

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

**”Уральский федеральный университет имени  
первого Президента России Б.Н. Ельцина”**

Центр классического образования  
Физический факультет

Учебная практика

**Глобальные системы позиционирования**

Учебное пособие для студентов 2—3 курса

Екатеринбург, 2011

# СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения	3
Введение	4
Теоретические основы глобальных навигационных систем позиционирования	8
1 Структура ГНСС	8
1.1 Подсистема космических аппаратов	9
1.2 Наземный командно-измерительный комплекс	10
1.3 Навигационная аппаратура потребителей СРНС	11
1.4 Взаимодействие подсистем СРНС в процессе определения текущих координат спутников	12
2 Принцип определения координат с помощью GPS. Основы геодезических GPS-измерений	13
2.1 Системы координат, используемые в GPS	13
2.2 Трансформирование координат	14
2.3 Источники ошибок и точность измерений	16
2.4 Изоповерхности, геометрический фактор	17
3 Кодовый и фазовый режимы GPS-измерений. Кодовые псевдодальности. Абсолютные и относительные определения	19
3.1 Кодовые псевдодальности	20
3.2 Фазовые измерения и их обработка	21
3.3 Постобработка	23
3.4 Многозначность, разности фазовых измерений	23
3.5 Разрешение многозначности	26
3.6 "Интегральный доплер"	27
4 Режимы наблюдений	29
4.1 Статика	30
4.2 Кинематика, другие режимы	30
Практическая часть	33
Введение	33
5 Рекогносцировка местности	35
6 Подготовка необходимого геодезического оборудования	36
7 Полевые работы	38
7.1 Работа базовой станции	39

7.2	Работа ровера	40
7.3	Подготовка камеральной обработки	40
8	Камеральная обработка результатов GPS-измерений	41
8.1	Запуск Justin	41
8.2	Создание нового проекта	41
8.3	Импорт файлов	41
8.4	Привязка пункта к опорной точке, задание высоты антенны	41
8.5	Обработка векторов	42
9	Отчет о проделанной работе	43
	Список использованных источников	44

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- GNSS — global navigational satellite system;
- GPS — global positional system;
- URA — User Range Accuracy — точность измерения дальностей;
- WGS84 — World Geodetic System 1984;
- ВГС — высокоточная геодезическая сеть;
- ГЛОНАСС — глобальная навигационная спутниковая система;
- ИП — исходный пункт;
- ИСЗ — искусственный спутник Земли;
- КИК — командно-измерительный комплекс;
- КС — каркасные сети;
- ПВК — пространственно-временных координат;
- СГГС — спутниковые городские геодезические сети;
- СРНС — спутниковые радионавигационные системы;
- ФАГС — фундаментальная астрономо-геодезическая сеть;

## ВВЕДЕНИЕ

Исторически спутниковая геодезия, ориентированная на выполнение точных геодезических измерений на земной поверхности с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ), возникла в конце 50-х годов, т.е. вскоре после запуска первых ИСЗ. За прошедший более чем 40-летний период эта область геодезии непрерывно совершенствовалась, пройдя различные стадии развития, которые условно можно раз делить на следующие три периода:

- Период с 1958 по 1970 гг. Этот период характеризовался развитием основополагающих методов спутниковых наблюдений, включающих в себя методы вычисления и анализа спутниковых орбит. При их реализации использовались, в основном, методы фотографирования спутников с помощью специально разработанных камер. На основе выполненных исследований были предприняты первые попытки построения глобальных геодезических сетей с использованием спутниковых технологий, создания усовершенствованных моделей Земли. Значительное внимание было уделено при этом глобальным изучением гравитационного поля Земли.
- Период с 1970 по 1980 гг. Основное внимание в течение данного периода было уделено разработке различных научных проектов. На их основе были созданы такие новые методы наблюдений, как лазерные методы измерения расстояний до спутников и спутниковая альтиметрия. Особого внимания заслуживают разработанные в это время доплеровские спутниковые системы Transit (США) и Цикада (Советский Союз). За этот период выполнены глобальные определения формы геоида, сопровождающиеся определениями координат многочисленных точек, находящихся на земной поверхности. Проведенные исследования позволили уточнить модельное представление Земли. Повышение уровня точности спутниковых измерений открыло возможность более детального изучения скорости вращения Земли, закономерностей движения ее полюсов, деформаций земной коры и других параметров.
- Период с 1980г. по настоящее время. Последний период ознаменовался широкомасштабным использованием спутниковых технологий в геодезии, геодинатике, топографии и других смежных областях. Отмеченный прогресс связан, прежде всего, с дальнейшим усовершенствованием спутниковых радионавигационных систем, выразившимся в использовании более совершенных методов измерения величин, на основе которых вычисляются интересующие нас координаты точек на земной поверхности, более удачных параметров орбит, а также целого ряда других технических решений. В результате были созданы такие многофункциональные спутниковые радионавигационные системы, как Navstar GPS (США) и ГЛОНАСС (Советский Союз), также в скором времени планируется ввести в эксплуатацию радионавига-

ционную систему Галилео (совместный проект Европейского Союза и Европейского космического агентства). Применительно к геодезии особого внимания заслуживают реализованные в системе Navstar GPS методы фазовых измерений, базирующиеся на использовании несущих колебаний, которые позволили реализовать сантиметровой (а в отдельных случаях и миллиметровой) уровень точности при измерении базисных линий длиной от нескольких метров до тысячи и более километров.

При внедрении спутниковых технологий в топографо-геодезическое производство резко изменились не только организационные и технические принципы проведения полевых и камеральных работ, но и многие другие основополагающие принципы, что дает основание говорить о революционных преобразованиях в геодезии, связанных со спутниковыми методами геодезических измерений на земной поверхности. Сущность таких революционных преобразований состоит в следующем:

- При использовании традиционных наземных геодезических методов неизбежно возникала потребность обеспечения прямой видимости между смежными определяемыми пунктами, что, в свою очередь, приводило к необходимости выбора пунктов на командных высотах местности, доступ к которым был далеко не всегда удобным, а также к строительству дорогостоящих геодезических наружных сигналов. Но даже при выполнении этих требований максимальное удаление между смежными пунктами ограничивалось, в лучшем случае, расстояниями в несколько десятков километров. Современная спутниковая технология открыла возможность проведения высокоточных геодезических измерений при отсутствии прямой видимости между пунктами, в результате чего отпала необходимость постройки наружных сигналов и выбора пунктов на различного рода возвышениях. При этом длина измеряемых базисных линий столь жестко не лимитируется и может достигать тысячи и более километров.
- При выполнении большинства геодезических измерений традиционные методы требуют не только прямую, но и оптическую видимость между пунктами, следствием чего является необходимость выбора хороших условий видимости и соответствующего времени суток, что снижает производительность полевых работ. Спутниковые методы определения местоположения являются, по существу, всепогодными, в результате чего измерения можно производить при любой погоде, в любое время суток и в любое время года. При этом производительность труда полевых бригад резко возрастает.
- Геодезические измерения, базирующиеся на традиционных методах, приходится производить в высокодинамичных неустойчивых приземных слоях атмосферы. В результате этого

внешние условия оказываются, во многих случаях, основным источником ошибок, ограничивающим предельную точность геодезических измерений, сокращая тем самым круг задач, решаемых геодезическими методами. При использовании спутниковых технологий влияние атмосферы удастся уменьшить в десятки раз, что позволяет повысить предельную точность измерений на один — два порядка.

- Подавляющее большинство традиционных геодезических методов приспособлено для выполнения измерений в статике, т.е. между неподвижными пунктами, что негативно сказывается на развитии динамических методов, ориентированных на выполнение геодезических измерений в движении (морская геодезия, аэрофотосъемка).
- При изучении различного рода деформаций, возникающих в земной коре, крупных инженерных сооружениях и на других объектах, появляется необходимость выполнения достаточно частых (а иногда и непрерывных во времени) измерений. Традиционные геодезические методы плохо приспособлены к организации таких мониторинговых измерений на объектах больших размеров. Что касается спутниковой аппаратуры потребителя, то она без особых затруднений позволяет производить такие измерения.
- Развиваемые в течение многих лет геодезические методы были ориентированы на раздельное создание плановых и высотных сетей, что обусловлено недостаточной универсальностью традиционных методов, не позволяющих одновременно и с необходимой точностью определять все три координаты пунктов. Спутниковые технологии открывают такую возможность, поэтому целесообразность раздельного построения плановых и высотных сетей становится в большинстве случаев необоснованной.
- Традиционно используемые методы геодезических измерений характеризуются сравнительно низким уровнем автоматизации, что не только снижает производительность труда, но и приводит, в отдельных случаях, к появлению дополнительных ошибок измерений, обусловленных субъективными факторами. При спутниковых измерениях роль наблюдателя резко уменьшается, так как практически весь процесс измерений и последующих вычислений полностью автоматизирован.

Накопленный к настоящему времени зарубежный и отечественный опыт работы с современной спутниковой аппаратурой GPS и ГЛОНАСС свидетельствует о том, что в результате перечисленных выше позитивных сторон спутниковой технологии удастся в 10 — 15 раз поднять производительность труда, существенно снизить затраты на выполнение различных видов топографо-геодезических работ и повысить при этом предельную точность основных геодезических

измерений. Вместе с тем успешная реализация преимуществ спутниковых методов местоопределения во многом зависит от того, насколько успешно освоен обслуживающим персоналом весь комплекс вопросов, связанных как с особенностями работы используемой при этом аппаратуры, так и с характерной для нее технологией [1].



# Теоретические основы глобальных навигационных систем позиционирования

## 1 Структура ГНСС

Структура, способы функционирования и требуемые характеристики подсистем спутниковых радионавигационных систем (СРНС) во многом зависят от заданного качества навигационного обеспечения и выбранной концепции навигационных измерений. Для достижения таких важнейших качеств, как непрерывность и высокая точность навигационных определений, в глобальной рабочей зоне в составе современной СРНС типа ГЛОНАСС и GPS функционируют три основные подсистемы (??):

- подсистема космических аппаратов, состоящая из навигационных ИСЗ;
- подсистема контроля и управления (наземный командно-измерительный комплекс);
- аппаратура потребителей.

Разнообразие видов приемников СРНС обеспечивает потребности наземных, морских, авиационных и космических (в пределах ближнего космоса) потребителей.

Основной операцией, выполняемой в СРНС с помощью этих сегментов, является определение пространственных координат местоположения потребителей и времени, т. е. пространственно-временных координат (ПВК). Эту операцию осуществляют в соответствии с концепцией независимой навигации, предусматривающей вычисление искомых навигационных параметров непосредственно в аппаратуре потребителя. В рамках этой концепции в СРНС выбран позиционный способ определения местоположения потребителей на основе беззапросных (пассивных) дальномерных измерений по сигналам нескольких навигационных искусственных спутников Земли с известными координатами.

Выбор концепции независимой навигации и использование беззапросных измерений обеспечили возможность достижения неограниченной пропускной способности СРНС. По сравнению с зависимой навигацией, не предусматривающей процедуры вычислений ПВК в приемниках СРНС, произошло усложнение аппаратуры потребителей. Однако современные достижения в области технологий сделали возможной реализацию таких подходов при решении проблемы навигационных определений.

Высокая точность определения местоположения потребителей обусловлена многими факторами, включая взаимное расположение спутников и параметры их навигационных сигналов. Структура космического сегмента обеспечивает для потребителя постоянную видимость требуемого числа спутников.

В настоящее время считается целесообразным введение в состав СРНС региональных дополнительных систем, обеспечивающих реализацию наиболее строгих требований потребителей. Эти структуры позволяют существенно повысить точность наблюдений, обнаруживать и идентифицировать нарушения в режимах работы СРНС, недопустимое ухудшение качества ее функционирования и своевременно предупреждать об этом потребителей, т. е. они могут осуществлять контроль целостности системы и поддерживать режим дифференциальных измерений.

Рассмотрим более подробно каждую из подсистем.

