МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра «Телекоммуникационных систем»

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой ТКС
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
(подпись) «____» _____ 20__ г.

# ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Точность определения координат одночастотного GPS приемника.

Специальность 5В074600 «Космическая техника и технологии»

Выполнил (а) Бектасов С.Б. ЖСС-10-01
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Шабельников Е.А. к.т.н.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

**Консультанты:**

по экономической части:
Бабич А.А. старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
(подпись) «26» мая 2014 г.

по безопасности жизнедеятельности:
Досбаев М.К. д.т.н., профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
(подпись) «29» мая 2014 г.

по применению вычислительной техники:
Арпишкин А.В. старший преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
(подпись) «4» мая 2014 г.

Шабельников Е.А. к.т.н.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
(подпись) «02» июня 2014 г.

Нормоконтролер: ст. преп. Кондратович А.П.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
(подпись) «3» 06 2014 г.

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
(подпись) «____» _____ 20__ г.

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

**Некоммерческое акционерное общество**

**АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

Факультет Радиоэнергетический
Специальность Космическая техника и технологии
Кафедра Телекоммуникационных систем

# ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Бектасов С.Б.
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Точность определения координат одночастотного GPS приемника.

утверждена приказом ректора № ___ от «___» сентября 20___ г.
Срок сдачи законченной работы «___» _____ 20___ г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта
НКА с частотами $f_1$=1602 МГц и $f_2$=1246 МГц.
Рабочая часть ДН антенн НКА в виде конусного радиоуча с углом 2φ₀.
Внутренняя приемная антенна с круговой поляризацией G(β)=1.
Время накопления сигнала составляет от 1 до 4 мс, максимальное время накопления сигнала состав. 10 мс.

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:
Описание работы глобальных навигационных спутниковых систем
Навигационная аппаратура потребителей
Расчет параметров сигналов, принимаемых GNSS-приемниками
Расчет мощности радионавигационного поля принимаемого наземным потребителем
Расчет помехоустойчивости сигналов спутниковых радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС
Метод решения навигационных задач
Требования к точностным характеристикам приемников. Источники погрешностей спутниковых радионавигационных систем

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Метод вычисления местоположения навигационного приемника
Сегменты навигационных систем ГЛОНАСС и GPS
Сравнение технических характеристик сигналов
Обобщенная структура GPS-приемника
Полосковая антенна
Спиральная антенна
ДН полосковой антенны
ДН спиральной антенны
Диаграмма диапазонов частот L1 и L2 GNSS-прием.
Схема коррелятора навигационного приемника
Схема система слежения за фазой
Схема системы слежения за задержкой
Источники погрешностей измерения
Расчет параметров пассажуточивости сигнала на Delphi 7

Рекомендуемая основная литература

Соловьев Ю.А. Система спутниковой навигации и ее приложение. - Москва: Эко Трендз.
Коротоношко А., Климов В. Радионавигация и спутниковые системы. Часть 1. // Радио - 2007.
Громаков Ю.А., Северин А.В., Шевцов В.А., Технологии определения местоположения в GSM и UMTS - Москва.
Гонтаренко И.В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA. - Москва: Журнал «Радио».
Варакин Л.Е. Система связи с шумоподобными сигналами - Москва: Радио и связь, 1985 г.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

| Раздел | Консультант | Сроки | Подпись |
|---|---|---|---|
| Экономич. часть | Глазкин А.А. | 20.03 - 26.05 | |
| БЖД | Дюсебаев М.К. | 1.03 - 29.05 | |
| Сам. часть | Шадерькин Е.А. | 20.03 - 02.06 | |
| Вкл. техника | Артюхин А.В. | 12.05 - 11.06.14 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

# Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

| № п/п | Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления руководителю | Примечание |
|---|---|---|---|
| 1 | Описание работы глобальных навигационных спутниковых систем | 20.03 - 30.03 | |
| 2. | Навигационная аппаратура потребителей | 05.05 - 25.05 | |
| 3. | Расчет параметров сигналов, принимаемых GPS-приемником | 25.05 - 05.05 | |
| 4. | Подготовка раздела «Безопасность жизнедеятельности». | 05.05 - 07.05 | |
| 5. | Технико-экономическое обоснование выпускной работы. | 07.05 - 20.05 | |

Дата выдачи задания «20» марта 2014 г.

Заведующий кафедрой _____ _____
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ Шайерзинов Е.А.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ Бектасов С.Б.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

**Аңдатпа**

Бұл дипломдық жұмыста радионавигация құралдарына арналған тиімді кабылдағыш қарастырылған. Тиімділік белгі және GPS пен Глонасс жүйелеріне салыстырмалы талдау нәтижесінде навигациялық мақсатта қолдану үшін тиімді қабылдағыш таңдалды. Жұмыс барысында араластырғышпен кең жолақты келістіру үшін микрожолақ негізінде орындалған омдық жүктемесі бар сақиналы бөлгіш және жолақты сүзгі есептелген.

Жұмыста ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуге кеткен шығындар есептелінді. Жұмыстың техника - экономикалық негіздеуі келтірілді. Тіршілік әрекетінің қауіпсіздік факторлары қаралған .

**Аннотация**

В данной дипломной работе рассматривается оптимальный приемник для средств радионавигации. На основе критериев оптимальности и сравнительного анализа систем GPS и Глонасс, выбран наиболее оптимальный приемник для навигационного применения. В работе произведены расчеты полосового фильтра и кольцевого делителя с омической нагрузкой на основе микрополосков для широкополосного согласования со смесителем.

В работе произведен расчет затрат на технико-экономическое обоснование и расчитаны эксплуатационные расходы и общие капитальные вложения. Рассмотрены факторы безопасности жизнедеятельности.

**Annotation**

In this thesis work is considered optimum receiver for navigation tools. Based on optimality criteria and comparative analysis of GPS and Glonass, selected the optimal receiver for navigation applications. In this paper, calculations are made of a bandpass filter and an annular divider with ohmic load based on microstrip for broadband matching with mixer tap.

In this paper we calculated the cost of a feasibility study and calculated operating costs and total capital investment. The factors of safety.

## Содержание

Введение ..... 9
1 Описание работы глобальных навигационных спутниковых систем ..... 10
1.1 Метод вычисления местоположения потребителя с использованием СРНС ..... 10
1.2 Принципы построения и технические данные GPS и GLONASS ..... 12
1.2.1 Подсистема космических аппаратов ..... 13
1.2.2 Комплекс контроля и управления ..... 14
1.2.3 Пользовательский сегмент ..... 15
1.3 Структура навигационных радиосигналов ..... 17
1.3.1 Описание сигналов системы GPS ..... 17
1.3.2 Радиосигналы ГЛОНАСС ..... 18
1.4 Основные отличия систем ГЛОНАСС и GPS ..... 20
2 Навигационная аппаратура потребителей ..... 22
2.1 Принципы построения и функционирования аппаратуры потребителя 22
2.1.1 Основные требования, предъявляемые к приемнику ..... 22
2.1.2 Выбор радионавигационных систем и сигналов, принимаемых приемником ..... 26
2.1.3 Методы решения навигационных задач ..... 28
2.2 Описание структурной схемы GNSS-приемника ..... 29
2.2.1 Антенный блок ..... 31
2.2.2 Преобразование частоты и аналого-цифровое преобразование ..... 34
2.2.3 Коррелятор ..... 36
2.2.4 Аппаратурные алгоритмы приемников СРНС ..... 38
2.3 Требования к точностным характеристикам приемников. Источники погрешностей спутниковых радионавигационных систем ..... 41
3 Расчет параметров сигналов, принимаемых GNSS-приемником ..... 46
3.1 Расчет мощности радионавигационного поля принимаемого наземными потребителями ..... 46
3.2 Расчет помехоустойчивости сигналов спутниковых радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС ..... 50
4 Безопасность жизнедеятельности ..... 60
4.1 Создание параметров микроклимата на предприятии связи ..... 60
4.2 Расчет системы кондиционирования и вентиляции ..... 61
4.2.1 Расчет тепловых нагрузок в помещении ..... 61
4.2.2 Расчет теплового баланса помещения ..... 65
4.2.3 Выбор кондиционера. Схема расположения ..... 66
4.3 Охрана окружающей среды ..... 68
4.3.1 Выбор и расчет средств газоулавливания ..... 68
4.3.2 Выбор метода очистки сточных вод ..... 70
5 Технико-экономическое обоснование выпускной работы ..... 72
5.1 Резюме ..... 72
5.2 Анализ и описание продукции ..... 72

5.3 Маркетинговый план. Менеджмент ..... 73
5.4 Финансовый план ..... 74
5.4.1 Расчет инвестиционных затрат ..... 74
5.4.2 Эксплуатационные расходы ..... 75
5.4.3 Расчет доходов от основной деятельности ..... 78
5.4.4 Расчёт показателей экономической эффективности ..... 79
Заключение ..... 81
Список принятых сокращений ..... 82
Список литературы ..... 83
Приложение А Структурная схема GNSS-приемника ..... 85
Приложение Б Листинг программы на языке программирования Delphi 7 ..... 86

## Введение

В настоящее время благодаря развитию цифровой связи широкое распространение получили глобальные навигационные спутниковые системы. Применение технологий спутниковой навигации позволяет оптимизировать алгоритмы управления дорожным движением, работу бригад скорой помощи, спасателей, страховых компаний и других организаций.

Важной частью любой навигационной системы является аппаратура потребителей. Развитие вычислительной техники и микроэлектроники позволило улучшить технико-эксплуатационные характеристики радионавигационных приемников. Поэтому точные и недорогие устройства стали доступны не только государственным структурам, военным пользователям, но также гражданским лицам.

Выпускная работа состоит из пяти разделов, каждый из которых раскрывает цели и решает вопросы основ проектирования оптимального радионавигационного приемного устройства

В первом разделе описаны принципы построения СРНС. На сегодняшний день полностью работоспособными являются две глобальный навигационные системы - GPS и ГЛОНАСС. Определены их технические данные, представлена структура принимаемых аппаратурой потребителя навигационных спутниковых сигналов.

Второй раздел посвящен более подробному рассмотрению пользовательского сегмента систем навигации. Перечислены основные требования, предъявляемые к одночастотному GPS приемнику, разработана структурная схема двухсистемного приемника, работающего на различных частотах, описаны его функциональные блоки. Также рассмотрены способы реализации аппаратурных алгоритмов первичной и вторичной обработки параметров радионавигационных сигналов.

В разделе три представлен анализ параметров сигналов, принимаемых аппаратурой потребителя. Произведен расчет мощности сигнала на выходе антенны приемника и определены параметры помехоустойчивости радионавигационных сигналов GPS.

В четвертом разделе раскрыт вопрос об обеспечении безопасности жизнедеятельности на предприятии связи. Рассчитаны системы кондиционирования и вентиляции производственного помещения. Также уделено внимание охране окружающей среды, защите от загрязнения выбросами, появляющимися при производстве плат. Выбраны средства газоулавливания и методы очистки сточных вод.

