

Федеральное агентство связи РФ
ГОУВПО
Поволжская государственная академия телекоммуникаций и
информатики

Кафедра теоретических основ радиотехники и связи
(ТОРС)

Методические указания к лабораторной работе по курсу
«Радиотехнические системы»
(РТС)

Космические радионавигационные системы

Автор-составитель
проф. Горячкин О.В.

Рецензент проф. Карташевский В.Г.

2006г.

Цель работы: изучение основных принципов построения космических радионавигационных систем (КРНС) 2-го поколения, экспериментальный анализ точности КРНС GPS, получение практических навыков радионавигации с использованием персонального GPS-навигатора фирмы GARMIN.

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

1.1. Краткие сведения из истории систем спутниковой навигации

С открытием радио А.С. Поповым в 1896г перед человечеством открылись широкие перспективы развития разнообразных практических технологий. С появлением систем радиосвязи стала возможной беспроводная мгновенная связь на практически неограниченных расстояниях. С появлением радиолокационных станций, когда стало возможным измерять параметры движения и координаты различных целей по отражённым ими радиосигналам. Для решения задач навигации стали широко использоваться источники радиоволн (радиомаяки), размещенные в известных для потребителя точках пространства.

4 октября 1957 года в СССР был запущен первый искусственный спутник Земли (ИСЗ). Началась космическая эра человечества и практически одновременно группа учёных под руководством В.А. Котельникова экспериментально подтвердила возможность определения параметров движения искусственного спутника Земли по результатам измерений доплеровского сдвига частоты излучаемого спутником сигнала. Одновременно была установлена возможность решения обратной задачи — нахождения координат приёмника по измеренному доплеровскому сдвигу сигнала, излучаемого с ИСЗ, если параметры движения и координаты этого спутника известны потребителю.

На этом простом принципе в дальнейшем были построены КРНС 1-го поколения. При движении по орбите передатчик КРНС излучает гармонический сигнал определённой частоты. Положение ИСЗ в каждый момент времени известно. Пользователь, измеряя частоту пришедшего к нему сигнала, вычисляет доплеровское смещение частоты, обусловленное относительным движением приемника потребителя и передатчика на спутнике. В момент равенства нулю доплеровского смещения потребитель оказывается на линии, которая является нормалью к вектору движения спутника. Используя известную заранее зависимость крутизны кривой доплеровской частоты от расстояния между потребителем и ИСЗ и измерив момент времени, когда частота Доплера равна нулю, можно вычислить координаты потребителя.

Параллельно с исследовательскими работами в СССР в США в Университете Джона Гопкинса проводятся работы, связанные с возможностью измерения параметров сигнала, излучаемого советским

спутником. На основе этих исследований в 1964 году в США создаётся 1-я в мире доплеровская спутниковая радионавигационная система первого поколения “Transit”. Основное её назначение — навигационное обеспечение пуска баллистических ракет типа «Полярис» с подводных лодок. «Отцом» этой системы считается профессор Р. Кершнер.

Для построения первой отечественной низкоорбитальной навигационной спутниковой системы “Цикада” потребовалось около 10 лет. В 1967 году на орбиту был выведен первый отечественный навигационный спутник “Космос-192”.

Характерной чертой радионавигационных спутниковых систем первого поколения является применение низкоорбитальных ИСЗ и использование для измерения навигационных параметров объекта сигнала видимого в данный момент спутника. В дальнейшем спутники системы “Цикада” были оборудованы приёмной аппаратурой обнаружения терпящих бедствия объектов. Так же, как и в системе “Цикада”, в системе “Transit” использовались 7 ИСЗ, имеющих круговые полярные орбиты высотой 1100 км.

Спутниковые навигационные системы первого поколения обладают рядом существенных недостатков: недостаточная точность определения координат мобильных объектов (>80-100м), большая продолжительность сеанса связи со ИСЗ (несколько минут), ограниченный временной интервал и наличие перерывов для связи с ИСЗ, трудности измерения высоты.

Потребность в оперативной высокоточной навигации сухопутных, морских, воздушных и низкоорбитальных космических объектов обусловили создание в 80-90-е годы среднеорбитальных КРНС второго поколения: системы GPS («НАВСТАР») в США и системы «ГЛОНАСС» в СССР.

В КРНС второго поколения применяются навигационные космические аппараты (НКА), расположенные на круговых геоцентрических орбитах с высотой ~ 20000 км над поверхностью Земли и используется дальномерный или разностно-дальномерный способы навигации.

Одной из основных проблем, возникающих при создании спутниковых систем, обеспечивающих навигационные определения по нескольким спутникам, является взаимная синхронизация шкал времени спутников с необходимой высокой точностью. Так рассогласование опорных генераторов спутников всего лишь на 10 нс приводит к ошибке в определении координат потребителя 10–15 м. Эта проблема была решена использованием на НКА атомных стандартов частоты.

В приемнике потребителя на подвижном объекте в сеансе навигации принимаются радиосигналы не менее чем от четырех радиовидимых НКА и используются для измерения трех разностей дальностей и трех разностей радиальных скоростей объекта относительно четырех НКА. Результаты измерений и эфемеридная информация (координаты спутника), принятая от каждого НКА, позволяют определить три координаты и три составляющие

вектора скорости подвижного объекта и определить смещение шкалы времени объекта относительно системы.