### 1.1 Подсистема космических аппаратов

Подсистема космических аппаратов СРНС состоит из определенного числа навигационных спутников. Основные функции спутников — формирование и излучение радиосигналов, необходимых для навигационных определений потребителей СРНС. В состав аппаратуры навигационных спутников включают: радиотехническое оборудование (передатчики навигационных сигналов и телеметрической информации, приемники данных и команд от подсистемы контроля и управления, антенны, блоки ориентации), ЭВМ, бортовой эталон времени и частоты, солнечные батареи и т. д. (изображение действующего навигационного спутника на рисунке 1.1).



Рисунок 1.1 – Спутник GPS на орбите.

Бортовые эталоны времени и частоты обеспечивают практически синхронное излучение нави-

гационных сигналов всеми спутниками, что необходимо для реализации режима пассивных дальномерных измерений в аппаратуре потребителей.

Навигационные сигналы спутников содержат дальномерные компоненты и компоненты служебных сообщений. Первые используют для определения в аппаратуре потребителей СРНС навигационных параметров (дальности, ее производных, ПВК и т. д.), вторые — для передачи потребителям координат спутников, векторов их скоростей, времени и др. Основная часть служебных сообщений спутника подготовлена в наземном командно-измерительном комплексе и передана по радиолинии на борт спутника. И только небольшая их часть формируется непосредственно бортовой аппаратурой.

Выбор состава и конфигурации орбитальной группировки спутников может обеспечить заданную рабочую зону, возможность реализации различных методов навигационно-временных определений (и их непрерывность и точность), диапазон изменения параметров радиосигналов спутников и т. д. Например, увеличение высоты полета навигационных спутников современных средневысотных СРНС до 20 000 км позволяет принимать сигналы каждого спутника на значительных территориях. И тогда несколько спутников, расположенных на определенных орбитах, могут формировать сплошное, с точки зрения наземного и авиационного потребителя, радионавигационное поле (глобальную рабочую зону).

В системе GPS имеется 24 постоянно работающих спутника (дополнительно существуют резервные спутники). Спутники распределены по шести круговым орбитам. На каждой орбите, таким образом, находится 4 спутника. Плоскости орбит разнесены по прямому восхождению на  $60^\circ$ . Наклон плоскости орбиты к плоскости экватора составляет  $53^\circ$ . Расстояние спутников от поверхности Земли составляет 20200 километров. При этом период обращения равен половине звездных суток.

Основой системы ГЛОНАСС должны являться 24 спутника, движущихся над поверхностью Земли в трёх орбитальных плоскостях с наклоном орбитальных плоскостей  $64, 8^\circ$  и высотой 19100 км. По состоянию на 14.09.2011 используются по целевому назначению 23 навигационных спутника, на этапе ввода в систему — 1 спутник, временно выведены на техническое обслуживание 3 спутника [2].

## **1.2 Наземный командно-измерительный комплекс**

Подсистема контроля и управления представляет собой комплекс наземных средств, которые обеспечивают наблюдение и контроль за траекториями движения спутников, качеством функционирования их аппаратуры; управление режимами ее работы и параметрами спутниковых радиосигналов, составом, объемом и дискретностью передаваемой со спутников навигационной информации, стабильностью бортовой шкалы времени и др.

Обычно подсистема контроля и управления состоит из координационно-вычислительного центра, станций траекторных измерений и управления, системного (наземного) эталона времени и частоты.

Периодически при полете спутника в зоне видимости станций траекторных измерений происходит наблюдение за спутником, что позволяет с помощью координационно-вычислительного центра определять и прогнозировать координатную и другую необходимую информацию. Затем эти данные закладывают в память бортовой ЭВМ и передают потребителям в служебном сообщении в виде кадров соответствующего формата.

Синхронизация различных процессов в СРНС обеспечивается с помощью высокостабильного (атомного) системного эталона времени и частоты, который используется, в частности, в процессе юстировки бортовых эталонов времени и частоты навигационных спутников СРНС.

### 1.3 Навигационная аппаратура потребителей СРНС

Приемники СРНС (примеры изображены на рисунке 1.2), состоящие из радиоприемника и вычислителя, предназначены для приема и обработки навигационных сигналов спутников с целью определения необходимой потребителям информации (пространственно-временных координат, направления и скорости, пространственной ориентации).



Рисунок 1.2 – Современные GPS приемники.

Пространственное положение потребителя обычно определяется в приемоиндикаторе в два этапа: сначала определяются текущие координаты спутников и первичные навигационные параметры (дальность, ее производные и др.) относительно соответствующих спутников, а затем рассчитываются вторичные — геодезическая широта, долгота, высота потребителя и т. д.

Сравнение текущих координат потребителей с координатами выбранных навигационных точек (точек маршрута, реперов и т. п.) позволяет сформировать в приемнике сигналы для управления различными транспортными средствами. Вектор скорости потребителя вычисляют путем обработки результатов измерений доплеровских сдвигов частоты сигналов спутников с учетом из-

вестного вектора скорости спутника. Для нахождения пространственной ориентации потребителя в приемнике СРНС осуществляются разностные измерения с использованием специальных антенных решеток.

#### **1.4 Взаимодействие подсистем СРНС в процессе определения текущих координат спутников**

Непрерывное нахождение текущих координат спутника, движущихся с большими изменяющимися во времени скоростями, представляет собой сложную задачу.

Эти координаты могут быть определены в общем случае на командно-измерительном комплексе (КИК). В современных СРНС управление спутником осуществляется с ограниченных территорий и, следовательно, не обеспечивается постоянное взаимодействие КИК и сети спутников. В связи с этим выделяют два этапа решения этой задачи. На первом этапе в аппаратуре командно-измерительного комплекса измеряют координаты спутников в процессе их пролета в зоне видимости и вычисляют параметры их орбит. Эти данные прогнозируются на фиксированные (опорные) моменты времени, например на середину каждого получасового интервала предстоящих суток, до выработки следующего прогноза. Спрогнозированные координаты спутников и их производные (эфемериды) передаются на спутник, а затем в виде навигационного (служебного) сообщения, соответствующего указанным моментам времени, потребителям. На втором этапе в аппаратуре потребителя по этим данным осуществляется последующее прогнозирование координат спутников, т. е. вычисляются текущие координаты спутников в интервалах между опорными точками траектории. Процедуры первичного и вторичного прогнозирования координат проводят при известных закономерностях движения спутников.

Заметим, что в навигационное сообщение командно-измерительного комплекса, кроме того, закладывают альманах — набор справочных сведений о всей сети спутников, в том числе загруженные эфемериды спутников, которые обычно используются для определения видимых потребителю спутников и выбора рабочего созвездия, обеспечивающего высокое качество навигационно-временных определений. Темп обновления точной эфемеридной информации значительно выше, поэтому ее часто называют оперативной эфемеридной информацией в отличие от долговременной информации в альманахе [3].

## 2 Принцип определения координат с помощью GPS. Основы геодезических GPS-измерений

Принцип работы спутниковых систем, если рассматривать его в первом приближении, весьма прост: положение наземного объекта определяется линейной засечкой по расстоянию между спутником и приёмником. По геометрической сути спутниковая система является дальномерной. По физической или аппаратурной сути спутниковая система является беззапросной. Спутник постоянно излучает радиосигнал; приёмник получает сигнал от всех спутников, находящихся над горизонтом. Расстояние определяется по простой формуле  $d = vt$ , где  $d$  — расстояние,  $v$  — скорость распространения сигнала, то есть скорость света,  $t$  — время прохождения сигнала от спутника до приёмника. Следовательно, для определения расстояния необходимо точно знать время распространения сигнала. Опорные генераторы спутника и приемника независимы и успешное выполнение измерений требует, чтобы их рассинхронизация была учтена. Система работает в трех неразрывно связанных режимах. Связь между режимами осуществляет, в основном, программное обеспечение.

### 2.1 Системы координат, используемые в GPS

Конечным результатом геодезических работ является набор координат пунктов с приписанными им названиями и параметрами. При этом необходимо решить две взаимосвязанные задачи: фиксировать систему координат и определить в этой системе координаты интересующих пунктов и объектов.

В 1984 году международным соглашением была принята всемирная геодезическая система координат — World Geodetic System — WGS 84. Именно эта система координат используется в GPS. Что касается системы высот, то здесь используется геодезическая высота пункта (расстояние от него до поверхности эллипсоида относимости, отсчитанное по нормали к этой поверхности). Стоит отметить, что на территории бывшего СССР используют нормальные высоты (высота пункта над квазигеоидом).

Декартова система координат наиболее универсальна. Именно в ней удобнее всего решать большинство задач. Исключение составляет навигация. Прямоугольные трехмерные координаты пользователя GPS не дают ему наглядного представления о его местонахождении на поверхности Земли. Такое представление дают долгота, широта и высота. Поэтому в GPS наряду с системой координат  $X, Y, Z$  используют эллипсоидальную систему  $B, L, H$ . Обе системы связаны с одним и тем же эллипсоидом WGS 84. Центр эллипсоида совпадает с началом координат  $O$ , малая полуось эллипсоида совпадает с осью  $Z$ . Поверхность эллипсоида наиболее близко описывает поверхность геоида. В процессе наблюдений приемник GPS определяет свои эллипсоидальные координаты

$B, L, H$  в системе WGS 84.

О том, насколько близка поверхность эллипсоида к поверхности геоида (квазигеоида), судят по аномалиям высоты (высота геоида над эллипсоидом) в пунктах геодезической сети. Если сумма квадратов аномалий минимальна, то поверхность эллипсоида наиболее близка к поверхности геоида. Если сумму берут по пунктам глобальной геодезической сети, то получают общеземной эллипсоид, например WGS 84. Если же эллипсоид подбирают для ограниченной территории, то сумму квадратов аномалий высот берут только по геодезическим пунктам, находящимся на этой территории. В результате получают референц-эллипсоид.

Приступая к работе, геодезист, использующий аппаратуру GPS, располагает координатами геодезических пунктов, сохранившихся на данном объекте. Именно этот набор координат практически реализует референцную систему координат. Однако процесс создания сети особенно такой огромной, как государственная сеть России, неизбежно сопровождается ошибками. Любая локальная и региональная сеть как часть государственной сети имеет в этом смысле свои особенности. Поэтому на каждом объекте приходится работать не в некоей единой для всей страны референцной системе координат, а, по существу, в локальной или региональной системе координат, более или менее адекватно отражающей единую референцную систему координат. Кроме того, точность созданной наземными методами опорной сети ниже точности вновь создаваемой спутниковой сети. Преодолеть это противоречие можно было бы, уточнив, а, следовательно, изменив координаты исходных пунктов по результатам спутниковых измерений. Для этого потребуется внести изменения во все картографические, кадастровые и другие материалы. Это реально лишь на территории, где создана геоинформационная система. Таких мало, поэтому на каждом объекте проблему пока приходится решать индивидуально.

## 2.2 Трансформирование координат

GPS позволяет получить результаты в системе WGS 84, потребителя же продукции, геодезиста и специалиста по кадастру, интересуют данные, отнесенные к локальной или региональной системе координат. Именно в этой системе координат, фиксированной координатами опорных пунктов, расположенных на участке работ, выражена вся уже имеющаяся к началу работ у заказчика топографо-геодезическая и кадастровая информация. Резонно потребовать, чтобы вновь полученная информация была бы отнесена к той же системе координат. В связи с этим возникает проблема перехода от системы координат WGS 84 к локальной или региональной системе координат, являющейся практической реализацией референцной системы координат. В этом и состоит проблема трансформирования координат.

Наиболее общим видом трансформирования является трехмерное преобразование по форму-

ле Гельмерта:

$$D_{ref} = (1 + \mu)RD_{wgs} + \Delta d \quad (2.1)$$

В этой формуле использованы следующие обозначения: символами  $D_{ref}$  и  $D_{wgs}$  обозначен один и тот же вектор базы, соединяющий центры двух геодезических пунктов, выраженный соответственно в референцной системе координат и в общеземной системе WGS 84. Вектор  $\Delta d$  — вектор сдвига начала координат одной системы относительно другой. Малая величина  $\mu$  представляет собой отклонение масштаба от единицы, она учитывает систематическую разницу в масштабах сети, созданной наземными методами и сети, вновь создаваемой спутниковым методом.  $R$  — матрица вращения:

$$R = R3(Wz)R2(Wy)R1(Wx) \quad (2.2)$$

Здесь  $Wx, y, z$  — углы поворота вокруг осей  $X, Y, Z$ ; матрицы вращения  $R1, 2, 3$ .

