2 а) состоит из полоскового проводника (1) и двух проводящих слоев, разделенных диэлектриком. Нижний проводящий слой (2) является заземленной плоскостью антенны. Верхний проводящий слой по форме похож на небольшой покрытый медью прямоугольный участок печатной платы. Изготовленные из одного или более элементов, отделенных от основы диэлектрической подложкой (3), микрополосковые антенны относят к пятновым антеннам. Они могут быть одно- и двухчастотными, а их исключительно низкий профиль делает их идеальными для многих применений. Часто плоскость заземления таких антенн выполняется в виде плоской или изогнутой металлической пластины, играющей роль отсекающего сигнала, отраженных от земной или водной поверхности, расположенной ниже горизонта антенны. Размеры отсекающего часто значительно превышают размеры самой антенны. Микрополосковые антенны имеют диаграмму направленности (рис.2 б), обеспечивающую всенаправленный прием сигналов с правосторонней поляризацией, что является дополни-

тельным средством для борьбы с многопутностью сигналов, так как при отражении сигналов СРНС изменяется их поляризация.

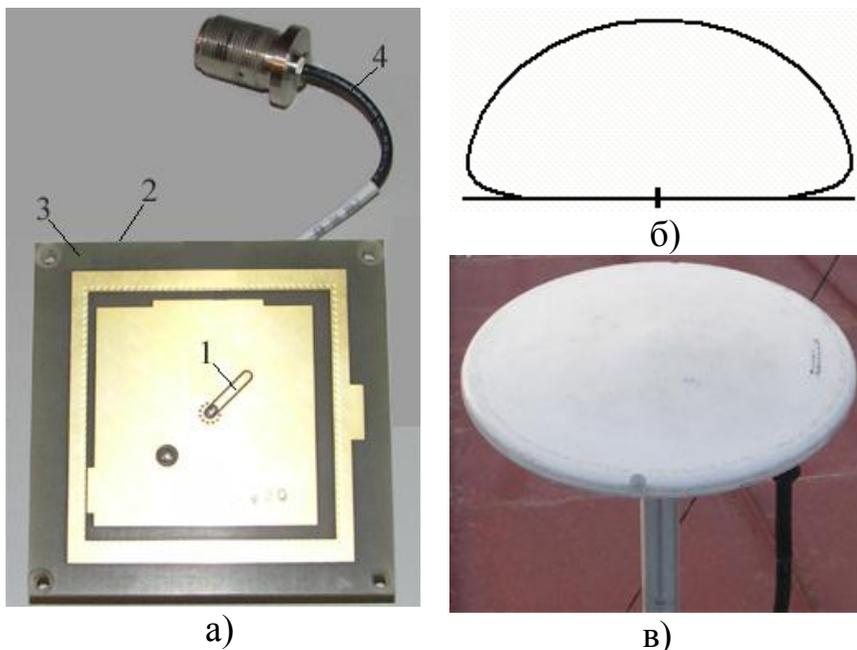


Рис. 2. Микрополосковая антенна: а) конструктивное исполнение; б) диаграмма направленности антенны; в) внешний вид

Обычно GPS антенны защищены от возможных повреждений пластиковым кожухом (куполом) из радиопрозрачной пластмассы (рис.2 в), которая минимально ослабляет сигналы.

Сигналы, принятые антенной, поступают в

приемник по коаксиальной линии передач (4) (кабелю) (рис.2 а). При прохождении сигналы ослабляются, степень ослабления (внутренние потери) зависят от типа и длины используемого кабеля. Для длинных линий передач необходимы кабели с малыми потерями, иначе между антенной и кабелем нужно ставить дополнительный малошумящий предусилитель.

Сигналы, проходя от антенны к приемнику, испытывают небольшую задержку. Однако эта задержка является одинаковой для сигналов, принятых одновременно от разных спутников, и поэтому она действует как дополнительное смещение шкалы часов приемника.

## **4.2 РАДИОЧАСТОТНЫЙ БЛОК**

Работа радиочастотного блока в GPS/ГЛОНАСС приемнике состоит в переводе радиочастоты (РЧ), прибывающей на антенну, на более низкую частоту, называемую промежуточной частотой (ПЧ), которой легче управлять в других блоках приемника. Основными элементами радиочастотного блока являются: генератор опорной частоты, умножители для получения более высоких частот, фильтры для подавления ненужных

частот и смесители.