В СССР лётные испытания высокоорбитальной спутниковой навигационной системы «ГЛОНАСС» начались в 1982 году запуском спутника “Космос-1413”. Главным разработчиком системы в целом является НПО прикладной механики (г. Красноярск), разработчик НКА — ПО “Полёт” (г. Омск). Разработчиком радиотехнических комплексов является Российское НИИ космического приборостроения (г. Москва), ответственным за создание системы синхронизации и навигационной аппаратуры потребителей определён Российский институт радионавигации и времени (г. Москва).

Принципы построения КРНС «ГЛОНАСС» и «НАВСТАР» в общих чертах идентичны. Развертывание полной орбитальной группировки НКА было завершено в КРНС «НАВСТАР» к 1993г., в КРНС «ГЛОНАСС» к 1996г.

Полная орбитальная группировка в КРНС «ГЛОНАСС» содержит 24 штатных НКА на круговых орбитах с наклоном $i=64,8^\circ$ в трех орбитальных плоскостях по восемь НКА в каждой. Долготы восходящих узлов трех орбитальных плоскостей различаются номинально на 120° . Номинальный период обращения НКА равен $T=11ч15мин44с$, и номинальная высота круговой орбиты составляет 19100 км над поверхностью Земли.

1.2 Техническое описание системы GPS

1.2.1 Состав системы

Глобальная спутниковая система GPS предназначена для высокоточного определения координат места, составляющих вектора скорости и времени различных подвижных объектов. Система в целом включает в себя три функциональные части (сегменты): космический сегмент, в который входит орбитальная группировка искусственных спутников Земли (НКА); сегмент управления, наземный комплекс управления орбитальной группировкой космических аппаратов; аппаратура пользователей системы (НАП).

Помимо основной функции — навигационных измерений, система позволяет производить высокоточную взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удалённых наземных объектах и взаимную геодезическую привязку. Кроме того, с её помощью можно производить определение ориентации объекта на основе измерений, производимых от четырёх приёмников сигналов НКА.

Сегмент наземного комплекса управления системами выполняет следующие функции: эфемеридное и частотно-временное обеспечение; мониторинг радионавигационного поля; радиотелеметрический мониторинг НКА; командное и программное радиоуправление НКА.

Наземный сегмент обеспечивает эфемеридное обеспечение спутников. Это означает, что на земле определяются параметры движения спутников и прогнозируются значения этих параметров на заранее определённый промежуток времени. Параметры и их прогноз закладываются в навигационное сообщение, передаваемое спутником наряду с передачей

навигационного сигнала. Сюда же входят частотно-временные поправки бортовой шкалы времени спутника относительно системного времени. Измерение и прогноз параметров движения НКА производятся в Баллистическом центре системы по результатам траекторных измерений дальности до спутника и его радиальной скорости.

Космический сегмент образован орбитальной группировкой, номинально состоящей из 24 основных спутников и 3-х резервных. Спутники находятся на 6 круговых орбитах высотой примерно 20000 км, наклонением 55° и равномерно разнесенных по долготе через 60° . Схематично размещение спутников на орбитах может быть проиллюстрировано на рисунке 1.

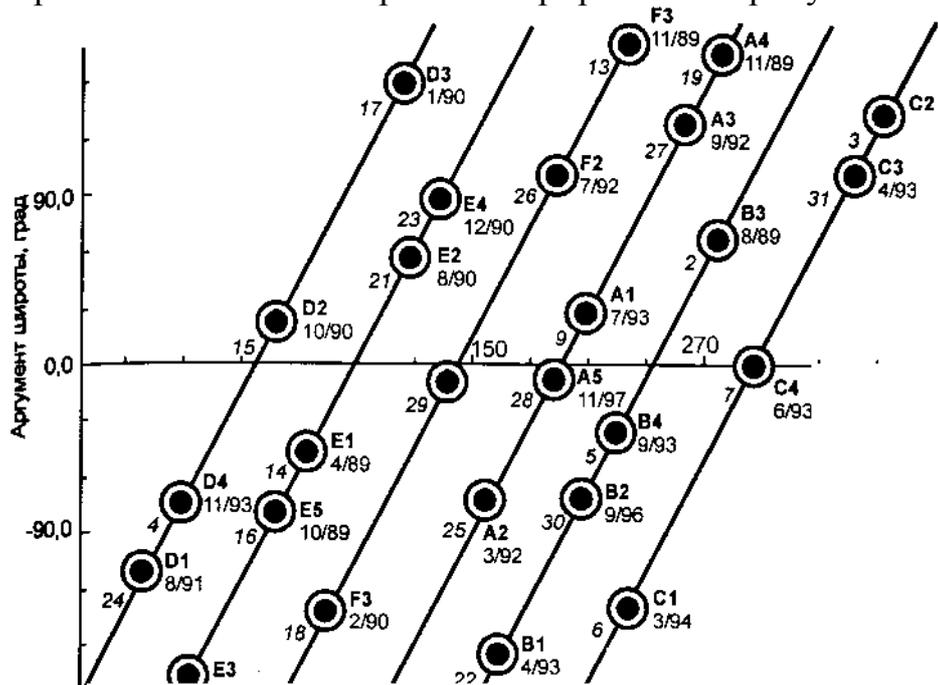


Рис.1. Размещение НКА на орбитах [1].