Таким образом, чтобы выполнить трехмерное трансформирование необходимо знать с достаточной точностью семь параметров преобразования: три параметра сдвига, три параметра поворота и один масштабный коэффициент. Для этого необходимо иметь не менее семи уравнений типа (2.2), включающих семь неизвестных параметров трансформирования. Четыре пункта с известными в референцной системе координатами образуют три независимые базы, порождающие девять уравнений. Два уравнения являются избыточными. Это означает, что необходимо выполнить спутниковые наблюдения на четырех пунктах, координаты которых известны в региональной или локальной системе координат. Такое трехмерное трансформирование используют в больших сетях, размеры которых исчисляются тысячами километров.

В геодезических сетях меньших размеров применяют двумерное трансформирование, именно оно наиболее часто встречается на практике. Первоначально трехмерный вектор базы редуцируют на плоскость геодезической проекции. В этом случае имеем четыре параметра трансформирования: два параметра сдвига начала координат, один угловой параметр вращения и масштабный фактор. Три пункта с известными в референцной системе координатами образуют три независимые базы, порождающие четыре уравнения с четырьмя неизвестными параметрами трансформирования.

На практике редко определяют угловой параметр вращения и масштабный фактор. Определяют только два параметра сдвига начала координат. Один из трех исходных пунктов выбирают в качестве главного, фиксирующего региональную или локальную систему координат. Как правило, такой пункт расположен близко к центру геодезической сети. Остальные два исходных пункта нужны для того, чтобы проконтролировать точность координат главного исходного пункта.



### 2.3 Источники ошибок и точность измерений

Существует несколько источников ошибок измерений и источников ошибок определения интересующих параметров. Принято разделять их на источники ошибок, вызванные работой аппаратуры, на источники ошибок, связанные с влиянием внешней среды и влиянием ошибок исходных данных, то есть в данном случае, с ошибками координат спутников.

К аппаратурным источникам ошибок относят факторы, определяющие разрешающую способность аппаратуры. Мерой разрешающей способности является ошибка, с которой пара приемников определяет вектор базы в неких идеальных условиях при длительной сессии наблюдений. Понятие "идеальные условия" трудно сформулировать строго. Можно сказать, что при таких условиях вокруг каждого приемника отсутствуют препятствия, а PDOP близок к единице. Понятие "длительная сессия" также можно определить только на качественном уровне. Продолжительность сессии и длительность цикла сбора информации таковы, что дальнейшие наблюдения уже не повышают точность. Это примерно 2 — 3 часа при длительности цикла в 15 секунд, хотя какие либо инструкции на этот счет отсутствуют. Опыт показывает, что при этом вектор длиной порядка километра определяется с ошибкой 2 — 3 миллиметра. Речь идет о внутренней, аппаратурной точности, обеспечиваемой качеством аппаратуры и уровнем ее программного обеспечения. Используя аналогию с наземной аппаратурой, можно сказать, что, понятие "разрешающая способность комплекта спутниковых приемников" аналогична понятию "инструментальная точность теодолита", мерой которой является ошибка измерения угла в лабораторных условиях.

С антенной связан еще один источник ошибок, *многолучевость* или *многопутность* (multipass) сигнала. Хотя сигнал спутника и принадлежит к диапазону сверхвысоких частот, его волны отражаются от некоторых не слишком шероховатых поверхностей. Длина волны несущих колебаний составляет примерно 0,2 метра, поэтому любая поверхность, размеры шероховатостей которой меньше этой величины, играют для данной волны роль зеркала. Радиоволны отражаются от ровной поверхности земли и от поверхности расположенного близ антенны препятствия, например, от стены здания. Отраженный сигнал попадает на антенну также как и сигнал, пришедший прямо со спутника. Длина пути, пройденного отраженным сигналом, больше интересующей наблюдателя длины пути прямого сигнала. Прямой сигнал, взаимодействуя с отраженным, искажается, и это влияет на точность измерений. В наземной радиогеодезии такое явление известно, это влияние на результаты радиодальномерных измерений отражения радиоволн от подстилающей поверхности и окружающих объектов. Препятствие не только ухудшает геометрию наблюдений, закрывая часть небосклона, но и создает условия для многопутности. Поэтому и стремятся располагать пункты на открытых местах. Получается это не всегда. Например, бывает, что необходимо определить пункт, находящийся близ здания. Единственной мерой, также как и мерой по повышению вероятности успешного разрешения многозначности, является увеличение длительности сессии наблюдений.

Таблица 1 – Типы геодезических спутниковых приемников

Тип приёмника	Группа	Число каналов не менее	Частоты	Точность
Двухсистемные двухчастотные и более	1	24	L1/L2(GPS)+L1/L2(ГЛОНАСС)	$3mm + 10^{-6}L$
Односистемные двухчастотные	2	9	L1/L2(GPS)+L1/L2(ГЛОНАСС)	$3 - 5mm + 10^{-6}L$
Односистемные одночастотные	3	9	L1(GPS) или L1(ГЛОНАСС)	$10mm + 2 * 10^{-6}L$

Дело в том, что влияние многопутности с течением времени носит циклический характер и при достаточно длительной сессии в среднем исключается или ослабляется.

Учет влияния атмосферы состоит в определении задержки сигнала в ионосфере, стратосфере и в тропосфере. Если расстояние между пунктами, на которых установлены приемники, невелико и имеет порядок десятка километров, то сигнал от спутника проходит до приемников по близким путям и испытывает на этих путях примерно одинаковые задержки. Считают, что учет задержек сигнала в атмосфере на таких базах особых проблем не составляет, хотя этот вопрос изучен недостаточно. Можно считать, что влияние этого источника ошибок лежит в пределах сантиметра.

Типы и группы геодезических спутниковых приемников представлены в таблице 1.

Для производства работ по наблюдению исходных пунктов (ИП) спутниковых городских геодезических сетей допускается применять двухчастотные двухсистемные спутниковые приемники 1 группы.

На каркасных сетях (КС) и спутниковых городских геодезических сетях 1 класса (СГГС-1) допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников 1 и 2 группы.

На спутниковых городских геодезических сетях 2 класса (СГГС-2) допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников 1 и 2 группы и в виде исключения допускается выполнение работ с применением спутниковых приемников 3 группы.

## 2.4 Изоповерхности, геометрический фактор

Пусть с использованием дальномерного устройства необходимо определить местоположение пункта относительно исходных пунктов. Местоположение вновь определяемого пункта невозможно найти с точностью выше точности измерений. В лучшем случае ошибка определения местоположения равна ошибке измерений. Сказанное можно выразить в виде формулы, связывающей

ошибку  $M_{def}$  определения местоположения и ошибку измерения  $M_{mes}$ :

$$M_{def} = (D)M_{mes}. \quad (2.3)$$

Здесь DOP - Dilution of Precision - падение точности, размывание точности из-за геометрии наблюдений, геометрический фактор. Применительно к спутниковым наблюдениям это коэффициент, определяющий, во сколько раз ошибка определения больше ошибки измерения. DOP не может быть меньше единицы, но чем он меньше, тем лучше. Величина DOP зависит от того, под какими углами пересекаются изоповерхности, то есть от геометрии наблюдений (см. рисунок 2.1).

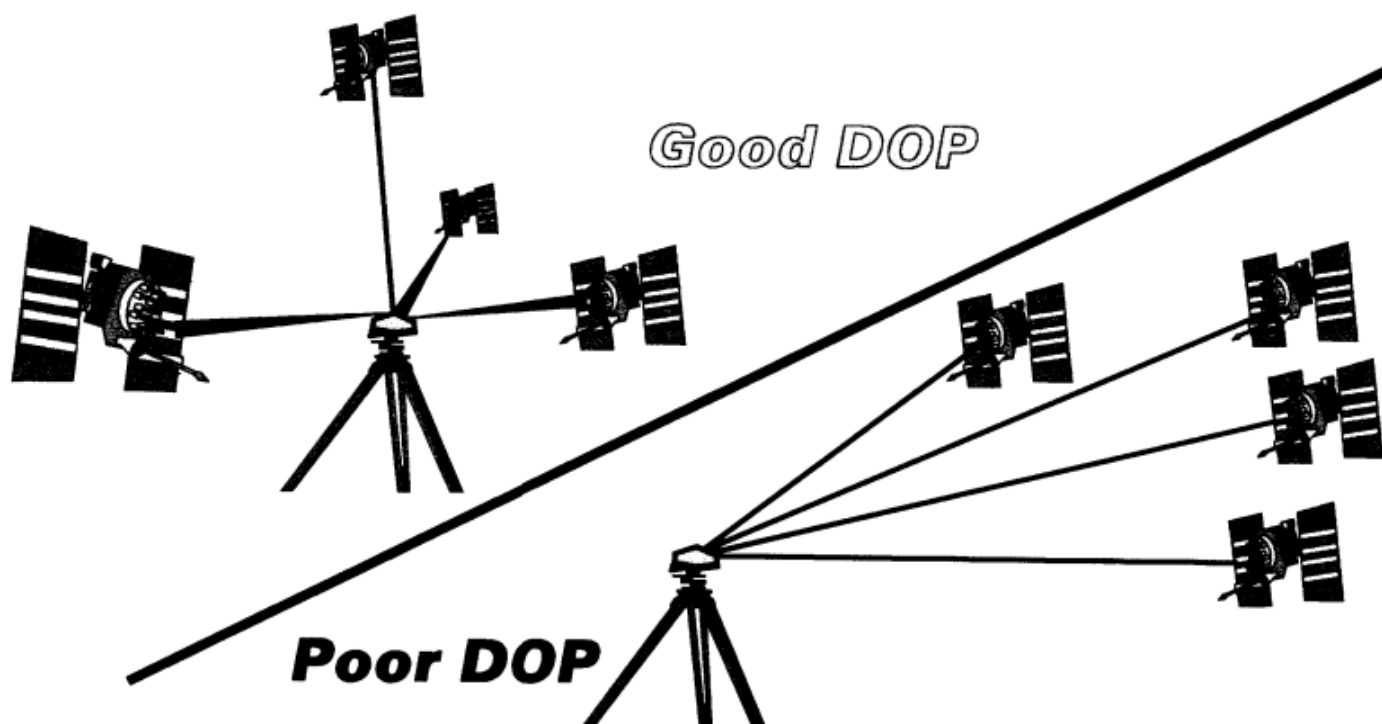


Рисунок 2.1 – Варианты расположения спутников [4].

Существует несколько видов DOP. DOP по плановому положению называют HDOP (Horizontal DOP). DOP по высоте (вертикали) называют VDOP (Vertical DOP). Сумма квадратов этих DOP дает квадрат PDOP, то есть DOP по положению — Position DOP. Опыт работы говорит, что при высокоточных измерениях PDOP не должен превышать трех единиц. При рядовых работах, например при определении координат опознаков, он не должен превышать семи. К сожалению, пока не существует инструкций, регламентирующих предельные значения такого рода параметров, да и вообще других допусков на точность и продолжительность измерений. Сейчас все делается лишь на основе собственного опыта. DOP по определению поправки часов называют TDOP (Time DOP). Сумма квадратов PDOP и TDOP дает квадрат GDOP - геометрический DOP (Geometrical DOP). Он является наиболее общей характеристикой геометрических условий наблюдений.