Промежуточная частота получается путем перемножения в смесителе входного сигнала с чистым синусоидальным сигналом, генерируемым составной частью приемника, известной как вспомогательный генератор (гетеродин). Большинство спутниковых приемников используют точные кварцевые генераторы, выполняющие задачу регуляторов электронных часов. Некоторые приемники вместо локального генератора используют другие генераторы, такие, как атомные стандарты частоты.

В смесителе производится перемножение двух поступающих колебаний  $y_1, y_2$  с амплитудами  $a_1, a_2$  и различными частотами  $f_1, f_2$ . В упрощенном виде это дает:

$$y = y_1 y_2 = a_1 \cos(f_1 t) a_2 \cos(f_2 t) = \frac{a_1 a_2}{2} [\cos(f_1 - f_2)t + \cos(f_1 + f_2)t] \quad (1)$$

В результате получается сложное колебание  $y$  из низкочастотной  $f_1 - f_2$  и высокочастотной  $f_1 + f_2$  составляющих. После прохождения низкочастотного фильтра высокочастотная составляющая подавляется. Оставшийся сигнал с

низкой частотой обрабатывается. Разность частот  $f_1 - f_2$  называется частотой биений или промежуточной частотой (ПЧ). Она легче обрабатывается, чем сигналы с высокой частотой. Сигналы ПЧ содержат все модуляции, которые присутствуют в передаваемом сигнале, изменяется только частота несущей. Большинство приемников используют несколько этапов, понижая частоту несущей по шагам. Конечный сигнал ПЧ становится рабочей частотой приемника в системах слежения за сигналом.

### **4.3 СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ**

Всенаправленная антенна GPS приемника принимает сигналы от всех спутников, находящихся выше горизонта антенны. Приемник должен уметь выделять сигналы каждого отдельного спутника, чтобы измерять кодовые псевдодальности и фазу несущей. Разделение достигается через использование в приемнике ряда сигнальных каналов. Сигналы от разных спутников легко различаются по передаваемым ими уникальному C/A – (стандартному) коду или части P-кода и закрепляются за отдельным каналом.

Канал в приемнике можно использовать од-

ним из двух основных способов. Приемник может иметь выделенные каналы, на которых непрерывно наблюдаются отдельные спутники. Для определения трех координат пункта и поправки часов приемника необходимо минимум четыре таких канала на L1 для четырех спутников. Дополнительные каналы позволяют наблюдать больше спутников или проводить наблюдения на частоте L2, необходимые для определения ионосферной задержки, или делать обе операции.

Большинство приемников имеют от 8 до 12 отдельных каналов для каждой частоты и могут наблюдать сигналы практически всех спутников в зоне видимости.

Приемник использует свои каналы слежения для измерения псевдодальностей и для извлечения навигационного сообщения. Это делается с помощью цепей слежения.

Цепь слежения представляет собой устройство, которое позволяет приемнику «настраиваться» или следить за сигналом, который изменяется либо по частоте, либо по времени. Оно представляет собой прибор с обратной связью, в котором входящий (внешний) сигнал сравнивается с локально созданным (внутренним) сигналом. Если

сигналы не совпадают, то генерируется сигнал ошибки, который является разностью между ними. Этот сигнал используется для сдвига внутреннего сигнала для того, чтобы он совпал с внешним сигналом таким образом, чтобы ошибка уменьшилась до нуля или была минимизирована. Приемник GPS использует два вида цепей слежения: цепи для захвата задержки (для слежения по кодам) и цепи для слежения за несущей.

Цепь захвата задержки используется для совмещения псевдослучайного шума, который присутствует в сигнале, приходящем от спутника, с идентичным сигналом, который генерируется в приемнике по тому же самому алгоритму, что и на спутнике (рис.3). Совмещение достигается путем соответствующего смещения чипов генерированного приемником кода по времени так, чтобы отдельный чип в последовательности генерировался в тот же самый момент, когда его двойник приходит от спутника.



Рис. 3. Однонаправленное измерение расстояния с использованием PRN-кодов

Корреляционный компаратор в цепи захвата задержки непрерывно проводит кросс-корреляцию двух потоков кодов. Это устройство выполняет процессы умножения и сложения, которые образуют сравнительно большой выход только тогда, когда потоки кодов совмещены. Если выход низкий, то генерируется сигнал ошибки, и генератор кодов подправляется до тех пор, пока копия последовательности кодов не совпадет с последовательностью входящих сигналов. Сигналы от других спутников в основном не будут оказывать влияния на процесс слежения, потому что PRN-коды от всех спутников были выбраны ортогональными друг другу. Свойство ортогональности означает, что коррелятором всегда образуется очень низкий выход, когда сравниваются последовательности кодов, используемые двумя разными спутниками.