В пятой главе дано технико-экономическое обоснование работы. Составлено резюме, маркетинговый и финансовый план предприятия, выпускающего навигационные приемники.

# 1 Описание работы глобальных навигационных спутниковых систем

ГНСС (GNSS) - это глобальная навигационная спутниковая система, при помощи которой можно получить координаты местоположения объекта в любой точке земной поверхности путем обработки спутниковых сигналов.

Любая ГНСС состоит из трех сегментов: космического, наземного и пользовательского. Космический сегмент представлен созвездием спутников, передающих информацию о своем положении на орбите; наземный сегмент состоит из стационарных станций, обеспечивающих мониторинг и контроль положения спутников, а также их технического состояния; пользовательский сегмент охватывает деятельность, связанную с разработкой военного и гражданского пользовательского оборудования (то есть приемников).

В дипломном проекте более подробно будет рассмотрен пользовательский сегмент спутниковой радионавигационной системы. Однако для того чтобы понять как работают навигационные приемники необходимо разобрать вопрос об общих принципах построения ГНСС.

На данный момент существует четыре СРНС, функционирующие или находящиеся в стадии развертывания. Это:

- Глобальная Система Позиционирования (GPS) под управлением правительства США;
- Глобальная Навигационная Спутниковая Система (ГЛОНАСС) под управлением правительства России;
- Спутниковая Система Позиционирования Галилео (Galileo) под управлением Европейского Союза;
- Спутниковая Система Позиционирования Компас (Compass) под управлением правительства Китая.

В настоящее время система Компас находится на начальной стадии ввода, а Галилео будет полностью развернута только в 2014 году. Полностью работоспособными являются системы GPS**,** GLONASS. Поэтому в дипломном проекте разработаем приемник, функционирующий на основе данных двух СРНС.

## 1.1 Метод вычисления местоположения потребителя с использованием СРНС

Представим теоретически и визуально основной принцип, используемый при определении координат потребителя. Воспользуемся рисунком 1.1. Представим три сферы, центром которых будут спутники. Радиусы сфер равны дальности до каждого из спутников. Вычислив расстояние от трех спутников до приёмника, место пересечения предполагаемых сфер и будет точкой нахождения навигационной аппаратуры потребителя (НАП). Для устранения неверного решения и синхронизации опорной временной шкалы часов GNSS-приемника требуется чётвертый спутник. Вместе с тем, если точно известна высота (например

корабли всегда находятся на уровне моря), то можно исключить одно из измерений. То есть одна из сфер может быть заменена на сферу с радиусом, равным сумме радиуса земли и высоты. Однако, чем больше сигналов от разных спутников одновременно сможет просчитать приёмник, тем качественнее и точнее данные позиционирования.

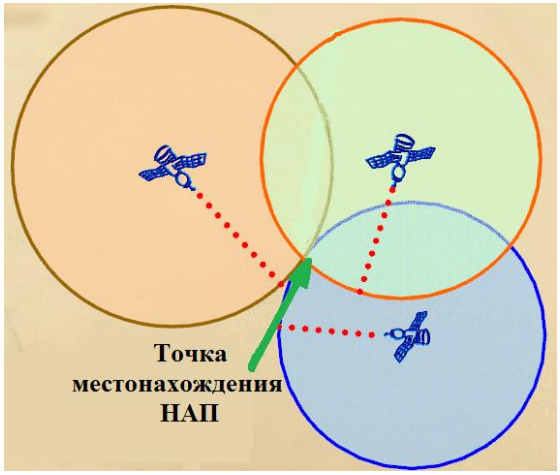


Рисунок 1.1 – Метод вычисления местоположения навигационного приемника

Задача вычисления своего местоположения пользователем является достаточно сложной, так как для вычисления собственных координат на местности необходимо вычислить координаты нескольких спутников, то есть знать их точное местоположение относительно приёмной аппаратуры. Спутники постоянно двигаются, соответственно координаты постоянно меняются. Для оперативного просчёта и уменьшения вычислительной мощности размеров и стоимости пользовательской аппаратуры, вычисление максимально возможного объёма данных было возложено на наземный комплекс управления, в котором по результатам наблюдений за спутниками просчитывается прогноз параметров орбиты в фиксированные (опорные) моменты времени и во время сеансов связи передаются на спутник. Зная предполагаемые параметры орбиты и точные координаты спутника в опорной точке можно вычислить координаты спутника в любой произвольный момент времени. Спрогнозированные параметры орбиты и их производные называются - *эфемеридами*. Набор сведений, применяемых для поиска видимых спутников и выбора оптимального созвездия и, содержащих сведения о текущем состоянии навигационной системы в целом, включая эфемериды, называются *альманахом*. Передатчики, находящиеся на спутнике в беспрерывном режиме на высокой частоте передают навигационные сообщения, содержащие эфемериды с метками времени и альманахом. Пользовательская аппаратура, принимая такое навигационное сообщение и опираясь на заложенный в памяти предыдущий альманах, максимально

быстро и точно определяет собственные координаты, при необходимости выводя их на средства отображения информации. [1]

На сегодняшний день современные приёмники для гражданского применения выдают максимальную точность от двух метров, тогда как геодезическое оборудование обеспечивает точность до одного метра, а военное до нескольких сантиметров. Это зависит от того что для разных потребителей передаётся разный сигнал и используется совершенно различная приемная аппаратура. Для увеличения точности позиционирования используются вспомогательные местные системы позиционирования, более усовершенствованную аппаратуру и алгоритмы обработки принятых от спутников сигналов.

## 1.2 Принципы построения и технические данные GPS и GLONASS

По своей структуре ГЛОНАСС так же, как и GPS, считается системой двойного действия, то есть может использоваться как в военных, так и в гражданских целях.

Система в целом включает в себя три функциональные части (сегменты) (рисунок 1.2)**:**

- космический сегмент, в который входит орбитальная группировка НКА;
- сегмент управления или наземный комплекс управления (НКУ) орбитальной группировкой космических аппаратов;
- аппаратура пользователей системы.

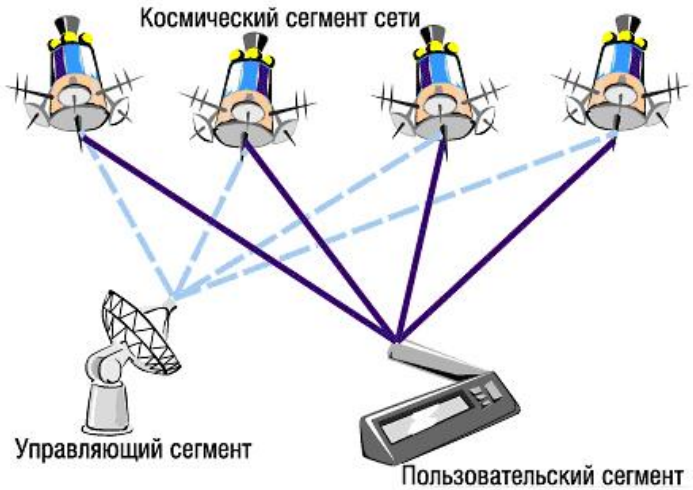


Рисунок 1.2 - Сегменты навигационных систем ГЛОНАСС и GPS

Работой космического и контрольного сегмента GPS и ГЛОНАСС и в США, и в России управляют министерства обороны этих стран. Разработка приемников и служб гражданского сектора в США большей частью принадлежит рыночным структурам. Основным разработчиком космического

сегмента системы ГЛОНАСС является ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва (город Красноярск). Ответственным за системы синхронизации и НАП является Российский институт радионавигации и времени (РИРВ) [2].

### 1.2.1 Подсистема космических аппаратов

Космический сегмент ГНСС состоит из созвездия спутников (орбитальная группировка) и космодрома, с которого они запускаются. Сам спутник представляет собой контейнер внутри которого размещается различного рода аппаратура. Питание всех систем производится от солнечных батарей. В состав бортовой аппаратуры входят: бортовой навигационный передатчик, синхронизатор (часы), бортовой управляющий комплекс, система ориентации и стабилизации и так далее.

Основные функции спутников заключаются в следующем:

- прием и хранение данных, передаваемых контрольным сегментом;
- поддержание точного времени посредством нескольких бортовых атомных стандартов частоты;
- передача информации и сигналов пользователю на одном или на нескольки частотных L-диапазонах (УКВ).

***Космический сегмент GPS***

Орбитальная группировка GPS состоит из 24 спутников на почти круговых орбитах с высотой 20000 км, периодом обращения около 12 часов, и почти постоянными трассами. Спутники размещаются на шести орбитальных плоскостях с наклонением 55°, на четырех рабочих точках (слотах), неравномерно распределенных на каждой орбите (рисунок 1.3). Идентификация спутников может производиться по номеру запуска, по номеру псевдошумовой последовательности, по международному номеру, а также по положению в созвездии. В последнем случае используется двухсимвольный код: буква (от A до F) означает орбитальную плоскость, а цифра - номер спутника на плоскости (от одного до четырех в полном созвездии). В системе может находиться на орбитах созвездие до 30 спутников. На рисунке 1.3 показана схема расположения спутников на орбитальных плоскостях.

Проектное созвездие спутников GPS состояло из 24 спутников. С 1995 года число активных спутников превысило эту цифру. По данным навигационного центра береговой охраны на 26 мая 2010 г. группировка спутников GPS на орбите состоит из 28 объектов. [3]

***Космический сегмент ГЛОНАСС***

Космический сегмент ГЛОНАСС представлена навигационными космическими аппаратами (НКА), вращающимеся по круговой геостационарной орбите на высоте 19100 км и наклонением 64,8 ˚ (рисунок 1.3). Период обращения спутника вокруг Земли равен, в среднем, 11 часов 15

минут. Орбитальные плоскости разнесены по долготе на 120˚. В каждой из них размещается по восемь спутников с равномерным сдвигом по широте 45˚. Такая конфигурация позволяет покрыть Землю и околоземное пространство непрерывным и глобальным навигационным полем. Время эксплуатации спутников от трех до десяти лет, за это время параметры их орбит не должны отличаться от номинальных значений больше чем на 5%.

Выведение спутников ГЛОНАСС на орбиту осуществляется носителем тяжелого класса «ПРОТОН» с разгонным блоком с космодрома Байконур. Носитель одновременно выводит три спутника ГЛОНАСС. [1]

Развертывание орбитальной группировки ГЛОНАСС началось с запуска первого навигационного спутника в 1982 г. Штатная эксплуатация началась с конца 1995 г., когда орбитальная группировка состояла из 24 рабочих спутников. В дальнейшем из-за экономических трудностей число КА непрерывно сокращалось, и по состоянию на 2005 г. в системе были доступны сигналы лишь 12 НКА. С таким количеством НКА потребители имели большие ограничения в ее использовании, перерывы в навигационном обеспечении достигали трех-четырех часов, поэтому Правительством России были приняты постановления, предусматривающие меры по доведению к 2008 г. группировки НКА до штатной. Этим был предусмотрен также переход системы на новые модернизированные спутники Глонасс-М, которые имеют больший срок существования (семь лет). [3].