1.2.2. Метод измерения координат

Точные координаты могут быть вычислены для места на поверхности Земли по измерениям расстояний от группы спутников (если их положение в космосе известно). В этом случае спутники являются пунктами с известными координатами. Предположим, что расстояние от одного спутника известно и мы можем описать сферу заданного радиуса вокруг него. Если мы знаем также расстояние и до второго спутника, то определяемое местоположение будет расположено где-то в круге, задаваемом пересечением двух сфер. Третий спутник определяет две точки на окружности. Теперь остаётся только выбрать правильную точку. Однако одна из точек всегда может быть отброшена, так как она имеет высокую скорость перемещения или находится на или под поверхностью Земли. Таким образом, зная расстояние до трёх спутников, можно вычислить координаты определяемой точки.

Расстояние до спутников определяется по измерениям времени распространения радиосигнала от НКА до НАП.

Для того, чтобы определить время распространения сигнала необходимо знать когда он покинул спутник. Для этого на спутнике и в приёмнике одновременно генерируется одинаковый псевдослучайный код. Каждый спутник GPS передаёт два радиосигнала: на частоте $L1=1575.42$ МГц и $L2=1227.60$ МГц. Сигнал $L1$ имеет два дальномерных кода с псевдослучайным шумом (PRN), P-код и C/A код. “Точный” или P-код зашифрован для военных целей. “Грубый” или C/A код не зашифрован. Сигнал $L2$ модулируется только с P-кодом.

Большинство гражданских пользователей используют C/A код при работе с GPS системами.

Приёмник потребителя определяет момент времени в прошлом, когда он генерировал такой же фрагмент кода. Полученная разница, умноженная на скорость света (~ 300000 км/с) даёт искомое расстояние (псевдодальность).

Использование кода позволяет приёмнику определить временную задержку в любое время. Кроме того, спутники могут излучать сигнал на одной и той же частоте, так как каждый спутник идентифицируется по своему персональному псевдослучайному коду.

Точность вычисления псевдодальностей зависят от точности хода часов на НКА. Т.е. код должен генерироваться на спутнике и приёмнике в одно и то же время. На спутниках установлены атомные часы, имеющие точность около одной наносекунды. Однако слишком дорого устанавливать такие часы в каждый GPS приёмник. Поэтому, измерения от четвёртого спутника используются для устранения ошибок хода часов приёмника.

Эти измерения можно использовать для устранения ошибок, которые возникают, если часы на спутнике и в приёмнике не синхронизированы.

Министерство Обороны США осуществляет непрерывное слежение за спутниками. На каждом спутнике расположено несколько высокоточных атомных часов и они непрерывно передают радиосигналы с собственным уникальным идентификационным кодом. МО США имеет 4 станции слежения за спутниками, три станции связи и центр осуществляющий контроль и управление за всем наземным сегментом системы. Станции слежения непрерывно отслеживают спутники и передают данные в центр управления. В центре управления вычисляются уточнённые элементы спутниковых орбит и коэффициенты поправок спутниковых шкал времени, после чего эти данные передаются по каналам станций связи на НКА по крайней мере один раз в сутки.

1.2.3. Точность измерения координат в КРНС

На точность определения координат существенное влияние оказывают ошибки, возникающие при выполнении процедуры измерений. Природа этих ошибок различна. Перечислим основные источники ошибок при определении координат в GPS.

Неточное определение времени. При всей точности временных эталонов ИСЗ существует некоторая погрешность шкалы времени аппаратуры

спутника. Она приводит к возникновению систематической ошибки определения координат около 0.6 м [1].

Ошибки вычисления орбит. Появляются вследствие неточностей прогноза и расчета эфемерид спутников, выполняемых в аппаратуре приемника. Эта погрешность также носит систематический характер и приводит к ошибке измерения координат около 0.6 м [1].

Инструментальная ошибка приемника. Обусловлена, прежде всего, наличием тепловых шумов в электронном тракте приемника. Отношение сигнал/шум приемника определяет точность процедуры сравнения принятого от ИСЗ и опорного сигналов, т.е. погрешность вычисления псевдодальности. Наличие данной погрешности приводит к возникновению координатной ошибки порядка 1.2 м [1].

Многочувствительность распространения сигнала. Появляется в результате вторичных отражений сигнала спутника от крупных препятствий, расположенных в непосредственной близости от приемника. При этом возникает явление интерференции, и измеренное расстояние оказывается больше действительного. Аналитически данную погрешность оценить достаточно трудно, а наилучшим способом борьбы с ней считается рациональное размещение антенны приемника относительно препятствий. В результате воздействия этого фактора ошибка определения псевдодальности может увеличиться на 2.0 м [1].

