

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность 6М071900 «Радиотехника, Электроника и телекоммуникации»

Допущен к защите

Зав. кафедрой

к.т.н., _____ Шагиахметов Д.Р. _____

подпись (Ф.И.О.)

« _____ » _____ 2014г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка**

Тема: «Исследование влияния крупномасштабных металлических конструкций на точность навигационных измерений».

Магистрант Муратбаев Д.Г. _____ группа МТСП-12-1
подпись (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ Федулина И.Н
подпись (Ф.И.О.)

Рецензент _____
подпись (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ _____ Данько Е.Т.
подпись (Ф.И.О.)

Нормоконтроль _____ Кудинова Г.А.
подпись (Ф.И.О.)

Алматы 2014г.

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет Радиотехники и связи

Специальность 6М071900 «Радиотехника, Электроника и Телекоммуникации»

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Муратбаеву Даурену Ганиевичу
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Исследование влияния крупномасштабных металлических конструкций на точность навигационных измерений».

утверждена Ученым советом университета № ___ от «___» _____

Срок сдачи законченной диссертации «___» _____

Цель исследования: исследование влияния крупных металлических конструкций на точность определения координат местоположения на основе экспериментальных данных, полученных при использовании глобальных навигационных средств.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1 Обзор общих понятий спутниковых навигационных систем и факторов, влияющих на точность определения координат;

2 Исследование влияния крупных металлических сооружений на точность измерений системой Глобального позиционирования GPS , на примере телебашни, расположенной на ул. Сатпаева;

3 Проведение экспериментальных измерений;

4 Сравнительный анализ данных, полученных в процессе экспериментальных измерений на участках с присутствием телебашни и без.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)– Распространение радиосигнала до потребителя (рисунок 1.5), схема орбит GPS (рисунок 2.2); расположение наземных комплексов (рисунок 2.3); обобщенная структурная схема приёмника GPS (рисунок 2.4); графическое изображение экспериментальных маршрутов (рисунок 3.3); отклонения координат под влиянием и-без металлической конструкции (рисунки 3.4 - 3.7)

Рекомендуемая основная литература:

1. Одуан К., Б. Гино. Измерение времени. Основы GPS. //Москва: Техносфера, 2002, 400 с.
2. Тузов Г. И., Сивов В. В., Прытков В. И. и др. Помехоустойчивость радиосистем со сложными сигналами //М.: Радио и связь, 1985.
3. Беляевский Л.С., Новиков В.С., Олянюк П.В. Основы радионавигации. // М.: «Транспорт», 1982, 287 с.

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Обработка литературы, посвященной обзору спутниковых навигационных систем	05.11.2012	выполнено
Факторы, влияющие на точность определения координат	20.01.2013	выполнено
Планирование эксперимента, выбор объекта исследования	10.09.2013	выполнено
Проведение эксперимента	25.10.2013	выполнено
Сравнительный анализ точности полученных данных при экспериментальных замерах координат	10.11.2013	выполнено

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой _____ (Коньшин С.В.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации _____ (Федулина И.Н.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант _____ (Муратбаев Д.Г.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аннотация

Диссертационная работа посвящена исследованию влияния крупномасштабных металлических конструкций на точность навигационных измерений.

Проведено экспериментальное исследование точности определения местоположения в идеальных городских условиях и с присутствием металлического антенно-мачтового сооружения. Сделан сравнительный анализ полученных данных.

Аңдатпа

Диссертациялық жұмыс аса үлкен бақыр конструкцияның навигациялық өлшеулерінің дәлме-дәлділігіне ықпалың зерттеуіне арналған.

Пәк қалалық шарттағы және бақыр антенно-мачталық ғимараттының қатынасуымен жағдайларда орын ұйғарымының дәлме-дәлділігі эксперименталды зерттелді. Деректердің салыстырмалы анализы қортынды.

Abstract

The thesis is devoted to the influence of large-scale metal structures on the accuracy of navigation measurements.

An experimental investigation of the accuracy of determining the ideal location in an urban setting and the presence of a metal antenna towers. A comparative analysis of the data.

Содержание

Введение	6
1 Спутниковая навигационная система	7
1.1 Общие понятия спутниковых навигационных систем	7
1.2 Основные преимущества СНС	7
1.3 Измерение расстояния до спутника	8
1.4 Обеспечение совершенной временной привязки	11
1.5 Определение положения спутника в космическом пространстве	12
1.6 Ионосферные и атмосферные задержки сигналов	14
1.7 Другие виды погрешностей	14
1.8 Точность различных методов GPS-измерений	16
2 Глобальная навигационная спутниковая система GPS	21
2.1 Космический, управляющий и пользовательский сегменты	21
2.2 GPS приемник. Принцип работы	25
2.3 Структура навигационных радиосигналов системы GPS	27
2.4 Состав и структура навигационных сообщений спутников системы GPS	28
2.5 Описание GPS приемника Garmin Rino Pro 640	29
3 Расчет радионавигационного поля	31
3.1 Навигационные измерения в многоканальной НАП	34
4 Исследование влияния крупномасштабных металлических конструкций на точность навигационных измерений	39
4.1 Выбор объекта исследования	39
4.2 Анализ экспериментально полученных результатов	41
Заключение	46
Список литературы	47
Приложение А. Расчет отклонения координат при помощи программы Google Earth	48
Приложение Б Экспериментальные замеры координат по ул. Абая	54
Приложение В Экспериментальные замеры координат по ул. Сатпаева	56

Введение

На сегодняшний день система глобального позиционирования GPS имеет несколько источников ошибок, а именно ионосферные и тропосферные задержки сигнала, неточное определение времени, многопутность распространения сигнала, наличие шумов в электронном тракте приемника.

Можно предположить, что крупномасштабные металлические конструкции могут послужить причиной отражения от их поверхности сигнала по пути прохождения от спутника к приемнику, и то же время приемник может принять его за основной. Тем самым имеет место ухудшение точности определения координат.

Целью работы является исследование влияния крупных металлических конструкций на точность определения координат местоположения на основе экспериментальных данных, полученных при использовании глобальных навигационных средств.

В настоящее время имеется достаточное количество работ, теоретических и экспериментальных, по использованию систем навигации GPS в городских условиях с высокой застройкой. Однако в них нет упоминания о крупных металлических башнях, исследование данного вопроса перспективно, так как сфера применения GPS расширяется большими темпами, и все больше входит в повседневную жизнь обычного человека. Уже имеются концепты городского автомобильного транспорта без водителя, что еще больше вводит необходимость рассмотрения вопросов точности местоопределения спутниковыми системами навигации.

Основная задача навигационных систем – определение трёхмерных координат пользователя, вектора скорости и времени. Кроме того, в навигации она может использоваться на всех этапах полёта: рулении; взлёте; полете по маршруту; заходе на посадку, а так же при: управлении воздушным движением; в обеспечении безопасности полетов; проведении спасательных операций; проведении географических привязок. Вышеизложенное говорит о важности точности.

1 Спутниковая навигационная система

1.1 Общие понятия спутниковых навигационных систем

Основная задача навигационных систем – определение трёхмерных координат пользователя, вектора скорости и времени. Кроме того, в навигации она может использоваться на всех этапах полёта: рулении; взлёте; полете по маршруту; заходе на посадку, а так же при: управлении воздушным движением; в обеспечении безопасности полетов; проведении спасательных операций; проведении географических привязок. Особое место в решении этих задач играют спутниковые навигационные системы - СНС.

1.2 Основные преимущества СНС

Помимо уникальной, недостижимой для других устройств точности, система обладает большой гибкостью применений и легко сопрягается с другими традиционными бортовыми системами – инерциальными, радиотехническими и т. д., и имеет ряд преимуществ перед ними:

- большая высота полёта ИСЗ позволяет создать глобальную зону действия радиотехнических средств, установленных на спутниках, при использовании достаточно простых антенных устройств, как на спутниках, так и на воздушных судах;

- с помощью созвездия ИСЗ обеспечивается создание навигационной системы, охватывающей территорию земного шара;

- нахождение спутника в пределах прямой видимости в любой точке зоны действия его радиотехнических средств позволяет использовать наиболее помехоустойчивые диапазоны радиоволн и передавать сигналы с наименьшими искажениями;

- высокая точность определения трехмерных координат, составляющих скорости и времени;

- однозначность навигационных определений, выдаваемых в единой для всех потребителей системе координат;

- независимость точности определений от времени суток и метеоусловий;

- высокая помехозащищенность;

- неограниченность числа обслуживаемых потребителей;

- обеспечивается относительная простота и дешевизна бортового оборудования СНС на воздушном судне, обусловленная отсутствием передатчика и современными технологиями обработки сигнала;

- возможность при дальнейшем развитии СНС комплексное использование спутниковых систем для решения задач навигации, связи и наблюдения.

Отмеченные достоинства СНС позволяют при модернизации и внедрении облегчить решение задач по обеспечению воздушного движения. Наиболее важными из них являются:

- повышение уровня безопасности полётов;
- повышение точности навигации, особенно в районах со слабо развитой структурой наземного оборудования навигационных РТС и над водными пространствами;
- уменьшение интервалов эшелонирования между воздушными судами и увеличение пропускной способности воздушного пространства;
- спрямление воздушных трасс.

1.3 Измерение расстояния до спутника

Идея, лежащая в основе измерения расстояния до спутника, заключается в измерении времени распространения навигационного сигнала от спутника до потребителя. Тогда искомое расстояние есть скорость света, умноженная на измеренное время распространения. Эта скорость принимается равной 300 000 км в секунду. Если точно известны моменты времени послышки сигнала со спутника и его получения потребителем, то определение расстояния до спутника элементарно.

При этом, естественно, часы приёмника должны быть максимально точны, так как свет распространяется непостижимо быстро. Если бы спутник находился прямо над головой, потребовалось бы всего около 0,07 секунды для прохождения радиосигнала от спутника до нас.

СРНС строится с применением совершенного способа измерения времени, основанного на атомном стандарте частоты, который обеспечивает ход бортовых часов спутника с наносекундной точностью.

Главной трудностью при измерении времени прохождения радиосигнала является точное выделение момента времени, в который сигнал передан со спутника. Для этого СРНС синхронизируют часы спутников и приёмников одинаковым кодом точно в одно и то же время.

Принимая кодовый сигнал от спутника, определяем его временной сдвиг от момента генерации аналогичного кода приёмником, что будет соответствовать времени прохождения сигналом расстояния от спутника до приёмника. Преимуществом использования кодовых посылок (кодовых последовательностей) является то, что измерения временного сдвига могут быть проведены в любой момент времени.

Как спутники, так и приёмники генерируют сложные цифровые кодовые последовательности. Коды усложняют специально, чтобы их можно было бы надёжно и однозначно сравнивать. Так или иначе, коды настолько сложны, что они выглядят как длинный ряд случайных импульсов. В действительности они являются тщательно отобранными «псевдослучайными последовательностями», которые повторяются каждую миллисекунду [1].

Итак:

- расстояние до спутника определяется путём измерения промежутка времени, который требуется радиосигналу, чтобы пройти от спутника до приёмника.

- спутник и приёмник генерируют один и тот же псевдослучайный код строго одновременно в общей шкале времени.

- время, которое потребовалось сигналу пройти со спутника до приёмника, определяется путем сравнения запаздывания его псевдослучайного кода по отношению коду приёмника.

Восстановление сигнала и идентификация происходит посредством корреляции. Так как приёмник может распознать все C/A коды, которые используются, то систематический сдвиг и сравнение каждого кода со всеми поступающими сигналами со спутника приведёт к полному совпадению типов (то есть показатель корреляции $r_{xy}=1$) и точка корреляции будет достигнута. Точка корреляции используется для измерения фактического времени распространения и идентификации спутника (рисунок 1.1) [2].

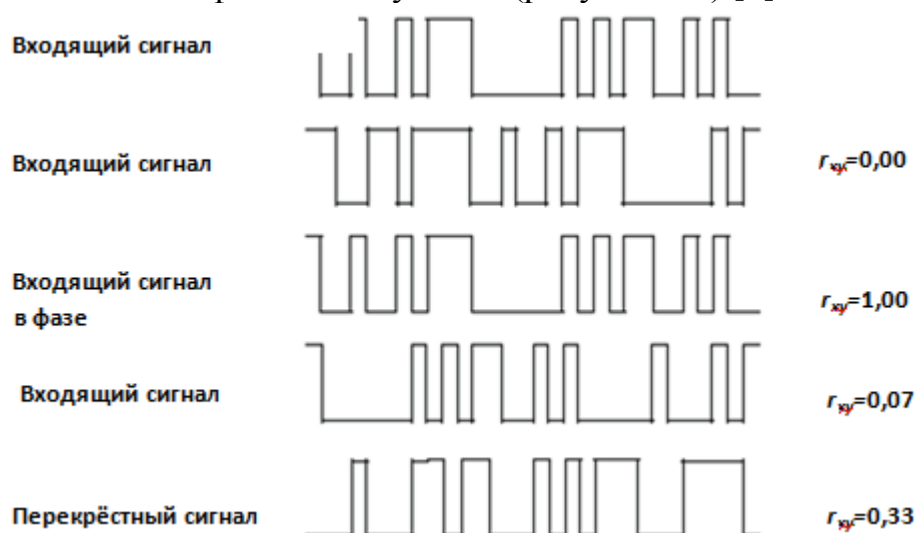


Рисунок 1.1 – Корреляция на протяжении 30 битов

Степень корреляции выражается как r_{xy} по формуле (1.1). Диапазон от -1 до +1 и является положительным только при совпадении типов сигналов (битовая частота и фаза).

$$r_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [(mB) - (uB)] \quad (1.1)$$

где mB - число всех совпавших битов;

uB – число всех несовпавших битов;

N – общее число битов.

Спектральная плотность мощности термического шума составляет 174 Дбм/Гц (температура 290 К). Таким образом, максимальная мощность полученного сигнала примерно на 16 Дб ниже уровня термического шума

(рисунки 1.2,1.3). Также на рисунке 1.4 изображена структура данных спутника GPS

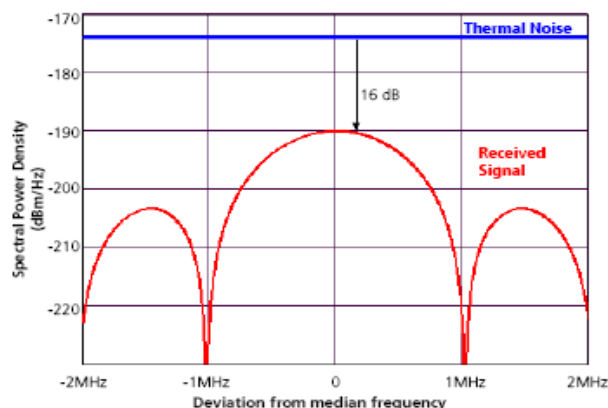


Рисунок 1.2 - Спектральная плотность мощности полученного сигнала и термический шум

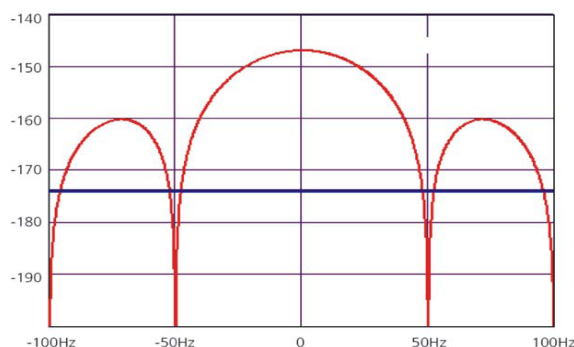


Рисунок 1.3 - Спектральная плотность мощности коррелированного сигнала и термический сигналный шум

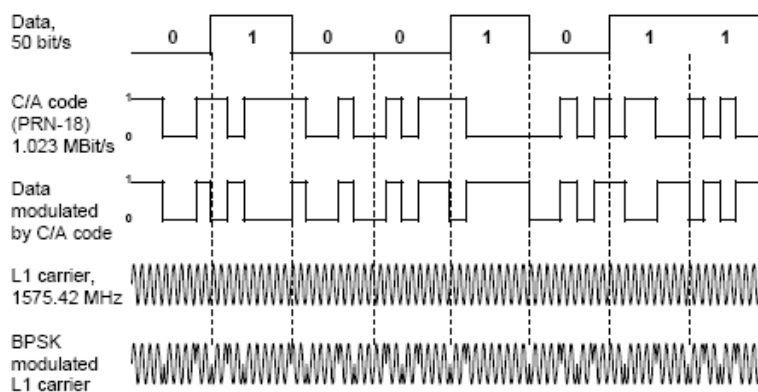


Рисунок 1.4 - Структура данных спутника GPS

1.4 Обеспечение совершенной временной привязки

Если спутник и приёмник имеют расхождение шкал времени (выходят из синхронизации) даже на 0,01 с, измерение расстояния будет произведено с ошибкой в 2993 км!

Однако одну сторону проблемы синхронизации часов обеспечить достаточно просто.

На борту спутников установлены атомные часы. Они исключительно точные и дорогие. Они стоят около 100000 долларов. На каждом спутнике их 4 штуки, чтобы можно было бы гарантировать, что, во всяком случае, хотя бы одни часы работают обязательно.

К счастью, существует способ обойтись в наших приёмниках часами умеренной точности - секрет в том, чтобы произвести измерение дальности ещё до одного (четвёртого) спутника.

Он состоит в том, что если три точных измерения определяют положение точки в трёхмерном пространстве, то четыре неточных позволяют исключить относительное смещение шкалы времени приемника.

Конечно, СРНС - трёхмерная система, но принцип, который мы обсуждаем, для простоты изложения мы рассмотрим на плоскости, т.е. в двух измерениях.

Вот как это происходит. Предположим, часы приёмника не так совершенны, как атомные. Их ход соответствует кварцевым часам, но они не вполне сверены с единым временем системы. Скажем, они отстают на 0,1 с. Давайте посмотрим, как это скажется на вычислении нашего местоположения.

Предположим, что мы находимся в 0,4 с от спутника А, и в 0,6 с от спутника В. На плоскости этих двух измерений было бы достаточно для привязки нашего местоположения к какой-либо одной точке фактического местоположения.

Если бы мы использовали приёмник с часами, отстающими на 0,1 с, он определил бы, что расстояние до спутника А составляет 0,5 с, а до спутника В –0,7 с. В результате появятся две новые окружности, пересекающиеся уже в другой точке.

Давайте добавим ещё одно измерение. В двухмерном варианте это означает использование третьего спутника.