### 3 Кодовый и фазовый режимы GPS-измерений. Кодовые псевдодальности. Абсолютные и относительные определения

Кодовый режим — это режим, изначально заложенный в систему. Сигнал каждого спутника содержит его эфемериды — данные о местоположении спутника, позволяющие программному обеспечению вычислить координаты спутника в земной системе координат. Кроме того, кодовый сигнал содержит передаваемую каждые шесть секунд временную метку. Момент ухода временной метки со спутника, определенный по часам спутника, "подписан" на ней. Приемник захватывает сигнал спутника, идентифицирует спутник по коду его сигнала, "считывает" временную метку и измеряет по своим часам момент ее прихода на антенну. Разность момента прихода метки на антенну и момента ухода ее со спутника дает время  $\tau_p$  прохождения сигнала от спутника до приемника. Это позволяет вычислить дальность от приемника до спутника. Но между их показаниями в один и тот же момент времени существует ненулевая разность — относительная поправка часов. Она входит в результат определения дальности. Поэтому в данном случае дальность называют псевдодальностью. Говорят, что в кодовом, навигационном режиме измеряемой величиной является кодовая псевдодальность. Поправку часов приемника относительно часов спутника на момент наблюдений определяют как неизвестную величину из обработки результатов этих наблюдений. Таким образом, для каждого пункта имеется не три (три координаты пункта), а четыре неизвестных: три координаты и поправка часов приемника. Следовательно, для мгновенного определения местоположения необходимо, чтобы на антенну приемника одновременно приходили сигналы не менее чем от четырех спутников системы. Созвездие спутников системы обеспечивает это требование.

Фазовый режим — это режим высокоточных геодезических измерений. В нем одновременно участвуют, по крайней мере, два приемника. В этом режиме получают координаты вектора базы, то есть разность координат пунктов, на которых установлены антенны спутниковых приемников. Ошибка определения вектора базы составляет от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Измерения выполняют на несущей частоте сигнала спутника, освобожденного от кода процедурой квадратурования. Измеряемой величиной является мгновенная разность фаз сигнала спутника и сигнала генератора приемника.

Здесь уместно сказать о терминах абсолютные и относительные определения. По более или менее сложившейся терминологии под абсолютными определениями понимают определение координат пункта, то есть работу в кодовом навигационном режиме. Под относительными определениями понимают определение местоположения одного пункта относительно другого, твердого исходного пункта. Таков разностный фазовый режим геодезических измерений. Относительными определениями можно также назвать дифференциальный навигационный кодовый режим, когда

местоположение и вектор скорости подвижного носителя определяют относительно дифференциальной станции.

Доплеровский режим, точнее режим "интегрального доплера", является как бы побочным по отношению к фазовому. Доплеровская частота пропорциональна скорости изменения фазы, поэтому доплеровскую частоту получают попутно с измерением фазы, без каких-либо дополнительных затрат. Несмотря на "бесплатность" этот режим дает богатую информацию о местоположении пункта. Следует напомнить, что первые спутниковые радионавигационные системы были исключительно доплеровскими.

Режимы наблюдений неразрывно связаны друг с другом. Геодезиста более всего интересует высокоточный фазовый режим, однако приближенные значения координат пунктов, необходимые для уравнивания, он получает из кодовых и доплеровских измерений. Перемещение по объекту и поиск исходных пунктов также очень облегчает использование кодового навигационного режима.

### **3.1 Кодовые псевдодалности**

Каждый спутник системы излучает несущие колебания с длиной волны около 20 сантиметров, модулированные по фазе кодовыми последовательностями. Все спутники GPS работают на одних и тех же несущих частотах, но каждому спутнику присущ его индивидуальный код. Спутниковый приемник хранит копии кода каждого спутника и идентифицирует спутники именно по форме кода. Сразу после включения приемника он начинает захват сигналов спутников. Другими словами, приемник выполняет корреляционную обработку сигнала спутника и хранящихся в его памяти копий кодов, перебирая эти копии. Отличие функции корреляции от нуля означает, что спутник идентифицирован, а его сигнал захвачен.

После захвата сигнала первого же спутника приемник начинает скачивать кодовую информацию, содержащуюся в навигационном спутниковом сообщении. В частности, скачивается альманах. Иногда приемник самостоятельно принимает решение перейти к скачиванию информации с другого, более "удобного", по его мнению, спутника, как правило, находящегося ближе всего к зениту пункта наблюдения. Вся процедура отражается на дисплее, оператор может это наблюдать, но не может вмешаться. После захвата сигналов достаточного количества спутников приемник начинает определять навигационные координаты своей антенны по измеренным кодовым псевдодалностям. Для определения всех трех координат антенны необходимо работать с четырьмя спутниками. Такой режим обозначают 3D (three dimension — трехмерный). В навигационных приемниках предусмотрена возможность работы в двумерном режиме 2D. Приемник, пока он успел захватить сигнал только трех спутников, определяет плановые координаты пункта. После захвата сигнала четвертого спутника приемник переходит в режим 3D.

Кодовые псевдодалности определяют из корреляционной обработки сигнала спутника, в

результате которой получают момент прихода временной метки на антенну. Момент прихода получают по часам приемника, а момент ухода временной метки со спутника известен по часам спутника. Разность моментов прихода и ухода, исправленная за задержки сигнала в атмосфере и еще за влияние ряда факторов и умноженная на скорость сигнала, дает псевдодальность. Ее вычисляют по формуле для случая однократного прохождения сигнала по дистанции. Отличие в том, что результат искажен поправкой часов приемника относительно часов спутника. Измерение кодовых псевдодальностей выполняют, реализуя временной метод измерений с кодовой модуляцией сигнала, проходящего дистанцию однократно. Зная из навигационного сообщения координаты спутников в момент наблюдений и используя измеренные псевдодальности, приемник определяет координаты антенны. Задача аналогична линейной пространственной засечке. Отличие в том, что в дополнение к координатам антенны получают поправку часов приемника. Ошибку измерений характеризует URA — User Range Accuracy — точность измерения дальностей (до каждого спутника) для данного пользователя. Ошибка определения координат и поправки часов зависит также от геометрии наблюдений. Вся эта информация также выдается на дисплей.

В кодовом режиме работают все спутниковые приемники - от недорогого кодового навигационного приемника, помещающегося на ладони, до самого совершенного геодезического фазового приемника.

### **3.2 Фазовые измерения и их обработка**

В геодезическом приемнике измеряют мгновенную разность фаз сигнала спутника и колебания опорного генератора приемника. Фазовые измерения являются наиболее точными. За высокую точность приходится расплачиваться усилиями, потраченными на разрешение многозначности фазовых измерений. Сигнал спутника не является гармоническим, как это необходимо для фазовых измерений. Напротив, он модулирован по фазе сложным псевдошумовым кодом. Чтобы выполнить фазовые измерения, необходимо убрать кодовую модуляцию. Так и делают, используя операцию квадратурования. Принимаемый сигнал умножают на самого себя. В результате получается сигнал со сложным спектром. В нем содержится гармоника, частота которой равна удвоенной несущей частоте сигнала спутника. Это колебание выделяют, усиливают и именно на нем выполняют фазовые измерения. При этом кодовую информацию не игнорируют. Ее в полной мере используют для получения навигационных координат пунктов и для приема навигационного сообщения.

Таким образом, при кодовых измерениях играет роль несинхронность показаний часов спутника и приемника, а при фазовых измерениях играет роль несинфазность колебаний опорных генераторов спутника и приемника. Аппаратурно, то есть путем организации дополнительных каналов связи между приемником и спутником, эти параметры определить невозможно. Несинфазность

исключают из результатов обработки путем формирования разностей фазовых измерений.

Обработка геодезических измерений - это этап работы, следующий за выполнением измерений. Результатом обработки является готовая продукция: каталог координат пунктов геодезической сети, цифровая карта, геоинформационная система региона или объекта. Здесь сделаем акцент на создании каталога координат. Это важная задача; от того, насколько эффективно она решена, зависит возможность решения всех последующих задач. В GPS процедура обработки компьютеризована. Программное обеспечение "скрывает" некоторые процедуры от пользователя но, вместе с тем, активное вмешательство пользователя в процедуру обработки необходимо.

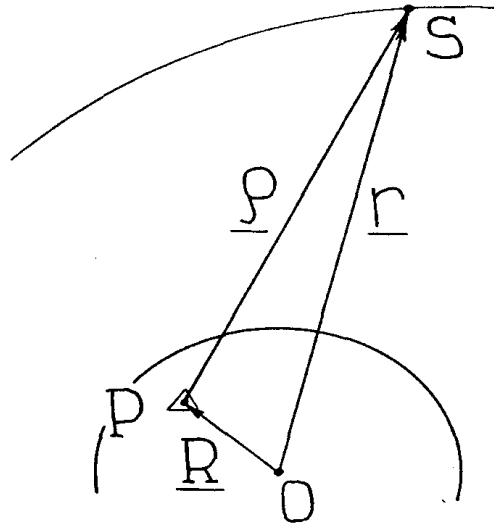


Рисунок 3.1 – Геометрия спутниковых наблюдений.

При обработке геодезических измерений используют коррелятный и параметрический методы. В GPS используют параметрический метод. При этом подходе прежде всего необходимо составить уравнение, связывающее измеряемую величину с определяемыми параметрами. В спутниковой геодезии измеряемые величины и определяемые параметры связаны основным соотношением, иллюстрируемым рисунком 3.1.

Будучи записанным в векторном виде, это соотношение имеет вид:

$$R + \rho = r. \tag{3.1}$$

В этом выражении  $R$  — геоцентрический вектор пункта ;  $\rho$  — топоцентрический вектор спутника  $S$ ;  $r$  — геоцентрический вектор спутника. Геоцентрический вектор спутника получают из его эфемерид. Геоцентрический вектор пункта является тем, что необходимо получить, работая в навигационном режиме. При выполнении геодезических измерений получают разность геоцентрических векторов пунктов. Будучи дальномерной системой, GPS позволяет из измерений получать длину вектора  $\rho$ , то есть его модуль. Уравнение принимает вид:

$$\rho = |r - R|. \tag{3.2}$$

Именно это соотношение используют при обработке результатов измерений. Для этого его выражают в координатной форме, линеаризуют и выполняют все остальные процедуры, предусмотренные совершенным механизмом метода наименьших квадратов.

Спутниковые измерения имеют много общего с другими геодезическими методами. Есть, однако, и особенности. Проявляются они на этапе постобработки и при разрешении многозначности фазовых измерений.

### 3.3 Постобработка

На этом этапе работ разрешают многозначность фазовых измерений и вычисляют вектор в WGS 84. Другими словами, вычисляют компоненты вектора, соединяющего пункты, на которых установлены приёмники.

Задача состоит в том, чтобы выяснить, успешными ли были наблюдения прошедшего дня и насколько полученные результаты согласуются с тем, что было сделано ранее. При выявлении проблем вносят корректировки в планы на следующий день.

Зарегистрированные приемниками данные (необработанные данные, сырые данные, raw data) скачивают в офисный компьютер. Программное обеспечение может контролировать действия оператора и корректность вводимой информации.

Обработав очередную базу, оператор выясняет, как результат согласуется с исходными данными и с результатами, полученными им ранее. Речь идет о том, как согласуются полученные разности координат с каталожными разностями координат исходных пунктов, и каковы координатные невязки замкнутых фигур. Согласование результатов спутниковых измерений с созданными ранее сетями создает проблемы. Что касается невязок замкнутых фигур, то векторная сумма баз должна быть равна нулю. Другими словами, должны выполняться равенства:

$$\Sigma \Delta X = 0; \Sigma \Delta Y = 0; \Sigma \Delta Z = 0; \quad (3.3)$$

существенное отклонение от этого условия свидетельствует о низкой точности или о грубых ошибках в результатах. Не существует инструкции, оговаривающей допуски, поэтому данный вопрос решают, исходя из личного опыта. Основное время при постобработке занимает разрешение многозначности.

### 3.4 Многозначность, разности фазовых измерений

Существуют две проблемы: разрешение многозначности и учет начальных фаз и колебаний генераторов спутника и приемника.

Приемник не только измеряет разность фаз, но непрерывно регистрирует результат этого измерения. Такая процедура называется счетом целых фазовых циклов. В наземных системах



счет идет достаточно медленно: единицы циклов в секунду или в минуту. В спутниковой системе приемник считает тысячи циклов в секунду. Существуют сбои в счете и это отдельная проблема. В целом многозначность разрешают способом, во многом аналогичном способу радиолога и способу фазового зонда, используемым в наземных системах. Отличие в том, что расстояние до спутника в начальный момент измерений в спутниковой системе с достаточной точностью знать нельзя. К этому присоединяются проблемы, связанные с неопределенностью начальных фаз.