Ионосферные задержки сигнала. Ионосфера – это ионизированный атмосферный слой в диапазоне высот 50 – 500 км, который содержит свободные электроны. Наличие этих электронов вызывает задержку распространения сигнала спутника, которая прямо пропорциональна концентрации электронов и обратно пропорциональна квадрату частоты радиосигнала. Для компенсации возникающей при этом ошибки определения псевдодальности используется метод двухчастотных измерений на частотах L_1 и L_2 (в двухчастотных приемниках). Линейные комбинации двухчастотных измерений не содержат ионосферных погрешностей первого порядка. Кроме того, для частичной компенсации этой погрешности может быть использована модель коррекции, которая аналитически рассчитывается с использованием информации, содержащейся в навигационном сообщении. При этом величина остаточной немоделируемой ионосферной задержки может вызывать погрешность определения псевдодальности около 10 м [1].

Тропосферные задержки сигнала. Тропосфера – самый нижний от земной поверхности слой атмосферы (до высоты 8 – 13 км). Она также обуславливает задержку распространения радиосигнала от спутника. Величина задержки зависит от метеопараметров (давления, температуры, влажности), а также от высоты спутника над горизонтом. Компенсация тропосферных задержек производится путем расчета математической модели этого слоя атмосферы. Необходимые для этого коэффициенты содержатся в навигационном сообщении. Тропосферные задержки вызывают ошибки измерения псевдодальностей в 1 м [1].

Геометрическое расположение спутников. При вычислении суммарной ошибки необходимо еще учесть взаимное положение потребителя и спутников рабочего созвездия. Для этого вводится специальный коэффициент геометрического ухудшения точности (геометрический фактор), на который необходимо умножить все перечисленные выше ошибки, чтобы получить результирующую ошибку. Величина коэффициента зависит от взаимного расположения спутников и приемника. Она обратно пропорциональна объему фигуры, которая будет образована, если провести единичные векторы от приемника к спутникам. Большое значение геометрический фактора говорит о неудачном расположении ИСЗ и большой величине ошибки. Типичное среднее значение этого коэффициента колеблется от 4 до 6 [1].

1.2.4. Дифференциальная коррекция

Дифференциальная коррекция – это метод, который значительно увеличивает точность GPS данных. В этом методе для измерений используется приёмник, расположенный в точке с известными географическими координатами (базовая станция), а второй приёмник собирает данные в точках с неизвестными координатами (передвижной приёмник или НАП).

Данные, полученные в точке с известными координатами, используются для определения ошибок содержащихся в спутниковом сигнале. Затем информация с базовой станции совместно обрабатывается с данными передвижного приёмника, что позволяет устранить ошибки в координатах полученных на передвижном приёмнике.

Существует два метода выполнения дифференциальной коррекции, в реальном времени и в последующей обработке.

При работе методом дифференциального GPS в реальном времени, базовая станция вычисляет и передаёт (посредством, например сотовой радиосвязи, или через мобильный интернет) ошибки для каждого спутника, в то время как потребитель получает данные. Эти коррекции, принимаемые передвижным приёмником, используются для уточнения определяемого местоположения. В результате мы можем видеть на экране приёмника дифференциально скорректированные координаты.

Точность дифференциальных GPS измерений может достигать единиц сантиметров, в зависимости от используемой аппаратуры, методики обработки данных и других факторов.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

В процессе подготовки к выполнению лабораторной работы необходимо изучить принципы построения космических радионавигационных систем 2-го поколения, разобрать принцип измерения координат в НАП КРНС.

Для успешного выполнения лабораторной работы необходимо внимательно прочитать методические указания, ознакомиться с описанием навигатора и предстоящих экспериментов.

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В процессе выполнения работы предполагается измерение координат с использованием персонального GPS-навигатора фирмы GARMIN, экспериментальный анализ точности КРНС GPS, урок практической навигации в полевых условиях и последующий анализ реального трека с использованием программы OziExplorer.

4. КРАТКАЯ ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ GPS-НАВИГАТОРА GPSMAP-76

4.1. Включение прибора и основные кнопки

GPSMAP-76 представляет собой 12-канальный, портативный приемник GPS со встроенной антенной.

Для выполнения всех операций с прибором используются 9 кнопок на передней панели прибора GPSMAP 76:

“**IN**” - кнопка служит для увеличения масштаба.

“**OUT**” - кнопка служит для уменьшения масштаба.

“**NAV/МОВ**” - кнопка “**NAV**” служит для начала или остановки навигации. Если нажать кнопку NAV и удерживать ее в нажатом положении, то прибор запомнит координаты текущего местоположения, и Вы сможете немедленно начать движение к этой точке.

“**PAGE**” - кнопка “**PAGE**” служит для последовательного прокручивания пяти основных страниц на дисплее прибора. Также кнопка “**PAGE**” служит для окончания текущей операции и для возврата к основной странице.

“**Лампочка**”(“**POWER**”) - кнопка используется для включения и выключения устройства. Также кнопка “**POWER**” используется для вызова на экран окна настройки подсветки и контрастности.

“**MENU**” - кнопка “**MENU**” служит для вызова страницы меню опций. Нажав кнопку “**MENU**” дважды, Вы можете вызвать основное меню.