По данным Информационно-аналитического центра Федерального космического агентства России, на 18 мая 2010 г. орбитальная группировка ГЛОНАСС состоит из 21 КА, используемых по целевому назначению и два КА, находящихся в орбитальном резерве. На данный момент происходит развертывание штатной орбитальной группировки на базе более совершенного спутника Глонасс-К со существенно большим сроком активного существования до 10 лет, меньшей массой, около 700 кг, что в два раза меньше, чем у Глонасс-М [4]. В 2010 году начаты летно-конструкторские испытания данных спутников нового поколения.

### 1.2.2 Комплекс контроля и управления

Сегмент управления состоит из главной станции и сети наземных станций слежения, равномерно распределенных по Земле. Главными функциями контрольного сегмента являются:

- проведение траекторных измерений для определения и прогнозирования параметров орбит всех спутников;
- временные измерения для определения расхождения бортовых шкал времени (БШВ) всех спутников со шкалой времени системы и их синхронизация;
- формирование и передача на КА массива служебной информации, содержащего спрогнозированные эфемериды, альманах и поправки к БШВ и

другие данные для формирования навигационных кадров;

- контроль по телеметрическим каналам работы бортовых систем спутников и диагностика их состояния;
- управление полетом спутников и работой их бортовых систем;
- контроль характеристик навигационного поля.

*Контрольный сегмент GPS*

Центром контрольного сегмента является Главная станция управления, находящаяся на военно-воздушной базе Шривер около города Колорадо (США). Главная станция управляет системой и обеспечивает командные и контрольные функции.

Сигналы спутников непрерывно отслеживаются со станций слежения, широко распределенных на земном шаре по долготе. Оборудование контрольных станций состоит преимущественно из GPS приемников с цезиевыми стандартами частоты, метеорологическими инструментами и связным оборудованием для передачи измерений на Главную станцию управления.

Наземные антенны для связи со спутниками размещаются рядом со станциями слежения. Параболические антенны диаметром 10 метров дистанционно управляются с Главной станции управления, чтобы получать телеметрические данные со спутников о состоянии их подсистем, для засылки команд и загрузки данных для навигационных сообщений [1].

Данные со станций слежения используются для определения и предсказания орбит спутников и поправок их часов. Формирование времени GPS определяется по набору атомных часов на спутниках и на станциях слежения.

*Система контроля и управления ГЛОНАСС*

Управление орбитальным сегментом ГЛОНАСС осуществляет наземный комплекс управления (НКУ). Наземный сегмент системы ГЛОНАСС предназначен для контроля правильности функционирования, непрерывного уточнения параметров орбит, управления и информационного обеспечения всех КА системы и состоит из следующих взаимосвязанных стационарных элементов: центр управления системой; центральный синхронизатор; сеть контрольных станций; система контроля фаз; кванто-оптические станции; аппаратура контроля навигационного поля.

### 1.2.3 Пользовательский сегмент

Сегмент пользователей образует комплекс приемно-вычислительной аппаратуры - пользовательских навигационных приемников, способных выполнять измерения по сигналам навигационных спутников.

Все разнообразие навигационных приемников можно классифицировать по нескольким признакам:

- военного и гражданского назначения;

- навигационные и геодезические;
- кодовые или фазовые;
- односистемные и многосистемные;
- одноканальные и многоканальные;
- универсальные и специализированные.

Приемники каждой группы характеризуются разными функциональными возможностями в зависимости от предъявляемых к ним требований. Так, для военных приемников на первый план ставится условие надежности и оперативности их работы, а для геодезических - максимальной точности определений.

При работе с кодовым приёмником нет необходимости вести непрерывный захват сигналов со спутников для вычисления местоположения. Это позволяет оборудованию работать на территориях с плотной застройкой и в местах с ограниченной видимостью, например, под деревьями. Для фазовых же приемников требуется непрерывный захват сигналов, по меньшей мере, четырех спутников, при этом должны одновременно работать несколько приемников [1].

Многосистемными являются GNSS-приемники, принимающие сигналы разных частот со спутников, принадлежащих различным системам позиционирования. Это заметно улучшает качество приема сигнала и точность определения координат, так как увеличивается количество видимых для потребителя спутников.

В дешевых одноканальных приемниках измерение по сигналам каждого спутника происходит поочередно, а в многоканальных - сигналы после разделения распределяются по индивидуальным для каждого спутника каналам и их обработка ведется параллельно, что более эффективно. Особенно это преимущество проявляется, когда приёмник передвигается или сигнал от спутников может прерываться.

Несмотря на богатое разнообразие конструктивных решений приемников, принцип их работы одинаковый. Навигационный приемник определяет дальность до спутника посредством измерения времени прихода сигнала. Для этого он генерирует опорные сигналы, соответствующие кодам спутников, сигналы которых принимаются. Синхронизация опорного кода осуществляется изменением его тактовой частоты до тех пор, пока не будет зафиксирована максимальная корреляция между ними. Временной сдвиг между синхронизированным и несинхронизированным опорными кодами соответствует времени прохождения сигнала от спутника до потребителя без учета поправки часов приемника.

Более подробное описание принципов определения координат и работы НАП будет дано во втором разделе дипломного проекта.

## 1.3 Структура навигационных радиосигналов

Принцип навигационных определений по НКА СРНС заключается в измерении пользователем дальностей и радиальных скоростей до нескольких спутников, эфемериды (координаты) которых передаются пользователю в составе радиосообщения от спутника. Для того чтобы измерить время распространения электромагнитных волн от источника до приемника, необходимо, избрать некий информационный сигнал - процесс, позволяющий регистрировать моменты излучения и приема. В так называемых импульсных способах излучается короткий сигнал (импульс) и измеряется непосредственно время, затрачиваемое им на распространение вдоль измеряемой линии. При использовании фазового способа время измеряется через определение сдвига фаз между принятыми и опорными колебаниями. В навигационных системах применен комбинированный метод: излучаемый и опорный сигналы формируются в виде нерегулярной (но одинаковой для источника и приемника) последовательности импульсов, а измерительной информацией служит фазовый сдвиг между ними. Такая нерегулярная последовательность импульсов носит название псевдослучайной, но все же она формируется по определенному правилу и ее фрагменты через обусловленное время повторяются [3].

Кодирование излучаемого спутником радиосигнала псевдослучайной последовательностью (ПСП) импульсов, помимо задачи дальномерных измерений, решает еще несколько вопросов:

- создание наилучших условий различения сигнала в аппаратуре приемника на фоне шумов;
- отождествление конкретного спутника, пославшего сигнал (каждому спутнику назначена своя кодовая последовательность для системы GPS и выделена своя частота для ГЛОНАСС).

Системы GPS и ГЛОНАСС постоянно совершенствуются, и этот процесс охватывает, в частности, характеристики сигналов, передаваемых системами. Поэтому рассмотрим структуру сигналов, принимаемых пользовательской аппаратурой.

### 1.3.1 Описание сигналов системы GPS

Каждый спутник системы GPS излучает широкополосные сигналы на двух частотах L-диапазона (полосы радиочастот от 390 до 1550 МГц); $f_1$=1575,42 МГц (L1) и $f_2$=1227,6 МГц (L2). На частотах излучаются два сигнала – защищенный от несанкционированного использования (Protected Signal) с P-кодом и легко обнаруживаемый (Clear Acquitien Signal) с C/A–кодом. В системе GPS применяется кодовое разделение навигационных радиосигналов для 24 штатных НКА. [5]

Для гражданского использования правительством США был предоставлен сигнал стандартной точности (C/A), передаваемый на частоте L1 и модулированный ПСП с тактовой частотой 1,023 МГц и длительностью одна миллисекунда. Навигационное сообщение передается со скоростью 50бит/с. Вид модуляции - двухпозиционная фазовая манипуляция (BPSK). Полоса частот, занимаемая сигналом, согласно стандарту составляет 20 МГц (±10 МГц относительно несущей), хотя основной лепесток спектра имеет ширину около 2 МГц. Минимальный уровень сигнала на входе приемника GPS, подключенного к антенне линейной поляризации, имеющей коэффициент усиления 3дБ, составляет минус 160 дБВт.

Защищенный P-код не предназначен для гражданских потребителей. Формирование кода происходит по более сложному алгоритму: он образуется путем комбинирования двух последовательностей, каждая из которых генерируется парой сдвиговых регистров. Благодаря этому последовательность очень долго не повторяется (более $2 \cdot 10^{14}$ циклов), что при частоте следования тактовых импульсов 10,23 МГц составляет 266,4 суток. Этим достигается высокая степень защищенности P-кода от несанкционированного доступа (сложность расшифровки его алгоритма). Каждому спутнику из этой последовательности индивидуально назначается отрезок периодом около семи суток.

Вначале сигнал стандартной точности GPS подвергался искусственному загрублению (режим селективного доступа). Это увеличивало среднеквадратическую погрешность определения местоположения до 50 м, однако 1 мая 2005 года директивой президента США режим селективного доступа был отменен, что привело к снижению среднеквадратической погрешности определения местоположении по сигналу стандартной точности до 6,5 м. в горизонтальной плоскости. [5]

### 1.3.2 Радиосигналы ГЛОНАСС

Каждый спутник системы ГЛОНАСС передает шумоподобные непрерывные навигационные сигналы в поддиапазонах L1 и L2 на нескольких разных частотах. Способ разделения сигналов, излучаемых различными спутниками системы, - частотный. То есть сигналы спутников идентифицируются по значению номинала их несущей частоты, лежащей в отведенной полосе частот. НКА, находящиеся в противоположных точках орбитальной плоскости (антиподные), могут передавать навигационные радиосигналы на одинаковых частотах. Таким образом, для 24 штатных НКА минимально необходимое число несущих частот в каждом диапазоне частот равно 12.

Напишем формулы, с помощью которых находятся значения номинальных несущих частот для навигационных радиосигналов ГЛОНАСС в двух диапазонах частот - верхнем 1600 МГц и нижнем 1250 МГц.

$$f_{вk} = f_{в0} + k\Delta f_{в} \qquad (1.1)$$

где $f_{в0}$=1602 МГц – верхняя частота;
$\Delta f_{в}$=0,5625 МГц;
k = (-7, ... ,6) - условный порядковый номер несущей частоты $f_{вk}$.

$$f_{нk} = f_{н0} + k\Delta f_{н} \qquad (1.2)$$

где $f_{н0}$=1246 МГц – нижняя частота;
$\Delta f_{н}$=0,4375 МГц;
k = (-7, ... ,6) - порядковый номер несущей частоты $f_{нk}$.

$$f_{вk} / f_{нk} = 9/7 \qquad (1.3)$$

Рабочие спектры навигационных сигналов занимают полосы частот: от 1598,0625 до 1605,375 МГц (L1) и от 1242,9375 до 1248,625 МГц (L2).

Навигационный радиосигнал частоты 1600 МГц - двухкомпонентный. На заданной несущей частоте в радиопередатчике формируются два одинаковых по мощности шумоподобных фазоманипулированных навигационных радиосигнала в квадратуре (взаимный сдвиг по фазе на ±90°): узкополосный (стандартной точности - СТ) и широкополосный (высокой точности - ВТ).