Из-за того, что последовательность Р-кода слишком длинная, цепи отслеживания Р-кода необходима помощь в установке ее генератора кодов близко к правильному месту для получения захвата сигнала спутника. Она получает эту помощь из информации, заключенной в слове «HOW» навигационного сообщения, которое доступно приемнику с первым слежением С/А-кода.

Временной сдвиг (иногда называется фазой кода), необходимый для совмещения последовательностей кодов, в принципе, равен времени, необходимому для распространения сигнала от спутника к приемнику. Умножение этого временного интервала на скорость света дает расстояние или дальность до спутника. Но поскольку часы в приемнике и на спутнике в общем случае не синхронизированы и идут с несколько разным ходом, то измерения дальностей оказываются смещенными. Эти смещенные дальности называют псевдодальностями. Поскольку чипы в последовательности кодов спутника генерируются в точно известные моменты времени, совмещение последовательностей кодов спутника и приемника также дает отсчет по часам спутника в момент генерации сигнала.

Как только цепь отслеживания кода завершила захват, PRN-код можно удалить из сигнала спутника посредством смешивания его с локально созданным сигналом и фильтрации полученного в результате сигнала (рис. 4).

Эта процедура сужает сигнал, сокращая его ширину пропускания примерно до 100 Гц. Именно через этот процесс GPS приемник достигает необходимое отношение уровня сигнала к шуму, чтобы отрегулировать ограничение усиления для физически малой антенны.

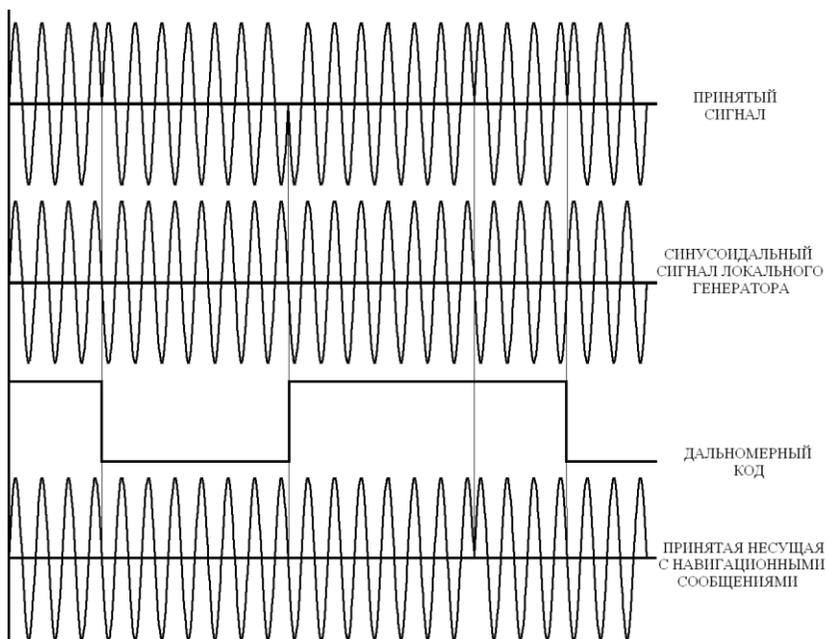


Рис. 4. Восстановление дальномерного кода

Суженный сигнал промежуточной частоты затем поступает в цепь захвата фазы, которая демодулирует или извлекает биты навигационного сообщения спутника, совмещая фазу сигнала от местного генератора приемника с фазой промежуточной частоты или сигналом частоты биений. Если фаза сигнала генератора неправильная, то это выявляется демодулятором в цепи захвата фазы, и на генератор поступает сигнал для корректировки. Как только сигнал от генератора приемника совпадет с сигналом спутника, он будет далее следовать за изменениями фазы несущей в соответствии с изменениями дальности до спутника.

Измеренная величина фазы биений несущей получается, в принципе, просто отсчетом числа прошедших циклов и измерением дробной фазы захваченного сигнала локального генератора. Измерение фазы, когда оно преобразуется в единицы расстояния, оказывается тогда неоднозначным измерением дальности до спутника. Эта неоднозначность происходит из-за того, что GPS приемник не может отличать один цикл несущей от другого, и, следовательно, предполагает произвольное число полных циклов начальной фазы, когда она первый раз захватывает сигнал. Если наблюдение фазы ис-

пользуется для позиционирования, то эта начальная неоднозначность должна разрешаться математически вместе с определением координат приемника. Поскольку неоднозначность является постоянной, пока приемник сохраняет захват принятого сигнала, скорость изменения фазы несущей свободна от этой неоднозначности. Эта величина называется доплеровским сдвигом сигнала спутника, и она используется, например, для определения скорости движущегося приемника, когда он находится на самолете, судне и других средствах передвижения.