Предположим, (если у нас совершенные часы) спутник С находится в 0,8 с от нашего истинного положения и все три окружности пересекаются в одной точке, так как они соответствуют истинным дальностям до трёх спутников.

При добавлении 0,1 с секунды отставания ко всем трём измерениям, то новые окружности, соответствующие уже не истинным дальностям, а так называемым "псевдодальностям", не пересекутся в одной точке, а образуют некоторый треугольник, и вероятное местоположение окажется где-то внутри него.

Поэтому, не существует точки, которая может быть одновременно в 0,5, 0,7 и 0,9 с соответственно от точек А, В и С. Это физически невозможно.

При обработке ошибочных сигналов компьютер приёмника начинает вычитание (или прибавление) некоторого (одного и того же для всех измерений) интервала времени, к измеренным им псевдодальностям. Он

продолжает корректировать время во всех измерениях до тех пор, пока не найдет решение, которое «проводит» все окружности через одну точку.

Из сказанного следует, что при трёхмерном одновременном определении трёх координат - долготы, широты и высоты точки над принятым в расчётах земным эллипсоидом необходимо выполнить четыре измерения, чтобы исключить погрешность временной привязки часов приёмника к единому системному времени.

Необходимость в 4-х измерениях самым существенным образом сказывается на проектировании приёмников. Если необходимо выполнять измерения в реальном масштабе времени, то следует использовать приёмник, имеющий, по крайней мере, четыре канала измерений. То есть такой, у которого с каждым из четырёх спутников постоянно работает отдельный канал приёма и первичной обработки сигналов [5].

Значит:

- точная временная привязка - ключ к измерению расстояний до спутников;

- спутники точны по времени, поскольку на борту у них - атомные часы;

- часы приёмника могут и не быть совершенными, так как их уход можно исключить при помощи тригонометрических вычислений;

- для получения этой возможности необходимо произвести измерение расстояния до четвёртого спутника;

- необходимость в проведении четырёх измерений определяет устройство приёмника.

1.5 Определение положения спутника в космическом пространстве

До сих пор во всех наших рассуждениях мы принимали, что знаем точно, где в космическом пространстве находятся спутники и, исходя из этого, можем вычислить наше местоположение по их координатам и расстояниям до них. Но как узнать, где в космическом пространстве располагается нечто, двигающееся с большой скоростью и удаленное от нас на расстояние в 20000 км?

Для высоколетящего спутника 20000-километровая высота является настоящим приобретением. Все на такой высоте находится полностью вне земной атмосферы. А это означает, что полёт по орбите вокруг Земли будет описываться очень простой математикой. Подобно Луне, которая надёжно вращается вокруг нашей старой планеты миллионы лет без каких-либо значительных изменений в периоде обращения, спутники СРНС совершают такое же очень предсказуемое орбитальное движение вокруг Земли [5,6].

На рисунке 1.5 изображено как доходит радиосигнал до потребителя.

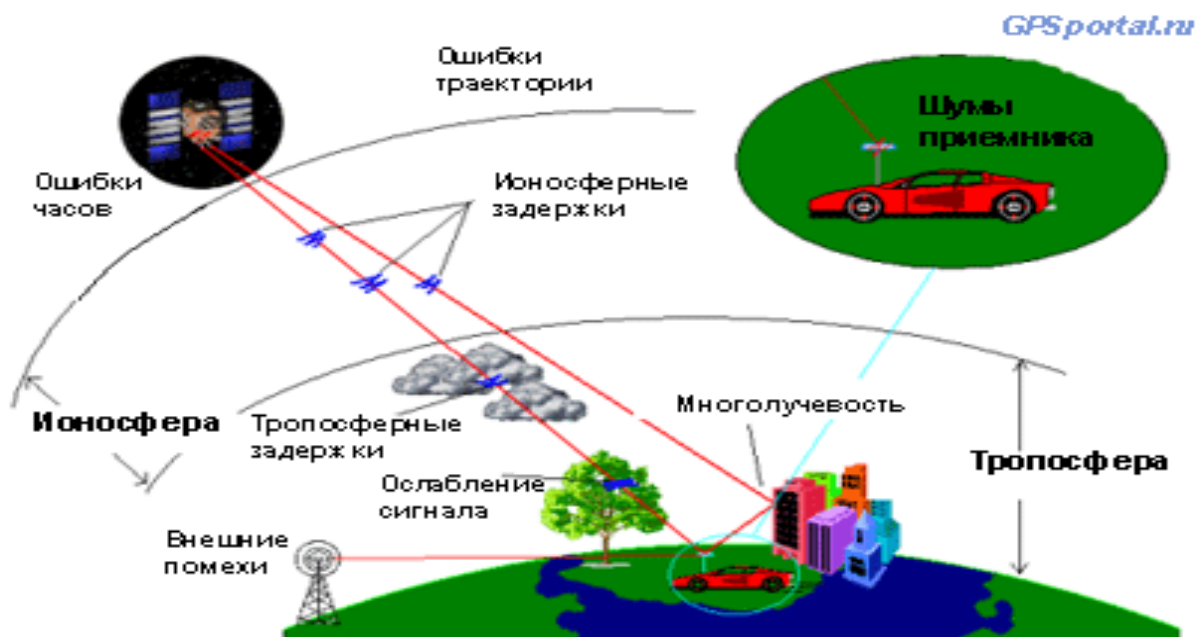


Рисунок 1.5 – Распространение радиосигнала до потребителя

Орбиты известны заранее, а приёмники имеют «альманах», размещаемый в памяти их компьютеров, из которого известно, где будет находиться каждый спутник в любой момент времени.

Чтобы сделать систему более совершенной движение спутников СРНС находится под постоянным контролем специальных наземных станций слежения. Обращаясь вокруг планеты один раз за 12 часов, спутники СРНС проходят над контрольными станциями дважды в сутки. Это дает возможность точно измерять их высоту, положение и скорость.

После того, как станции определили параметры движения спутника, они передают эту информацию обратно на спутник, заменяя ею в памяти бортового компьютера прежнюю. Далее эти небольшие поправки вместе с дальномерными кодовыми сигналами будут непрерывно передаваться спутником на Землю.

Спутники СРНС передают не только псевдослучайный дальномерный код, но также и информационные сообщения о своем точном положении на орбите и о состоянии своих бортовых систем.

Все виды приемников СРНС используют эту информацию вместе с информацией, заключенной в альманахе, для того, чтобы установить точное положение каждого спутника в космическом пространстве.

Таким образом:

- для вычисления своих координат нам необходимо знать как расстояния до спутников, так и местонахождение каждого в космическом пространстве;
- спутники СРНС движутся настолько высоко, что их орбиты очень стабильны, и их можно прогнозировать с большой точностью;
- станции слежения постоянно измеряют незначительные изменения в орбитах, и данные об этих изменениях передаются со спутников.

1.6 Ионосферные и атмосферные задержки сигналов

Но как бы совершенна ни была система, существуют два источника погрешностей, которые очень трудно избежать. Наиболее существенные из этих погрешностей возникают при прохождении радиосигналом ионосферы Земли - слоя заряженных частиц на высоте от 120 до 300 км.

Эти частицы существенным образом влияют на скорость распространения света, а следовательно, и на скорость распространения радиосигналов СРНС. А это делает невозможными наши вычисления расстояний до спутников, поскольку они построены на предположении о том, что скорость распространения радиоволн строго постоянна.

Существуют два метода, которые можно использовать, чтобы сделать ошибку минимальной.

Во-первых, мы можем предсказать, каково будет типичное изменение скорости в обычный день, при средних ионосферных условиях, а затем ввести поправку во все наши измерения. Но, к сожалению, не каждый день является обычным.

Другой способ состоит в сравнении скоростей распространения двух сигналов, имеющих разные частоты несущих колебаний.

Таким образом, если мы сравним время распространения двух разночастотных компонент сигнала СРНС, то сможем выяснить, какое замедление имело место. Этот метод корректировки достаточно сложен и используется только в наиболее совершенных, так называемых "двухчастотных" приемниках СРНС.

После того, как сигналы СРНС пересекли ионосферу, расположенную очень высоко, они входят в атмосферу, в которой происходят все погодные явления. Водяные пары в атмосфере также могут влиять на радиосигналы. Ошибки по величине схожи с ошибками, вызываемыми ионосферой, но их почти невозможно скорректировать. К счастью, их суммарный вклад в погрешность местоположения значительно меньше, чем ширина обычной улицы.

1.7 Другие виды погрешностей

Как бы точны ни были атомные часы на спутниках, все же и у них имеются источники небольших погрешностей. Специальные станции следят за этими часами и могут выверить их, если выявиться хотя бы незначительный уход.

Наши приёмники на Земле также иногда ошибаются. Компьютер приёмника может округлить математическую операцию, или электрические помехи могут привести к ошибочной обработке псевдослучайных кодов.

Еще один тип погрешностей - это ошибки "многолучёвости". Они возникают, когда сигналы, передаваемые со спутника, многократно

переотражаются от окружающих предметов и поверхностей до того, как попадают в приёмник.

Все источники погрешностей, которые мы до сих пор обсуждали, суммируются и придают каждому измерению GPS некоторую неопределенность.

Оптимальная геометрия используемых ИСЗ. Для достижения наибольшей точности в хорошем приемнике СРНС учитывается некоторый своеобразный геометрический принцип, названный "GeometricDilution of Precision - GDOP" (геометрический фактор снижения точности).

Суть в том, что в зависимости от взаимного расположения спутников на небосводе геометрические соотношения, которыми характеризуется это расположение, могут многократно увеличивать или уменьшать все неопределённости, о которых мы только что говорили.

Мы представляли наше местоположение относительно спутников в виде окружностей, центры которых совмещены со спутниками. Ну а теперь, когда мы знаем, что каждое измерение содержит в себе и небольшую неопределенность, нам следует эти четкие окружности вообразить размытыми.

Наличие областей неопределённости означает, что мы не можем больше считать, что находимся в четко определенной точке. Можно сказать лишь, что мы где-то внутри этой суммарной области неопределенности.

Геометрический фактор уменьшения точности. В зависимости от угла между направлениями на спутники область пересечения размытых окружностей (область неопределенности местоположения) может быть либо аккуратным небольшим квадратиком, либо сильно растянутым и неправильным четырехугольником.

Проще говоря, чем больше угол между направлениями на спутники, тем точнее местоопределение.

Исходя из этого, хорошие приёмники снабжают вычислительными процедурами, которые анализируют относительные положения всех доступных для наблюдения спутников и выбирают из них четырёх кандидатов, т.е. наилучшим образом расположенные четыре спутника.

Точность СРНС. Результирующая погрешность СРНС определяется суммой погрешностей от различных источников. Вклад каждого из них варьируется в зависимости от атмосферных условий и качества оборудования.

Таким образом:

- ионосфера и тропосфера Земли вызывают задержки сигнала СРНС, которые можно пересчитать в ошибки местоопределения. Чем дальше разнесены передатчики, тем больше расстояние в ионосфере и тропосфере проходят радиоволны, тем более различаются и физические характеристики этих областей;

- некоторые из этих ошибок могут быть устранены математически и путём моделирования;

- другие источники ошибок - это часы спутников, приёмники, и многолучёвость;
- не наилучшее взаимное расположение спутников в космосе приводит к увеличению всех компонент суммарной погрешности местоопределения.

1.8 Точность различных методов GPS-измерений

Многолетний опыт использования системы GPS позволил разработать методы для решения различных по назначению, требуемой точности и оперативности задач координатно-временных определений. В таблицах 1.1, 1.2 представлена классификация этих методов.

Методы GPS измерений можно разделить на статические и кинематические. При статических измерениях участвующие в сеансе приемники находятся на пунктах в неподвижном состоянии. Продолжительность наблюдений составляет от 5 минут (быстрая статика) до нескольких часов и даже суток, в зависимости от требуемой точности и расстояний между приемниками. При кинематических измерениях один из приемников находится постоянно на опорном пункте, а второй приемник (мобильный) находится в движении. Точность кинематических наблюдений немного ниже, чем в статике (обычно 2-3 см на линию до 10 км).

Непрерывные измерения ведутся на пунктах глобальных или региональных сетей с целью уточнения опорных систем координат, определения параметров вращения Земли, изучения дрейфа континентов и других геодинамических явлений, а также для контроля за деформациями инженерных сооружений.

Метод стоп-старт включает два этапа: сначала из обработки измерений на исходном пункте разрешаются фазовые неоднозначности (этап инициализации), а затем, не останавливая работу приёмника, перемещают его для выполнения измерений на определяемых пунктах. Метод RTK позволяет выполнять относительные определения координат по фазовым измерениям в режиме реального времени: данные с опорной станции передаются через сеть мобильного телефона прямо в вычислительное устройство приёмника на определяемом пункте.

Кинематический метод используется, в основном, для целей навигации: он позволяет вести непрерывные измерения во время движения приёмника. Современные модели приемников позволяют выполнять текущие измерения в движении с высоким временным разрешением (до 0,1 с).

Дифференциальные и автономные измерения основаны на приёме кодовых сигналов и используются для определений координат относительным и абсолютным методами [8,9].

Т а б л и ц а 1.1 - Методы фазовых GPS-определений с пост-обработкой

Метод	Описание	Время Измерений	Ср. кв. погр. Коор	Примечание
Непрерывный	Одновременные наблюдения на многих пунктах	Неограниченно, еженедельные решения	Неск. мм	Двухчастотные приёмники, расстояния между пунктами - до глобальных
Статика	Одновременные либо попеременные наблюдения на нескольких пунктах	От 1 часа до многих суток	1 см	Одно- или двухчастотные приёмники, расстояния между пунктами - до 100 км
Быстрая статика	Одновременные, попеременные и повторные наблюдения на нескольких пунктах	От нескольких минут до 1 часа	1-2 см	Одно- или двухчастотные приёмники, расстояния между пунктами 10-30 км
Стоп-старт	Опорная станция, инициализация и дальнейшие измерения передвижным приёмником	Инициализация от неск. мин. до 1 часа; измерения - несколько минут	2-3 см	Двухчастотный приёмник, расстояния между пунктами – до 10 км

Методы GPS-определений в реальном времени подробно описаны в таблице 1.2

Т а б л и ц а 1.2 - Методы GPS-определений в реальном времени

Метод	Описание	Время Измерений	Ср. кв. погрешность	Примечание
Кинематика	Опорная станция, съёмка маршрута передвижным приёмником	Инициализация несколько минут	Менее 10 см	Двухчастотные фазовые приёмники
RTK (Старт-стоп в реальном времени)	Опорная станция, инициализация и дальнейшие измерения передвижным приёмником	Инициализация – несколько минут; измерения - несколько минут	2-3 см	Фазовые приёмники, расстояния между пунктами до 10 км
Дифференциальный	Опорная станция, передвижной приёмник, топосъёмка или навигация	Несколько минут, Возможно накопление	0,5-5 м	Псевдодальноности, расстояния между пунктами -любые
Автономный	Одиночный приёмник, Топосъёмка или навигация	Несколько минут, Возможно накопление	Ш-код: 100 м (при SA), 10м (без SA)	Псевдодальноности



Рисунок 1.6 - Портативный приёмник GPS фирмы «Magellan»

Наиболее распространенными являются приемники СРНС для индивидуального пользования водителями автомобильного транспорта. Они имеют размер карманного калькулятора с клавиатурой и жидкокристаллическим дисплеем, на котором отображаются координаты пользователя, курс, расстояние и направление до контрольных точек

маршрута, пройденный маршрут движения, карта местности, параметры видимых спутников (рисунок 1.6).

Стоимость такого приёмника колеблется от 100 до 1000 долларов.

Для индивидуального пользования разработаны также устройства, которые представляют собой специальные портативные компьютеры с навигационной программой и цифровой картой, текущий фрагмент которой высвечивается на миниатюрном ЖК-дисплее. Примером могут служить приборы «CARIN» - Car Information and Navigation (Philips), «Travelpilot» (Bosch) и др. Это, по сути, электронные лоцманы, дающие указания водителю синтезированным голосом, заранее сообщая обо всех поворотах, стоянках и прочих особенностях данного маршрута.

Для точного определения своего местонахождения компьютер получает информацию от трёх источников: от GPS-приёмника, от электронного компаса и от датчиков пройденного пути, установленных на колесах. В считанные секунды с момента включения зажигания (и питания) система определяет свое местонахождение с точностью +/- 100 м, а затем, используя базу данных в CD-ROM, уточняет его до +/- 10 м. Достаточно указать с помощью специальных символов на дисплее конец маршрута, и через 5 секунд компьютер выдаст оптимальную траекторию движения.

Наибольшее распространение эти системы получили в европейских странах, где почти для любой местности составлены электронные цифровые карты. Диапазон цен на это оборудование простирается от 1500 до 7500 DM. Но есть и более доступные по цене навигационные приборы, например «Филипс-Рутфайндер», которые по внешнему виду напоминают электронную записную книжку и стоят около 500 DM. Вводя с клавиатуры исходный пункт и место назначения, пользователь менее чем за минуту получает детальное описание маршрута, длительность пути, время прибытия в конечный пункт и другие параметры. База данных для вычислений хранится на магнитной карточке, которая вставляется в считывающее устройство «Рутфайндера» (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 - Персональные системы позиционирования на основе магнитных карт.

Таким образом:

- координаты местоположения вычисляются на основе измеренных дальностей до спутников;

- для определения местоположения необходимо провести четыре измерения;
- трёх измерений достаточно, если исключить неправдоподобные решения;
- ещё одно измерение требуется для коррекции датчика времени приёмного устройства;
- расстояние до спутника определяется путем измерения промежутка времени, который требуется радиосигналу, чтобы пройти от спутника до приёмника;
- мы считаем, что как спутник, так и приёмник генерируют один и тот же псевдослучайный код строго одновременно в общей шкале времени;
- мы определяем, сколько времени потребовалось сигналу со спутника, чтобы пройти до нас, путем сравнения запаздывания его псевдослучайного кода по отношению коду приемника;
- точная временная привязка - ключ к измерению расстояний до спутников;
- спутники точны по времени, поскольку на борту у них - атомные часы;
- часы приемника могут и не быть совершенными, так как их уход можно исключить при помощи тригонометрических вычислений;
- для получения этой возможности необходимо произвести измерение расстояния до четвертого спутника;
- необходимость в проведении четырех измерений определяет устройство приемника;
- для вычисления своих координат нам необходимо знать как расстояния до спутников, так и местонахождение каждого в космическом пространстве;
- спутники GPS движутся настолько высоко, что их орбиты очень стабильны, и их можно прогнозировать с большой точностью;
- станции слежения постоянно измеряют незначительные изменения в орбитах, и данные об этих изменениях передаются со спутников.