“**QUIT**” - кнопка “**QUIT**” служит для прокручивания пяти основных страниц в обратном порядке. Также кнопка “**QUIT**” служит для окончания текущей операции и для возврата к предыдущей странице.

“**ENTER**” - кнопка “**ENTER**” используется для активизации поля данных или для подтверждения выбора. Если нажать кнопку “**ENTER**” и удерживать ее в нажатом положении, то прибор GPSMAP 76 сохранит Ваше текущее местоположение, и на экране появится страница создания путевой точки.

“**ROCKER**” - кнопка “**ROCKER**”, расположенная в центре клавиатуры, используется для перемещения курсора вверх/вниз и вправо/влево на страницах экрана и во время ввода данных.

Прежде чем приступить к работе нужно убедиться в наличии свежих элементов питания, открытого пространства над головой, так как иначе навигатор не сможет поймать сигналы спутников.

При работе в помещении необходимо подключить внешнюю антенну GA 27C, которую необходимо подключить к соответствующему разъему на задней стенке прибора.

Для включения прибора необходимо нажать кнопку "POWER". На экране появится страница-приветствие. Дважды нажмите кнопку PAGE, чтобы на экране появилась информационная страница GPS.

Имеются следующие основные страницы: информационная страница GPS, страница карты, страница указателя, страница дороги и страница активного маршрута. Каждая основная страница имеет меню опций. В меню опций содержатся опции настройки и/или функции, относящиеся к этой странице.

4.2. Информационная страница GPS



Рис.2. Информационная страница.

Для того чтобы навигатор нашел сигналы спутников нужно подождать от 2 до 5 минут, этого времени при ежедневном использовании вполне хватает, но если приемник не использовался в течении долгого времени, то понадобится немного больше времени.

На информационной странице GPS показаны следующие данные: скорость, высота, оценочная точность, состояние приемника, местоположение спутников, мощность спутниковых сигналов, дата, время и текущее местоположение приемника GPS.

Когда GPS принимает не менее 3-х спутниковых сигналов, на экране

будут показаны данные текущей скорости GPS и оценочной точности местоположения GPS. Для того чтобы было показано значение высоты, приемник GPS должен получать сигналы от не менее 4-х спутников.

На информационной странице GPS всегда показано текущее состояние приемника GPS.

“Autolocate”- в этом режиме приемник ищет каждый спутник отдельно.

“Acquiring Satellites” (поиск спутников) - каждый раз после включения устройства приемник находится в этом режиме. Приемник GPS остается в этом режиме до тех пор, пока не будут получены сигналы, по крайней мере от 3-х спутников.

“2D GPS Location” (2-мерное местоположение GPS) – это состояние означает, что приемник получает сигналы только от 3-х спутников. После того, как в поле состояния появится надпись "2D GPS Location", на экране также появится Ваше текущее местоположение. Однако значение высоты не будет показано.

“3D GPS Location” (3-мерное местоположение GPS) – это состояние означает, что приемник получает сигналы, по крайней мере от 4-х спутников, и устройство рассчитало Ваше текущее местоположение и высоту.

“2D Differential Location” (2-мерное дифференциальное местоположение) - это состояние означает, что приемник использует дифференциальные данные DGPS или WAAS для 3-х спутников.

“3D Differential Location” (3-мерное дифференциальное местоположение) - это состояние означает, что приемник использует дифференциальные данные DGPS или WAAS не менее, чем для 4-х спутников.

“Lost Satellite Reception” (прием спутниковых сигналов прерван) – это состояние означает, что прием спутниковых сигналов приемником GPS был прерван.

“Simulating GPS” (режим моделирования) - устройство GPSMAP 76 находится в режиме моделирования, и приемник GPS отключен. Запомните, что прибор GPSMAP 76, находящийся в режиме моделирования не может быть использован для реальной навигации.

Расположение всех имеющихся спутников показано на фоне двух окружностей. Внешняя окружность представляет собой линию горизонта, внутренняя окружность - линию, расположенную под углом 45° над горизонтом, а центр окружностей - точку зенита. Номер спутника, который используется устройством для навигации, будет выделен. Вы можете выбрать один из двух режимов ориентации расположения спутников: "север вверху" или "траектория вверху".

Столбики мощности спутниковых сигналов показывают не только мощность принимаемого сигнала, но и состояние сигнала. Столбики могут быть закрашены светло-серым или черным цветом. Серый столбик означает, что приемник GPS принимает сигнал с соответствующего спутника и в настоящий момент занимается сохранением данных об орбите, содержащихся в сигнале. Если столбик становится черным, то это означает, что GPS исполь-

зует данный спутниковый сигнал для навигации. Буква "D", расположенная в столбике или над столбиком, означает, что к этому спутнику применяется дифференциальная корректировка.

Приемник GPS получает информацию о дате и времени со спутников. На спутниках имеются очень точные атомные часы. Поскольку часы GPS опираются на информацию, полученную со спутников, часы GPS также имеют высокую точность.

Когда приемник GPS определит местоположение 2D или 3D, он автоматически переключится на страницу карты, где появится текущее местоположение в выбранном пользователем формате.