#### **4.3.1 ИЗМЕРЕНИЯ ПО КОДАМ**

Типичная последовательность наблюдения спутника начинается с определения приемником спутников, которые видны над горизонтом. Видимость спутников оценивается по предсказаниям текущего положения, скорости и времени, получаемых на основании хранящейся в приемнике информации об альманахе спутников. Если никакой информации в приемнике не существует, или оценка положения, скорости и времени грубая, то приемник будет выполнять «исследование неба», пытаясь случайно определить положение и захва-

тить сигнал. Затем приемник будет декодировать навигационное сообщение и считывать информацию альманаха обо всех других спутниках созвездия. Цепь наблюдения фазы несущей используется для наблюдения несущей частоты, одновременно цепь наблюдения кода используется для наблюдения сигналов C/A или P-кодов. Две цепи слежения должны работать совместно итеративным методом, дополняя одна другую, чтобы принимать и отслеживать сигналы спутников.

Цепь слежения несущей в приемнике генерирует локальную частоту несущей L1 (или L2, если приемник может наблюдать и эту частоту), которая отличается от принятой частоты из-за эффекта Доплера. Это смещение пропорционально относительной скорости по линии визирования на спутник. Чтобы поддерживать захват несущей, цепь отслеживания несущей должна уравнивать частоту несущей, созданной в приемнике, до совпадения с частотой входящей несущей. Величина этого смещения является частотой «биений», которую можно обрабатывать, выдавая периодические измерения фазы несущей. Производная этого измерения фазы является «доплеровским» измерением, которое используется для определения скорости

приемника.

Чтобы цепь слежения несущей могла захватить входящий сигнал спутника, во-первых, сигнал несущей должен быть видимым над фоновым шумом. Это делается посредством цепи отслеживания кода, использующей для «реконструкции» волны несущей метод корреляции по кодам. Побочным продуктом слежения за кодами являются измерения псевдодальностей.

Коды PRN являются точными отметками времени, которые позволяют компьютеру навигационного приемника определять время передачи любой части спутникового сигнала. Прежде чем исследовать это детально, необходимо рассмотреть в самых общих чертах, как обрабатывается поступающий спутниковый сигнал внутри GPS приемника. В канале слежения приемника несущая L1, модулированная C/A-кодом, смешивается с локально созданной точной копией C/A-кода. Местный C/A-код производится в другой шкале времени по сравнению со шкалой принятого C/A-кода (из-за неполной синхронизации часов приемника со шкалой времени **GPST** и времени прохождения сигнала от спутника до принимающей антенны). Выравнивание поступающего сигнала с созданным

в приемнике C/A-кодом выполняется петлей отслеживания кода, или электроникой «петли захвата задержки». Как только поступивший сигнал и C/A-кодовая последовательность приемника совмещены, «нули» и «единицы» из двух кодов исключаются, оставляя сигнал поступающей несущей волны, модулированной только бинарным навигационным сообщением. Этот процесс показан на рис. 4.

Из-за сложности последовательности P-кода (ее длины и более высокой скорости чипов), описанная выше для C/A-кода техника скользящей корреляции не может использоваться на практике без очень хорошей оценки времени GPST и положения приемника. P-кодовый приемник должен вначале захватить C/A-код, а затем использовать отметку времени, известную как «Handover Word» – «Слово Передачи», содержащуюся в навигационном сообщении, чтобы дать возможность создать в приемнике нужную часть P-кода и таким образом инициализировать петлю захвата задержки P-кода.

Как уже упоминалось, извлечение псевдодальностей, или, более точно, определение величины, на которую приемник должен сместить соз-

данный им PRN-код, выполняется при помощи коррелятора PRN-кода в некоторой схеме петли захвата задержки.

Код C/A имеет тактовую частоту 1.023 Мб/с, что соответствует длине волны около 300 м. Код P (или Y) имеет тактовую частоту 10.23 Мб/с, и, следовательно, длину волны около 30 м. Существует приближенное правило о том, что выравнивание принятого и созданного в приемнике кодов, в общем случае, возможно примерно с точностью 1-2% от длины волны кода. Следовательно, точность измерения расстояния по C/A-коду имеет уровень 3-5 м, а для P-кода - 0.3-0.5 м. Современная технология «узкого коррелятора» демонстрирует в 10 раз лучшее исполнение корреляции для C/A-кода, чем приведенное выше.