2 Глобальная навигационная спутниковая система GPS

2.1 Космический, управляющий и пользовательский сегменты

Глобальная навигационная спутниковая система GPS предоставляется в стандартном режиме для гражданского, коммерческого и научного использования бесплатно. Существует «Интерфейсный контрольный документ GPS», в котором зафиксированы важные для пользователей технические подробности об устройстве и функционировании системы и о взаимодействии с ней.

Принято рассматривать систему GPS, состоящую из трёх составных частей: космического сегмента, сегмента управления и сегмента пользователей.

Космический сегмент GPS состоит из 26 спутников, (21 рабочий и 5 резервных, находящихся в горячем режиме) расположенных на круговых средневисотных орбитах. Плоскости орбит наклонены на угол $i = 55^\circ$ к плоскости экватора, они равномерно расположены на 6 орбитах и сдвинуты между собой на 60° по долготе. Радиусы орбит составляют около 20200 км, а период обращения составляет 11ч.45,8 мин.

Передающая аппаратура всех спутников излучает навигационные сигналы на двух частотах $L_1 = 1575,42$ МГц и $L_2 = 1227,6$ МГц, но каждый сигнал имеет свой отличительный код.

Сигналы модулируются псевдослучайными цифровыми последовательностями (процедура называется фазовой модуляцией). Причём частота L_1 модулируется двумя видами кодов C/A – кодом (код свободного доступа) и P – кодом (код санкционированного доступа), а частота L_2 только P – кодом. Кроме того, обе несущие частоты дополнительно кодируются навигационным сообщением, в котором содержатся данные об орбитах ИСЗ, информация о параметрах атмосферы, поправки системного времени.

Кодирование излучаемого спутником радиосигнала преследует несколько целей:

- обеспечение возможности синхронизации сигналов ИСЗ и приемника потребителя;
- создание наилучших условий различения сигнала в аппаратуре приемника на фоне шумов (доказано, что псевдослучайные коды обладают такими свойствами);
- реализация режима ограниченного доступа к GPS, когда высокоточные измерения возможны лишь при санкционированном использовании системы.

Код свободного доступа C/A (CoarseAcquisition) имеет частоту следования импульсов 1,023 МГц и период повторения 0,001 сек, поэтому его декодирование в приёмнике осуществляется достаточно просто. Однако точность автономных измерений расстояний с его помощью невысока [6].

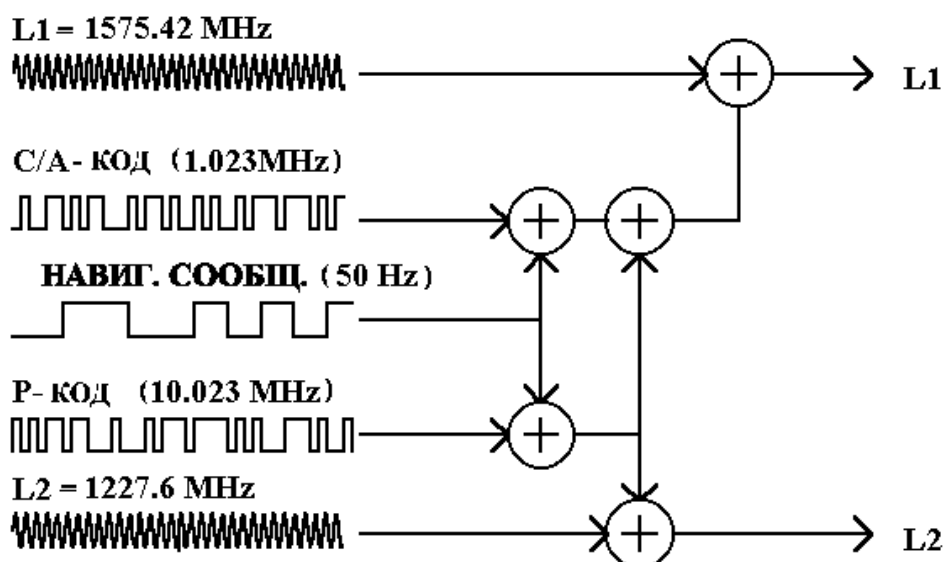


Рисунок 2.1 - Схема кодера/декодера

Защищённый код P (Protected) характеризуется частотой следования импульсов 10,23 МГц и периодом повторения 7 суток. Кроме того, раз в неделю происходит смена этого кода на всех спутниках.

Поскольку P - код передаётся на двух частотах (L_1 и L_2), а C/A-код на одной (L_1), в GPS – приёмниках, работающих по P - коду частично компенсируется ошибка задержки сигнала в ионосфере, которая зависит от частоты сигнала. Точность автономного определения расстояния по P - коду на порядок выше, чем по C/A-коду.

На борту каждого КА системы GPS имеется 4 стандарта частоты (4 комплекта «атомных» часов) – два цезиевых и два рубидиевых для целей резервирования.

Точность хода таких «атомных» часов составляет около одной наносекунды - 10^{-9} с.

Космический сегмент, иначе называемый «орбитальная группировка», образуют действующие на орбитах спутники (рисунок 2.2) Они распределены пространственно с таким расчётом, чтобы в любой точке Земли выше 15° над горизонтом всегда находилось от 4 до 8 спутников. Для этого запущено 24 основных и несколько резервных спутников, распределённых по 6 круговым орбитам на высоте около 20200 км над поверхностью Земли. Плоскости орбит наклонены к плоскости экватора под углом 55° и равномерно развернуты друг относительно друга так, что их узлы (точки пересечения орбит с экватором) отстоят по долготе на 60° . Период обращения спутников составляет 11 час. 45,8 мин., т.е. ровно половину звёздных суток, и, значит, видимая с земли конфигурация созвездия спутников повторяется каждый день на 4 минуты раньше, чем в предыдущий.

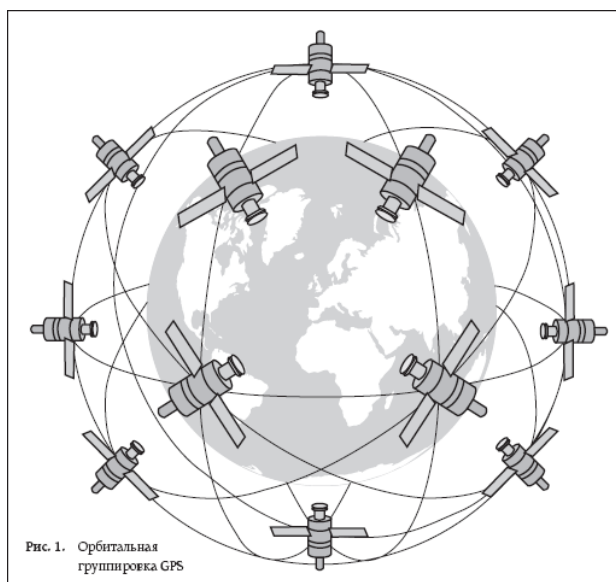


Рисунок 2.2 – Схема орбит GPS

Габаритные размеры корпуса ИСЗ - 1.52 м×1.93 м ×1.91 м, размах солнечных батарей 19.3 м, их площадь 13.4 кв. м. Мощность бортовой системы электропитания к концу срока эксплуатации 1136 Вт. Масса аппарата при запуске 2032 кг, на рабочей орбите 1075 кг.

Новые спутники имеют трёхосную стабилизацию. Они обеспечивают определение времени с точностью до 0.000001 сек, положение объекта - с точностью до единиц метров и скорость - примерно до 0.1 м/сек. Срок службы составляет 10 лет. Стоимость НКА составляет 40 млн. долл.

В состав конструкции КА входят:

- средства синхронизации и временного обеспечения (бортовые часы) на базе рубидиевых и цезиевых стандартов частоты со стабильностью $(2\div 5) \cdot 10^{-13}$, работающих параллельно для повышения надёжности;
- формирователи навигационных сигналов;
- бортовое вычислительное устройство с резервными ЭВМ;
- радиопередатчик, излучающий измерительные и телеметрические сигналы, и приёмник управляющих команд и данных от ведущей станции GPS;
- системы электропитания, терморегулирования, ориентации.

Панели солнечных батарей могут поворачиваться вокруг оси Y , а радиоизлучение от антенной системы идёт в направлении оси Z . В рабочем положении спутник ориентирован так, что ось Z направлена на центр Земли, а плоскости панелей обращены к Солнцу.

Сегмент управления GPS решает две группы задач:

- непрерывный контроль за работоспособностью аппаратуры спутников, выявление и дистанционное устранение сбоев, выдача команд по корректировке орбит;
- эфемеридно-временное обеспечение системы (уточнение текущих орбитальных параметров и показаний бортовых часов, загрузка этих данных на спутники для передачи в составе навигационного сообщения).

Наземный комплекс управления системы GPS состоит из главной станции управления (авиабазы Фалькок в штате Колорадо), пяти станций слежения, расположенных на территории американских военных баз, расположенных на Гавайских островах, острове Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджалейн и Колорадо-Спрингс, а также трёх станций закладок: острова Вознесения, Диего-Гарсия, Кваджалейн (рисунок 2.3) [6].

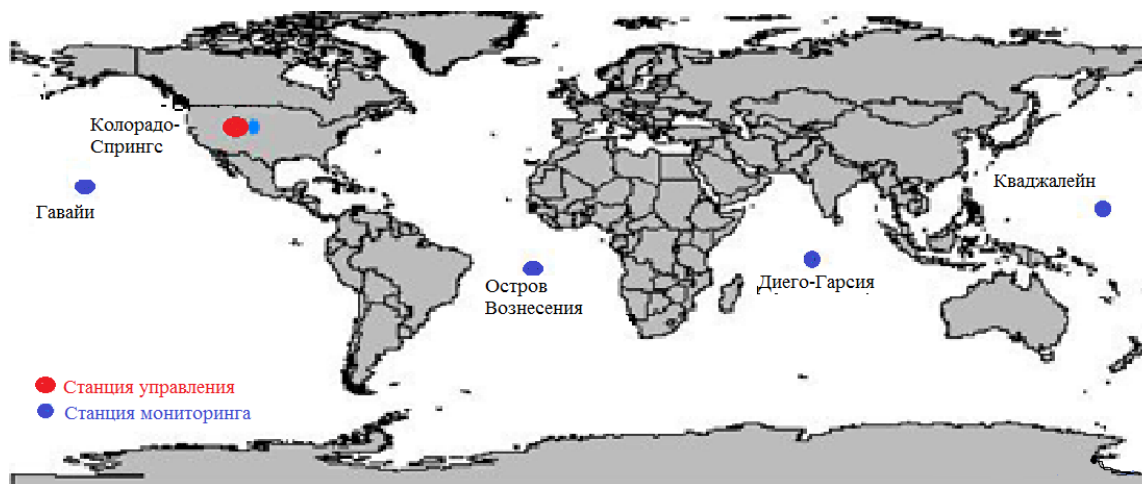


Рисунок 2.3 - Расположение наземных комплексов

Кроме того, имеется сеть государственных и частных станций слежения за ИСЗ, которые выполняют наблюдения параметров атмосферы и траекторий движения спутников.

Сегмент управления состоит из сети наземных станций слежения, равномерно распределенных по Земле вблизи экваториальных широт. Сейчас сеть включает ведущую станцию и 5 станций слежения, 3 из которых оснащены передающими антеннами для загрузки данных на спутники. Они работают в автоматическом режиме и управляются ведущей станцией.

Станции слежения принимают сигналы спутников GPS при помощи прецизионных приёмников, и результаты измерения дальностей передают на ведущую станцию. Там по ним осуществляются точные расчёты и прогноз параметров орбит, ионосферной модели и корректирующих поправок для бортовых часов. Кроме того, на основе обработки метеорологической информации вычисляются текущие параметры модели тропосферных задержек. Все эти данные через радиостанции загрузки передаются на борт каждого спутника.

Сегмент управления устанавливает шкалу времени GPS, которая привязана к шкале времени UTC. Начало отсчёта этой шкалы времени установлено в полночь с 5 на 6 января 1980 г. Самой крупной единицей времени GPS является одна неделя (604800 с). Шкала времени GPS отличается от шкалы UTC: во-первых - на целое число секунд (напомним, что в UTC иногда вводятся коррекции на 1 секунду), и, во-вторых, - на малую переменную

величину, связанную с нестабильностью опорных генераторов, которую ведущая станция должна удерживать в пределах 1 мкс.

Сегмент пользователей образует комплекс приёмно-вычислительной аппаратуры - пользовательских навигационных приёмников, способных выполнять измерения по сигналам спутников GPS.

Приёмники преобразовывают сигналы спутников в оценке местоположения, скорости и времени. Приёмники используются для навигации, позиционирования, коррекции времени и других целей.

Основная задача GPS – навигация в трёхмерном пространстве. Существуют навигационные приёмники для летательных аппаратов, кораблей, сухопутных транспортных средств и для индивидуального использования.

В аппаратуре потребителя (GPS - приёмнике) принимаемый сигнал декодируется, т.е. из него выделяются кодовые последовательности C/A либо C/A и P, а также служебная информация. Полученный код сравнивается с аналогичным кодом, который генерирует сам GPS-приёмник, что позволяет определить задержку распространения сигнала от спутника и таким образом вычислить псевдодалность. После захвата сигнала спутника аппаратура приёмника переводится в режим слежения, т.е. в БПС поддерживается синхронизм между принимаемым и опорным сигналами. Процедура синхронизации может выполняться:

- по C/A-коду (одночастотный кодовый приёмник);
- по P-коду (двухчастотный кодовый приёмник);
- по C/A-коду и фазе несущего сигнала (одночастотный фазовый приёмник);
- по P-коду и фазе несущего сигнала (двухчастотный фазовый приёмник).

Используемый в GPS-приёмнике способ синхронизации сигналов является едва ли не важнейшей его характеристикой.

Более точное позиционирование возможно при использовании базового приёмника, осуществляющего коррекцию данных позиционирования удалённых приёмников. Другим вариантом использования системы является обеспечение точного отсчета времени. В научно-исследовательских работах сигналы GPS используются для измерения атмосферных параметров.

2.2 GPS приемник. Принцип работы

Гражданские пользователи во всем мире используют SPS без ограничений. Большинство приёмников GPS может принимать сигнал SPS. Точность такой системы преднамеренно понижена до следующих значений: по горизонтали 100 метров, по вертикали 156 метров, по времени 340 наносекунд.

Изготовитель приёмника может использовать другие меры точности. Среднеквадратичная (Rootmeansquare – RMS) ошибка – значение одного

среднеквадратического отклонения (68%). Вероятная круговая ошибка (CircularErrorProbable – CEP) – значение радиуса круга, centered при фактическом положении, который содержит 50% оценок положения. Вероятная сферическая ошибка (SphericalErrorProbable – SEP) – сферический эквивалент вероятной круговой ошибки, который является радиусом сферы, centered при фактическом положении, которая содержит 50% из трех оценок положения. RMS, CEP и SEP не подтверждены воздействию больших грубых ошибок. В спецификациях некоторых приёмников горизонтальная точность указывается в RMS или CEP без учета SA, делая эти приёмники «более точными» чем те, в которых используются более консервативные меры ошибки.

Может показаться не вполне логичным, что рассредоточенные по всему миру и никак не связанные между собой приёмники разного типа и назначения считаются частью системы GPS, но это столь же верно, как, например, считать ваш личный телефонный аппарат частью телефонной сети, её окончательным устройством.

Несмотря на богатое разнообразие конструктивных решений приёмников GPS, принцип их работы одинаковый. Его можно пояснить с помощью обобщённой схемы устройства приёмника, показанной на рисунке 2.4 [6].

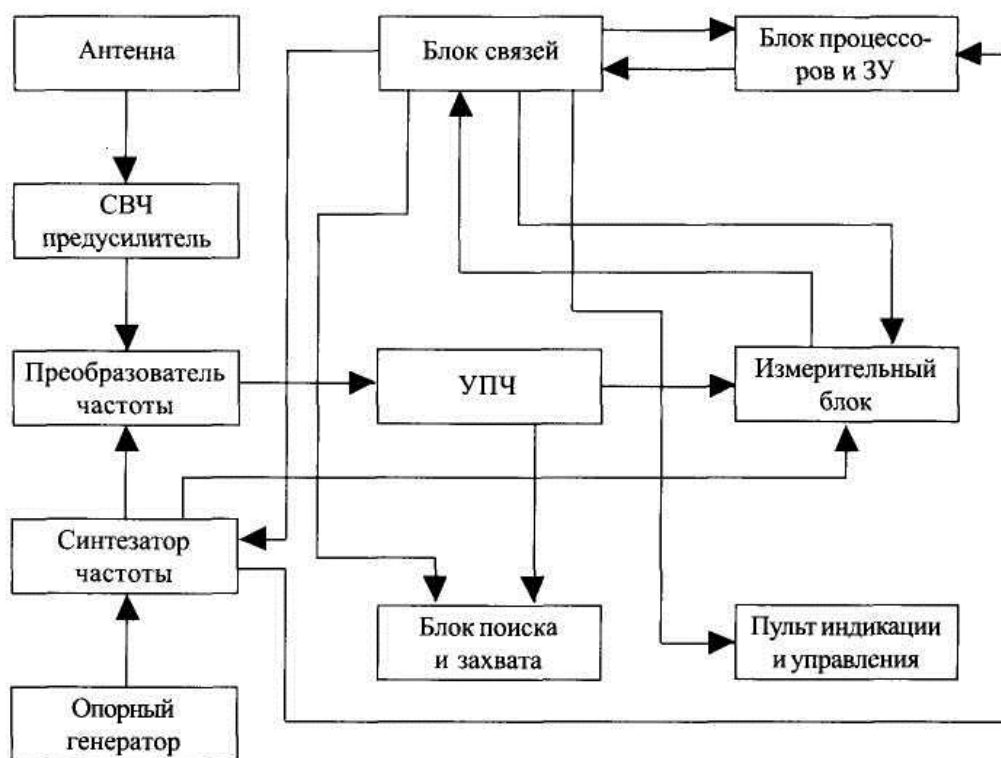


Рисунок 2.4 - Обобщенная структурная схема приёмника GPS

Антенное устройство приёмника состоит из самой антенны и высокочастотного предусилителя. Антенна может быть выносной и соединяться с приёмником коаксиальным кабелем, - тогда предусилитель располагается в

корпусе антенны. Сейчас чувствительные элементы антенн спутниковых приёмников изготавливают в виде печатных плат, рисунок которых обеспечивает благоприятную диаграмму направленности в форме полусферы. Для борьбы с многолучёвостью в антенном устройстве устанавливают защитные экраны.