4.3. Страница карты

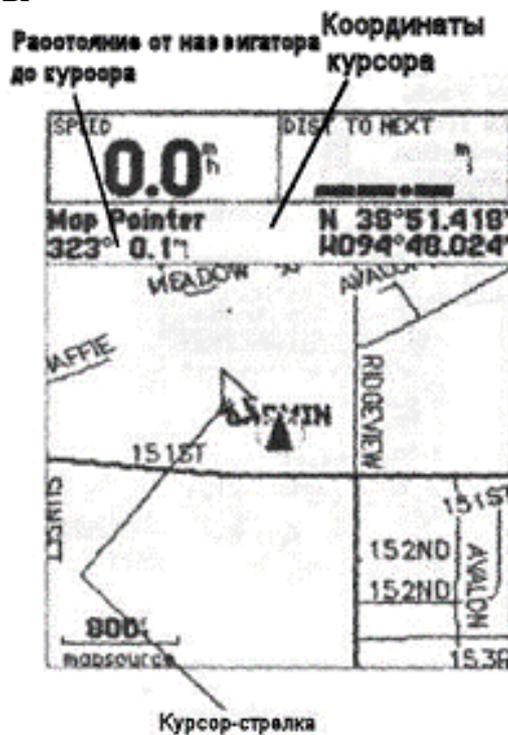


Рис. 3. Страница карты.

Черный треугольник в центре это положение навигатора. Размер окружности вокруг положения навигатора завит от точности определения координат, радиус этой окружности равен точности навигатора.

Наверху страницы карты располагаются окна, какие и сколько зависит от настроек. Чтобы изменить информацию в этих окнах нужно нажать кнопку "MENU" выбрать опцию "Данные в окнах" и выбрать окно информацию которого нужно изменить, затем нажать "ENTER" и выбрать то, что интересует.

4.4. Страница указателя

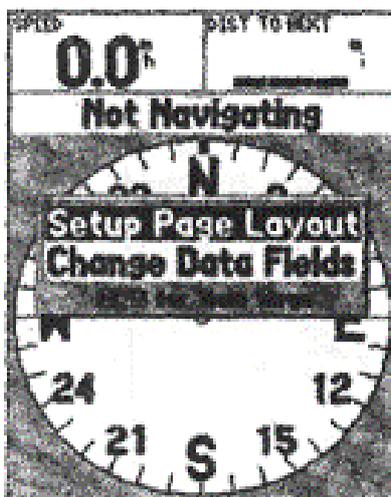


Рис.4. Страница указателя.

Страницу указателя следует использовать для навигации в тех случаях, когда невозможно перемещаться по прямолинейному курсу. На странице указателя имеются выбираемые пользователем поля данных, окно состояния, кольцо компаса и указатель (стрелка).

Кольцо компаса графически отображает Вашу текущую траекторию. Когда Вы изменяете направление движения, кольцо компаса вращается, и Ваш курс выравнивается по вертикальной линии. При изменении направления движения стрелка всегда направлена к активной путевой точке. Когда Вы движетесь прямо к активной путевой точке, указатель совпадает с вертикальной линией на кольце компаса. Когда Вы прибываете в путевую точку, на экране появляется сообщение "Arriving at Destination" (прибытие в пункт назначения). Необходимо учитывать, что кольцо компаса работает не так, как настоящий компас. Чтобы стрелка правильно показывала на пункт назначения, Вы должны находиться в состоянии движения.

4.5. Страница дороги

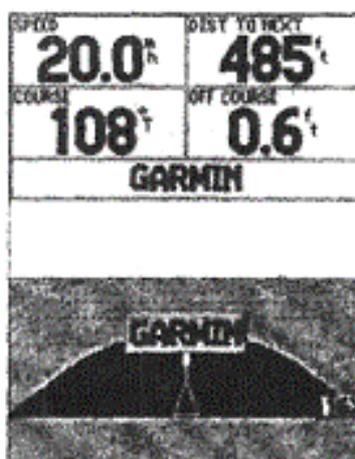


Рис.5. Страница дороги.

Страницу дороги следует использовать для навигации в том случае,

когда возможно перемещение по прямолинейному курсу. На странице дороги имеются выбираемые пользователем поля данных, окно состояния и изображение дороги.

Страница дороги имеет много общих функций со страницей карты: на этой странице могут быть показаны активная и сохраненные траектории или путевые точки, с помощью кнопок “IN” и “OUT” можно изменять масштаб, текущее местоположение показано треугольником.

4.6. Путевой компьютер

Для того чтобы посмотреть статистику движения на любой странице нажимаем кнопку “MENU” два раза и попадаем в основное меню. Выбираем опцию “Путевой компьютер”.

На странице путевого компьютера (“Trip Computer”) имеется 8 полей данных: путевой одометр, время остановок, средняя скорость движения, время движения, общая средняя скорость, общее время, максимальная скорость и одометр.

“Trip Odom” - в поле путевого одометра показано общее расстояние, пройденное с момента последнего сброса путевого компьютера.

“Stopped Time” - в поле остановок показано общее время, в течение которого устройство не перемещалось, с момента последнего сброса путевого компьютера.