Главные преимущества измерений по P-коду состоят в следующем:

- P-кодом модулируются несущие L1 и L2, это дает возможность определить ионосферную задержку сигнала;
- более высокая точность измерений расстояний по P-коду, более точная ионосферная задержка и меньшая восприимчивость к многопутности обеспечивают лучшее определение положе-

ния;

- Р-кодовые приемники лучше работают в высокочастотных условиях и лучше противостоят помехам в сигналах, чем С/А-кодовые приемники.

### **4.3.2 ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗЫ НЕСУЩЕЙ**

Длина волны несущей очень небольшая по сравнению с длиной чипов С/А- и Р-кодов - около 19 см для L1 и 24 см для L2. Считается, что разрешение измерений составляет 1-2% от длины волны, это значит, что фаза несущей может быть измерена с миллиметровой точностью, по сравнению с точностью в несколько метров для С/А-кодовых измерений и несколько дециметров для Р(У)-кодовых измерений. К сожалению, фазовое измерение «неоднозначно», поскольку невозможно отличать (и на L1, и на L2) одну волну от другой. Другими словами, информация о времени передачи для сигнала на L1 не может быть запечатлена на несущей волне, как это делается с PRN-кодами. Поэтому основное фазовое измерение лежит в диапазоне от 0 до 360° (рис. 5). Его называют дробной фазой. Тем не менее, оно является основным и для высокоточных GPS измерений, и для точного кинематического позиционирования.

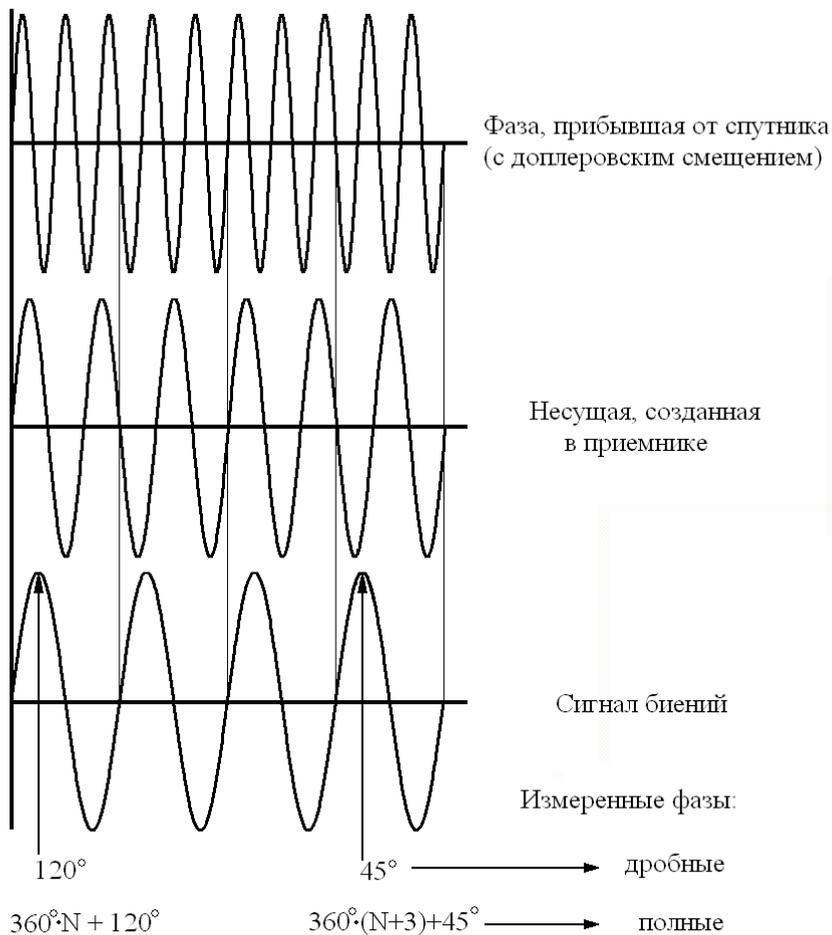


Рис. 5. Измерение дробной и полной фазы несущей

Для этого в приемнике поддерживается слежение за целым числом длин волн несущей, в результате которого образуется наблюдение непрерывной (накопленной) фазы (рис. 5):

$$\phi_A^i(T_A) = \Delta\phi_A^i(T_A) + [C_R(T_A) + C_{R0}], \quad (2)$$

где  $\Delta\phi_A^i(T_A)$  - дробная фаза, измеряемая как угол в пределах от 0 до  $360^\circ$ , где  $360^\circ$  соответствует примерно 19 см для фазы L1 и 24 см для фазы L2, а  $C_R$  - текущий отсчет по «счетчику» переходов через ноль, который регистрирует только число целых циклов со времени захвата. Начальный отсчет по счетчику обозначен через  $C_{R0}$  (обычно ноль). Член в квадратных скобках является целым числом. Нижний индекс  $A$  относится к приемнику (пункту), верхний индекс  $i$  - к спутнику. Характерной особенностью GPS приемников является дополнительная электроника для счета целых циклов от момента захвата.