При спутниковых измерениях многозначность необходимо разрешить "мгновенно", быстрое перемещение спутника не дает возможности повтора. Проблемы этим не ограничиваются, GPS создавалась как навигационная кодовая система, изначально не предназначенная для фазовых измерений. В ней нет стройной сетки частот, специально предназначенной для разрешения многозначности. Все это приводит к тому, что разрешение многозначности — самая большая проблема в спутниковых измерениях. Решить её удастся, формируя разности результатов фазовых измерений.

В геодезических измерениях участвуют несколько приемников, как минимум два. Каждый приемник одновременно принимает и регистрирует сигнал нескольких спутников. Рассмотрим два элементарных случая: один приемник одновременно принимает и регистрирует сигнал двух спутников; два приемника одновременно принимают и регистрируют сигнал одного спутника. Первый случай иллюстрирован рисунком 3.2. Второй случай иллюстрирован рисунком 3.3. На этапе постобработки программное обеспечение формирует разности фазовых измерений. Другими словами, в первом случае формируют разность фаз сигналов от двух спутников на одном приемнике. Во втором случае формируют разность фаз сигналов от одного спутника на двух приемниках. Это называют первой или одинарной разностью "спутник-спутник" и "приемник-приемник".

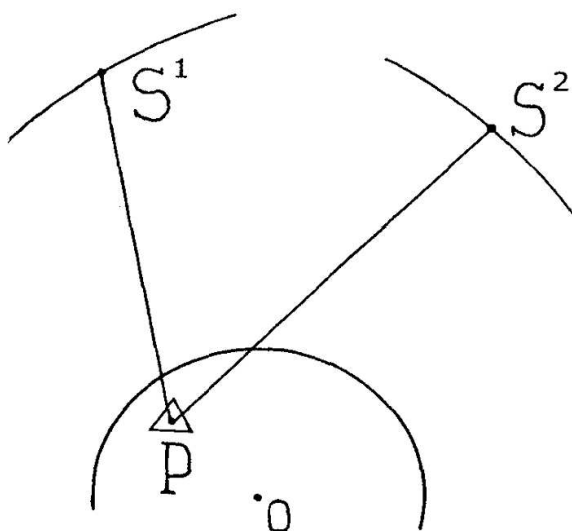


Рисунок 3.2 – Первая разность  
спутник-спутник.

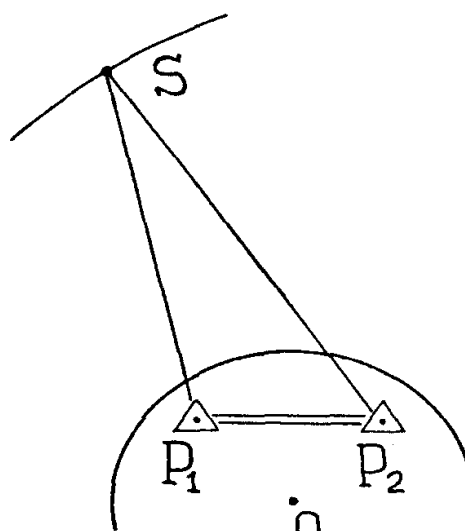


Рисунок 3.3 – Первая разность  
приёмник-приёмник.

Чтобы исключить начальную фазу колебаний приемника и начальную фазу колебаний спут-

ника, необходимо сформировать вторую или двойную разность. Двойную разность получают, выбрав из результатов данные, полученные из одновременных наблюдений двух спутников двумя приемниками. Этот вариант приведен на рисунке 3.4. Другими словами: вторая разность — это разность двух первых разностей. При формировании разностей фазовых измерений система перестает быть дальномерной и превращается в разностную. Изоповерхности становятся гиперболами и геометрический фактор (угол засечки), как правило, ухудшается.

Третья разность — это разность двух вторых разностей. Геометрия иллюстрирована рисунком 3.5. В начальный момент времени  $t_1$  формируют вторую разность и продолжают непрерывную обработку до момента  $t_2$ . В разности исключается параметр многозначности  $N_0$ . Это и означает, что проблема многозначности снимается. Расплачиваться за это приходится тем, что ухудшается геометрия наблюдений, то есть изоповерхности пересекаются под углами, далекими от прямых углов. В результате ошибка определения вектора базы лежит в пределах 1 — 3 метра. Такая точность неприемлема для геодезии, тем не менее, третьи разности в процедуре обработки результатов используют.

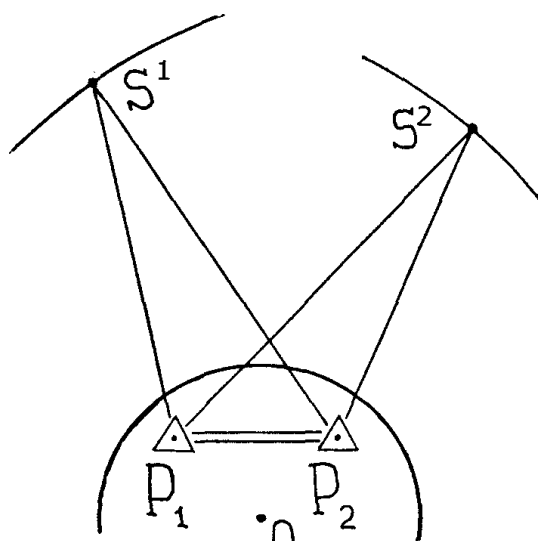


Рисунок 3.4 – Вторая разность.

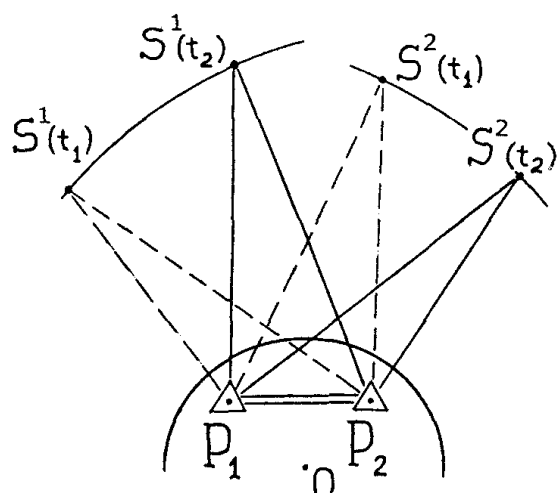


Рисунок 3.5 – Третья разность.

В геодезии обработку результатов измерений выполняют по способу наименьших квадратов, основанному на составлении и решении системы линейных уравнений. В GPS, также как и в большинстве других геодезических методов, уравнения, связывающие измеряемые величины и определяемые параметры, линейными не являются. На этот случай предусмотрена процедура линеаризации уравнений. Функцию измеренной величины от определяемых параметров раскладывают в ряд Тейлора и ограничиваются членами с первыми частными производными. При этом необходимо знать приближенные значения определяемых параметров и предвычисленное по этим значениям приближенное значение измеряемой величины. Приближенные значения координат вектора базы, используемые впоследствии при окончательном решении по вторым разностям, по-

лучают из решения по третьим разностям.

Существует несколько подходов к составлению пакета программ для обработки результатов измерений. Зачастую алгоритм обработки или его детали пользователю недоступны. Тем не менее, общий подход к обработке состоит в следующем. Программное обеспечение формирует первые разности фазовых измерений, из них формирует вторые разности, а затем - третьи разности. Первое, самое приближенное решение вектора получают из кодовых и доплеровских измерений. Уточняют его из решения по третьим разностям; этот уточненный результат используют в качестве приближенного для решения по вторым разностям. Наиболее трудным этапом при обработке по вторым разностям является разрешение многозначности.

### 3.5 Разрешение многозначности

В GPS разрешение многозначности сводится к вычислению параметров многозначности  $N_0$ , то есть числа целых уложений длин волн во второй разности для каждой пары пунктов и для каждой пары спутников в начальный момент регистрации результатов. В наземных системах имеется возможность определить параметр многозначности, когда носитель начинает движение с пункта, расстояние до которого с опорного пункта известно изначально. В спутниковой системе такая возможность отсутствует. Нет твердого пункта в околоземном пространстве, с которого спутник мог бы начать свое движение. Единственный выход состоит в том, чтобы включить набор параметров многозначности  $N_0$  в число определяемых параметров. Другими словами, в уравнении в качестве неизвестных участвуют помимо координат вектора базы еще и параметры многозначности  $N_0$ . Отсюда ясна разница между разрешением многозначности в наземных и спутниковых измерениях. При работе с наземным дальномером или с наземной системой оператор (наблюдатель) обязан построить работу так, чтобы определить целое число  $N$  безошибочно. Он обязан определить истинное значение  $N$  в процессе наблюдений, и не может прекратить наблюдения до тех пор, пока не убедится в том, что многозначность разрешена. При работе со спутниковой аппаратурой оператор может узнать, разрешена ли многозначность только после постобработки, то есть, уже прекратив наблюдения. Это утверждение не касается работы в режиме RTK. Более того, в результате разрешения многозначности получается набор вероятнейших значений параметров многозначности, но вовсе не истинные их значения. Разрешение многозначности спутниковых измерений и успех этой процедуры имеет вероятностный смысл. Чем длительнее сессия наблюдений и чем меньше препятствий, закрывающих небосклон, тем больше вероятность успеха. С другой стороны, длительность сессии не может быть непомерно большой. Нет смысла находиться на пункте, скажем, четыре часа, если опыт говорит, что достаточно наблюдать полтора часа. Длительность сессии наблюдений определяет опытный руководитель проекта с учетом мнения опытных операторов. Бывает, что условия наблюдений на каком-либо пункте крайне неблагоприятны, но отнаблюдать

его необходимо. Например, пункт находится близ многоэтажного здания, закрывающего половину небосклона. В таких случаях вопрос о длительности сессии на этом пункте решается индивидуально по принципу "чем дольше, тем лучше".

Разрешение многозначности выполняет не оператор вручную, а программное обеспечение. Порядок разрешения многозначности следующий. Используя эфемеридную информацию и приближенные координаты вектора, вычисляют параметры многозначности  $N_0$ . Штрих поставлен потому, что параметры многозначности содержат ошибки и не будут целыми, так, как это должно быть. Округляют параметры многозначности до ближайших целых чисел, получая тем самым набор параметров многозначности  $N_0$ . Значения этих параметров не будут ни истинными, ни вероятнейшими. Получение вероятнейших значений обеспечивает дальнейшая процедура. Используя набор целочисленных параметров многозначности, вычисляют новые координаты вектора. Они также ошибочны, поскольку ошибочны значения параметров многозначности. Однако на этом этапе достигается соответствие между параметрами многозначности и координатами вектора. Далее наступает этап, занимающий основное время обработки: сканирование. Компьютер последовательно изменяет (увеличивает и уменьшает) на 1,2,.. значения параметров многозначности. Это делают во всех комбинациях, получая каждый раз новое решение для вектора. Число комбинаций и решений огромно. Одновременно на основе статистического анализа компьютер оценивает вероятность  $V$  справедливости каждого из полученных решений. Он выстраивает решения в иерархию по их вероятности: наиболее вероятному решению приписывает вероятность  $V_1$ , наиболее вероятному из оставшихся - вероятность  $V_2$  и так далее. Завершающим этапом является вычисление отношения  $ratio = V_1/V_2$ . Смысл в том, чтобы оценить, насколько велика вероятность справедливости первого решения по сравнению с вероятностью справедливости второго решения. Если  $ratio$  близко к единице, то есть решения примерно равновероятны, то многозначность не разрешилась и наблюдения на данной базе надо повторить при более благоприятной геометрии наблюдений и при большей длительности сессии. При благоприятных условиях наблюдений случается, что  $ratio$  близко, например, к сотне. В этом случае операторы практически уверены в успехе наблюдений на данной базе, хотя окончательное решение принимают, проанализировав распределение по сети невязок замкнутых фигур.