Работа всех узлов приёмника синхронизируется по опорному кварцевому генератору с относительной стабильностью порядка 10^{-7} . В некоторых приёмниках предусмотрена также возможность подключения внешнего стандарта частоты, что важно, например, при использовании приёмника для сличений высокоточных часов. Необходимая для работы приёмника сетка частот формируется с помощью синтезатора частот (рисунок 2.5).

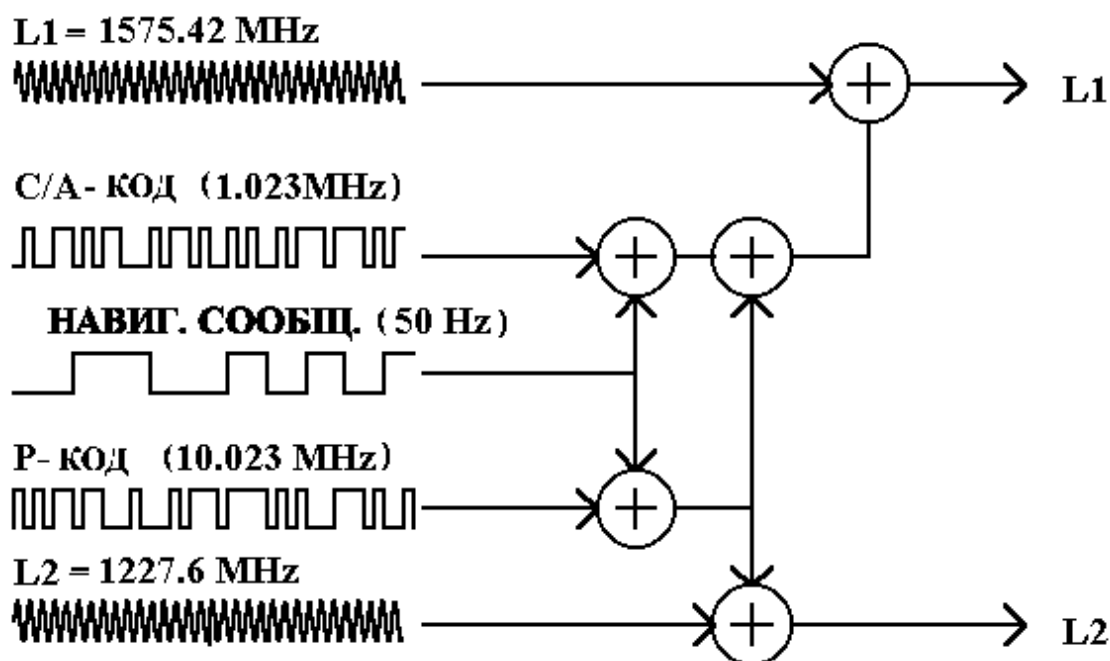


Рисунок 2.5 - Схема работы приемника

Радиочастотная часть приёмника действует на основе супергетеродинного принципа, при котором частота принятого сигнала преобразуется в более низкую промежуточную частоту. Затем сигнал усиливается в усилителе промежуточной частоты (УПЧ), с выхода которого он поступает в блок поиска и захвата сигналов спутников и в измерительный блок, действующие на основе корреляционного метода обработки. В многоканальных приёмниках предварительно осуществляется селекция сигналов отдельных спутников, распределение их по разным каналам и дальнейшая параллельная обработка [7].

2.3 Структура навигационных радиосигналов системы GPS

В системе GPS используется кодовое разделение сигналов (CDMA), поэтому все спутники излучают сигналы с одинаковой частотой. Каждый

спутник системы GPS излучает два фазоманипулированных сигнала. Частота первого сигнала составляет $L1 = 1575,42$ МГц, а второго - $L2 = 1227,6$ МГц. Сигнал несущей частоты $L1$ модулируется двумя двоичными последовательностями, каждая из которых образована путём суммирования по модулю 2 дальномерного кода и передаваемых системных и навигационных данных, формируемых со скоростью 50 бит/с. На частоте $L1$ передаются две квадратурные компоненты, бифазно манипулированные двоичными последовательностями. Первая последовательность является суммой по модулю 2 точного дальномерного кода P или засекреченного кода Y и навигационных данных. Вторая последовательность также является суммой по модулю 2 грубого C/A (открытого) кода и той же последовательности навигационных данных.

Радиосигнал на частоте $L2$ бифазно манипулирован только одной из двух ранее рассмотренных последовательностей. Выбор модулирующей последовательности осуществляется по команде с Земли.

Каждый спутник использует свойственные только ему дальномерные коды C/A и $P(Y)$, что и позволяет разделять спутниковые сигналы. В процессе формирования точного дальномерного $P(Y)$ кода одновременно формируются метки времени спутникового сигнала.

2.4 Состав и структура навигационных сообщений спутников системы GPS

Структурное деление навигационной информации спутников системы GPS осуществляется на суперкадры, кадры, подкадры и слова. Суперкадр образуется из 25 кадров и занимает 750 с (12,5 мин). Один кадр передаётся в течение 30 с и имеет размер 1500 бит. Кадр разделён на 5 подкадров по 300 бит и передаётся в течение интервала 6 с. Начало каждого подкадра обозначает метку времени, соответствующую началу/окончанию очередного 6-с интервала системного времени GPS. Подкадр состоит из 10 30-бит слов. В каждом слове 6 младших разрядов являются проверочными битами.

В 1-, 2- и 3-м подкадрах передаются данные о параметрах коррекции часов и данные эфемерид КА, с которым установлена связь. Содержание и структура этих подкадров остаются неизменными на всех страницах суперкадра. В 4- и 5-м подкадрах содержится информация о конфигурации и состоянии всех КА системы, альманахи КА, специальные сообщения, параметры, описывающие связь времени GPS с UTC, и прочее.

Параметры аппроксимирующей модели входят в состав навигационных сообщений спутников. В системе GPS используется Кеплеровская модель движения с оскулирующими элементами. В этом случае траектория полёта КА разбивается на участки аппроксимации длительностью в один час. В центре каждого участка задаётся узловый момент времени, значение которого сообщается потребителю навигационной информации. Помимо этого, потребителю сообщают параметры модели оскулирующих элементов на

узловой момент времени, а также параметры функций, аппроксимирующих изменения параметров модели оскулирующих элементов во времени как предшествующем узловому элементу, так и следующем за ним.

В аппаратуре потребителя выделяется интервал времени между моментом времени, на который нужно определить положение спутника, и узловым моментом. Затем с помощью аппроксимирующих функций и их параметров, выделенных из навигационного сообщения, вычисляются значения параметров модели оскулирующих элементов на нужный момент времени. На последнем этапе с помощью обычных формул кеплеровской модели определяют координаты и составляющие вектора скорости спутника [8].

2.5 Описание GPS приемника Garmin Rino Pro 640

Портативная GPS приемник GARMIN Rino 650 - это прибор соединивший функциональность радиостанции и портативного GPS навигатора на базе SiRFStarIII, что позволяет общаться, определять свои координаты и видеть свое положение на карте, а так же отслеживать на экране прибора перемещение и местоположение аналогичных приборов [4].

Чип SiRFStarIII отличается от более ранних версий чипов SiRF и от чипсетов GPS, сделанных другими изготовителями (**Garmin** или **Trimble Inc** например), способностью принимать и поддерживать сигнал в городской или плотной лесистой местности и более быстрым временем первого запуска (Time to First Fix) (TTFF), это время необходимое GPS приёмнику для приема сигнала спутников и определения первоначальной позиции.

Расширенные функции чипа SiRFStarIII сделали доступными следующие возможности:

- 20-канальный приёмник, обрабатывающий сигналы всех видимых GPS- и WAAS- спутников одновременно; Можно предположить, что крупномасштабные металлические конструкции могут послужить причиной отражения от их поверхности сигнала по пути прохождения от спутника к приемнику, и то же время приемник может принять его за основной. Тем самым имеет место ухудшение точности определения координат.

- чип потребляет 62 мВт электроэнергии при непрерывном использовании;

- при использовании А-GPS можно уменьшить время до первого подключения до двух секунд. Однако для этого нужен сотовый приёмопередатчик, например, в составе мобильного телефона, а также поддержка этой технологии сотовым оператором;

- чувствительность приёмника — 159 дБм.



Рисунок 2.6 - GPS приемник Garmin Rino Pro 640

В таблице 2.1 представлены дополнительные характеристики GPS-приемника Garmin - Pro.

Т а б л и ц а 2.1 - Техническое описание Garmin Rino Pro 640

Дополнительные технические характеристики	
Размеры без антенны (высота x ширина x глубина), мм	135 x 62,8 x 40,3
Высота с антенной, мм	221,7
Вес без батарей, г.	190
Вес с батареями, г.	280
Питание	4 батареи типа AA
Время работы (среднее), ч.	16
Функции	Voх, PTT, сканирование каналов, индикатор заряда батарей, тон вызова, регулировка громкости, режим работы с двумя каналами, блокировка клавиатуры, FM радио, GPS локатор
Дополнительно	GPS локатор, FM радиоприемник
Время работы (среднее), ч	-
Тип GPS приемника	SiRF Star III
Количество путевых точек	500
Количество маршрутов/точек в маршруте	50/500
Емкость путевого журнала (Tracklog), точек	10,000 точек, 20 сохраненных маршрутов

3 Расчет радионавигационного поля

Сигналы радионавигации, штатные низкоорбитальных космических аппаратов, создают радионавигационное поле в околоземном пространстве.

Каждый низкоорбитальный космический аппарат системы GPS посылает навигационные сигналы $L_1 = 1575,5$ МГц и $L_2 = 1227$ МГц на Землю. Ширина рабочей части диаграммы направленности будет равна $2j_0 = 38^\circ$, тем самым освещая диск Земли с избытком до высоты h_0 над поверхностью.

Рабочую часть диаграммы направленности можно будет представить как конусный радиолуч с углом $2j_0 = 38^\circ$, при вершине. Далее очевидно, что:

$$\sin j_0 = \frac{(h_0 + r)}{H + r} \quad (3.1)$$

где $r = 6400 \text{ км} \frac{3}{4}$ радиуса Земли,

$H = 19100 \text{ км} \frac{3}{4}$ высота орбиты спутника,

После подстановки $\varphi_0 = 19^\circ$, получим $h_0 = 2000 \text{ км}$

При работе всех 24-ех штатных спутников GPS радионавигационное поле на высотах $h_0 = 2000 \text{ км}$ непрерывно в пространстве. Это значит, что потребитель в любой точке этого пространства “освещается” радиолучами как минимум от четырех спутников, т.е. образуется по отношению к нему созвездие, которое удовлетворяет по геометрическому фактору оперативное автономное определение координат и скорости.

При высотах $h > h_0$ радионавигационное поле становится дискретным в пространстве. Космические объекты на высотах $h < h_0 < H$ “освещаются” радиолучами от необходимого для оперативной навигации созвездия (не менее четырех спутников, включая спутник ниже местного горизонта) не везде, а только тогда, когда он находится в определенных областях пространства.

Спутники при высотах $h > H$ (к примеру на геостационарной орбите) будут “освещаться” на некоторых участках своей орбиты радиолучом от одного или двух спутников (при полной ОГ), и навигационная аппаратура может не эффективно определить орбиту спутника на основе обработки результатов приема навигационных радиосигналов на “освещенных” участках орбиты.

Рассмотрим условие при непрерывном радионавигационном поле, при $h > h_0$. Основной характеристикой радионавигационного поля для приемника является мощность, принимаемого радиосигнала от околозенитного и пригоризонтного спутника на выходе “стандартной” приемной антенны.

$$P_0 = \frac{P_{\text{п}} G(\varphi) G_0(\beta) \lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (3.2)$$

где $P_{\text{п}}$ - мощность передатчика;

$G(\varphi)$ – коэфф. направленности передающей антенны (с вычетом потерь в АФУ) по направлению φ на приемную антенну;

$G_0(\beta)$ – коэфф. направленности “стандартной” приемной антенны по направлению β на передающую антенну;

λ – длина волны несущего колебания радиосигнала;

R — расстояние между приемной и передающей антеннами.

В GPS передающие антенны для навигационных радиосигналов на спутниках имеют излучение с круговой правой поляризацией.

Коэффициент направленности $G(\varphi)$ передающих антенн в рабочем секторе направлений $\varphi = 19^\circ$, относительно оси антенны составляет

Т а б л и ц а 3.1 - Коэффициенты направленности антенн

φ , угол	0°	15°	19°
$G(\varphi)$ f1	10, дБ	12, дБ	8, дБ
$G(\varphi)$ f2	9, дБ	11, дБ	9, дБ

В качестве “стандартной” приемной антенны мы рассмотрим изотропную приемную антенну с круговой поляризацией, $G_0(\beta) = 1$.

Т а б л и ц а 3.2 - Мощность на выходе “стандартной” приемной антенны

	1575, МГц		1227, МГц	
b , градусы	90°	5°	90°	5°
$P_{\text{п}}$, дБ	+15±1		+9±1	
$G(\varphi)$, дБ	+10	+12	+9	+11
$(4\pi R)^2$, дБ	-182	-184	-180	-182
$G_0(\beta)$, дБ	0		0	
P_0 , дБ	-157±1	-157±1	-162±1	-162±1

Также надо отметить, что мощность навигационного радиосигнала, принимаемого наземным приемником с помощью изотропной антенны, одинакова для околзенитного и пригоризонтного ИСЗ.

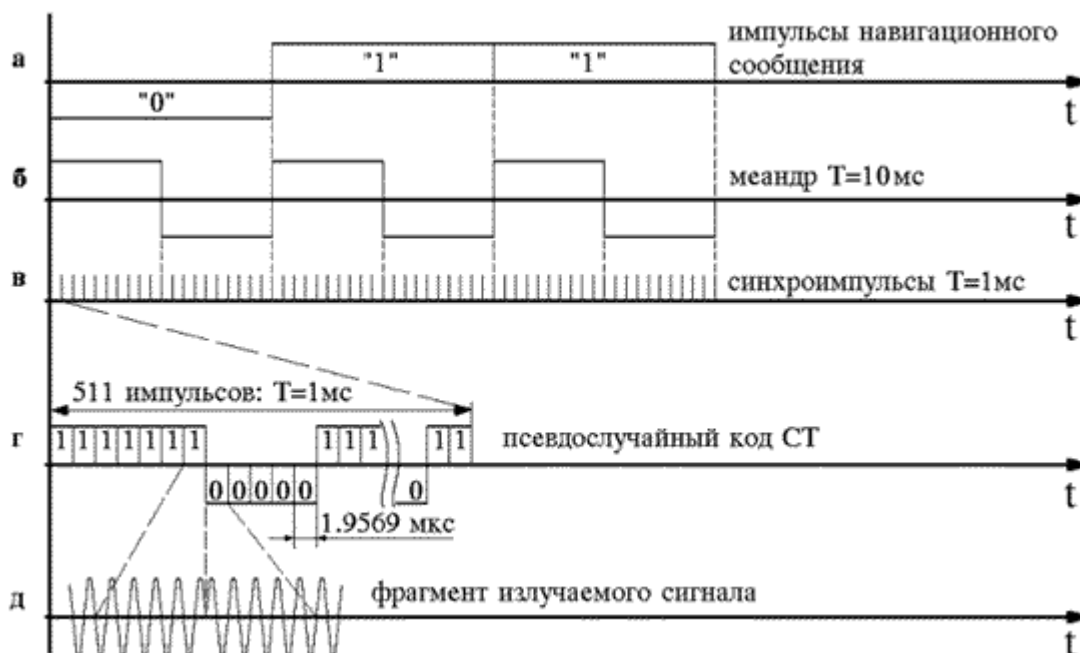


Рисунок 3.1 - Структура принимаемого сигнала GPS

Для навигационных радиосигналов ЦИ формируется на борту орбитального спутника на основе данных, передаваемых от НКУ системы на борт ИСЗ с помощью радиотехнических средств. Передаваемая в навигационных радиосигналах ЦИ, структурирована в виде строк, кадров и суперкадров.

В узкополосном навигационном радиосигнале 1575 МГц строка ЦИ имеет длительность 2 секунды и содержит 85 двоичных символов длительностью по 20 мс, передаваемых в относительном коде. Первый символ каждой строки является начальным для относительного кода. Последние восемь символов в каждой строке являются проверочными символами кода Хемминга, позволяющие исправлять одиночный ошибочный символ и обнаруживать два ошибочных символа в строке. Кадр содержит 15 строк (30 с), суперкадр 5 кадров (2,5 мин).

В составе каждого кадра передается полный объем оперативной ЦИ и часть альманаха системы. Полный альманах передается в пределах суперкадра.

Оперативная ЦИ в кадре относится к ИСЗ, излучающему навигационный радиосигнал, и содержит:
признаки достоверности ЦИ в кадре;

- время начала кадра t_k ;
- эфемеридную информацию □ координаты и производные координат ИСЗ в прямоугольной геоцентрической системе координат на момент времени t_0 .

Время t_0 , к которому “привязаны” ЭИ и ЧВП, кратны 30 мин от начала суток. Альманах системы содержит:

- время, к которому относится альманах;
- параметры орбиты, номер пары несущих частот и поправку к БШВ для каждого штатного ИСЗ в ОГ (24 ИСЗ);
- поправку к ШВ системы относительно ШВ страны, погрешность поправки не более 1 мкс.

Альманах системы необходим в НАП для планирования сеанса навигации (выбор оптимального созвездия ИСЗ) и для приема навигационных радиосигналов в системе (прогноз доплеровского сдвига несущей частоты). Оперативная ЦИ необходима в НАП в сеансе навигации, так как ЧВП вносятся в результаты измерений, а ЭИ используется при определении координат и вектора скорости потребителя.

В системе GPS ЦИ в узкополосных навигационных радиосигналах структурирована следующим образом: строка имеет длительность 6 с, кадр содержит 5 строк (30 с), суперкадр 3/4 25 кадров (12,5 мин).

Узкополосные навигационные радиосигналы в системе ГЛОНАСС обеспечивают более оперативный прием (обновление) альманаха за счет более короткой длительности суперкадров (2,5 мин) по сравнению с системой НАВСТАР (12,5 мин).

3.1 Навигационные измерения в многоканальной НАП

Рассмотрим многоканальную НАП, использующую узкополосные радиосигналы и предназначенную для глобальной навигации наземных подвижных объектов (сухопутных, морских, воздушных). Будем считать, что в НАП применяется широконаправленная приемная антенна.

В каждом канале НАП в режиме слежения за узкополосным навигационным радиосигналом принимается ЦИ и ежесекундно измеряются два навигационных параметра 3/4 псевдодальность и радиальная псевдоскорость.