Соотношение между фазой  $\phi_A^i(T_A)$  и расстоянием  $\rho_A^i(T_A)$  имеет вид:

$$(f_0/c)\rho_A^i(T_A) = \phi_A^i(T_A) + N_A^i + \nu(T_A), \quad (3)$$

где  $N_A^i$  есть целая неоднозначность, а  $\nu$  содержит все смещения и ошибки, влияющие на это измерение. Величина  $(f_0/c)$  переводит расстояние в единицы циклов. Заметим, что  $N_A^i$  предполагается постоянной во времени величиной для

каждой отдельной пары «приемник - спутник», как показано на рис. 5. Чтобы преобразовать эти наблюдения фазы в расстояние, необходимо определить неоднозначность циклов. Если целое число  $N_A^i$  правильно определить, то полученное «фазовое расстояние» (или «расстояние по несущей») будет очень точным расстоянием (на уровне нескольких миллиметров).

Число целых циклов  $N$  не наблюдается, приемник только учитывает изменение в нем. Потеря захвата сигнала спутника приводит к потере счета циклов в непрерывной фазе. Начальная величина неоднозначности  $N$  должна определяться (проблема разрешения неоднозначности фазовых измерений).

Существует два основных способа, посредством которых волна несущей может быть освобождена от модулирующего сигнала:

- квадратурование, или, иными словами, обработка принятого сигнала без знания дальномерных кодов;
- реконструкция несущей волны путем удаления модуляций дальномерным кодом и навигационным сообщением.

В первом методе знание дальномерных кодов не требуется. Во втором методе должны быть известны дальномерные коды (С/А и/или Р-коды). Извлечение навигационного сообщения можно затем легко выполнить процессом, обратным тому, который выполняется на спутнике (метод парафазной модуляции). Более сложная обработка сигнала необходима для измерения фазы сигнала несущей на L2.

#### **4.4 МИКРОПРОЦЕССОР**

Хотя большую часть приемника можно было бы построить с использованием аналоговой техники, в развитии приемников существует тенденция к переходу на цифровую обработку сигнала, что позволяет делать аппаратуру меньше в размерах и дешевле. Действительно, сигнал на промежуточной частоте можно преобразовать в цифровую форму и выполнять слежение за кодами и фазами с помощью программы в микропроцессоре. Приемник должен выполнять много различных операций: начальный захват сигналов спутника (как можно скорее сразу после включения приемника), отслеживание кодовых и фазовых сигналов, извлечение навигационного сообщения, определе-

ние координат пользователя, контроль текущих состояний спутников в созвездии и др. Эти операции приемника контролируются микропроцессором. Программа для микропроцессора, являющаяся инструкцией для запущенного приемника, устанавливается на чипах памяти внутри него.

Микропроцессор работает с цифровым представлением псевдодальностей и фазы несущей. Они получаются в результате аналого-цифрового преобразования в некоторой точке в цифровом потоке, следующем через приемник. Микропроцессор может запускать процедуры, которые делают некоторую фильтрацию этих исходных (необработанных) данных с целью уменьшения влияния шума или для получения более надежных положений и скоростей, особенно когда приемник в движении.

От процессора могут также потребоваться вычисления для навигации по путевым точкам или преобразования координат из одной геодезической системы в другую систему. Он также управляет вводом команд от пользователя, выводом информации на дисплей и посылает данные через порты связи.

## 4.5 БЛОК ВВОДА КОМАНД И ДИСПЛЕЙ

Большинство GPS/ГЛОНАСС приемников имеют клавиатуру и дисплей для некоторого вида взаимосвязи (интерфейса) с пользователем. Клавиатуру можно использовать для ввода команд, для выбора различных опций, для ввода данных, для наблюдения за тем, что делает приемник или для вывода вычисленных координат, времени и других деталей. Можно также вводить вспомогательную информацию, необходимую для навигации по путевым точкам, данные о погоде, о высоте антенны для геодезических измерений. Большинство приемников имеют хорошо организованные меню команд и выводов на экран, инструкции с подсказками и даже с помощью *on line*.