Навигационный радиосигнал СТ 1600 МГц образуется посредством манипуляции фазы несущего колебания на 180° периодической двоичной ПСП1 с тактовой частотой $F_1$=0,511 МГц и с периодом повторения $T_1$=1 мс (511 тактов). ПСП1 представляет собой М - последовательность. Путем инвертирования ПСП1 передаются метки времени (МВ) бортовой шкалы времени (БШВ) НКА и двоичные символы цифровой информации (ЦИ). МВ имеет длительность 0,3 с и передается в конце каждого двухсекундного интервала времени (в конце четных секунд). Она содержит 30 двоичных символов длительностью 10 мс и представляет собой укороченную на один символ 31-символьную М-последовательность. В каждой двухсекундной строке на интервале времени 1,7 с передаются 85 двоичных символов ЦИ, длительностью 20 мс и перемноженные на меандр, имеющий длительность символов 10 мс. Границы символов меандра, МВ и ЦИ когерентны. В приемнике с помощью меандра осуществляется символьная синхронизация для МВ и с ее помощью - строчная и символьная синхронизация ЦИ.

Навигационный сигнал ВТ 1600 МГц образуется посредством манипуляции фазы несущего колебания на 180° периодической двоичной последовательностью ПСП2 с тактовой частотой $F_2$=5,11 МГц.

Радиосигнал 1250 МГц, излучаемый НКА первой модификации - однокомпонентный широкополосный шумоподобный, образуемый посредством манипуляции фазы несущего колебания на 180° периодической двоичной ПСП2 без инвертирования (без передачи ЦИ). Радиосигнал 1250 МГц, излучаемый НКА второй модификации, содержит два одинаковых по мощности шумоподобных радиосигнала 1250 МГц в квадратуре: радиосигнал СТ с ПСП1 и ВТ с ПСП2. [6]

Поскольку частота инвертирования ПСП много меньше ее тактовой частоты, то ширина основного лепестка огибающей спектра мощности шумоподобного фазоманипулированного навигационного радиосигнала равна двойному значению тактовой частоты ПСП. Следовательно, ширина основного “лепестка” огибающей спектра мощности узкополосного навигационного радиосигнала равна 1,022 МГц, широкополосного - 10,22 МГц.

Сигнал ВТ может изменяться космическими войсками России без предварительного уведомления. В отличие от GPS режим селективного доступа в системе ГЛОНАСС не использовался.

Для гражданских потребителей системы спутники ГЛОНАСС-М излучают радиосигналы СТ, модулированные дальномерным кодом и служебной информацией, в диапазонах L1 и L2. Наряду с этим в диапазонах L1 и L2 передаются радиосигналы ВТ. Предусмотренная модификация спутников ГЛОНАСС-К излучает гражданский сигнал также в диапазоне L3 от 1190 до 1212 МГц [6].

## 1.4 Основные отличия систем ГЛОНАСС и GPS

Хотя разработка систем GPS и ГЛОНАСС началась практически одновременно (70-е годы прошлого века) и они создавались с целью обеспечения возможности навигации или точного позиционирования для конечных пользователей. Однако в технических характеристиках GPS и ГЛОНАСС присутствуют существенные различия. Ориентиром и в определенной степени стандартом для всех разрабатываемых ГНСС является GPS. Лидерство GPS основывается на раннем старте развертывания системы, а также развитой инфраструктуре. Однако сегодня система ГЛОНАСС тоже совершенствуется. Поэтому производство приемников, принимающих сигналы данных систем, становится все более востребованным среди пользователей

Основное отличие рассматриваемых систем навигации - это сигнал и его структура. В системе GPS используется кодовое разделение каналов (спутники передают разный псевдослучайный код на одной частоте), системе ГЛОНАСС - частотное разделение каналов (передается один сигнал на нескольких различных частотах). Структура сигнала так же различна (таблица 1.1). [7]

Т а б л и ц а 1.1 - Сравнение технических характеристик сигналов

| Название СРНС | GPS | GLONASS |
|---|---|---|
| Частота L1 | 1575,42 МГц | от 1602,5625 до 1615,5 МГц |
| Частота L2 | 1227,6 МГц | от 1240 до 1260 МГц |
| Архитектура | CDMA | FDMA |
| Содержимое альманаха | 152 бит | 120 бит |
| Длительность передачи альманаха | 12,5 мин | 2,5 мин |
| Число элементов кода | 1023 | 511 |
| Тактовая частота кода | 1,023 МГц | 0,511 МГц |
| Система координат | WGS-84 | ПЗ-90.02 |

Для описания движения спутников по орбите используются разные математические модели. У GPS - это модель в оскулирующих элементах. Эта модель подразумевает, что траектория движения спутника разбивается на участки, на которых движения описывается кеплеровской моделью, параметры которой меняются во времени. В системе ГЛОНАСС используется дифференциальная модель движения. Это означает, что для определения координат спутника на заданный момент времени требуется решить систему дифференциальных уравнений. Для решения этой системы нужны, начальные значения. В случае ГЛОНАСС эти приближения передаются со спутника в составе навигационной информации, поэтому приёмнику они доступны. Задача решения дифференциальных уравнений состоит в численном интегрировании, которое, по сути своей, является трудоёмкой задачей.

Также отличаются системы отсчета времени и координат, это и определяет более высокую стоимость и внутреннее устройство многосистемных приемников. Орбитальная группировка СРНС различна. В системе GPS шесть орбитальных плоскостей и по четыре спутника на каждой. В ГЛОНАСС три плоскости по восемь спутников. Всего в системах по 24 спутника и они обеспечивают полное покрытие земли.

Есть отличия в количестве и качестве работы наземных станций, которые обеспечивают мониторинг работоспособности спутников и передают данные об их орбитах на главную управляющую станцию. По причине ограниченности наземного сегмента ГЛОНАСС, спутники некоторое время остаются без наблюдения, что приводит к снижению качества работы данной системы.

Различия между GPS и ГЛОНАСС, хотя и создают проблемы при разработке НАП, но они принципиально преодолимы, а их совместное использование позволяет повысить доступность и целостность ГНСС, а также точность определения координат места.

# 2 Навигационная аппаратура потребителей

## 2.1 Принципы построения и функционирования аппаратуры потребителя

Аппаратура потребителей СРНС, 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 и так далее). НАП решает следующие задачи: прием сигналов от навигационных спутников; выбор рабочего созвездия, то есть выбор тех спутников, из сигналов которых будет извлекаться навигационная информация; определение вектора состояния потребителя.

К современным СРНС предъявляются высокие требования по точности навигационных определений. Это обусловливает необходимость рассмотрения методов оптимальной обработки сигналов и извлечения информации при построении приемников. По своей сути навигационная задача определения вектора потребителя является задачей оценивания координат объекта (в общем случае подвижного) по наблюдениям сигналов от источников излучения с известными координатами. Вектор скорости потребителя вычисляют путем обработки результатов измерений доплеровских сдвигов частоты сигналов НС с учетом известного вектора скорости спутника. Математическим аппаратом, позволяющим проводить синтез оптимальных систем оценивания координат объекта, служит теория оптимальной фильтрации.

Задача синтеза оптимальной системы фильтрации формулируется как отыскание такой системы, которая в результате обработки наблюдений в каждый текущий момент времени формирует оценку вектора потребителя с минимальной дисперсией ошибки оценивания. Для упрощения аппаратуры потребителя задачу получения оценок вектора разбивают на два этапа обработки: первичную и вторичную.

На первом этапе решается задача фильтрации радионавигационных параметров сигнала, а на этапе вторичной обработки вычисляются оценки вектора потребителя (географическая широта, долгота, высота потребителя) с использованием полученных на первом этапе оценок радионавигационных параметров и соответствующих навигационных функций.

### 2.1.1 Основные требования, предъявляемые к GPS - приемнику

В современных условиях, когда спутниковые навигационные технологии становятся одним из основных средств навигации и управления подвижными объектами аппаратура потребителя должна удовлетворять

целому ряду требований, сформулированных в международных, национальных и ведомственных стандартах. Приведем основные требования, которые предъявляются к спутниковому навигационному приемнику.

Приемник должен через антенно-фидерное устройство принимать и обрабатывать сигналы элементов GNSS, с которыми он взаимодействует, а именно: сигналы спутников GPS и ГЛОНАСС, также для повышения точности местоопределения возможен прием сигналов дифференциальных поправок.

В зоне хорошей видимости потребителя потенциально может находиться около десяти спутников GPS и такое же количество спутников ГЛОНАСС. Поэтому навигационный приемник может взаимодействовать, примерно, с 18 - 24 спутниками одновременно. Учитывая, что общее число спутников GPS равно 24, ГЛОНАСС - 24 в приемнике может быть до 48 каналов. Для проведения одномоментных измерений приемник должен иметь от 18 до 24 каналов. Эти количества каналов нужно рассматривать как ориентировочные, так как количество видимых приемнику спутников постоянно меняется.

GNSS-приемник должен исключать из решения навигационной задачи любой спутник, обозначенный неработоспособным признаком состояния здоровья эфемерид (например, строка 2, разряды 80-72 для сигнала спутника ГЛОНАСС). Также при выполнении операций он должен взаимодействовать со спутниками, угол места которых более 5°.

Для принятия навигационного решения приемник должен находиться в зоне действия как минимум четырех спутников с приемлемой геометрией и выполнять следующие операции:

- поиск спутников по частоте, коду и пространству;
- выбор навигационных спутников (рабочего созвездия);
- выделение и декодирование эфемеридной информации;
- накопление и анализ информации полного альманаха;
- измерение временной задержки сигналов по кодам и фазам несущих, а также доплеровских смещений;
- ввод поправок для измеренных псевдодальностей и псевдоскоростей;
- определение координат, времени и составляющих скорости приемника;
- оценка точности навигационного решения.

Совмещенный приемник GNSS, принимающий и обрабатывающие сигналы систем GPS и ГЛОНАСС, должен удовлетворять требованиям как для приемника GPS так и для приемника ГЛОНАСС.

При выполнении базового навигационного решения по мгновенному определению местоположения может использоваться метод наименьших квадратов, с помощью которого ищется решение, максимально приближающееся ко всем полученным в результате измерений псевдодальностей. Этот метод позволяет вычислять местоположение вместе

с матрицей, которая помогает минимизировать мгновенные ошибки по дальности, погрешность генератора тактовых импульсов приемника и отражает точность вычисления местоположения.

Навигационное решение определяется для конкретного момента времени, которое часто называется периодом действия. В результате чего процесс представляет собой последовательность мгновенных определений координат и в зависимости от скорости перемещения абонентского приемника может приводить к большим скачкам между результатами измерений. Чем выше скорость перемещения, тем существеннее проявляется скачкообразная структура навигационных измерений. Данный вид обработки приемлем в приемниках, используемых пешеходами, а также в неавтоматизированных приложениях. Однако при использовании его в автоматизированных системах управления, например, в автопилотах, такой подход неприемлем [8].