Псевдодальность от объекта до ИСЗ измеряется в НАП посредством измерения сдвига принимаемой ПСП1 относительно опорного сигнала в НАП. Радиальная псевдоскорость объекта относительно ИСЗ измеряется посредством измерения сдвига несущей частоты принимаемого навигационного радиосигнала относительно частоты опорного сигнала в НАП. Опорный сигнал в НАП формируется с использованием кварцевого генератора.

Результаты измерений псевдодальностей $S_k(t)$ не менее, чем для четырех выбранных ИСЗ ($k = 1, 2, 3, 4$) с учетом введения ЧВП, содержащихся в кадре ЦИ, можно выразить следующим образом:

$$S_k(t) = R_k(t) + c\tau_0(t) + c\delta\tau_k(t) + \delta S_k(t), \quad (3.3)$$

где $R_k(t)$ – дальность от объекта до ИСЗ;

c – скорость света;

$c\tau_0(t)$ – сдвиг ШВ НАП (опорного сигнала) относительно ШВ системы;

$c\delta\tau_k(t)$ – погрешность ЧВП;

$\delta S_k(t)$ – погрешность измерений в НАП.

В двухдиапазонной НАП навигационные измерения псевдодальностей на двух несущих частотах $f_{\text{вн}} 1575$ МГц и $f_{\text{нв}} 1227$ МГц позволяют исключить ионосферные погрешности измерений следующим образом. Обозначим $S_0(t)$ — измеренная псевдодальность без ионосферных погрешностей. Поскольку для верхнего и нижнего диапазонов:

$$S_{\text{в}}(t) = S_0(t) + \frac{A}{f} / B^2 \quad (3.4)$$

и

$$S_{\text{н}}(t) = S_0(t) + \frac{A}{f} / H^2, \quad (3.5)$$

где A/f – ионосферная погрешность измерения псевдодальности, то алгоритм получения объединенного результата.

В сеансе навигации результаты измерений в НАП псевдодальностей относительно не менее четырех ИСЗ, выбранных для сеанса, и принятая ЭИ от выбранных ИСЗ позволяют определить три координаты объекта и сдвиг местной ШВ объекта (опорного сигнала) относительно ШВ системы.

Задача настоящего раздела — оценить погрешность измерения псевдодальностей в многоканальной НАП при использовании узкополосных навигационных радиосигналов. Основными источниками погрешностей измерения псевдодальности в многоканальной НАП являются: шумы и многолучевость на входе приемника, тропосфера, ионосфера (в однодиапазонной НАП).

При оценке погрешностей псевдодальности, обусловленных шумами и многолучевости на входе приемника, будем полагать, что в каналах НАП в цепях слежения за ПСП1 применяются дискриминаторы задержки, у которых ширина центрального линейного участка дискриминационной характеристики равна длительности символа ПСП1.

Шумовую погрешность σ (S) однодиапазонных измерений псевдодальности можно оценить следующим образом:

$$\sigma(S) = \frac{c}{2F_1} \sqrt{\frac{2g_{\text{ш}}k}{P_c T_0}}, \quad (3.6)$$

где c – скорость света;

F_1 – тактовая частота ПСП1;

$P_c/g_{ш}$ – энергетический потенциал узкополосного навигационного радиосигнала на входе приемника;

k – ухудшение энергетического потенциала в приемнике ($k \sim 1,5$);

T_0 – интервал осреднения (накопления) измерений.

Т а б л и ц а 3.3 - Энергетические потенциалы узкополосных навигационных радиосигналов на входе приемника

	$\beta = 90^\circ$	$\beta = 5^\circ$
1575, МГц	+47...49	+39...44
1227, МГц	+43...45	+34...39

Т а б л и ц а 3.4 - Соответственные шумовые погрешности однодиапазонных измерений при осреднении $T_0 = 1$ с

	$\beta = 90^\circ$	$\beta = 5^\circ$
$\sigma(S)1575$, МГц	1,7...2,1	3,3...6,0
$\sigma(S)1227$, МГц	+3,0...4,0	5,9...10,5

Далее, шумовую погрешность двухдиапазонного измерения псевдодальности найдем следующим образом по формуле 3.7:

$$\sigma(S_0) = \{[2.53\sigma(S_B)]^2 + [1.53\sigma(S_H)]^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

тогда, соответственно, получим при $T_0=1$ с

$$\sigma(S_0) = \begin{cases} 6,3 \dots 8,0 \text{ при } \beta = 90^\circ \\ 12,3 \dots 22,0 \text{ при } \beta = 5^\circ \end{cases}$$

Навигационный радиосигнал от пригоризонтного ИСЗ может приходиться к наземному подвижному объекту не только прямым путем но и за счет зеркального отражения от земной поверхности (многолучевость). Отраженный радиосигнал приходит к объекту с направления ниже местного горизонта, и при зеркальном отражении изменяется на противоположное направление круговой поляризации радиосигнала. С учетом данного обстоятельства и за счет пространственной избирательности приемной антенны мощность отраженного радиосигнала P_{c2} будет много меньше мощности прямого радиосигнала P_{c1} на входе приемника.

Погрешность измерения псевдодальности до пригоризонтного ИСЗ, обусловленная многолучевостью при использовании узкополосного навигационного радиосигнала, будет максимальна в худшей ситуации, когда задержка Δt отраженного радиосигнала относительно прямого радиосигнала на входе приемника будет равна $\Delta t = 1/2F_1$, где F_1 — тактовая частота ПСП1. При $\Delta t \ll 1/2F_1$, и при $\Delta t > 3/2F_1$ погрешность будет много меньше, чем в худшей ситуации. При $T_0=1$ с погрешность псевдодальности до

пригоризонтного ИСЗ из-за многолучевости в худшей ситуации для узкополосных навигационных радиосигналов найдем по формуле 3.8:

$$\sigma(S_0) = \frac{c}{4F_1} \sqrt{\frac{P_{c2}}{2P_{c1}}} \quad (3.8)$$

Подставляя $P_{c2}/P_{c1} = - (30...32)$ дБ, получим $\sigma(S) = 3,0$ м, которое хорошо согласуется с экспериментальными данными. Следовательно, при двухдиапазонных измерениях (1575 МГц, 1227 МГц) и $T_0 = 1$ с получим:

$$\sigma(S_0) = \sqrt{2.53^2 + 1.53^2} = 9m$$

В тропосфере скорость распространения радиоволны равна $c = c_0/n(h)$, где c - скорость распространения света в вакууме, $n(h)$ — коэффициент преломления тропосферы на высоте h над поверхностью Земли, $n(h) > 1$.

Тропосферную погрешность беззапросного измерения дальности (псевдодальности) для ИСЗ при углах возвышения ИСЗ b^{35^0} можно по формуле (3.9):

$$\Delta R(\beta) = \frac{1}{\sin\beta} \int_0^\infty \Delta n(h) dh, \quad (3.9)$$

где $\Delta n(h) = n(h) - 1$.

В НАП тропосферные погрешности компенсируются расчетными поправками. Если рассчитывать тропосферные поправки для средних параметров тропосферы (глобально), то их погрешность $\sigma(\Delta R)$ составит 10% от величины поправки $\Delta R(\beta)$.

Для оценки погрешностей можно воспользоваться простой экспоненциальной моделью тропосферы:

$$\Delta n(h) = \Delta n(0) e^{-\frac{h}{a}} \quad (3.10)$$

После подставив средние значения $\Delta n(0) = 3 \cdot 10^{-4}$, $a = 8$ км, получим:

Т а б л и ц а 3.5 - Полученные данные

β	90°	10°	5°
$\Delta R(\beta)$	2,5	15	30
$\sigma(\Delta R)$	0,25	1,5	3,0

Проведем оценку ионосферных погрешностей измерения псевдодальности в однодиапазонной НАП (1575 МГц). Ионосфера Земли

начинается с высоты 100 км, на высотах от 300 до 400 электронная концентрация в ионосфере максимальна и выше с увеличением высоты уменьшается приблизительно экспоненциально и на высоте 900 км электронная концентрация в ионосфере составляет приблизительно 10% от максимальной.

4 Исследование влияния крупномасштабных металлических конструкций на точность навигационных измерений

Система глобального позиционирования GPS имеет несколько источников ошибок, а именно ионосферные и тропосферные задержки сигнала, неточное определение времени, многопутность распространения сигнала, наличие шумов в электронном тракте приемника [11].

Также можно предположить, что крупномасштабные металлические конструкции могут послужить причиной отражения от их поверхности сигнала по пути прохождения от спутника к приемнику. В то же время приемник может принять его за основной, тем самым имеет место ухудшение точности определения координат. На рисунке 4.1 изображена смоделированная картина, где приемник, переотраженный сигнал со спутника КС1, принимает за основной. А с КС2 доходит только переотраженный.

Переотражение отражается псевдодальностью. Пунктиром указаны искаженные положения приемника (автомобиля).

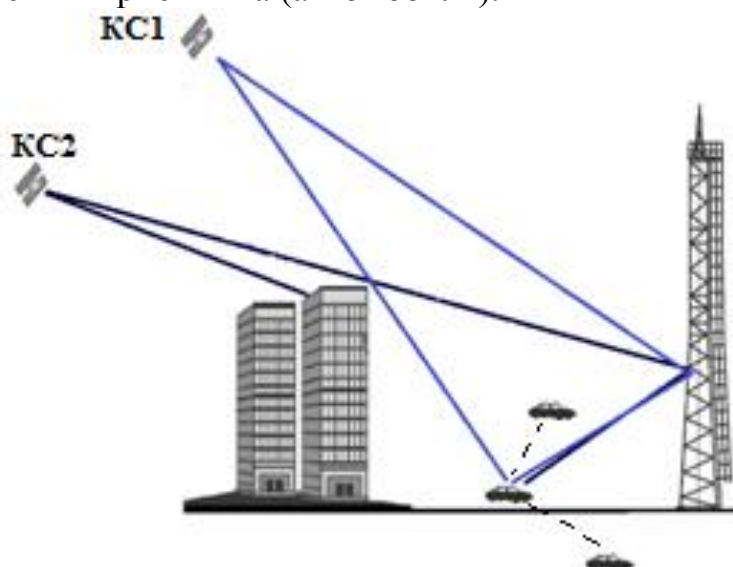


Рисунок 4.1 - Возможные пути сигналов.

В работе исследуется влияние крупных металлических конструкций на точность определения координат местоположения на основе экспериментальных данных, полученных при использовании глобальных навигационных средств.

Для решения данной задачи был поставлен следующий эксперимент.

Измерения координат (широты, долготы, высоты над уровнем моря) проводились 25-го октября 2013 года, в городе Алматы. в ночное время, при ясном небе, при таких погодных условиях влияние ионосферы минимально.

4.1 Выбор объекта исследования

Объектом, который влияет на точность измерения, была выбрана металлическая телебашня телеканала «Казахстан», расположенная на

пересечении улиц Сатпаева и Желтоксан. Ее высота 192 метра, точные координаты $43^{\circ}14'19''$ В.Д. $76^{\circ}56'24''$ С.Ш.



Рисунок 4.2 - Антенно-мачтовое сооружение телеканала «Казахстан». Высота 192 м.

Считается, что точность работы GPS составляет 5-10 метров в городских условиях [3]. Был выбран участок идеальных городских условий с невысокой застройкой, где нет крупных металлических конструкций, а именно улица им. Абая между улиц им. Сейфуллина и им. Фурманова. Протяженность - 1100 метров. GPS приемник находился в автомобиле, при помощи автоодометра, каждые 100 метров снимались данные о местонахождении. Измерения проделывались 5 раз.

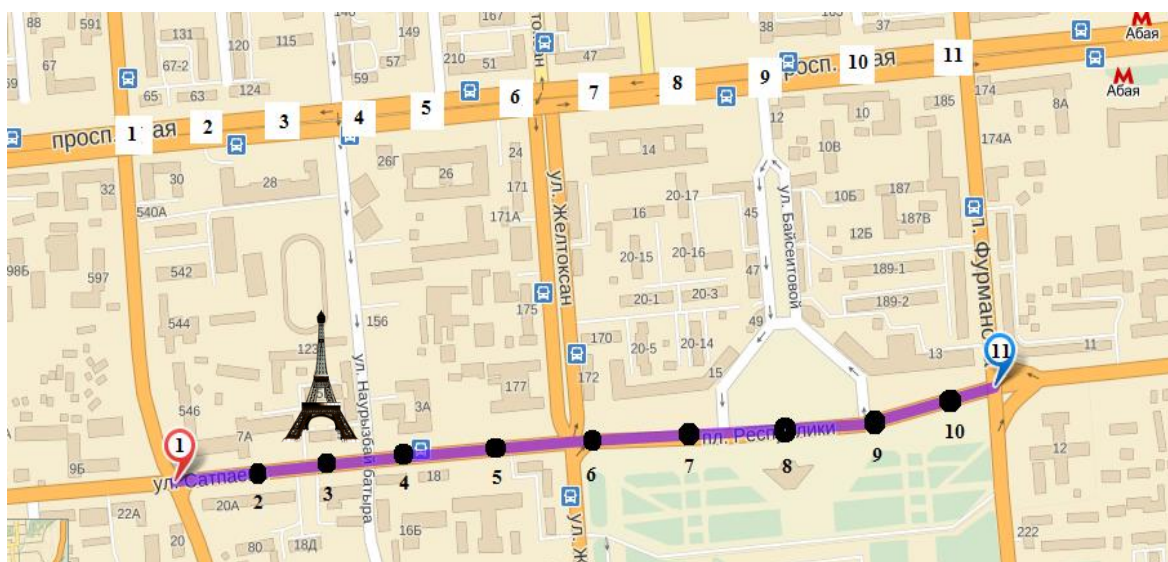


Рисунок 4.3 - Графическое изображение экспериментальных маршрутов

Далее аналогичный эксперимент проводился на улице им. Сатпаева, на которой располагается телебашня, также на участке между улиц им.

Сейфуллина и им. Фурманова, протяженностью 1070 метров. На рисунке 3.3 изображены два экспериментальных маршрута, каждые 100 метров обозначены метками.

4.2 Анализ экспериментально полученных результатов

На карту в программе Google earth, полученные экспериментальные данные, наносились вместе с истинными. Отклонение координат высчитывалось при помощи программной функции “Линейка”. (Приложение А). Для анализа результатов измерений расчеты математического ожидания и дисперсии произведены по следующим формулам (4.1) и (4.2) и рассчитывались при помощи программы Microsoft Excel (Приложение Б).

$$M[x] = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (4.1)$$

$$\sigma[x] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_k - m_x)^2}{n}}. \quad (4.2)$$

Полученные в идеальных городских условиях, экспериментальные данные были сведены в таблицу 4.1.

Т а б л и ц а 4.1 - Результаты замера координат местоположения.

№ метки на карте	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
M[x] откл. долготы, м	3,32	4,14	3,44	5	4	3,16	3,02	3,6	3,86	2,94	2,9
σ[x] откл. долготы, м	0,89	0,86	1,06	1,58	1,22	1,16	0,69	2,07	1,41	0,72	1,24
M[x] откл. широты, м	4,7	5	3	5	4	5	6	7	4	6	2,5
σ[x] откл. широты, м	3,74	4,04	4,9	4,64	3,54	4,5	4,2	4,4	3,9	3,14	2,5
M[x] откл. высоты над у.м.	6,7	4,4	4,8	3,4	4,8	5,8	5	6,6	4,2	6	5,6
σ[x] откл. высоты над у.м.	3,27	1,82	1,48	1,67	0,84	1,48	2,35	1,67	2,95	2,35	3,36

По экспериментальным данным видно, что среднее отклонения долготы не превышает 5 м., широты - 7 м., а высоты - 6,7 м. Изобразим это графически на рисунке 3.4

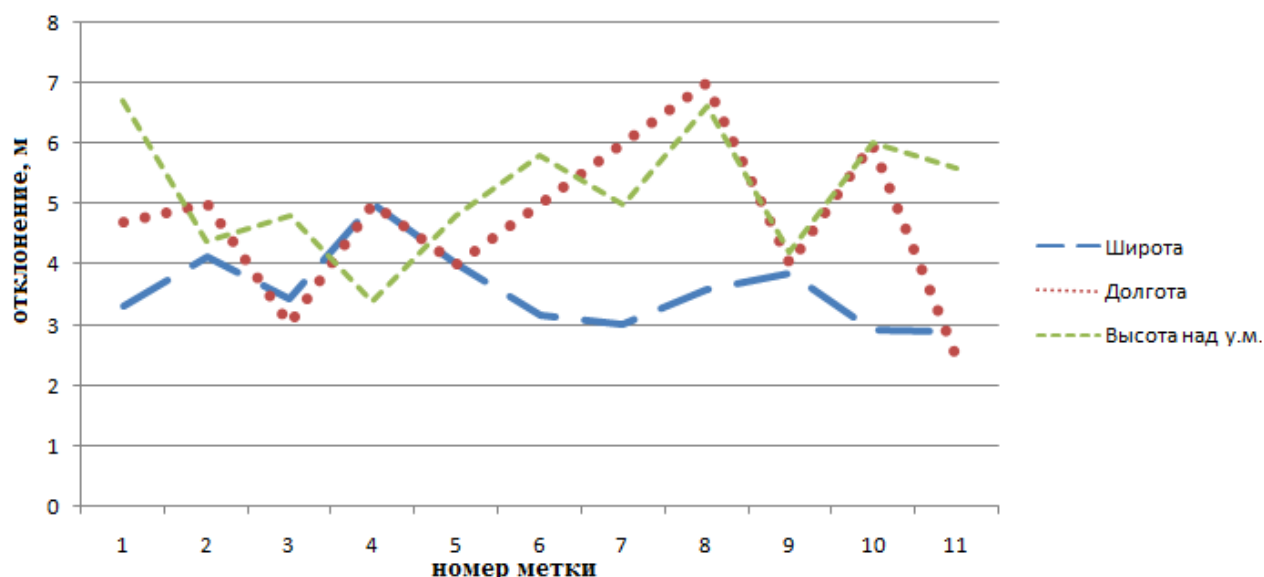


Рисунок 4.4 - Отклонения координатных данных без влияния металлической конструкции.

Далее рассмотрим данные со второго экспериментального маршрута, где присутствовала металлическая телебашня. Расчеты были произведены при помощи программы Microsoft Excel (Приложение С). В таблицу 3.2 занесены экспериментальные данные о долготе.

Т а б л и ц а 4.2 - Результаты замера координат местоположения.