Некоторые приемники имеют основной режим работы по умолчанию, который не требует от пользователя никаких вводов и может активироваться просто включением приемника. Они работают как датчики (сенсоры), которые должны интегрироваться в навигационную систему, и поэтому не имеют своей собственной клавиатуры и дисплея; ввод и вывод данных осуществляются только через порты.

## 4.6 ХРАНЕНИЕ И ВЫВОД ДАННЫХ

В дополнение к визуальному дисплею, многие GPS приемники, включающие даже некоторые ручные блоки управления (контроллеры), обеспечивают сохранение измеренных фаз и псевдодальностей. Эта особенность является необходимостью для приемников, которые используются для геодезических измерений и для дифференциальной навигации.

В геодезических приемниках наблюдения псевдодальностей и фаз несущей должны сохраняться для того, чтобы впоследствии проходить совместную обработку с данными от других одновременно работавших приемников. Обычно данные хранятся внутри приемника с использованием памяти на полупроводниках. Некоторые приемники могут хранить данные на твердых или гибких дисках, используя внешний микропроцессор.

Обычно приемники, включая те, что хранят данные внутри для последующего анализа, и те, что используют относительное или дифференциальное позиционирование в реальном времени, имеют RS-232-C или другие виды коммуникационных портов для перевода данных в компьютер или обратно, в модем или в радиоданные. Некото-

рые приемники через такой порт могут управляться дистанционно.

#### **4.7 БЛОК ПИТАНИЯ**

Большинство приемников имеют внутреннее питание постоянным током, обычно в виде перезаряжаемых никель-кадмиевых аккумуляторов. Приемники последних моделей потребляют очень малый ток, что увеличивает время работы между зарядками аккумуляторов. Многие приемники также допускают внешнее питание через конверторы тока из переменного в постоянный.

#### **4.8 ЗАПИСЬ ДАННЫХ**

Темп, с которым GPS приемник собирает и сохраняет измерения псевдодальностей и фазы несущей, выбирается пользователем. Для статических съемок используются интервалы записи в 15 - 30 с, в непрерывно действующих сетях можно применять интервалы до 2 мин. В кинематических приемниках обычно применяются интервалы записи от 0.5 до 5.0 с. Вообще, для кинематического позиционирования по фазе несущей предпочтительнее более высокий темп записи данных. Это помогает выявлять и исправлять потери счета цик-

лов. Иногда может возникать противоречие между желаемым темпом записи данных и объемом памяти, доступной в приемнике для их хранения.

Данные, собранные GPS/ГЛОНАСС приемником (псевдодальности и фазы несущей на одной или двух частотах с отсчетами времени; отношения «сигнал - шум» для всех спутников, передаваемые по радио эфемериды и параметры часов спутников, а также (опционально) метеорологические данные и другая информация, введенная в приемник), обычно хранятся в виде файлов в бинарных фирменных форматах. Эти файлы переводятся из приемника в компьютер для пост-обработки либо со специальным фирменным обеспечением, либо, что вполне обычно для геодезических работ, с одним из научно-исследовательских программных пакетов, разработанных исследовательскими группами университетов или производственных организаций.

## **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Принцип местоопределения по сигналам СРНС?  
Понятие псевдодальности?
2. Типы антенн, применяемые для GPS измерений

и требования, предъявляемые к антеннам.

3. Принцип работы РЧ блока? Структура сигнала после прохождения РЧ блока?

4. Понятие дробной и полной фазы? Как осуществляется слежение за фазой несущей?

5. Характеристики Р и С/А кодов? Преимущества измерений по Р-коду?

## **6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

### **6.1 ВКЛЮЧЕНИЕ И ВЫКЛЮЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА**

Включение макета производится в следующей последовательности:

6.1.1. Включить питающее напряжение: тумблером 220 В на пульте лабораторного макета.

6.1.2. Включить ПК, в строке пользователь ввести «User» и нажать «ОК».

6.1.3. Включить питающее напряжение АП, тумблер 12В.

6.1.4. Включить GPS приемник кнопкой на корпусе с торца (кратковременное нажатие).

Выключение макета производится в обрат-

ной последовательности (выключение ПК, выключение тумблера 12В, выключение тумблера 220В).

## 6.2 ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

### Последовательность действий:

6.2.1 Запустить с рабочего стола ПО «**Trimble Office**» (ярлык «**Planning**»).

6.2.2 В открывшемся окне выбрать «**File/Station**», в меню «**Station Editor**» в строке «**Station Name**» ввести название станции, например, «**TUSUR\_RK**».