### 3.6 "Интегральный доплер"

Доплеровские измерения в режиме интегрирования доплеровской частоты позволяют получать разность расстояний от определяемого пункта до двух исходных пунктов. В случае спутниковых измерений роль исходных пунктов выполняют спутники. В разностных наземных системах определяемый пункт получают как точку пересечения изолиний — гипербол. В случае спутниковых измерений, когда решается не плоская, а пространственная задача, речь идет не об изолиниях,

но об изоповерхностях. В случае доплеровских измерений такой поверхностью является гипербо- ллоид; местоположение пункта определяют как точку пересечения гиперболоидов. Их должно быть как минимум три, следовательно, одновременно необходимо наблюдать три пары спутников. Гео- метрия наблюдений в этом случае такова, что гиперболоиды пересекаются под довольно острыми (тупыми) углами. Это гораздо хуже, чем при дальномерных измерениях, когда изоповерхности - сферы могут пересекаться под углами, близкими к 90 градусам. Тем не менее, гиперболическую засечку, раз она уже есть, используют при обработке результатов в качестве полезного дополни- тельного материала.

## 4 Режимы наблюдений

Ошибки координат спутника как исходного пункта напрямую входят в ошибки координат приемника. Поэтому, если точность эфемерид такова, что геоцентрические координаты спутника получаются с ошибкой 10 метров, то и навигационные (абсолютные) координаты приемника невозможно получить с меньшей ошибкой. Иначе обстоит дело с определением разностей координат пунктов, расстояние между которыми гораздо меньше, чем расстояние до спутника. Этот источник ошибок влияет на разности координат пунктов гораздо слабее, чем на координаты самих пунктов. Ошибка  $M_D$  определения вектора во столько раз меньше ошибки  $M_K$  координат спутника, во сколько раз длина  $D$  базы меньше высоты орбиты спутника над поверхностью Земли.

То обстоятельство, что разности координат пунктов получаются гораздо точнее, чем координаты самих пунктов используют не только в геодезии, но и в навигации, когда аппаратура определяет кодовые псевдодалности, и интерес представляют в основном плановые координаты носителя, чаще всего судна. На берегу судходного залива или вблизи порта устанавливают дифференциальную станцию. Это - пункт с известными твердыми координатами. На нем установлен непрерывно работающий в R-коде спутниковый приемник. Там же установлены передатчики, транслирующие дифференциальные поправки. Имеется комплекс оборудования, гарантирующего непрерывность работы, в том числе основные и резервные источники питания. Непрерывность работы важна, поскольку перерыв в обеспечении навигации судна, находящегося в проливе или в потоке других судов может привести к катастрофическим последствиям. На дифференциальной станции непрерывно вычисляют координаты этой станции, получаемые из наблюдений спутников. Они отличаются от твердых координат станции вследствие ошибок измерений, вследствие влияния внешней среды и ошибок эфемерид спутников. Следующим шагом является вычисление разностей непрерывно получаемых и твердых координат дифференциальной станции. По этим разностям вычисляют разности практически измеренных и "твердых" псевдодалностей. Разности координат и разности псевдодалностей и называют дифференциальными поправками. Их транслируют в эфир. Аппаратура пользователя, оборудованная соответствующими приемными устройствами, способна принимать эти поправки. Пользователь, находящийся на расстоянии в несколько десятков километров, также непрерывно или с какой-то дискретностью определяет свои "спутниковые" координаты. Координаты и псевдодалности искажены такими же ошибками, что и на дифференциальной станции. Поэтому введение дифференциальных поправок прямо в ходе навигации позволяет уменьшить ошибку определения местоположения подвижного носителя с уровня в несколько десятков метров до уровня в несколько дециметров. Такой режим работы называют дифференциальным.

Существует несколько геодезических режимов наблюдений, но по сути имеется два основ-

ных режима: статика (static surveying) и кинематика (cinematic surveying). Часто кинематический режим называют динамическим (dynamic surveying). Режим статики и режим кинематики — это как бы два полярных режима, существуют и промежуточные. При наблюдениях в статическом режиме оператор прибывает на пункт с выключенной аппаратурой, устанавливает ее, включает, ждет, пока аппаратура накопит достаточный по его мнению объем информации, выключает аппаратуру и убывает либо на следующий пункт, либо в офис (камералку), если работа на данный день завершена. При создании обычной (не уникальной, не геодинамической) сети пребывание на пункте длится от часа до нескольких часов. Несколько часов наблюдают тогда, когда запланировано, что данный приемник должен работать совместно с несколькими приемниками, последовательно размещаемыми на других пунктах. Иными словами, если данный пункт играет роль связующего, то наблюдения могут длиться рабочий день и более.

При работе в кинематическом режиме оператор может успеть выполнить работу на пункте за одну—две минуты.

#### **4.1 Статика**

Статический режим - это прямой подход к созданию геодезической сети спутниковым методом. Он наиболее прост в смысле организации работы по заранее составленному графику и позволяет получать наиболее точные результаты. Все точные и высокоточные опорные геодезические сети создают этим методом. При работе в этом режиме оператору требуется 30-40 минут, чтобы гарантировать успех разрешения неоднозначности и получить результат с ошибкой в пределах сантиметра. Чтобы повысить точность, необходимы более длительные наблюдения.

Приемник, который в данное время находится на твердом пункте, называют референчным или базовым. Приемник, который устанавливают на вновь определяемых пунктах, перевозят чаще; его называют роверным. В процессе работы роль приемника может меняться: тот приемник, что в предшествующую сессию был роверным, в следующую сессию может стать референчным и наоборот. Различие функций приемников более отчетливо проявляется при работе в кинематическом режиме — наиболее "быстром" режиме работы.

#### **4.2 Кинематика, другие режимы**

При работе в кинематике функции приемников четко разделены. Референчный приемник находится на твердом пункте, роверный приемник перемещают с пункта на пункт. Кинематический режим, который иногда называют динамическим, — это широкое понятие. В этом режиме, например, работает непрерывно перемещающийся в процессе работы приемник, установленный на борту самолета, выполняющего аэрофотосъемку. Приемник определяет координаты самолета в момент срабатывания затвора аэрофотоаппарата. Есть и другие примеры работы приемника, находяще-

гося в движении непрерывно. Нас же интересует случай, когда приемник перемещают с пункта на пункт, совершая краткие остановки на каждом пункте. Такой режим называют stop-and-go — "стой и иди", именно его будем называть кинематическим.

В классическом варианте наблюдения выполняют следующим образом. Референцный приемник устанавливают на опорном пункте, роверный приемник устанавливают на первом из определяемых пунктов. Выполняют сессию наблюдений в статическом режиме длительностью час-полтора для определения вектора и для изначального разрешения многозначности; эту процедуру называют инициализацией. Оператор роверной станции переключает приемник в режим движения — rove — роверный режим - и начинает движение к следующему пункту. Прибыв на очередной пункт, оператор роверной станции устанавливает (центрирует и нивелирует) над центром штатив с тригером, закрепляет в тригере антенну и переключает приемник в режим наблюдений на пункте (static). Приемник начинает сбор информации, а оператор тем временем измеряет высоту антенны, вводит в приемник ее значение, также как и название пункта. После этого работа на пункте заканчивается, оператор переключает приемник в роверный режим и начинает движение к очередному пункту. Основное время тратится на переезды, неизбежные при любом способе наблюдений. В день можно определить десятки пунктов.

Координаты пунктов определяют с ошибкой 2—5 сантиметров, что достаточно для топознаков или для пунктов съемочного обоснования. Постобработка занимает примерно столько же времени, сколько и полевые наблюдения.

Существуют режимы, занимающие промежуточное положение между статикой и кинематикой. Это быстрая статика (fast static surveying) и псевдостатика (pseudostatic surveying), ее называют также псевдокинематикой (pseudokinematic surveying). При использовании этих режимов приемник в процессе следования с пункта на пункт выключен. Перед началом работы приемник предлагает оператору выбрать режим статикой, кинематики, быстрой статикой или псевдостатикой. Этот выбор делают операторы всех приемников по предварительному согласованию и по предварительно составленному графику. График может быть нарушен, например, в случае поломки транспорта. Корректировки в график вносят по связи, если таковая имеется. В режиме быстрой статикой роверный приемник, учитывая количество спутников, число успешных циклов наблюдений и геометрический фактор, выдает сигнал о том, что, по его мнению, набран достаточный объем информации, наблюдения можно прекращать, аппаратуру выключать и перемещаться на следующий пункт. При этом предполагается, что на референцной станции условия наблюдений идеальные: небосклон полностью открыт.

Работая в режиме псевдостатикой (псевдокинематики), каждый пункт необходимо посетить дважды за рабочий день. Например, оператор выполняет наблюдения на пунктах 1,2,3,4,5. Затем целесообразно посетить пункты в обратном порядке: 4,3,2,1. Длительность наблюдений при



каждом посещении остальных пунктов не может быть меньше десяти минут. Между первым и вторым посещением пункта должно пройти не менее часа. Сложность организации такого процесса и большие транспортные затраты при двойном посещении каждого пункта приводят к тому, что наблюдатели редко выбирают такой режим работы. Практика показывает, что при создании или обновлении опорной сети целесообразно использовать статический режим, при создании съемочной сети, при определении координат опознаков и при выполнении топографической и кадастровой съемки предпочтительна кинематика, либо кинематика в реальном времени.

# Практическая часть

## Введение

Практическая часть представляет собой знакомство с работой многоканальных геодезических приёмников. Задачей является построение геодезического хода путем выполнения полного цикла работ от рекогносцировки местности и полевых работ до камеральной обработки и оформления отчёта о результатах проведённой съёмки. Полный цикл работ включает в себя:

- рекогносцировка местности;
- подготовка необходимого геодезического оборудования;
- полевые работы;
- камеральная обработка материалов съёмки;
- создание отчета о проделанной работе.

Основным режимом сбора данных для всех GPS съёмок является наблюдение базовых линий (векторов). В простейшем случае один из приёмников помещается на точку с известными координатами, а другой помещается на точку, пространственное положение которой необходимо определить. В течение определенного периода времени, зависящего от конкретного вида съёмки, производится наблюдение базовой линии, после чего приёмник перемещается на следующую точку.

В связи с организацией длительных сеансов наблюдений следует предусмотреть возможность бесперебойной работы спутниковой приемной аппаратуры в течение всего сеанса наблюдений (обеспечение необходимого объема памяти в запоминающих устройствах и бесперебойность электропитания).

Наблюдения начинаются, прерываются и заканчиваются строго в установленное графиком время. По истечении заданного времени наблюдения прекращаются, повторно измеряется высота инструмента, производится запись данных наблюдений, заполняется журнал (карточка) наблюдений на пункте.

Одним из наибольших отличий GPS съёмок по сравнению с традиционными видами геодезических съёмок заключается в том, что приращения координат между станциями вычисляются на математическом эллипсоиде WGS-84, а не в принятой плановой системе координат. При этом вычисляется относительное положение определяемых станций относительно базовых, которые затем трансформируются на используемую модель эллипсоида в принятой картографической проекции,

например на эллипсоид Красовского в прямоугольной проекции Гаусса. Существует несколько способов трансформации координат с эллипсоида WGS-84 в пользовательские системы координат. Среди них наиболее распространенными являются способ "3 параметра" (Молоденского), способ "7 параметров", способ пространственного вращения сети и полиномиальная регрессия.

Все вычисления в GPS производятся в геоцентрической системе координат с использованием параметров математического эллипсоида WGS-84, центр которого совпадает с центром тяжести Земли.

В отличие от применяемых в традиционной геодезии линий по земной поверхности (задачи землеустройства) и проекции линии на поверхность эллипсоида (геодезическая линия), вектор, также называемый базовой линией (BaseLine), есть результат обработки GPS данных, представляющий собой линию между базовой и определяемой станциями относительно центра Земли в математическом эллипсоиде WGS-84. Несколько векторов в совокупности представляют собой геодезическую GPS сеть, натянутую на поверхность математического эллипсоида. При помощи соответствующих программ обработки данных, сеть строго уравнивается, причем в некоторых программах обработки предусмотрена возможность совместного уравнивания GPS измерений и геодезических измерений, выполненных с использованием традиционных технологий, координаты определяемых пунктов трансформируются на эллипсоид Красовского в принятой картографической проекции.