№ метки на карте	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1, (м)	5,3	7	47	20	35	28	15	18	5	2	1
2, (м)	4	5	32	33	15	27,8	19	11	3	2,7	2
3, (м)	2,6	3,5	25	35	27	30	15	20	3	3	5
4, (м)	3	3,7	43	29	36,2	25	21	10	5	2	2
5, (м)	4,5	5	22	45	20	31	13	8	4	6	2,5
$M[x], м$	3,88	4,84	33,8	32,4	26,64	28,36	16,6	13,4	4	3,14	2,5
$\sigma[x], м$	1,10	1,40	10,94	9,10	9,23	2,31	3,29	5,27	1,00	1,66	1,50

По экспериментальным данным видно, что отклонение долготы превышает норму при приближении уже на 300 метров. АМС находится между 3 и 4 точками, расстояние между точками - 100 метров. Самое большое отклонение по долготе - 47 метров, в точке 3(1), при этом расстояние до АМС составляло 22 метра. На рисунке 4.5 построен сравнительный график по полученным данным.

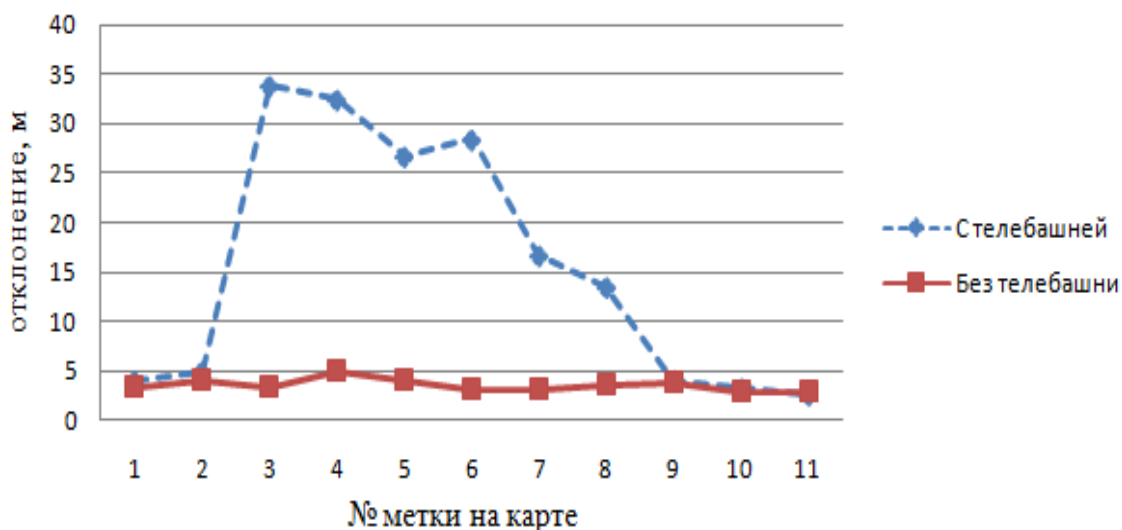


Рисунок 4.5 - Отклонения долготы под влиянием металлической конструкции.

В таблице 4.3 сведены данные по экспериментальному определению широты.

Т а б л и ц а 3.3 - Результаты замера координат местоположения.

№ метки на карте	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1, (м)	2	8	25	13	18	15	7,5	10	5	2	1
2, (м)	3	4	54	10	21,3	13	8,5	5	3	2,7	2
3, (м)	5,1	9	12	37	15	30	10	8	3	3	5
4, (м)	3	10	20	9	25	22	21	9,2	5	2	2
5, (м)	3,2	8,2	16	21	7	17,5	9,2	7	4	6	2,5
$M[x]$, м	3,26	7,84	25,4	18	17,26	19,5	11,24	7,84	4	3,14	2,5
$\sigma[x]$, м	1,13	2,29	16,70	15,81	6,84	6,76	5,53	1,96	1,00	1,66	1,50

Самое большое отклонение в определении широты - 54 метров, в точке 3(2), при этом расстояние до АМС составляло 22 метра. На рисунке 4.6 построен сравнительный график по полученным данным.

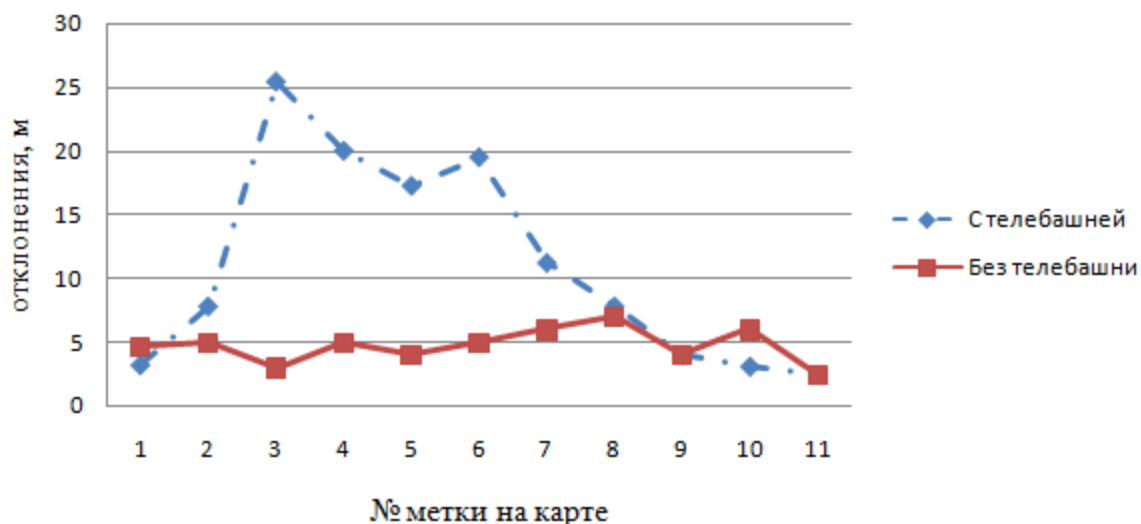


Рисунок 4.6 - Отклонения широты под влиянием металлической конструкции.

В таблице 4.4 сведены данные по экспериментальному определению высоты над уровнем моря.

Т а б л и ц а 4.4 - Результаты замера координат местоположения.

№ метки на карте	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1, (м)	10	15	25	19	32	15	12	7	8	5	5
2, (м)	11,5	12	15	20	37	16	11,5	8	10	5	6
3, (м)	6	20	23	16	32	15	14	8	9	6	4
4, (м)	8,5	11	30	18	32	18	12	8	12	4	4
5, (м)	7,2	12	12	18	32	12	13	7,5	11	6	6
M[x], м	8,6 4	14	21	18,2	33	15, 2	12,5	7,7	10	5,2	5
$\sigma[x]$, м	2,1 8	3,6 7	7,38	1,48	2,24	2,1 7	1,00	0,4 5	1,5 8	0,8 4	1,0 0

Самое большое отклонение в определении высоты - 37 метров, в точке 5(2), при этом расстояние до АМС составляло 170 метров. На рисунке 4.7 построен сравнительный график по полученным данным.

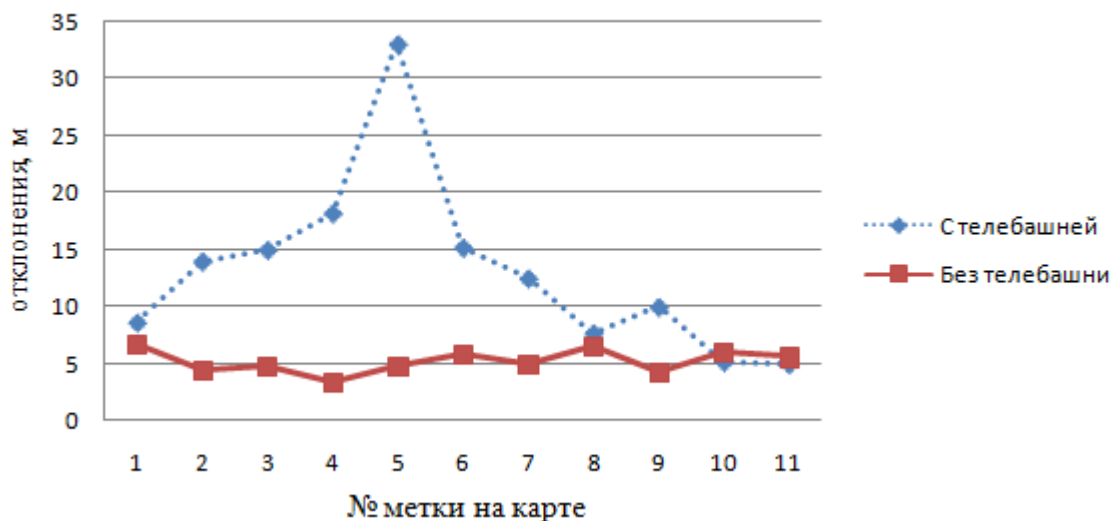


Рисунок 4.7 - Отклонения высоты над уровнем моря под влиянием металлической конструкции.

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что крупномасштабные металлические конструкции оказывают существенное влияние на точность навигационных измерений. Приближение на менее чем на 450 метров к данной АМС уже приводит к ухудшению точности определения координат. Ошибка максимально может достигать до 33 метров.

Заключение

В ходе проведенного в магистерской диссертации исследования было изучено влияние крупномасштабных металлических сооружений на точность навигационных измерений. Объектом исследования была выбрана металлическая телебашня телеканала «Казахстан» в городе Алматы, высотой 192 метра.

Навигация всегда считалась неотъемлемой и наиболее важной составляющей глобальной спутниковой навигационной системы. Ее основной целью является предоставление приемникам информации о погрешностях спутниковых часов и параметров для расчета положения спутников и иных значений для более точных измерений.

С момента запуска системы GPS ее технология сделала огромный скачок вперед. Архитектура систем GNSS должна развиваться в соответствии с требованиями наших реалий: большинство существующих приемников способны производить не только кодовые измерения, но и фазовые.

Ожидаемая эволюция GNSS-систем позволит достигать точности в несколько сантиметров в режиме реального времени везде и всегда. Технология для такой эволюции уже доступна и позволит улучшить традиционную спутниковую навигацию на два порядка, тем самым повысив точность в 100 раз.

По экспериментально полученным данным по двум маршрутам составлены сравнительные графики. На маршруте, где присутствовала телебашня видно искажение широты, долготы и высоты над уровнем моря. Стоит отметить, что самые большие отклонения в определении широты - 54 метра, долготы - 47 метров, высоты - 37 метров. Расстояние до башни при этом составляли - 54, 47 и 22 метра соответственно.

В заключение анализируя, полученные экспериментальные результаты можно сделать вывод о том, что крупномасштабные металлические конструкции оказывают существенное влияние на точность навигационных измерений. Приближение на менее чем на 450 метров к данной конструкции уже приводит к ухудшению точности определения координат. Ошибка максимально может достигать до 54 метра.

Список литературы

1. Одуан К., Б. Гино. Измерение времени. Основы GPS. //Москва: Техносфера, 2002г. - 400 с.
2. Тузов Г. И., Сивов В. В., Прытков В. И. и др. Помехоустойчивость радиосистем со сложными сигналами //М.: Радио и связь, 1985.
3. Сайт <http://ru.wikipedia.org/wiki/GPS>
4. <http://www.navigator-shop.ru/catalog/product/garmin-rino-650/3>
5. Беляевский Л.С., Новиков В.С., Олянюк П.В. Основы радионавигации. // М.: «Транспорт», 1982г. - 287 с.
6. Спутниковая связь и вещание. //Справочник, под ред. Л.Я. Кантора. - М.: Радио и связь, 1997.
7. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. /М.: Эко-Трендз, 2000г - 260 с.
8. Овчаренко Л. А., Поддубный В. Н. Помехоустойчивость приема фазоманипулированных сигналов на фоне наиболее неблагоприятных помех // Радиотехника, 1992 г., № 7-8, с.13-19.
9. Акимов А. А. Буравин А.Е. "Связь и навигация. Интеграция услуг //журнал Системы и средства связи 2000 г. № 3-4.
10. Shingo O, Hiromutsu W, Seiichiro Kawase "Mobile Satellite Communications" Artech House inc. 1998 isbn 0-89006-843-7
11. Финк Л. М. Сигналы, помехи, ошибки... Заметки о некоторых неожиданностях и заблуждениях в теории связи //М.: Радио и связь, 1984 г.
12. [Michalski, A.](#) The accuracy of the global positioning systems. Instrumentation & Measurement Magazine, IEEE,2004, vol. 7, pp 56-60

Приложение А

Расчет отклонения координат при помощи программы Google Earth

При помощи функции “Линейка” высчитываем погрешность долготы.

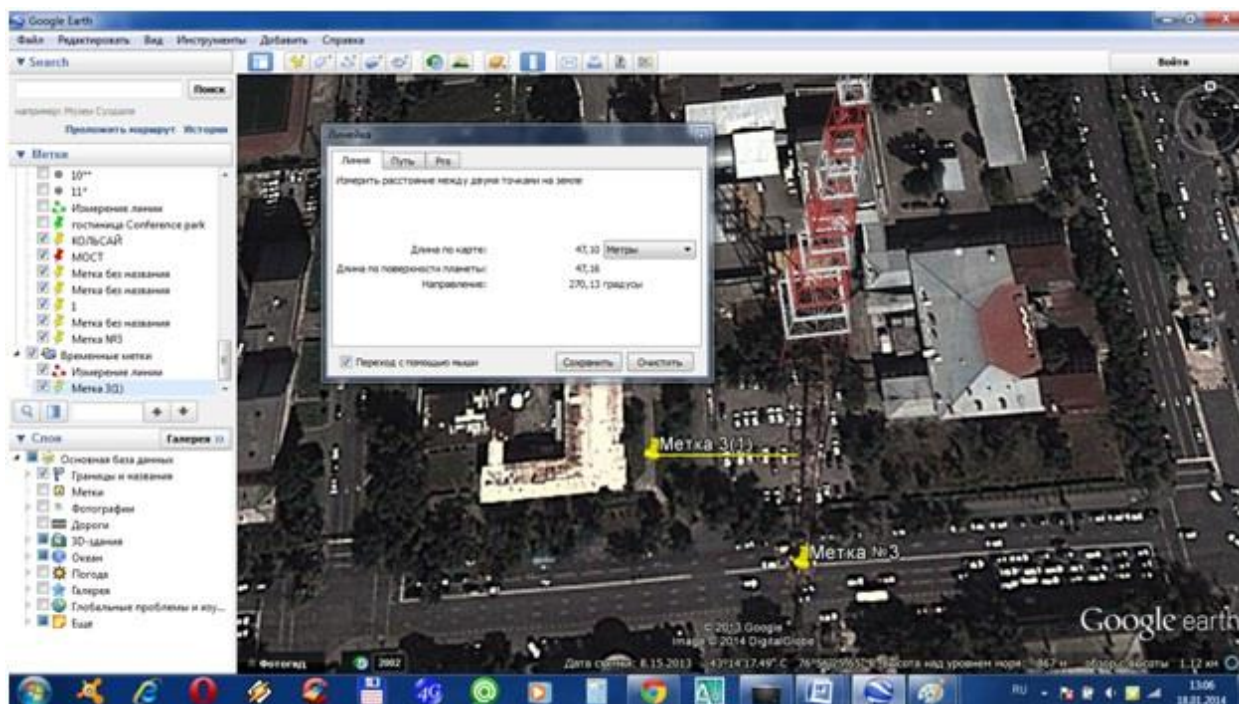


Рисунок 1 - Определение погрешности в определении долготы в метке №3(1)

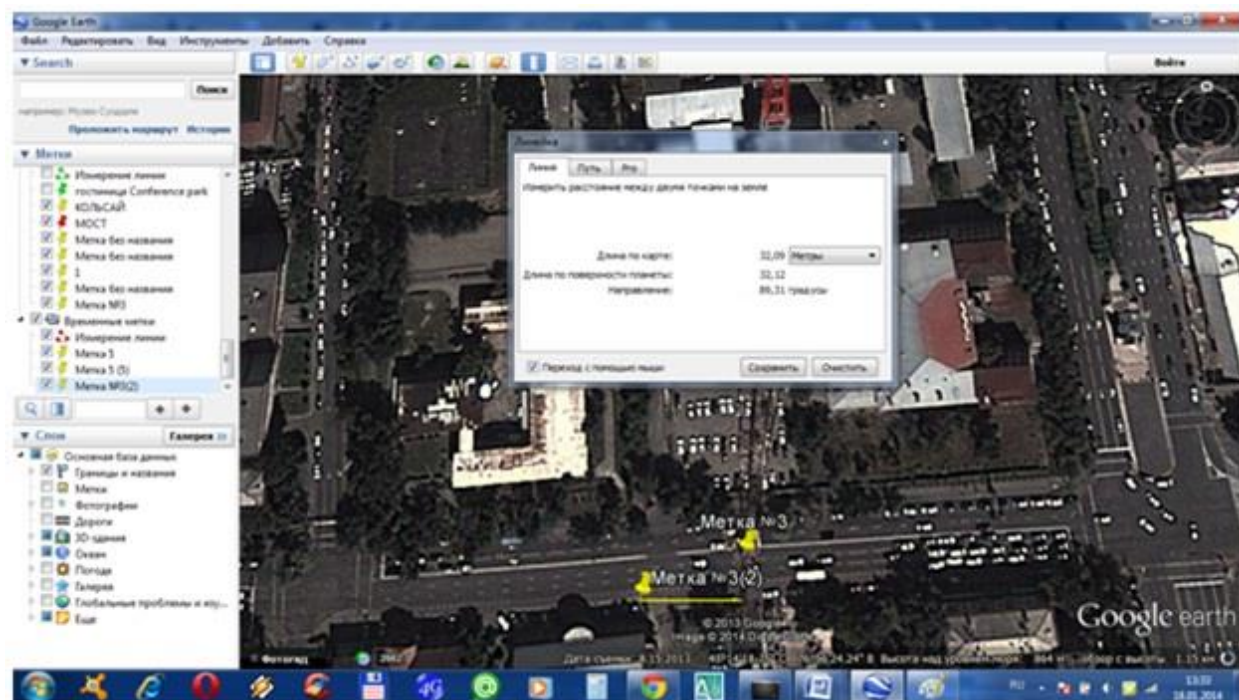


Рисунок 2 - Определение погрешности в определении долготы в метке №3(2)