“Moving Avg” - в поле средней скорости движения показана средняя скорость, рассчитанная для периодов времени, в течение которых устройство находилось в движении, с момента последнего сброса путевого компьютера.

“Moving Time” - в поле времени движения показано общее время, в течение которого устройство находилось в движении, с момента последнего сброса путевого компьютера.

“Overall Avg” - в поле общей средней скорости показана средняя скорость устройства с момента последнего сброса путевого компьютера.

“Total Time” - в поле общего времени показано общее время, в течение которого устройство было включено, с момента последнего сброса путевого компьютера.

“Max Speed” - в поле максимальной скорости показана максимальная скорость движения устройства, зафиксированная с момента последнего сброса путевого компьютера.

“Odometer” - в поле одометра показано общее расстояние, пройденное с момента последнего сброса данного параметра.

4.7. Режим навигации

При наличии в памяти прибора заранее определенного маршрута его можно пройти в режиме навигации. Чтобы включить этот режим стоя в первой или последней точке выбранного маршрута, нажимаем кнопку “NAV/МОВ”. Появляется меню, в котором выбираем опцию “ИДТИ К ТОЧКЕ”, появляется меню точек, выбираем опцию “ТОЧКИ” и в

появившемся меню выбираем первую или последнюю точку маршрута. Открывается меню, в нем выбираем опцию “ИДТИ”, и сразу же начинаем движение к этой точке. Достигнув этой точки нажимаем “NAV/МОВ” и выбираем опцию “СТОП НАВИГАЦИЯ”. Все точки и треки при выключении сохраняются.

4.8. Краткие сведения о программе OziExplorer

Программа OziExplorer предназначена для обеспечения реальной навигации по растровым картам с использованием переносного или стационарного компьютера и приемника GPS. Программа обеспечивает возможность разработки маршрутов (последовательность путевых точек) по растровым картам и последующей закладки маршрутов в GPS навигатор и обратно.

Карта в OziExplorer - это графический образ, который был привязан к сетке координат. Для синхронизации работы OziExplorer и данных с приемника GPS необходима привязка карты на местности. Можно использовать любой пиксель растровой карты для привязки. Когда вы привязываете карту, программа OziExplorer создает файл привязки с расширением «map», содержащий информацию о привязке и ссылку на используемое изображение. При вызове программы запрашивается соответствующая карта (обычно в лабораторной работе используется изображение «MapSamara.jpg» с файлом привязки «MapSamaraAlex1.map»).

Чтобы загрузить точки маршрута или трека из памяти навигатора в компьютер в меню «Связь с GPS», выберите пункт «Получить маршрутные точки из GPS». Для загрузки трека выберите пункт «Получить трек из GPS».

Вы будете предупреждены, что все текущие Путевые точки будут удалены с карты. Нажмите «ОК» и все путевые точки будут скачаны из GPS. Видимые точки, попадающие в координаты открытого листа карты, автоматически прорисуются. Остальные будут держаться в памяти. А при сохранении точек в файл будут сохранены все: и видимые, и невидимые на карте точки или трек.

После зачисления пройденного трека, в OziExplorer можно посмотреть его статистику в графическом виде, меню “ПРОСМОТР” далее ”ТРАКИ” далее ”ПРОФИЛЬ ТРАКА”. После зачисления точек и маршрута, можно их сохранить в файл.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включение прибора в помещении

Подключите к разъему на задней стенке прибора GPSMAP-76 кабель внешней антенны GA 27C. Разместите антенну на стекле окна в аудитории. Включите прибор. Дважды нажмите кнопку PAGE, чтобы на экране появилась информационная страница GPS. С интервалом в несколько минут, снимите не менее 5-ти показаний прибора и заполните таблицу измерений в соответствии

с Рис.6. Просмотрите основные страницы на дисплее навигатора. Запишите номера НКА, с которыми была установлена связь в процессе измерений. Выключите прибор. Отсоедините внешнюю антенну.

	1	2	3	4	5
Северная широта	53°11,686′	53°11,689′			
Восточная долгота	50°05,290′	50°05,291′			
Высота	41	43,5			

Рис.6. Таблица измерений (пример заполнения).

2. Включение прибора в поле.

Включите прибор на открытой местности. В соответствии с указаниями преподавателя прогуляйтесь с прибором по маршруту. Затем остановитесь на открытом месте. Не сходя с места, с интервалом в несколько минут снимите не менее 5-ти показаний прибора и заполните таблицу измерений в соответствии с Рис.6. Запишите номера НКА, с которыми была установлена связь в процессе измерений. Выключите прибор.

3. Анализ трека на компьютере с использованием программы OziExplorer.

Подключите к разъему на задней стенке прибора GPSMAP-76 кабель внешней антенны GA 27C. Разместите антенну на стекле окна в аудитории.

Подсоедините USB-кабель к разъему на задней стенке прибора GPSMAP-76 и USB-разъему включенного компьютера.

Включите прибор. Запустите программу OziExplorer. Загрузите пройденный трек. Просмотрите статистику трека. Пригласите преподавателя.