Существуют несколько технологий, используемых для наблюдения векторов в геодезической GPS сети. Эти методы сбора данных со спутников различны по точности определения координат пунктов, времени наблюдений и производительности. Однако существует несколько условий, соблюдение которых необходимо для успешного выполнения любого вида GPS съемки:

- для выполнения геодезических GPS наблюдений векторов необходимо обеспечить одновременную работу как минимум двух GPS приемников, с последующим объединением накопленных ими данных;
- одновременный прием спутникового радиосигнала как минимум от четырех спутников, что бывает иногда затруднительно обеспечить в застроенных и залесенных районах;
- отсутствие в районе выполнения GPS измерений мощных работающих теле- и радиотрансляционных устройств, особенно с перископической схемой усиления радиосигнала, которые могут заглушать или искажать принимаемый со спутников радиосигнал.

Рассмотрим более подробно каждый этап из практической части.

## 5 Рекогносцировка местности

На этапе рекогносцировки необходимо определить положение точек будущего хода в соответствии с требованиями к GPS-измерениям (отсутствие вблизи сооружений, экранирующих или отражающих сигнал); положение базовой станции — она должна находиться на твёрдом пункте локальной геодезической сети; при закладке нового твёрдого пункта также находят место, далёкое от объектов, экранирующих и отражающих сигнал спутника с возможностью надёжного закрепления точки.

## 6 Подготовка необходимого геодезического оборудования

Для построения геодезического хода используются 216-канальные геодезические приемники JAVAD Triumph-1, выполненные в ударопрочном, легком, водонепроницаемом корпусе, по моноблочной схеме, сочетающие в себе GNSS плату, антенну, аккумуляторные батареи, радио и GSM модемы, Bluetooth и Wi-Fi модули (см. рисунок 6.1). Перед выполнением полевых работ необхо-



Рисунок 6.1 – Геодезический приёмник JAVAD Triumph-1.

димо настроить приемники для работы дифференциальным способом в режиме быстрой статики: один из приемников необходимо настроить как статическую базовую станцию, другой - как статический ровер. Для этого необходимо соединить приемники с компьютером через один из интерфейсов и через приложение TriVU выполнить следующую последовательность действий:

- подключив приемник JAVAD Triumph-1 к компьютеру и запустив программу TriVU, в окне Select Server and Receiver необходимо выбрать порт, по которому приемник соединен с компьютером, и нажать ОК (см. рисунок 6.2).
- перейти в закладку Receiver (Configuration -> Receiver).
- в окне Receiver configuration, в закладке General необходимо сбросить текущие настройки приемника, нажав кнопку Set all parameters to defaults (см. рисунок 6.3).
- в поле Elevation mask необходимо определить минимальную высоту спутников над горизонтом, данные с которых будут приниматься в данный терминал (т.е. на данный подключенный порт приемника). Определим этот угол равным 15 градусам.
- настройки закладки MinPad оставим без изменения.
- в поле Positioning Mode (см. рисунок 6.4) следует выбрать необходимый режим позиционирования. Выбираем режим Standalone (съемка с постобработкой).

- в закладке Positioning в поле Positioning Masks необходимо определить минимальную высоту спутников надо горизонтом, используемых для вычисления местоположения. Определим этот угол равным 15 градусам.
- в поле Satellite management (Satellites tracked, Satellites used in pos.) необходимо исключить спутники системы Galileo.
- для базовой станции в закладке Base в поле Reference Geodetic coordinates (см. рисунок 6.5) необходимо ввести координаты пункта (в системе WGS84), полученные с высокой точностью из ранее проводившихся геодезических работ, на котором будет находиться базовая станция во время съемки. Закладка Rover остается без изменений.

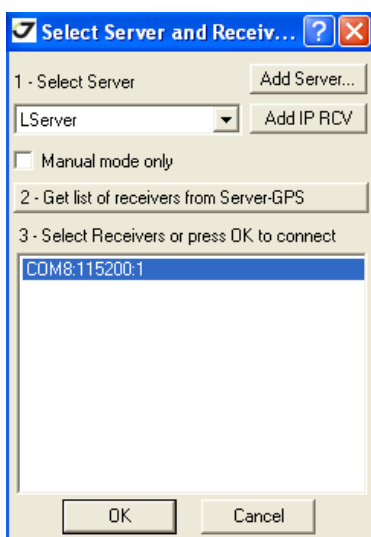


Рисунок 6.2 – Подключение приёмника JAVAD Triumph-1 к компьютеру.

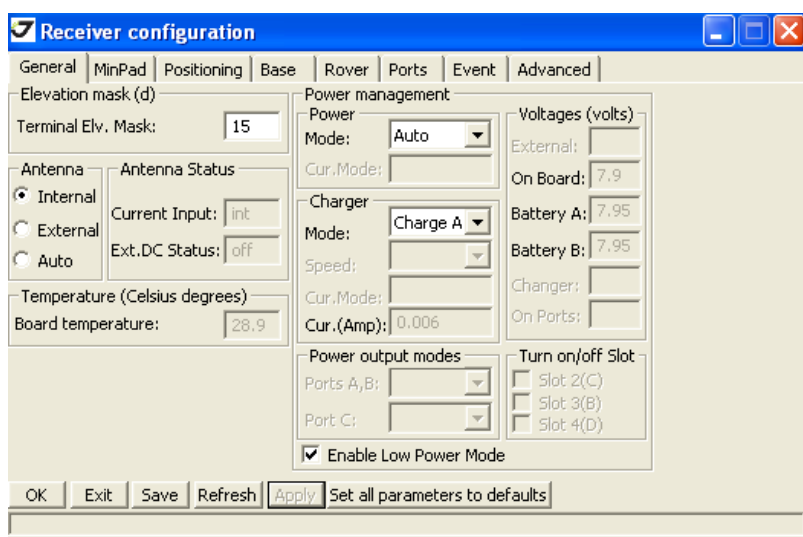


Рисунок 6.3 – Настройка приёмников.

Для ровера закладки Rover и Base остаются без изменений.

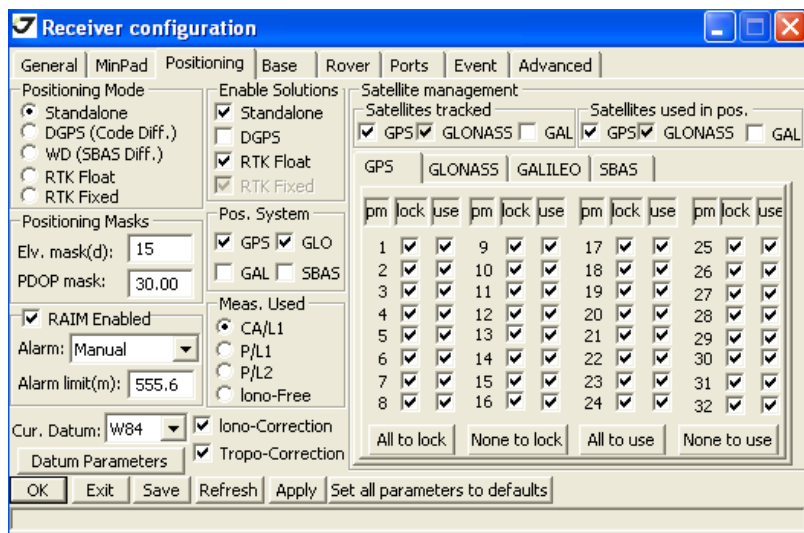


Рисунок 6.4 – Выбор режима позиционирования.

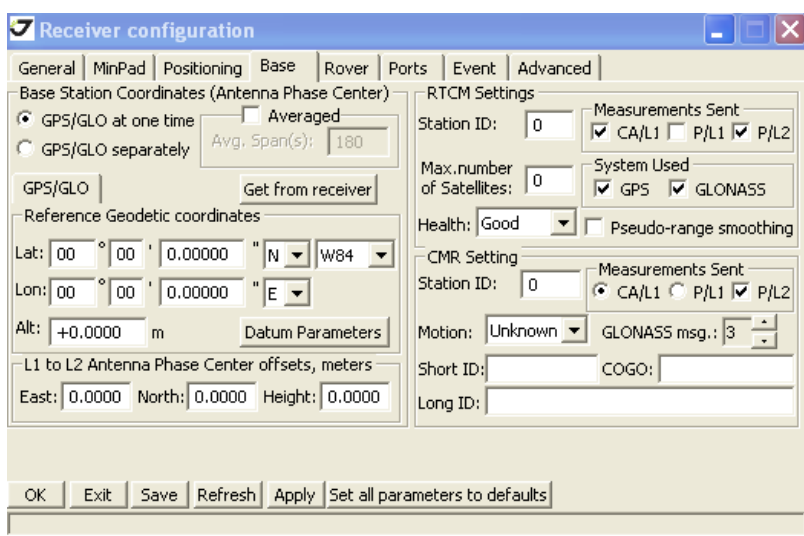


Рисунок 6.5 – Настройка базовой станции.

## 7 Полевые работы

С помощью геодезических приёмников прокладывается ход (~ 10 точек). Измерения ведутся дифференциальным способом в режиме быстрой статики. На твёрдом пункте устанавливается базовая станция; в первой точке хода устанавливается ровер. Оба приёмника одновременно включаются и в течение 10 — 15 минут проходят инициализацию — в это время происходит обновление альманаха.

Затем включается запись данных. На базовой станции запись продолжается в течение всего времени проложения хода; в точке с ровером запись производится 20—30 минут, затем ровер перемещают на следующую точку.

Рассмотрим процесс полевых работ более подробно.

## 7.1 Работа базовой станции

Установка базовой станции производится следующим образом:

- Геодезический GPS-приемник, выполняющий функцию базовой станции, устанавливается на штатив над точкой, координаты которой известны с хорошей точностью. Пользователю необходимо измерить высоту антенны над точкой, во время постобработки задать метод измерения высоты антенны (вертикальный, либо наклонный) и тип используемой антенны (внутренняя, либо внешняя).

Измерение высоты может быть выполнено двумя способами:

- Вертикальный способ. Измеряется вертикальное расстояние от маркера до точки 1 (см. рисунок 7.1).
- Наклонный способ. Измеряется наклонное расстояние от маркера до точки 2. См. рисунок 7.1.

В зависимости от метода измерений необходимо ввести поправку для получения истинной высоты приборы: в случае приема сигнала на частоте L1 поправка 92.6 мм, в случае L2 — 97.8 мм.

- Включаем питание базовой станции нажатием кнопки On/Off (питание). Индикатор STAT (статус) сначала должен мигать красным светом. Как только приемник начнет получать сигналы с необходимого количества спутников, индикатор STAT будет мигать зеленым или оранжевым в зависимости от количества спутников. Короткое мигание красным сигналом указывает на то, что приемник не определил свое местоположение. Как только короткое красное мигание пройдет, приемник произвел позиционирование, и съемка может быть начата. Оба индикатора имеют три цвета: красный, зеленый и красный с зеленым вместе, что образует оранжевый свет.

После одного цикла миганий будет пауза. Если во время паузы наблюдается короткое красное мигание, то это означает, что приемник еще не произвел позиционирование. Будет лучше (но не обязательно) подождать до тех пор, пока не прекратится красное мигание, прежде чем начать сбор данных. Это будет гарантией того, что приемник определил правильную дату, время и что захвачено достаточно спутников, чтобы обеспечить данные хорошего качества.

Непосредственно запись данных начинается после нажатия кнопки Fn, при этом индикатор REC мигает зеленым цветом. Запись данных на базовой станции ведется в течение всего времени выполнения полевых работ.

По окончании съемки запись данных прекращается, нажатием кнопки Fn, при этом цветовая индикация на индикаторе REC отсутствует.



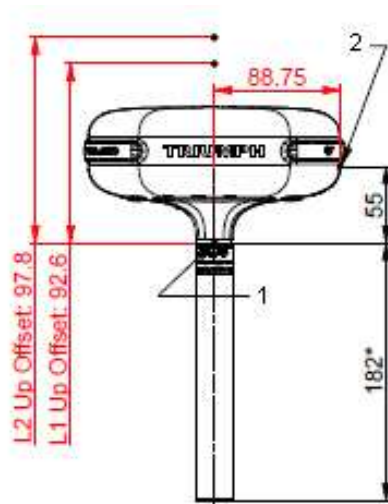


Рисунок 7.1 – Измерение высоты приёмника.