Для уменьшения неопределенности навигационных измерений во многих приемниках применяются математические методы обработки навигационных данных. Эти методы позволяют сгладить разницу между измерениями дальности на основе подсчета количества длин волн несущей навигационного сигнала с момента последнего измерения и скорости перемещения абонента, рассчитанной на основе доплеровского сдвига. Такой подход фиксирует результаты по дальности в определенных границах с учетом динамики и маневренных характеристик приемника. В приемниках, разработанных для использования на подвижных объектах, как правило, применяются алгоритмы вычислений, которые с помощью уравнений движения позволяют снизить шумы определения местоположения и скорости перемещения.

С учетом того, что относительные координаты и составляющие вектора скорости спутника и приемника меняются очень быстро, сообщения о параметрах движения спутников содержат сведения не об их точных координатах, а информацию о параметрах некоторой модели, аппроксимирующей траекторию движения спутника на достаточно большом интервале времени (около 30 мин). Параметры аппроксимирующей модели входят в состав навигационных сообщений спутников. Как уже было сказано ранее, в системе GPS используется кеплеровская модель движения с оскулирующими элементами. В системе ГЛОНАСС для выявления точного положения спутника применяются модели движения, в которых координаты и составляющие вектора скорости спутника определяются численным интегрированием дифференциальных уравнений движения спутника, учитывающих конечное число сил, действующих на спутник. Как правило, для описания орбиты спутника достаточно передать шесть ее элементов (эксцентриситет, средняя аномалия, большая полуось орбиты, долгота восходящего узла, наклонение орбиты и аргумент перигея). Этих параметров

эфемеридной информации достаточно, чтобы выполнить краткосрочный прогноз с приемлемой точностью в указанном интервале времени.

В случае применения метода наименьших квадратов одновременно измеряется псевдодальность до всех спутников. Отсчет времени приема сигнала определяется приемником по результатам измерений, а отсчет времени передачи - по спутниковому времени:

$$PR^{i}_{измер}(t_{прд}) = c\cdot(t^{i}_{прм}-t^{i}_{прд}) \qquad (2.1)$$

где $PR^{i}_{измер}(t_{прд})$ - вычисленное псевдорасстояние до i-го спутника на момент приема сигнала;

$t^{i}_{прм}$ - время приема спутникового сигнала, измеренное приемником;

$t^{i}_{прд}$ - время передачи сигнала со спутника, определенное спутником.

В приемнике измеренные псевдодальности для каждого спутника должны сглаживаться с использованием измерений на несущей частоте и сглаживающего фильтра и он должен удовлетворять требованиям к помехоустойчивости, приведенными в стандартах и специальным требованиям пользователей.

Псевдодальность корректируется приемником с учетом ошибок синхронизации со спутником исходя из данных навигационного сообщения. По эфемеридам (точным орбитальным данным), содержащимся в навигационном сообщении спутника, вычисляется местоположение спутников на базе геоцентрической системы координат на момент передачи. По измеренным координатам приемника вычисляется прогнозируемая псевдодальность каждого спутника:

$$PR^{i}_{предсказ} = R^{i}_{предсказ} - R_{прм} \qquad (2.2)$$

где $PR^{i}_{предсказ}$ предсказ (t прд ) - вычисленное местоположение i-го спутника на момент передачи;

$R_{прм}$ - местоположение антенны приемника, скорректированное с учетом вращения Земли [8].

Поскольку местоположение спутников изменяется во времени, необходимо постоянно проверять параметры выбранного для навигационных расчетов спутника, а при необходимости менять состав рабочего созвездия. Приемник может терять выбранный спутник из видимости по причине того, например, что здания экранируют, а листва деревьев значительно ослабляет сигналы навигационных спутников. Даже когда приемник определяет, что тот или иной спутник находится в зоне видимости, его сигнал по указанным причинам может не приниматься, поэтому алгоритмы управления приемником должны компенсировать такие ситуации. В приемнике осуществляется непрерывный контроль целостности навигационных

сигналов по так называемым RAIM-алгоритмам (Receiver Autonomous Integrity Monitoring — автономный контроль целостности в приемнике), с помощью которых решается задача обнаружения неисправного спутника (или некачественного сигнала) и исключения его из расчетов. Эта задача решается путем использования статистических методов. [7]

Прогресс в создании микроэлектронных компонентов позволяет создавать многоканальные устройства слежения за сигналами, способные анализировать данные от 8 до 12 спутников одновременно (в односистемных приемниках), современные приемники, как правило, могут принимать сигналы со всех спутников, находящихся в зоне прямой видимости.

Также необходимо отметить, что к приемнику предъявляются специальные требования по условиям эксплуатации, надежности, дизайну и так далее.

### 2.1.2 Выбор радионавигационных систем и сигналов, принимаемых приемником

Аппаратура потребителей (приемник) предназначена для определения пространственных координат, вектора скорости, текущего времени и других навигационных параметров в результате приема и обработки радиосигналов многих НКА.

Любой потребитель предпочтет возможность получения спутниковых сигналов 24 часа в сутки, семь дней в неделю на всей территории Земного шара. В настоящее время такую возможность предоставляет система GPS, а также ГЛОНАСС. Соответственно, выбранный ГНСС-приемник должен, как минимум, принимать сигналы данных систем.

Структура ГНСС предусматривает разные типы сигналов, обеспечивающие разный уровень точности позиционирования. Например, поправки в кодовый сигнал на частоте L1 обеспечивают субметровую точность при постобработке, в то время как поправки в фазу несущей на той же частоте позволяют достичь субсантиметровой точности.

Для повышения надежности и точности позиционирования в проекте разработаем структурную схему приемника, который будет принимать сигналы от двух систем и работать на различных частотах. Аргументируем такой выбор.

*Двухчастотным приемником* принято называть такой спутниковый приемник, который для повышения точности позиционирования принимает сигналы на разных частотах, транслируемых одной ГНСС. Двухчастотные приемники использовались ранее, по большей части, в профессиональной области. Однако после введения трансляции с КА СРНС сигналов на различных частотах для гражданских пользователей, целесообразно использовать приемники, работающие в различных частотах. На сегодняшний день, доступен прием гражданских сигналов на частоте L1 и L2

как со спутников нового поколения ГЛОНАСС, так и со спутников системы GPS.

Использование такого приемника дает увеличение точности позиционирования. Сигналы, транслируемые на разных частотах, с разной скоростью распространяются в ионосфере. Скорость распространения сигнала зависит от частоты, на которой он передается. Зная значение псевдодальности, полученное по измерениям на двух частотах, передаваемых одним и тем же спутником, можно исключить ошибку за прохождение сигнала через ионосферу. Помимо этого, комбинируя длины волн на двух частотах, можно значительно быстрее вычислить значение псевдодальности, что ускорит инициализацию приемника. Отметим, что прием двух разных частот, излучаемых разными спутниками одной системы не предоставляет описанных преимуществ.

*Двухсистемными ГНСС-приемниками* называют приемники, принимающие сигнал на двух различных частотах со спутников, принадлежащих различным системам позиционирования. Чаще всего двухсистемными называют GPS/ГЛОНАСС-приемники. Данные приемники используют сигналы системы ГЛОНАСС для улучшения качества позиционирования по данным со спутников GPS.

Использование сигналов со спутников ГЛОНАСС значительно сокращают время инициализации и увеличивают надежность полученных результатов в целом. Использование данных со спутников ГЛОНАСС напрямую отражается в факторе геометрии созвездия (DOP факторе) и в числе видимых спутников, если работы проводятся в неблагоприятных для наблюдения условиях.

Улучшение геометрии расположения спутников возможно благодаря большему количеству спутников, которые отслеживаются двухсистемным приемником. Для использования этого преимущества в реальном времени требуется, чтобы двухсистемными были как базовые, так и передвижные приемники.

Также повышение производительности заметно при доступности менее четырех спутников GPS и наличия видимости нескольких спутников ГЛОНАСС. Для улучшения DOP-фактора необходима хорошая видимость небосвода (открытый горизонт), что не всегда удается обеспечить. Подобная ситуация возникает в очень специфических и затрудненных условиях наблюдений (зоны высотной застройки, горные районы, районы, где нависающие предметы закрывают видимость горизонта). Для улучшения приема сигнала в таких условиях нужно использовать двухсистемные приемники.

Технология работ с использованием двухчастотных GPS/ГЛОНАСС приемников позволит получить сантиметровую точность позиционирования в режиме реального времени при хорошем расположении спутников.

Помимо выбора спутниковой системы, с которой предполагается работать, важна разработка приемника с оптимальными техническими характеристиками. Такие параметры, как прочность корпуса и антенны, время работы батареи, габаритные размеры, операционная система, программное обеспечение для обработки данных и планирования измерений и надежность приемника также являются определяющими.

Представим подробное описание функциональных блоков и алгоритмов работы GPS/ГЛОНАСС приемника, работающего на частотах L1 и L2.

### 2.1.3 Методы решения навигационных задач

Местоположение объекта определяется координатами пересечения трех поверхностей положения, являющихся геометрическим местом точек с одинаковым значением навигационного параметра. Для решения навигационной задачи, используют навигационные функции определяющие функциональную связь между навигационными параметрами и компонентами вектора потребителя. Навигационные функции определяются с помощью разновидностей дальномерных и разностно-дальномерных методов.

В наиболее простом ***дальномерном методе*** навигационным параметром является дальность между НКА. Местоположение объекта определяется координатами пересечения трех сфер, то есть необходимо измерить дальности до трех НКА. Навигационная функция тогда будет представлять собой систему из трех уравнений. В данном методе предполагается, что все величины взяты в один и тот же момент времени. Однако координаты НС привязаны БШВ, а потребитель измеряет задержку радиосигнала в своей шкале времени. При наличии расхождения шкал времени возникает смещение измеренной дальности и, как следствие, проблемы с точность определения координат потребителя. Поэтому в настоящее время более широко применяют *псевдодальномерный метод*.

Под псевдодальностью понимается измеренная дальность до НКА, которая отличается от истинной дальности на неизвестную, но постоянную на время определения навигационных параметров величину. В псевдодальномерных методах поверхностью положения по-прежнему является сфера, но радиус этой сферы изменен на неизвестную величину $Д'$. Измерение псевдодальностей до трех НС приводит к системе уравнений с четырьмя неизвестными ($x$, $y$, $z$, $Д'$). Для устранения возникшей неопределенности необходимо провести дополнительные измерения, то есть измерить псевдодальность до четвертого спутника. Полученная таким образом система четырех уравнений имеет точное решение, и, следовательно, координаты потребителя определяются как точка пересечения четырех поверхностей положения. Необходимость нахождения в

зоне видимости четырех НС предъявляет жесткие требования к структуре сети НКА, которые выполняются только в среднеорбитальных СРНС.

*Разностно-дальномерный метод* основан на измерении разности дальностей от потребителя до НС. По своей сути этот метод аналогичен псевдодальномерному методу и его применяют при наличии в дальномерных измерениях неизвестных сдвигов *Д'*. Разностно-дальномерный метод использует от трех до четырех НС, так как при постоянстве *Д'* за время навигационных определений разности псевдодальностей равны разностям истинных дальностей, для определения которых требуется три независимых уравнений. Точность определения координат потребителя при использовании этого метода такая же, как и у псевдодальномерного.