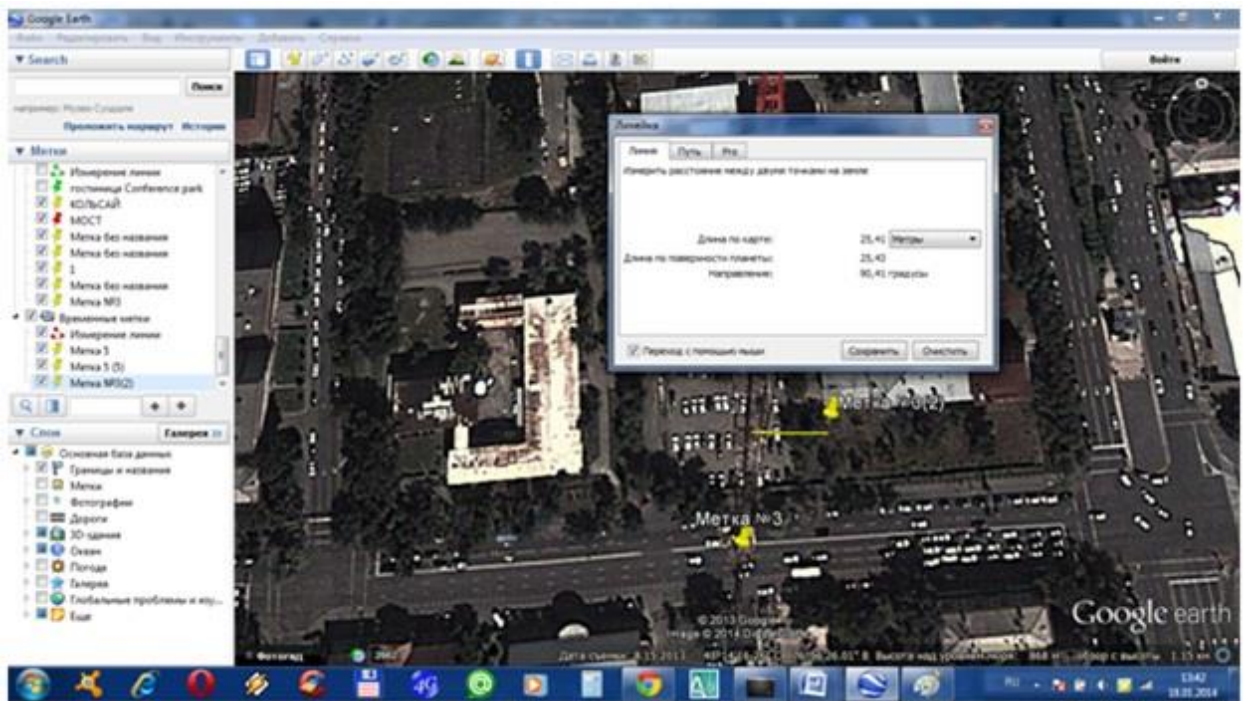


Рисунок 3 - Определение погрешности в определении долготы в метке №3(3)

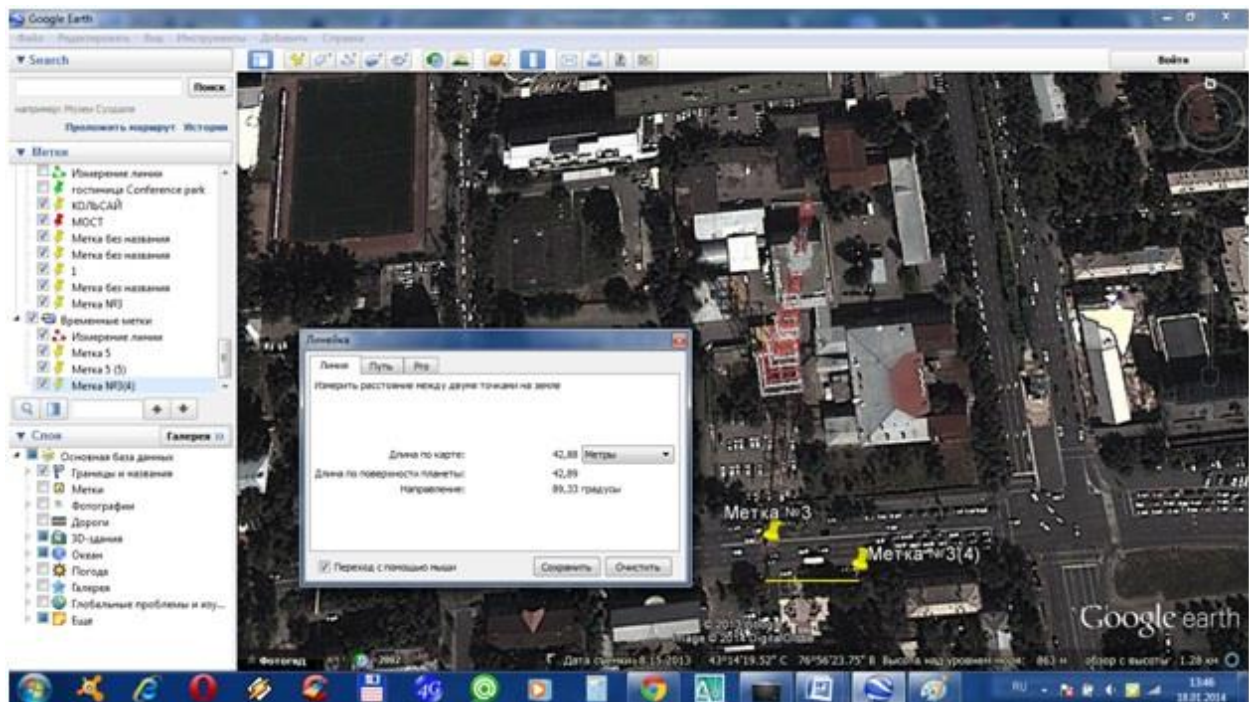


Рисунок 4 - Определение погрешности в определении долготы в метке №3(4)

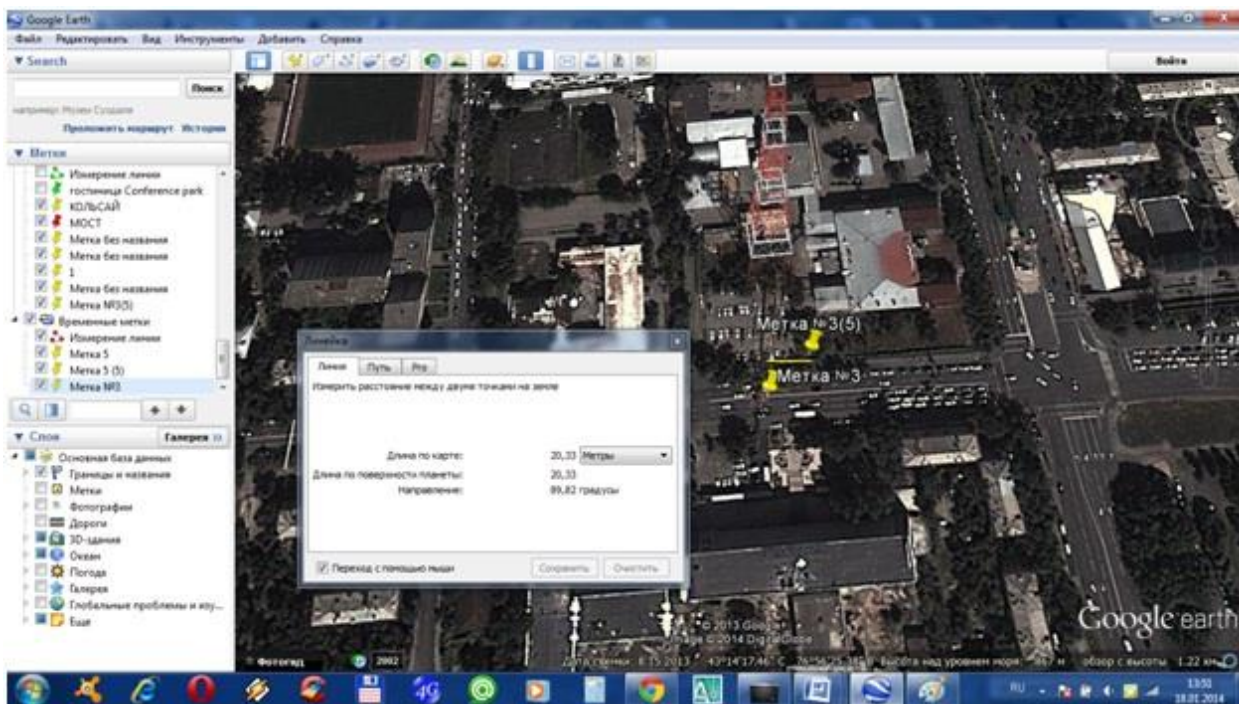


Рисунок 5 - Определение погрешности в определении долготы в метке №3(5)

При помощи функции “Линейка” высчитываем погрешность широты.

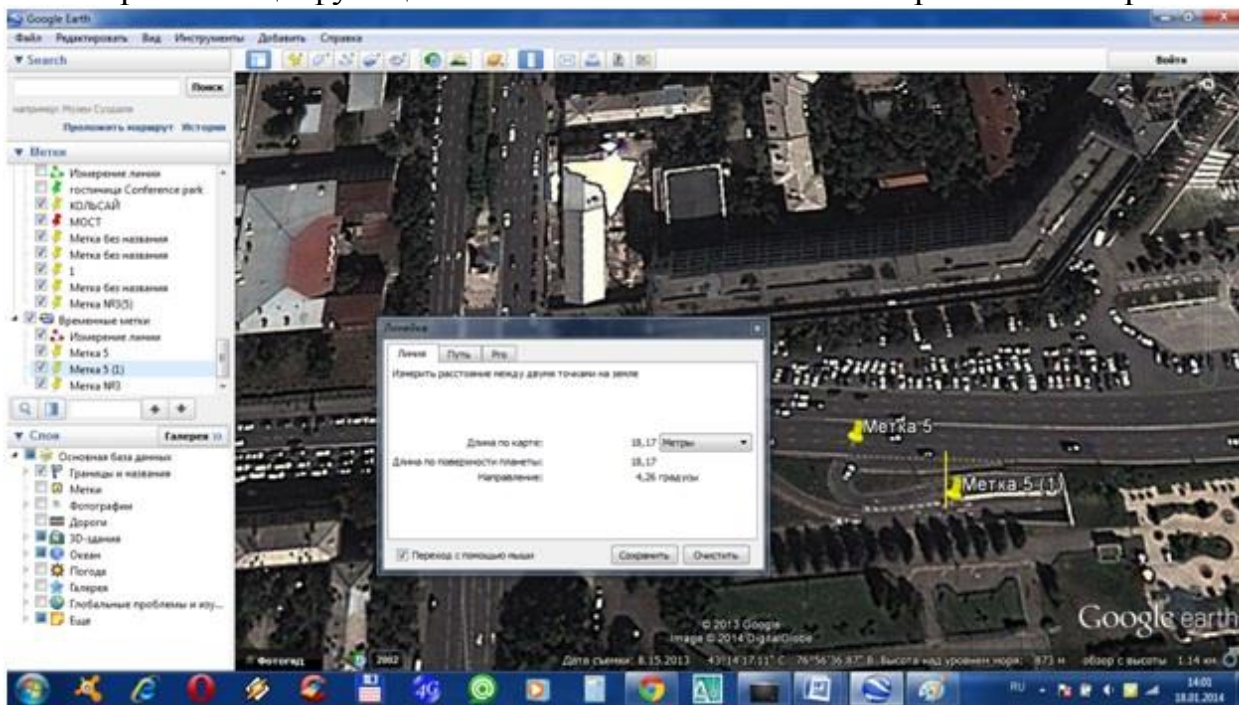


Рисунок 6 - Определение погрешности в определении долготы в метке №5(1)

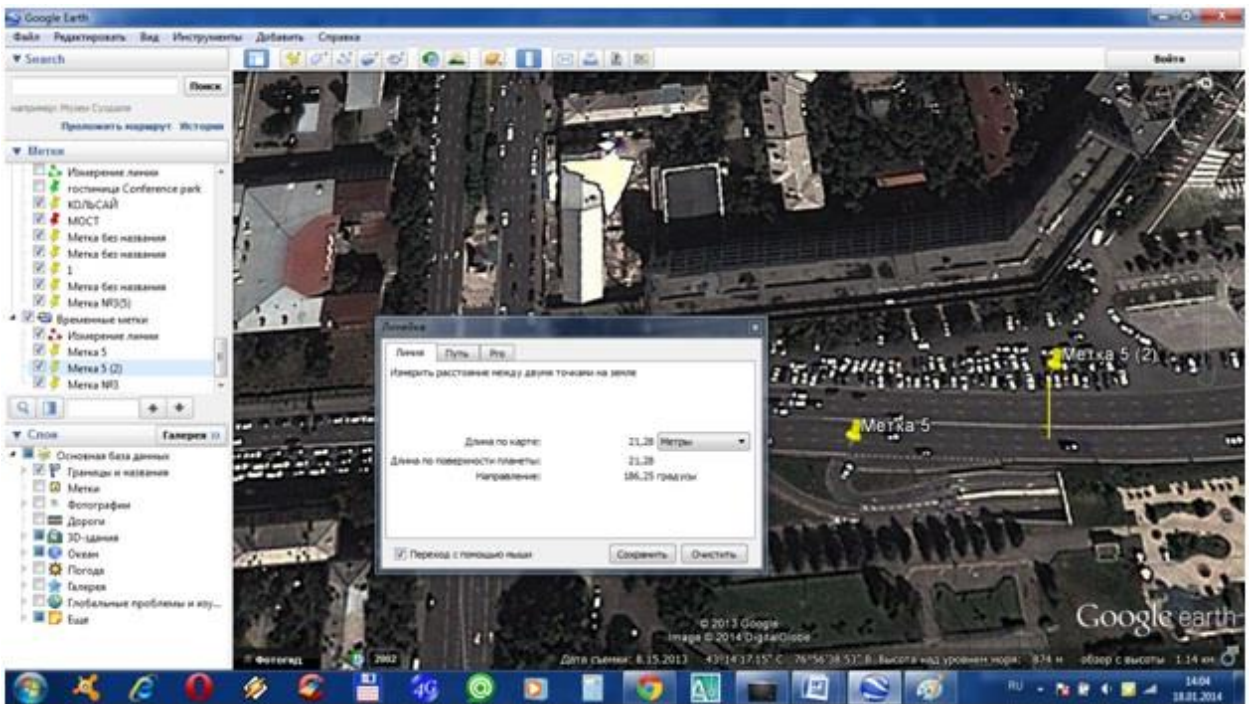


Рисунок 7 - Определение погрешности в определении долготы в метке №5(2)

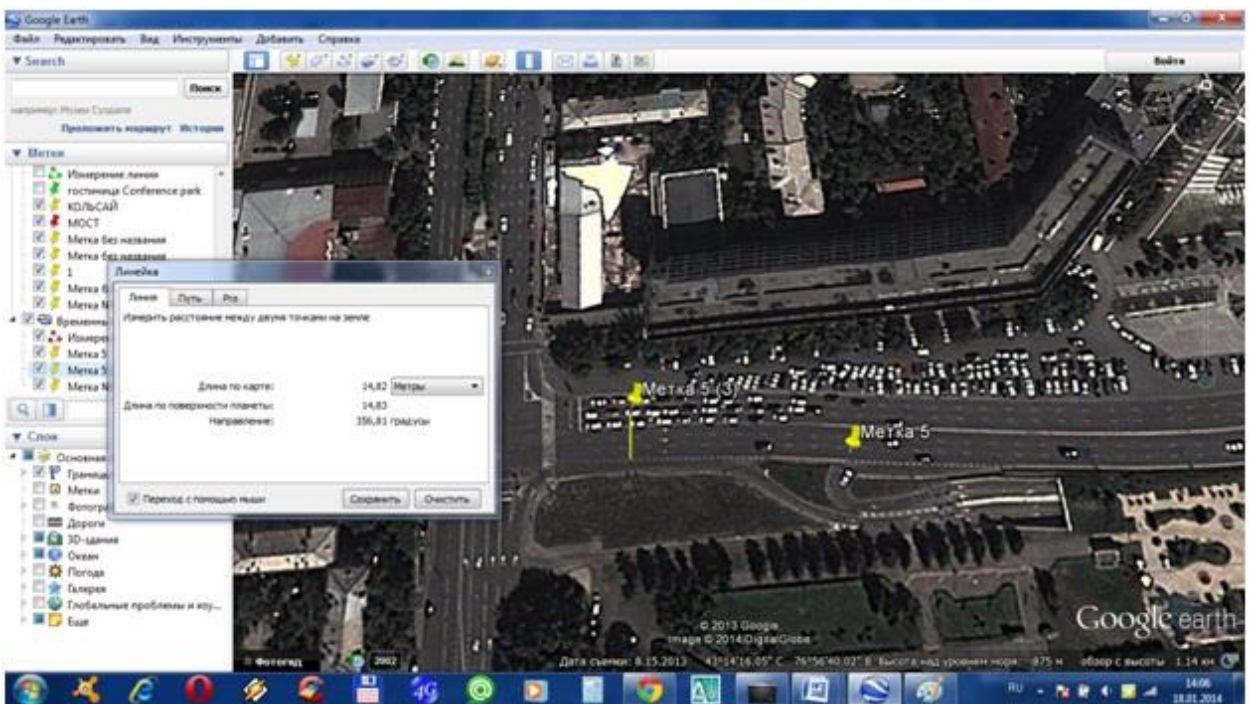


Рисунок 8 - Определение погрешности в определении долготы в метке №5(3)