Дважды нажмите кнопку «MENU» на приборе. Выберите опцию «НАСТРОЙКИ». Нажмите «ENTER». Выберите опцию «ИНТЕРФЕЙС». Установите формат передачи «NMEA».

В программе OziExplorer выберите опцию «Реальная карта» и далее «Начать NMEA-сеанс с GPS». Наблюдайте стрелку компаса в точке на растровой карте. Обратите внимание на дрожание указателя положения, которое свидетельствует о навигации в реальном масштабе времени. Пригласите преподавателя.

4. Анализ результатов и подготовка отчета о выполненной лабораторной работе.

В отчете о выполненной лабораторной работе должны быть представлены следующие материалы:

1. Цель и основные этапы работы.

2. Таблицы результатов измерений координат прибора в помещении и на открытой местности.
3. Расчет погрешности измерения координат КРНС GPS для двух случаев (двух точек): в помещении и на открытой местности.
4. Выводы, содержащие анализ полученных данных о погрешности местоопределения, практические особенности использования GPS-навигатора, возможности применения.

После снятия координат с экрана прибора получаем данные в угловых координатах: A,B,C,D;

где A,C - градусы, B,D – минуты (на навигаторе минуты отображаются с точностью до тысячных долей).

Можно обозначить метрические координаты широты – x_i , метрические координаты долготы – y_i , координаты высоты – h_i . Пусть сделано M измерений в одной точке. Для расчета погрешности необходимо перевести географические координаты в метрические. Поскольку высота в GPS-навигаторе измеряется в метрах, то следует перевести в метрические координаты только широту и долготу по формулам:

для широты:

$$x_i = \left(A + \frac{B}{60}\right) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 6371000; \quad (1)$$

для долготы:

$$y_i = \left(C + \frac{D}{60}\right) \cdot \frac{\pi}{180} \cdot 6371000. \quad (2)$$

После расчета получаются метрические координаты широты $x_1, x_2 \dots x_M$ и метрические координаты долготы $y_1, y_2 \dots y_M$.

Найдем далее среднее значение для высоты, широты и долготы по формулам:

для широты:

$$x_{cp} = \frac{1}{M} \cdot \sum x_i; \quad (3)$$

для долготы:

$$y_{cp} = \frac{1}{M} \cdot \sum y_i; \quad (4)$$

для высоты:

$$h_{cp} = \frac{1}{M} \cdot \sum h_i; \quad (5)$$

где M – количество замеров координат для одной точки.

Для расчета погрешностей местоопределения используются формулы:

для широты

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M (x_{cp} - x_i)^2}; \quad (6)$$

для долготы

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M (y_{cp} - y_i)^2}; \quad (7)$$

для высоты

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^M (h_{cp} - h_i)^2}. \quad (8)$$

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расскажите об основных методах радионавигации, используемых в КРНС.
2. Расскажите об истории создания КРНС.
3. Объясните принцип действия КРНС 1-го поколения.
4. Объясните принцип действия КРНС 2-го поколения.
5. В чем суть дифференциальной коррекции в КРНС 2-го поколения?
6. В чем заключается суть метода измерения псевдодальности в GPS.
7. В чем отличие КРНС «НАВСТАР» (США) и системы «ГЛОНАСС» (СССР)?
8. Какие основные составляющие погрешности местоопределения необходимо учитывать в КРНС 2-го поколения?
9. Почему для измерения трех координат в КРНС 2-го поколения используются не менее 4-х спутников?
10. Объясните отличие измеренных в процессе проведения лабораторной работы значений погрешности от приводимых в литературе значений погрешности GPS.
11. Как осуществляется коррекция ионосферной погрешности в КРНС 2-го поколения?
12. Каким способом можно измерить ориентацию объекта в КРНС 2-го поколения?
13. Расскажите об основных направлениях практического использования КРНС.
14. Чем определяется потенциальная точность измерения координат в КРНС 1-го и 2-го поколения?

7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. // М.: Эко-Трендз, 2000.
2. Горячкин О.В., Неронский Л.Б. Методические указания к курсовой работе по курсу ОTRC/ под ред. Д.Д. Кловского, ПГАТИ, 2002г., 30с.
3. Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы, М.: ВШ, 1990г.- 496 стр.
4. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радиолокационные и радионавигационные системы. М.: Радио и связь, 1994.-295с.
5. Шебшаевич В.С., Григорьев М.Н., Кокина Э.Г. и др. Дифференциальный режим сетевой спутниковой радионавигационной системы // Зарубежная радиоэлектроника, 1989, №1, С.22.
6. Н.М. Волков, Н.Е. Иванов, В.А. Салищев, В.В. Тюбалин. Глобальная навигационная спутниковая система "ГЛОНАСС" // Успехи современной радиоэлектроники. 1997. №1.
7. Конспект лекций по курсу РТС.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Краткие сведения из теории космических радионавигационных систем	1
2. Домашнее задание	7
3. Содержание работы.....	8
4. Краткая инструкция пользователю GPS-навигатора GPSmap-76...	8
5. Порядок выполнения работы	14
6. Контрольные вопросы.....	18
7. Рекомендуемая литература.....	18