*Радиально-скоростной (доплеровский) метод* основан на измерении трех радиальных скоростей перемещения потребителя относительно трех НКА. Физической основой метода является зависимость радиальной скорости точки относительно спутника от координат и относительно скорости движения спутника по орбите.

Таким образом, для определения компонент вектора скорости потребителя необходимо знать: векторы координат и скорости трех НКА, а также координаты потребителя. Недостатком данного метода является невозможность измерения координат в реальном масштабе времени. Кроме того, в средневысотных СРНС медленные изменения радиальной скорости приводят к малым значениям разностей в алгоритмах навигационных вычислений и как следствие к снижению точности вычислений. Дополнительным недостатком метода является необходимость наличия высокостабильного эталона частоты, так как любая нестабильность частоты приводит к неконтролируемому изменению доплеровского смещения частоты, а, следовательно, к дополнительным ошибкам измерения составляющих скорости потребителя. [7]

## 2.2 Описание структурной схемы GPS-приемника

На вход приемника поступают сигналы от спутников находящихся в зоне радиовидимости. Так как для решения навигационной задачи необходимо измерить псевдодальности и псевдоскорости относительно, как минимум четырех НС, то НАП должен быть многоканальным (для совмещенных ГЛОНАСС и GPS это более 24 каналов). Современные приемники являются аналого-цифровыми системами, осуществляющими аналоговую и цифровую обработку сигналов. Переход на цифровую обработку осуществляется на одной из промежуточных частот, при этом имеет место тенденция к повышению этой промежуточной частоты.

Приемник можно разделить на три функциональные части:

- радиочастотную часть;
- цифровой коррелятор;

- процессор.

С выхода антенно-фидерного устройства (антенны) сигнал поступает на радиочастотную часть (рисунок 2.1). Основная задача этой части заключается в усилении входного сигнала, фильтрации, преобразовании частоты и аналого-цифровом преобразовании. Помимо этого, с радиочастотной части приемника поступает тактовая частота для цифровой части приемника. С выхода радиочастотной части цифровые отсчеты входного сигнала поступают на вход цифрового коррелятора [9].

Рисунок 2.1 - Обобщенная структура GPS-приемника

В корреляторе спектр сигнала переносится на "нулевую" частоту. Это производится путем перемножения входного сигнала коррелятора с опорным гармоническим колебанием в синфазном и квадратурном каналах. Далее результат перемножения проходит корреляционную обработку путем перемножения с опорным дальномерным кодом и накоплением на периоде дальномерного кода. В итоге получаем корреляционные интегралы I и Q. Отсчеты корреляционных интегралов поступают в процессор для дальнейшей обработки и замыкания петель ФАП (фазовая автоподстройка) и ССЗ (схема слежения за задержкой). Измерения параметров сигнала в приемнике производятся не непосредственно по входному сигналу, а по его точной копии, формируемой системами ФАП и ССЗ. Корреляционные интегралы I и Q позволяют оценить степень "похожести" (коррелированности) опорного и входного сигналов. Задача коррелятора, помимо формирования интегралов I и Q, — формировать опорный сигнал, согласно с управляющими воздействиями (кодами управления), поступающими с процессора. Кроме того, в некоторых приемниках коррелятор формирует необходимые измерения опорных сигналов и передает их в процессор для дальнейшей обработки. В то же время, так как опорные сигналы в корреляторе формируются по управляющим кодам, поступающим с процессора, то необходимые измерения опорных сигналов можно производить непосредственно в процессоре, обрабатывая соответствующим образом управляющие коды, что и делается во многих современных приемниках.

### 2.2.1 Антенный блок

При выборе антенного блока необходимо помнить, что последующие функциональные части приемника не могут вернуть то, что было потеряно в антенне. Поэтому необходимо сделать правильный выбор антенны. Существует несколько различных конструкций антенн, применяемых в НАП. Сигнал GPS и ГЛОНАСС имеет круговую право-ориентированную поляризацию. В результате антенны отличаются от широко распространенных штыревых антенн, используемых для линейных поляризованных сигналов. Самые известные антенны для GNSS-приемника - это плоские (Patch) и спиральные (Helix) антенны. На рисунках 2.2 и 2.3 показаны смоделированные на программе MMANA-GAL антенны [10].

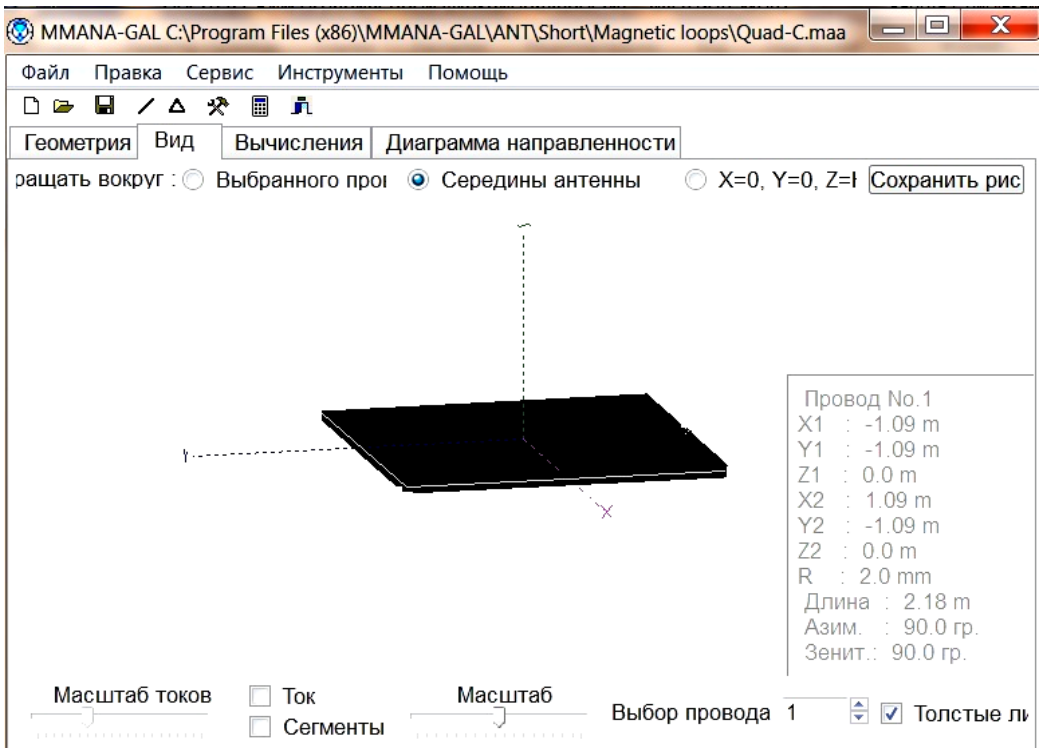


Рисунок 2.2 – Полосковая антенна

Фактический геометрический размер обеих антенн зависит от диэлектрика, который заполняет место между активными частями антенны. Если антенна заполнена только воздухом, она будет иметь сравнительно больший размер, чем керамическая антенна. Чем меньше размеры антенны, тем требуется большая точность изготовления антенны. Кроме того, меньшая антенна имеет меньшую апертуру, получает меньшую энергию сигнала от спутника, что приводит к более низкому усилению антенны. Надо помнить, что усиливая сигнал после антенны невозможно улучшить отношение мощностей сигнал-шум.

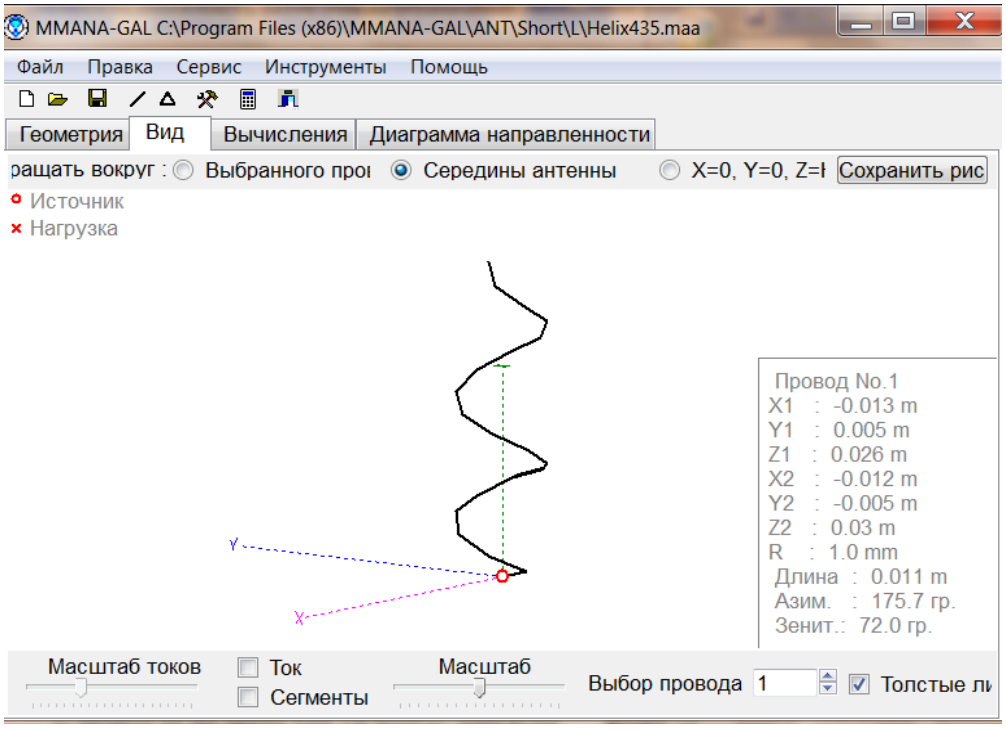


Рисунок 2.3 – Спиральная антенна

*Антенны плоской формы (микрополосковые)* идеальны для применения там, где антенна установлена на плоской поверхности, например крыша автомобиля. Она состоит из двух параллельных проводящих слоев разделенных диэлектриком: нижний проводящий слой является заземленной плоскостью, верхний - собственно излучателем антенны. По форме излучатель может быть прямоугольником, эллипсом, пятиугольником и т.д. (рисунок 2.4). Выбирая размер основания, необходимо помнить о диаграмме направленности антенны. На рисунке 2.4 представлена ДН плоской антенны, смоделированная на программе MMANA-GAL [12]. Микрополосковая антенна имеет диаграмму направленности, обеспечивающую всенаправленный прием сигналов правосторонней круговой поляризации в верхней полусфере.

Оптимальный размер основания имеет площадь от 50 до 70 мм$^2$. Это число мало зависит от размера керамической антенны. Антенны плоской формы с маленьким основанием будут также иметь некоторый обратный лепесток, делая их восприимчивым к излучению с задней стороны антенны, например к сигналам, отраженным от земли. Чем больший размер основания, тем меньше проявляется этот эффект. Размер основания влияет не только на усиление и осевое отношение антенны, но также и согласование антенны с кабелем на 50 Ом от приемника.