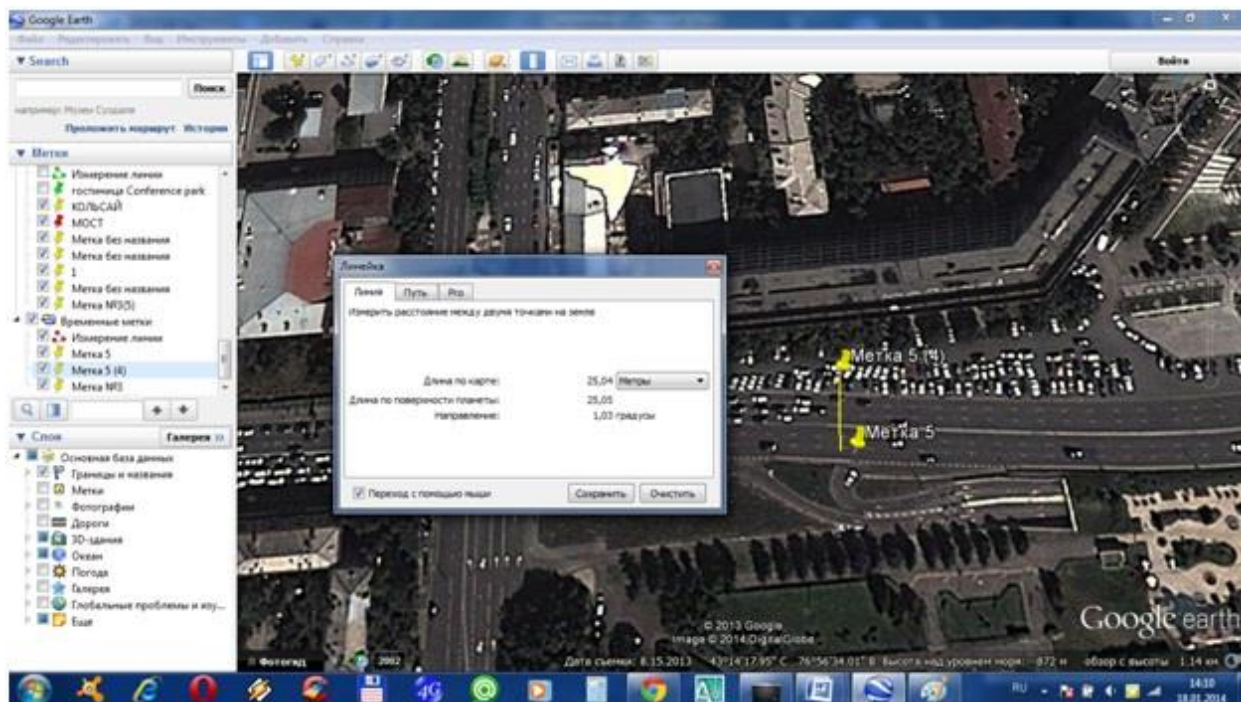


Рисунок 9 - Определение погрешности в определении долготы в метке №5(4)

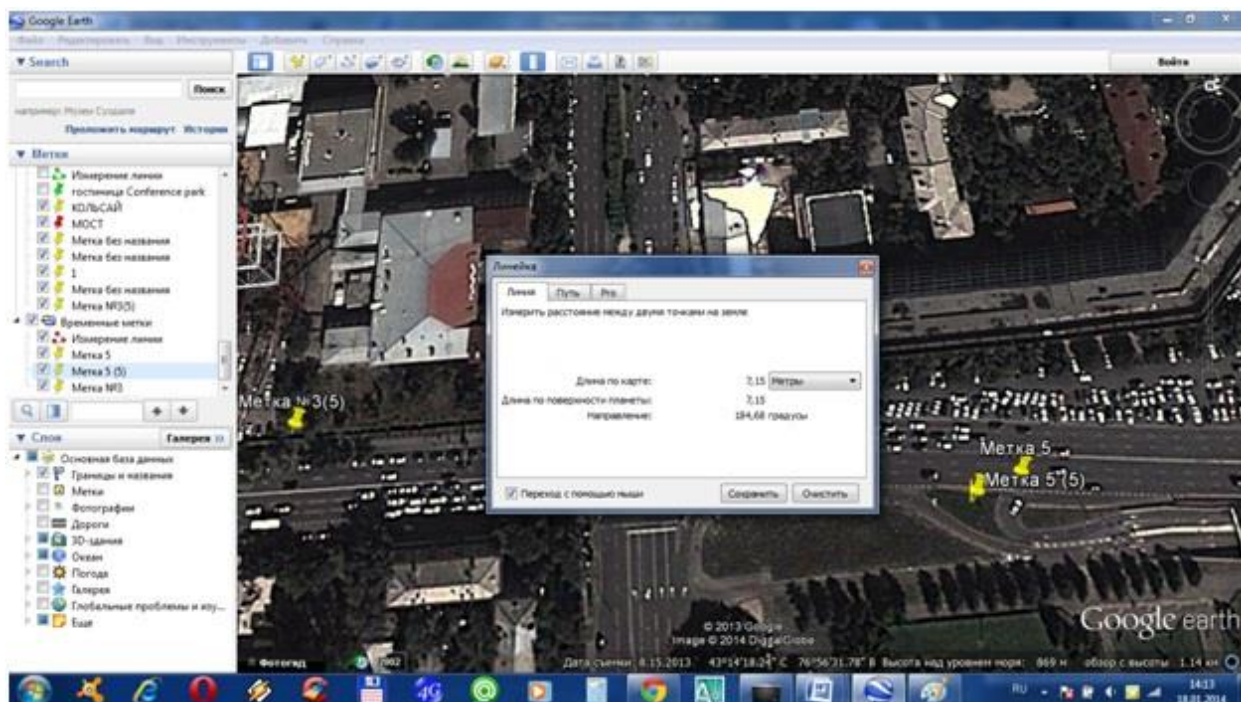


Рисунок 10 - Определение погрешности в определении долготы в метке №5(5)

Высота над уровнем моря определяется также при помощи Google Earth в каждой точке в правом нижнем углу скрина экрана.

Приложение Б

Экспериментальные замеры координат по ул. Абая

В нижеизложенные таблицы сведены данные по экспериментального маршрута по улице Абая, где нет присутствия телебашни.

Т а б л и ц а 1 - Результаты замера долготы

Метка на карте	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксп-т №1	2,5	4	2,3	3	5	2	3	1	5	3	3
Эксп-т №2	4	3	2,9	7	5	2,8	2,8	6	2,7	2,7	2
Эксп-т №3	2,6	5	5	6	4	2,5	2,2	2	4,6	4	5
Эксп-т №4	3	3,7	4	5	4	3,5	3	4	2	3	2
Эксп-т №5	4,5	5	3	4	2	5	4,1	5	5	2	2,5
$M[x]$	3,32	4,14	3,44	5	4	3,16	3,02	3,6	3,86	2,94	2,9
$\sigma[x]$	0,89	0,86	1,06	1,58	1,22	1,16	0,69	2,07	1,41	0,72	1,24

Т а б л и ц а 2 - Результаты замера широты

Метка на карте	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксп-т №1	3	4	7	6	2	3,5	5	6	2	2	2
Эксп-т №2	5	3,7	5	5,2	2,7	3	2	4	3,5	2,7	2,5
Эксп-т №3	2,8	2,5	3,5	3	6	5	5	3	4,8	3	2,5
Эксп-т №4	3,2	5	6	4	3	6	3	2	5,2	2	3
Эксп-т №5	4,7	5	3	5	4	5	6	7	4	6	2,5
$M[x]$	3,74	4,04	4,9	4,64	3,54	4,5	4,2	4,4	3,9	3,14	2,5
$\sigma[x]$	1,03	1,04	1,67	1,16	1,55	1,22	1,64	2,07	1,25	1,66	0,35

Продолжение приложения Б

Т а б л и ц а 3 - Результаты замера высоты над уровнем моря.

Метка на карте	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксп-т №1	8	3	5	6	4	4	6	7	5	5	6
Эксп-т №2	9	5	7	2	4	8	7	4	2	5	5
Эксп-т №3	7	6	5	2	6	5	2	6	3	6	4
Эксп-т №4	8,5	6	4	3	5	6	3	8	2	4	2
Эксп-т №5	5	7	5	5	5	6	4	7	5	6	6
$M[x]$	6,7	4,4	4,8	3,4	4,8	5,8	5	6,6	4,2	6	5,6
$\sigma[x]$	3,27	1,82	1,48	1,67	0,84	1,48	2,35	1,67	2,95	2,35	3,36

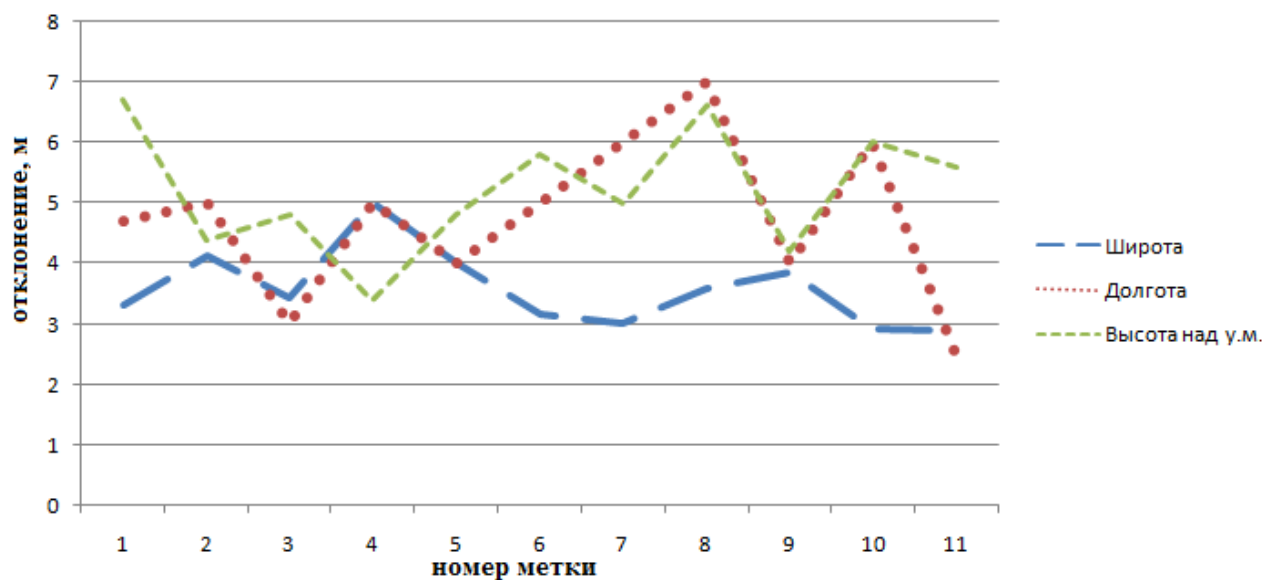


Рисунок 1 - Отклонения координатных данных без влияния металлической конструкции.

Приложение В

Экспериментальные замеры координат по ул. Сатпаева

Расчет матожидания и дисперсии полученных экспериментальных данных

Т а б л и ц а 1 - Экспериментальные данные о долготе

Номер метки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксп-т №1	5,3	7	47	20	35	28	15	18	5	2	1
Эксп-т №2	4	5	32	33	15	27,8	19	11	3	2,7	2
Эксп-т №3	2,6	3,5	25	35	27	30	15	20	3	3	5
Эксп-т №4	3	3,7	43	29	36,2	25	21	10	5	2	2
Эксп-т №5	4,5	5	22	45	20	31	13	8	4	6	2,5
$M[x]$	3,88	4,84	33,8	32,4	26,64	28,36	16,6	13,4	4	3,14	2,5
$\sigma[x]$	1,10	1,40	10,94	9,10	9,23	2,31	3,29	5,27	1,00	1,66	1,50

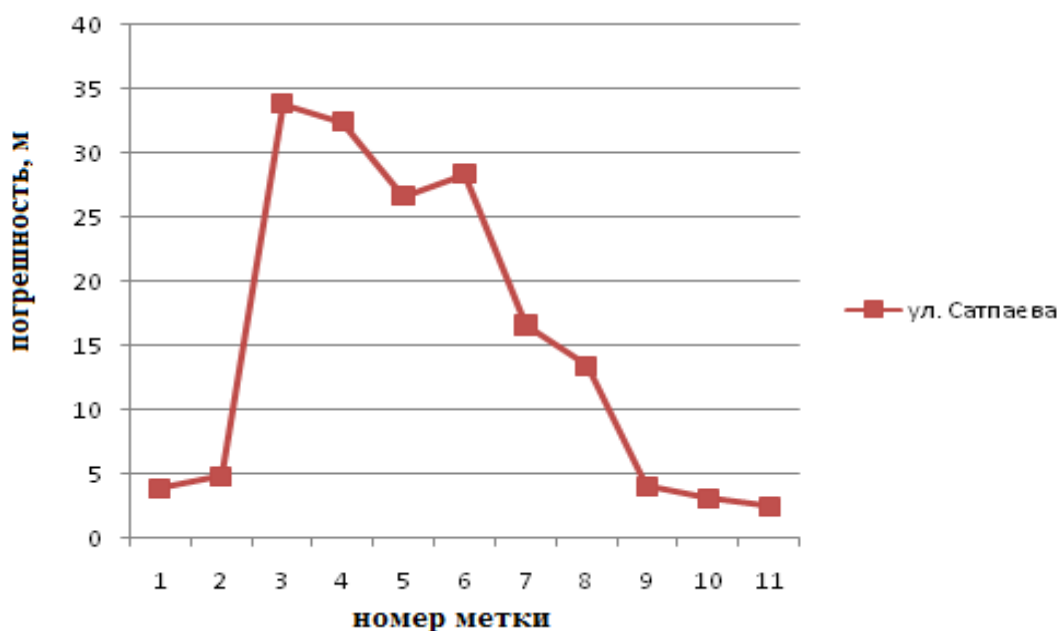


Рисунок 1 - Отклонения долготы под влиянием металлической конструкции.

Продолжение приложения Б

Т а б л и ц а 2 - Экспериментальные данные о долготе

Номер метки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксп-т №1	2	8	25	13	18	15	7,5	10	5	2	1
Эксп-т №2	3	4	54	10	21,3	13	8,5	5	3	2,7	2
Эксп-т №3	5,1	9	12	37	15	30	10	8	3	3	5
Эксп-т №4	3	10	20	9	25	22	21	9,2	5	2	2
Эксп-т №5	3,2	8,2	16	21	7	17,5	9,2	7	4	6	2,5
$M[x]$	3,26	7,84	25,4	18	17,26	19,5	11,24	7,84	4	3,14	2,5
$\sigma[x]$	1,13	2,29	16,7	15,81	6,84	6,76	5,53	1,96	1	1,66	1,5

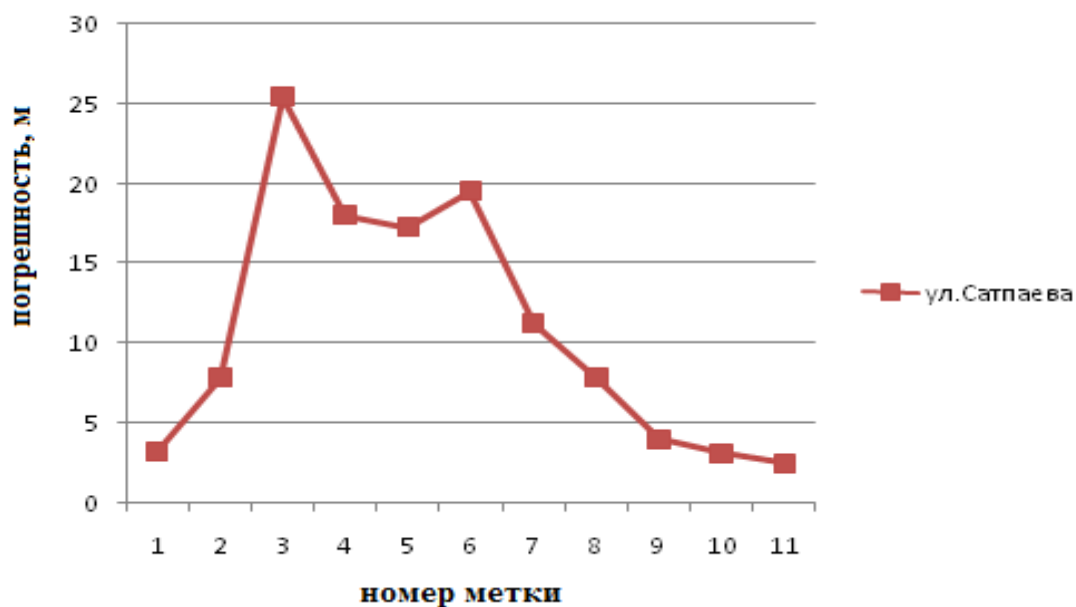


Рисунок 2 - Отклонения широты под влиянием металлической конструкции.

Окончание приложения Б

Т а б л и ц а 3 - Экспериментальные данные о высоты над уровнем моря

Номер метки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксп-т №1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксп-т №2	8	3	5	6	4	4	6	7	5	5	6
Эксп-т №3	9	5	7	2	4	8	7	4	2	5	5
Эксп-т №4	7	6	5	2	6	5	2	6	3	6	4
Эксп-т №5	8,5	6	4	3	5	6	3	8	2	4	2
M[x]	5	7	5	5	5	6	4	7	5	6	6
$\sigma[x]$	6,7	4,4	4,8	3,4	4,8	5,8	5	6,6	4,2	6	5,6

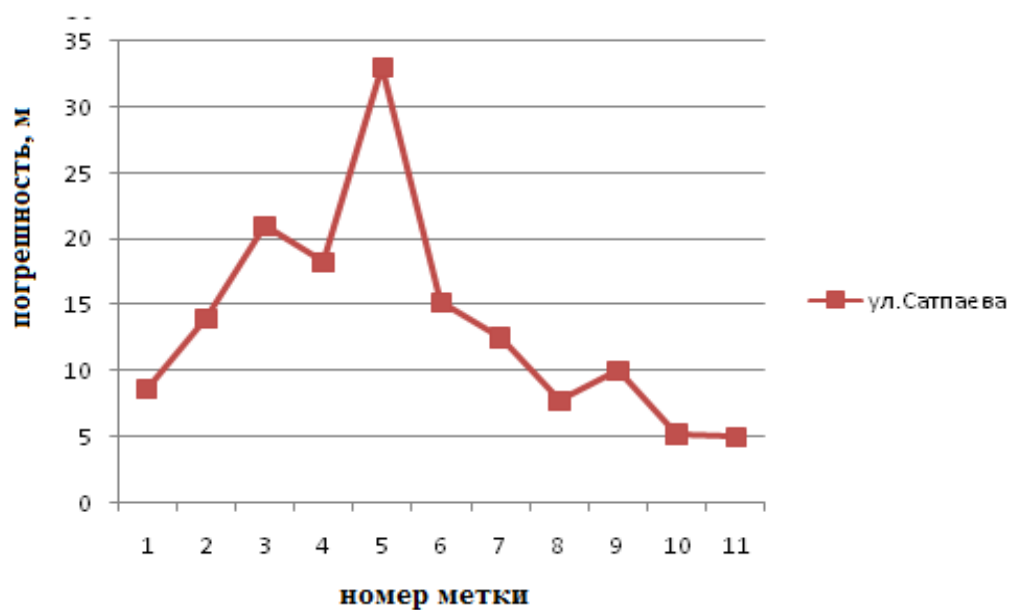


Рисунок 3 - Отклонения высоты под влиянием металлической конструкции.