## 7.2 Работа ровера

Установка GPS-приемника, выполняющего функцию ровера, производится таким же образом, как и установка базовой станции. Исключение лишь в том, что все время полевых работ базовая станция находится в одной точке, непрерывно принимая сигнал, ровер же перемещается с точки на точку, принимая сигнал и производя запись данных 15–20 минут на каждой точке стояния.

## 7.3 Подготовка камеральной обработки

Для выполнения камеральной обработки данных необходимо переместить исходные данные с базовой станции и ровера на компьютер. Это выполняется с помощью приложения TriVU следующими действиями:

- Подключив приемник JAVAD Triumph-1 к компьютеру и запустив программу TriVU, в окне Select Server and Receiver необходимо выбрать порт, по которому приемник соединен с компьютером, и нажать ОК.
- Следует открыть File Manager (File -> File Manager), в закладке Download path необходимо указать путь, куда будут копироваться файлы.
- В закладке Download files необходимо выбрать файлы, которые будут скопированы и нажать кнопку Download.

## 8 Камеральная обработка результатов GPS-измерений

Результаты GPS-измерений с использованием приемников JAVAD Triumph 1 обрабатываются в программном пакете Justin. Это офисное программное обеспечение для обработки GPS/ГЛОНАСС данных, работающее под операционной системой Windows XP, Vista, 7.

### 8.1 Запуск Justin

Всякий раз при запуске ПО Justin необходимо вставлять ключ защиты Justin Sentinel SafeNet USB Hardware Key в USB порт и оставлять в нем на все время работы с программой.

### 8.2 Создание нового проекта

Чтобы создать новый проект необходимо нажать NEW во вкладке Project. В окне свойства проекта (Project properties) следует указать имя проекта (см. рисунок 8.1).

Во всех остальных закладках используем стандартные настройки.

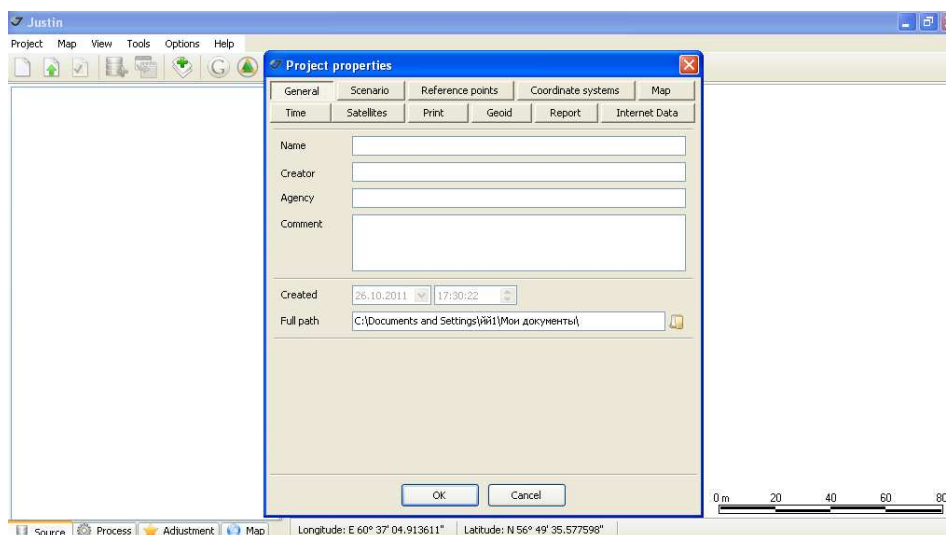


Рисунок 8.1 – Создание нового проекта.

### 8.3 Импорт файлов

Следует нажать Import Folder во вкладке Project, выбрать нужные файлы и нажать кнопку Open. В окне состояния загрузки будет отображаться процесс загрузки и статус выполнения операции. По завершении импортирования будут видны полученные вектора.

### 8.4 Привязка пункта к опорной точке, задание высоты антенны

Перед непосредственной обработкой векторов (Processing) следует выполнить привязку пункта, на котором стояла базовая станция, к опорной точке. Для этого необходимо выбрать нужную

точку на карте, кликнуть по ней правой кнопкой мыши, в самораскрывающемся меню выбрать пункт Make Reference (см. рисунок 8.2).

Также следует указать высоту антенны для каждой из точек (пункт Properties контекстного меню каждой из точек списка).

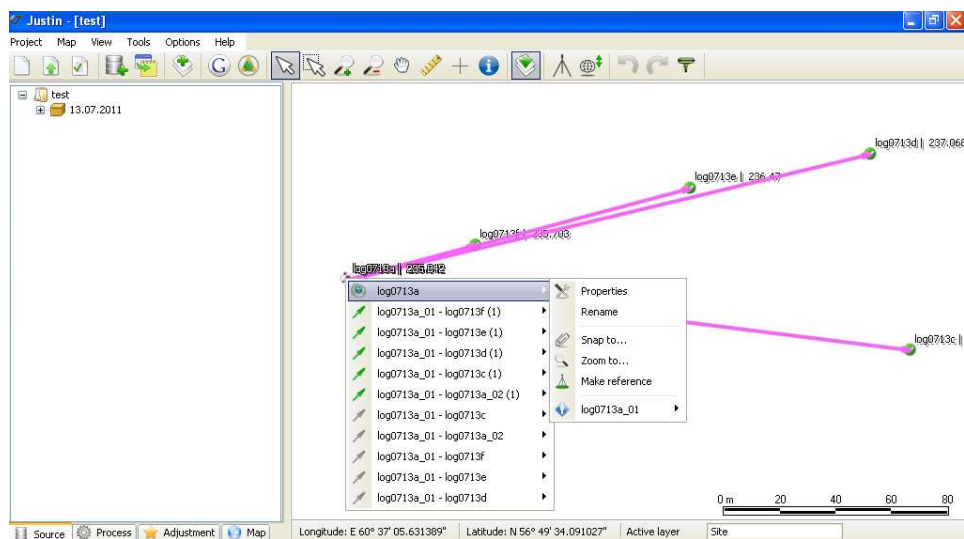


Рисунок 8.2 – Привязка пункта к опорной точке.

## 8.5 Обработка векторов

Еще одно необходимое условие перед началом процесса обработки - это указать, какие из точек соответствуют роверу. Для этого в закладке View следует выделить пункт Receiver list. В открывшемся поле необходимо пометить те точки, которые соответствуют роверу.

Далее, переходим в закладку Process (левый нижний угол рабочего поля), открываем контекстное меню набора точек, нажимаем Process all (см. рисунок 8.3).

Во время выполнения процесса обработки откроется окно Batch Process, в котором будет отображаться ход обработки каждого из векторов.

Когда закончится процесс обработки, то будет выведен отчет, сохраняемый в файле ProcessLog.txt;

Интерес представляет соотношение discarded. Оно показывает процентное соотношение данных, которые были исключены в процессе обработки данного вектора. Чем это отношение меньше, тем качественнее проведена полевая съемка.

Итоговый отчет (NavigationReport) по всему ходу можно просмотреть и сохранить, кликнув правой кнопкой мыши по закладке Vectors и выбрав Report. Данный файл необходимо приложить к итоговому отчету (см. рисунок 8.4).

На данном пункте камеральная обработка завершена[5],[6].

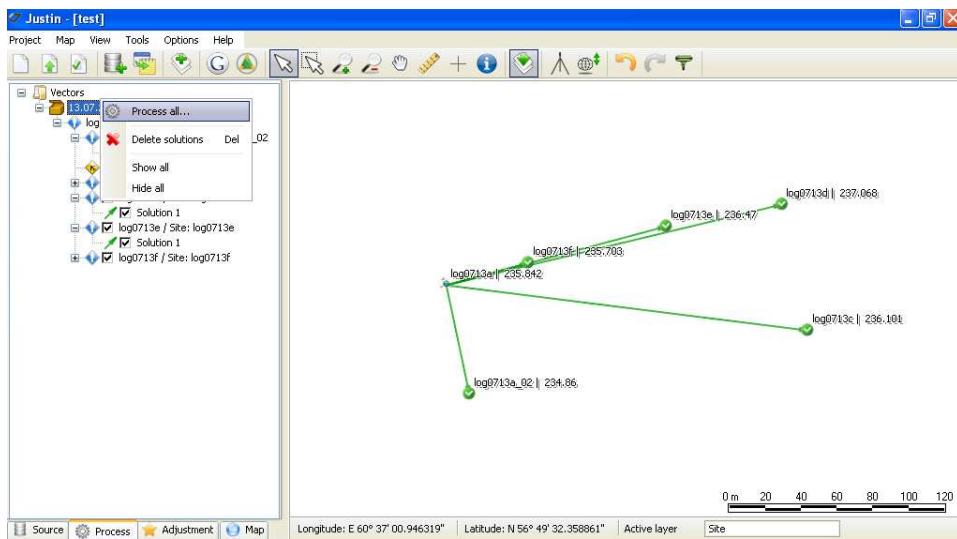


Рисунок 8.3 – Обработка векторов.

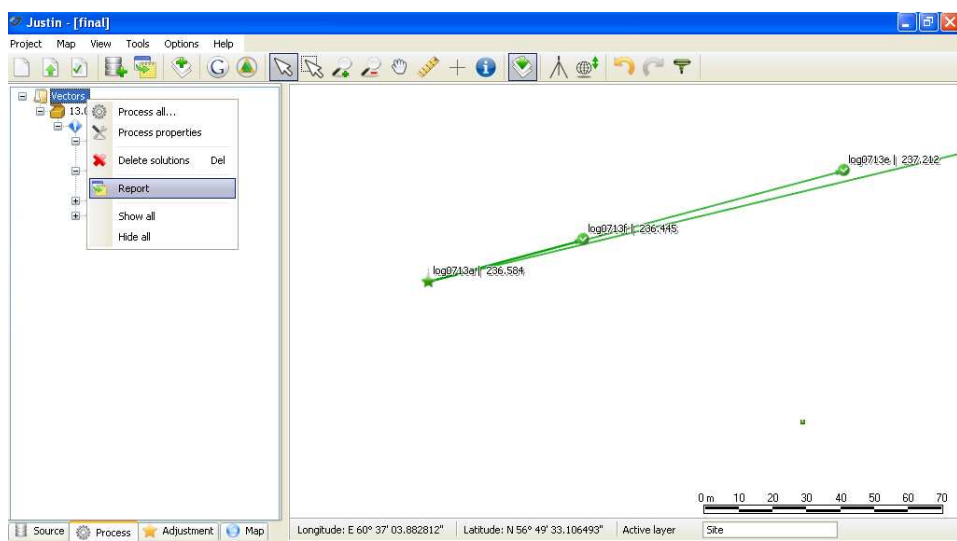


Рисунок 8.4 – Итоговый отчет по всему геодезическому ходу.

## 9 Отчет о проделанной работе

Отчёт должен включать в себя краткую теоретическую часть, описывающую основные принципы определения плановых и высотных координат с помощью GNSS систем; подробно описанный ход работы; список координат точек, с указанием ошибок; построенный и уравненный ход, проложенный с помощью геодезических приёмников и список плановых координат и высотных отметок точек хода с вычисленными ошибками.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. — М.: Картгеоцентр, 2004.
- 2 <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/> - 2011
- 3 Харисов В.Н. и др. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. — М.: ИПРЖР, 1998.
- 4 Gregory T. French Understanding the GPS. — GeoResearch, Inc., 1996
- 5 Justin Software Manual Version 1.0 Reflects Software Version 1.45.x.x., JAVAD GNSS, <http://www.javad.com/jgnss/products/software/justin.html>, 14.11.2011
- 6 TRIUMPH-1 Integrated GNSS Receiver Operator's Manual Version 1.7, JAVAD GNSS, <http://www.javad.com/jgnss/products/receivers/triumph-1.html>, 14.11.2011