Преимуществами полосковой антенны является малая масса, размеры и простота изготовления. Например, керамические антенны имеют небольшие размеры от 25х25мм$^2$ до 12х12 мм$^2$. Для удешевления конструкции можно

также использовать обычный воздушный диэлектрик, но это приведёт к значительному увеличению размеров, приблизительно до 10x10 см$^2$. [11]

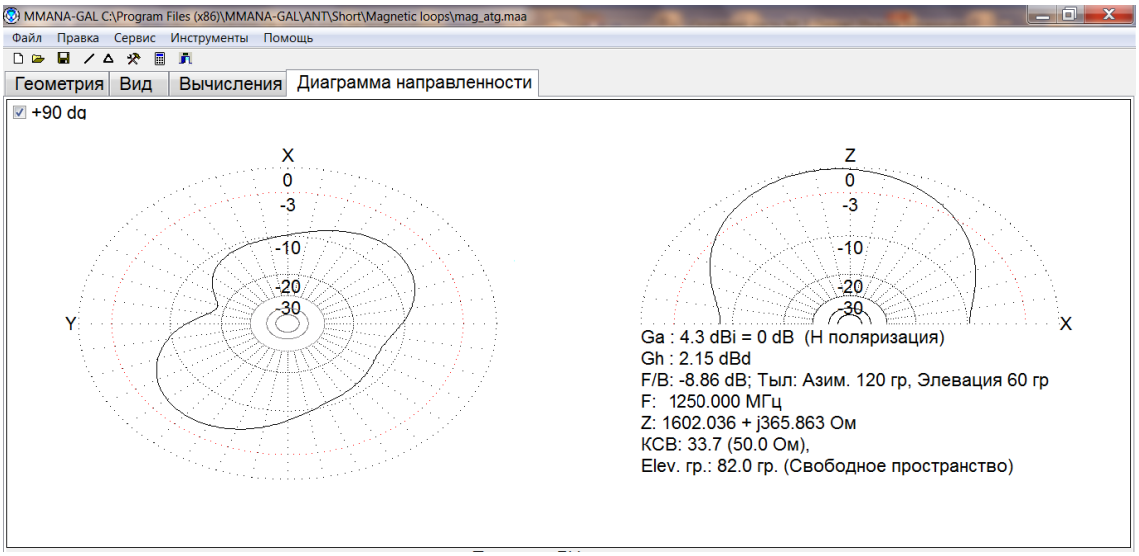


Рисунок 2.4 – ДН полосковой антенны

*Спиральные антенны* могут быть предназначены как для использования с заземлённым основанием, так и без него. По сравнению с плоской антенной, обратный лепесток спиральной антенны практически отсутствует (рисунок 2.5). Заполняя спиральную антенну материалом с высокой диэлектрической постоянной, можно уменьшить размер антенн. Стандартные размеры спиральных антенн, предлагаемых производителями - 18 мм длиной и 10 мм в диаметре. [11]

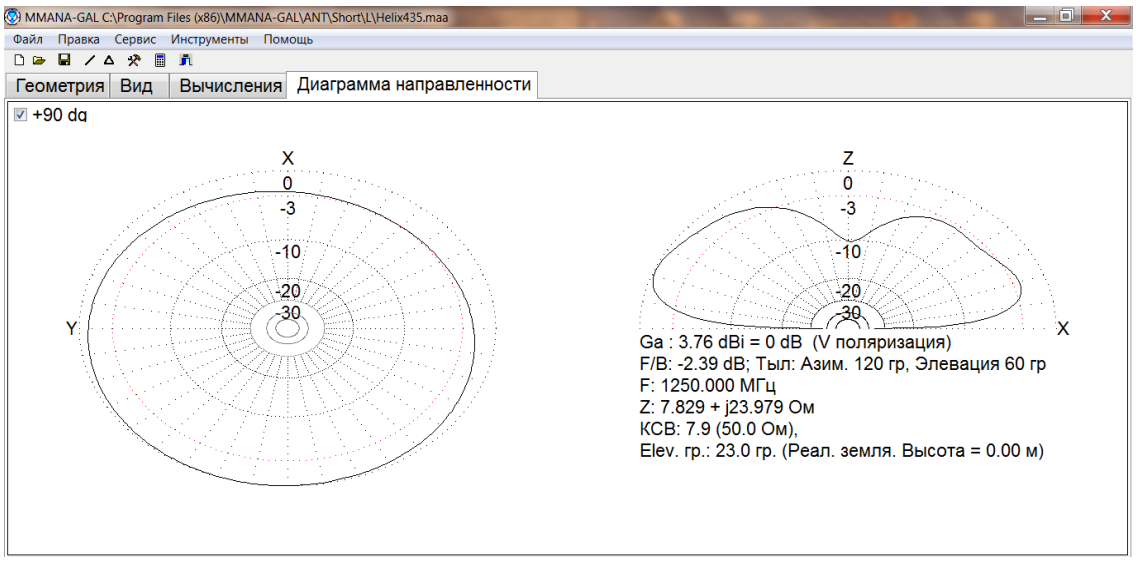


Рисунок 2.5 - ДН спиральной антенны

Как видно из полученных диаграмм направленностей, данные антенны являются широконаправленными. Важно, чтобы главный лепесток антенны указывал на небо, чтобы получить сигнал от максимального количества спутников с максимальным усилением антенны. Если рассматривать мобильные GNSS-приемники, то спиральная антенна, более подходит для того, чтобы пользователь при естественном расположении такого устройства ориентировал антенну оптимальным образом. Однако при сопоставимом усилении антенны спиральная антенна будет иметь большие габариты по сравнению с плоской антенной. Также они будут, как правило, показывать более низкую чувствительность по сравнению с аналогичными по размеру плоскими антеннами.

При выборе антенны необходимо также определить будет ли она пассивной или активной. *Пассивные* антенны содержат только принимающий элемент, например керамическая плоская или спиральная. Иногда они также содержат цепь согласования, чтобы подключать их к кабелю с импедансом на 50 Ом. *Активные* антенны имеют встроенный малошумящий усилитель (МШУ). Активные антенны нуждаются в электропитании, которое вносит коррективы в энергопотребление всего приемника, увеличивая её примерно на 5 - 20 мА. Использование активной антенны желательно всегда, если длина кабеля между приемником и антенной превышает 10 см. [11]

Антенны навигационных приемников предназначены для работы с нагрузкой на 50 Ом.

### 2.2.2 Преобразование частоты и аналого-цифровое преобразование

Радиочастотная часть приемника действует на основе супергетеродинного принципа, при котором частота принятого сигнала преобразуется в более низкую промежуточную частоту. Затем сигнал усиливается в усилителе промежуточной частоты (УПЧ), а также преобразуется в цифровую форму с помощью АЦП с выхода которого он поступает в блок поиска и захвата сигналов спутников и в измерительный блок, действующие на основе корреляционного метода обработки. Так как приемник является многоканальным, то предварительно осуществляется селекция сигналов отдельных спутников, распределение их по разным каналам и дальнейшая параллельная обработка (Приложение А).

Сигналы СРНС GPS и ГЛОНАСС с входной антенны поступают на вход частотного разделителя 1. Как видно из структурной схемы приемника полосовой фильтр ПФ осуществляет фильтрацию сигналов в полосе частот 36,35 МГц для диапазона L1, и 55,3 МГц для диапазона L2. Выбор данных частот графически представлен на рисунке 2.6.

Ширина спектра сигнала на каждой литерной частоте определена по первым нулям спектра при модуляции кодом повышенной точности.

Границы частотного диапазона $L_1$ (нижняя $f_{HL1}$ и верхняя $f_{BL1}$) для системы ГЛОНАСС определены исходя из соотношений:

$$f_{HL1} = f_{1,(-7)} - 5{,}11 = 1592{,}0625 - 5{,}11 = 1586{,}9525 \text{ МГц};$$
$$f_{BL1} = f_{1,(+6)} + 5{,}11 = 1605{,}375 + 5{,}11 = 1610{,}485 \text{ МГц}.$$

Границы частотного диапазона $L_2$ (нижняя $f_{HL2}$ и верхняя $f_{BL2}$) определены исходя из соотношений:

$$f_{HL2} = f_{2,(-7)} - 5{,}11 = 1242{,}9375 - 5{,}11 = 1237{,}8275 \text{ МГц};$$
$$f_{BL2} = f_{2,(+6)} + 5{,}11 = 1248{,}625 + 5{,}11 = 1253{,}735 \text{ МГц}.$$

Сигналы СРНС GPS каждого из диапазонов L1 и L2 занимают частотные полосы шириной $\Delta F$ = 20,46 МГц, а сигналы СРНС ГЛОНАСС - полосы шириной $\Delta F_1$ = 23,53 МГц (диапазон L1) и $\Delta F_2$ = 15,91 МГц (диапазон L2). Частотные полосы не пересекаются (рисунок 2.6). Два ПФ разделяют сигналы систем диапазонов L1 и L2.

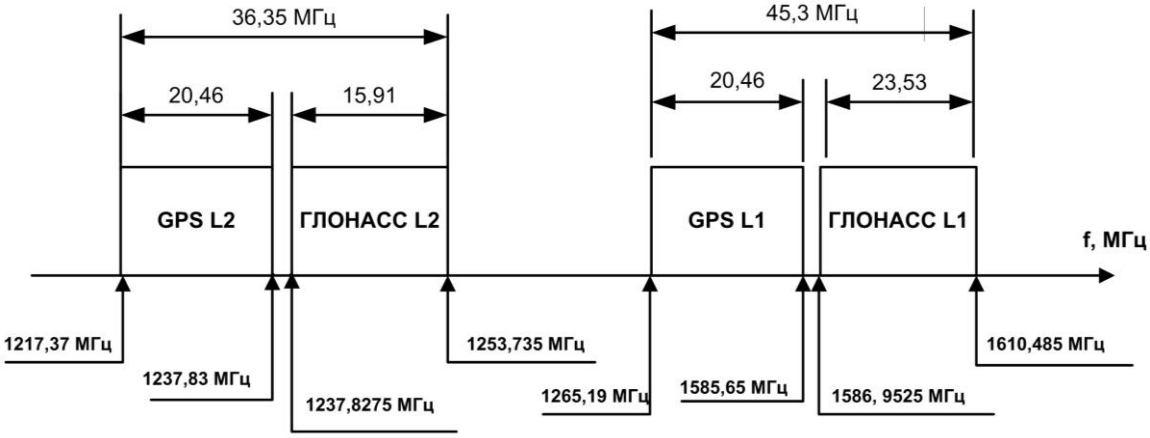


Рисунок 2.6 – Диаграмма диапазонов частот L1 и L2 GNSS-приемника (GPS и GLONASS)

В схеме использовано двукратное понижение частоты сигналов. Первое понижение частоты до уровня $f_{пр1}$≈200 МГц проводится в общем для всех принятых сигналов смесителе СМ. После общего усиления и фильтрации сигналов в усилителе промежуточной частоты УПЧ проводится второе преобразование частоты (Приложение А), ориентированное на прием сигнала от конкретного НС. Полосу пропускания канального УПЧ выбирают таким образом, чтобы выделился сигнал одного из НС и селектировались сигналы других НС.