6.2.3 В строках «**Latitude**», «**Longitude**», «**Height**», «**Elevation Cutoff**» ввести, соответственно, N 56° 27'; E 84° 57'; 123 m; 10°.

6.2.4 В разделе «**Time**» нажать кнопку «**Today**», установить текущее Томское время с округлением до часа в меньшую сторону (например, 15:21=15:00).

6.2.5 В строках «**Duration**» и «**Interval**» ввести, соответственно 2 [h] и 1 [min], нажать кнопку «**Time Zone**» и выбрать «**(GMT +6:00) Омск, Новосибирск, Алма-Ата**»/«**ОК**».

6.2.6 В главном окне ПО «**Trimble Office**» выбрать «**Alma-**

**nac»/«Import»/«Ashtech»/«ALM\*\*.\*»/«Открыть»**, в открывшемся окне **«Planning»** нажать **«OK»**.

6.2.7 В главном окне ПО **«Trimble Office»** выбрать **«Satellites»/«Selection»**, в открывшемся окне **«Satellite Selection»** выбрать раздел **«GPS»** и нажать **«All»**.

6.2.8 В главном окне ПО **«Trimble Office»** выбрать **«Graphs/Visible Satellites/GPS»**, определить какие спутники будут доступны во время проведения лабораторной работы, затем с помощью кнопки **«Print Screen»** сохранить результат.

6.2.9. В главном окне ПО **«Trimble Office»** выбрать **«Graphs/Elevation»** с помощью кнопки **«Print Screen»** сохранить результат.

6.2.10 В главном окне ПО **«Trimble Office»** выбрать **«Graphs/SkyPlot»** с помощью кнопки **«Print Screen»** сохранить результат.

6.2.11 В главном окне ПО **«Trimble Office»** выбрать **«Graphs/World Projection»** с помощью кнопки **«Print Screen»** сохранить результат.

6.2.12 В главном окне ПО **«Trimble Office»** выбрать **«Graphs/DOP/All Together (Lines)»** с помощью кнопки **«Print Screen»** сохранить результат, на графике, отметить, которая из линий соот-

ветствует какому DOP (Dilution of Precision – понижение точности).

6.2.13 В главном окне ПО «**Trimble Office**» выбрать «**Graphs/Number of Satellites**» с помощью кнопки «**Print Screen**» сохранить результат, оценить зависимость Geometrical DOP от количества спутников.

### **6.3 ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ И ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ**

Последовательность действий:

6.3.1 Запустить с рабочего стола ПО «**Astech Evaluate**» (ярлык **Eval32**) в меню «**Astech Evaluate startup menu**» выбрать пункт «**Connect to GPS Receiver**»/«**ОК**».

6.3.2 В окне «**Connection Parameters**» в строке «**Port**» установить «**COM1**» и поставить галочку напротив строки «**Turn off ALL messages on detach**», затем выбрать «**Connect**».

6.3.3 В окне «**Initialization complete**» выбрать «**ОК**» (инициализация требует несколько секунд).

6.3.4 В главном окне ПО «**Astech Evaluate**» выбрать «**GPS**»/«**Analysis**», в появившемся предупреждении (не перемещать антенну в процессе из-

мерений) нажать «**OK**».

6.3.5 В окне «**Static Position Data**» напротив строки «**vs Truth**» (известные координаты) поставить галочку, в строках «**Ring1**», «**Ring2**», «**Outlier limit**» ввести 1; 5; 5 m, соответственно. Координаты оставить без изменений и нажать кнопку «**OK**».

6.3.6 Выбрать в меню View строку Sky chart, посмотреть количество доступных спутников, объяснить рассогласование с прогнозом (п.6.2.8). Учесть обозначения: **N** – № спутника, **A** – азимут, **E** – угол места, **SN** – отношение сигнал/шум, **U** – использование спутника в расчете координат.

6.3.7 Пронаблюдать изменение координат в течение 300 отсчетов, по истечению которых с помощью кнопки «**Print Screen**» сохранить изображение «**Scatter Plot**» и графики «**Horizontal distribution around know position**», «**Vertical distribution around know position**». Записать конечные значения «**Horizontal rms**», «**Vertical rms**», «**Horizontal 95%**», «**Vertical 95%**». В меню «**View/Indicator panel**» пронаблюдать и записать значения величин **DOP**, сравнить значения с величинами, полученными в пункте 6.2.12, объяснить рассогласование.

## **7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Краткое описание принципа действия системы.
2. Краткое описание системы.
3. Результаты работы с альманахом эфемерид.
4. Результаты анализа измерений координат.
5. Выводы.