Опорные сигналы, поступающие на смесители ($LO_1$, $LO_2$, $LO_3$, $LO_4$), формируются синтезатором частот из опорной частоты $f_{оп}$ опорного

генератора ОГ - кварцевого генератора опорного напряжения. Управление работой синтезатора может осуществляется по сигналам, поступающим от навигационного вычислителя.

Затем происходит цифровое преобразование сигналов в цифровую форму с использованием триггеров, на один вход из которых поступает аналоговый сигнал, а на другой тактовые частоты (часы) вырабатываемые синтезатором частот. От характеристик опорного генератора зависит качество работы приемника в целом.

### 2.2.3 Коррелятор

Дальность при радиотехнических измерениях характеризуется временем распространения сигнала от объекта измерения до измерительного пункта. В навигационных системах GPS/ГЛОНАСС излучение сигналов синхронизировано со шкалой времени спутника, излучающего данный сигнал. В то же время, потребитель имеет информацию о расхождении шкалы времени спутника и системы. Цифровая информация, передаваемая со спутника, позволяет установить момент излучения некоторого фрагмента сигнала (метки времени) спутником в системном времени. Момент приема этого фрагмента определяется по шкале времени приемника. Шкала времени приемника (потребителя) формируется с помощью кварцевых стандартов частоты, поэтому наблюдается постоянный "уход" шкалы времени приемника относительно шкалы времени системы. Разность между моментом приема фрагмента сигнала, отсчитанным по шкале времени приемника и по шкале спутника, умноженная на скорость света и будет значением псевдодальности.

Вычислить метку времени во входном сигнале, а также отследить модуляцию сигнала спутника символами информации позволяют корреляционные интегралы, формируемые в корреляторе. Метки времени следуют с периодичностью 6 с для GPS и 2 с для ГЛОНАСС и образуют 6(2)-секундную шкалу. В пределах одного деления этой шкалы периоды дальномерного кода образуют 1-мс шкалу. Одна миллисекунда разделена, в свою очередь, на отдельные элементы (для GPS - 1023, для ГЛОНАСС – 511). Таким образом, элементы дальномерного кода позволяют определить дальность до спутника с погрешностью около 200 м. Для более точного определения необходимо знать фазу генератора дальномерного кода. Схемы построения опорных генераторов коррелятора позволяют определять его фазу с точностью до 0,01 периода.

На основании измерений параметров опорного гармонического колебания, формируемого системой ФАП, определяют частоту и фазу несущего колебания спутника. Его уход относительно номинального значения даст доплеровское смещение частоты, по которому оценивается скорость потребителя относительно спутника. Кроме того, фазовые

измерения несущей позволяют уточнить дальность до спутника с погрешностью в несколько мм. [13]

Коррелятор в цифровой форме формирует отсчеты синфазных $I_{k-1}$ и квадратурных $Q_{k-1}$ составляющих в соответствии с дискретным аналогом алгоритмов.

$$I_{k+1} = \sum_{i=1}^{K_{\text{Н}}} y(t_{k,i}) \cdot h(t_{k,i} - \tilde{\tau}_{k,i}) \cdot \cos(2\pi f_{\pi 3} t_{k,i} + \tilde{\varphi}_{k,i})$$
$$Q_{k+1} = \sum_{i=1}^{K_{\text{Н}}} y(t_{k,i}) \cdot h(t_{k,i} - \tilde{\tau}_{k,i}) \cdot \sin(2\pi f_{\pi 3} t_{k,i} + \tilde{\varphi}_{k,i}) \qquad (2.1)$$

где $y(t_{k,i})$ – цифровые отсчеты сигнала с выхода АЦП в дискретные моменты времени $t_{k,i}$;

$t_{k,i} = (K_{\text{Н}} \cdot T_d) \cdot k + T_d \cdot i$ ($T_d = 1/f_d$ – шаг дискретизации по времени);

$h(t_{k,i} - \tilde{\tau}_{k,i})$ – модулирующая функция дальномерного кода;

$k$ – индекс, соответствующий моменту времени $t_k = (K_{\text{Н}} \cdot T_d) \cdot k$;

$K_{\text{Н}} = T_{\text{Н}}/T_d$ – число накапливаемых отсчетов;

$\tilde{\tau}_{k,i}$, $\tilde{\varphi}_{k,i}$ – экстраполированные на момент времени $t_{k,i}$ оценки задержки и фазы сигнала, которые определяются выражениями

$$\tilde{\tau}_{k,i} = \hat{\tau}_k + \dot{\hat{\tau}}_k i T_d; \qquad (2.2)$$

$$\tilde{\varphi}_{k,i} = \hat{\varphi}_k + \hat{\omega}_{\text{доп}k} i T_d \qquad (2.3)$$

где $\hat{\tau}_k$, $\dot{\hat{\tau}}_k$, $\hat{\varphi}_k$, $\hat{\omega}_{\text{доп}k}$, – оценки задержки, скорости изменения задержки, фазы и скорости изменения фазы соответственно в тактовые моменты времени $t_k$.

Здесь и далее для простоты изложения рассмотрим один канал обработки. Составляющие $I$ и $Q$ необходимо формировать как в режиме поиска сигналов по частоте и задержке, так и в режиме слежения за этими параметрами. Если в режиме поиска сигналов данные составляющие формируются в соответствии с (2.1) при фиксированных значения оценок $\tau$, $\omega_{\text{доп}k}$ на интервале анализа $T_a = K_H \cdot Td$, то в режиме слежения данные оценки меняются во времени. В режиме слежения необходимо сформировать дискриминаторы по фазе и задержке сигнала. Если для формирования фазового дискриминатора можно использовать квадратурные компоненты $I$ и $Q$, описываемые (2.1), то для дискриминатора задержки сигнала, в соответствии с кроме этих составляющих необходимо дополнительно сформировать смещенные на $\pm(\Delta\tau/2)$ составляющие.

Обычно полагают $\Delta\tau=\tau_э$, где $\tau_э$ длительность элементарной посылки дальномерного кода (для ГЛОНАСС $\tau_э$=1/511 мс, для GPS $\tau_э$=1/1023). Синфазную и квадратурную составляющие, формируемые с опережением относительно опорного момента времени, обозначают $I_E$, $Q_E$ ($E$ - early), а с запаздыванием - $I_L$, $Q_L$ ($L$ -late), и для них можно записать выражения, аналогичные (2.1)

$$I_{E,k+1} = \sum_{i=1}^{K_н} y(t_{k,i}) h(t_{k,i} - \tilde{\tau}_{k,i} + \tau_э/2) \cos(2\pi f_{\pi 3} t_{k,i} + \tilde{\varphi}_{k,i}) \tag{2.4}$$

$$I_{L,k+1} = \sum_{i=1}^{K_н} y(t_{k,i}) h(t_{k,i} - \tilde{\tau}_{k,i} - \tau_э/2) \cos(2\pi f_{\pi 3} t_{k,i} + \tilde{\varphi}_{k,i}) \tag{2.5}$$

Схема коррелятора, реализующего алгоритмы образования данных составляющих, приведена на рисунке 2.7.

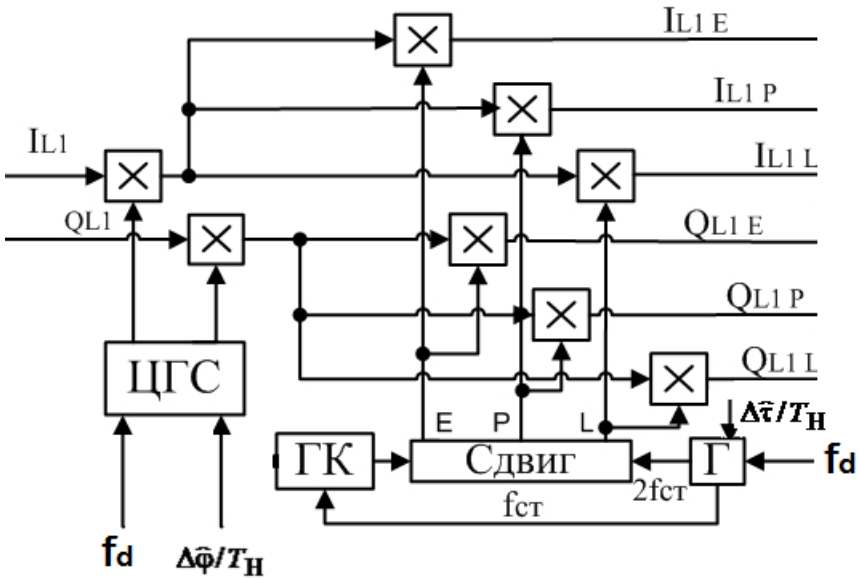


Рисунок 2.7 - Схема коррелятора навигационного приемника

В корреляторе ЦГС - это цифровой генератор сигнала; $\Delta\tilde{\varphi}/T_Н$, $\Delta\tilde{\tau}/T_Н$ – приращение фазы, задержки за один такт; $P$ – индекс ($I_p$,$Q_p$) используемый для идентификации опорного канала. Генератор кода (ГК) вырабатывает дальномерный код (модулирующую функцию $h(t_{k,i} - \tilde{\tau}_{k,i})$ с длительность элементарного символа $\tau_э$=1/$f_{ст}$, начало формирования которого сдвинуто на $\tilde{\tau}_{k,i}$. Трехбитовый регистр сдвига обеспечивает формирование опережающей и запаздывающей опорных функций. [14]

### 2.2.4 Аппаратурные алгоритмы приемников СРНС

Навигационный вычислитель решает следующие задачи: цифровая обработка синфазной и квадратурной составляющих *I*, *Q* для решения задач поиска сигналов по задержке и частоте, а также слежения за фазой и задержкой сигнала (алгоритмы первичной обработки); преобразование радионавигационных параметров в навигационные (алгоритмы вторичной обработки); демодуляция навигационного сообщения, форматирование и дешифрация эфемеридной информации; расчет прогнозируемых значений ошибок; накопление и хранение альманаха. Навигационному вычислителю переданы также диспетчерские функции управления первичной обработкой, что необходимо из-за наличии многих спутников и зоне видимости и возможности работы по всем или части НС. В приемниках работающих по сигналам СРНС ГЛОНАСС и GPS возникает дополнительная необходимость управления работой по двум системам. Структурно процессор включает две части: сигнальный и навигационный. В качестве вычислительного ядра, например в навигационном процессоре, может использоваться микропроцессор и арифметический сопроцессор. Сигнальный процессор должен быть значительно производительнее, чем навигационный. [13]

*Первичная обработка информации*

Отсчеты синфазных и квадратурных составляющих $I_E$, $Q_E$, $I_P$, $Q_P$, $I_L$, $Q_L$ сформированные в корреляторе, через интерфейс поступают в навигационный вычислитель для дальнейшей обработки. В радионавигационных приемниках различают два режима: поиск и обнаружение сигналов по частоте и задержке и непрерывного слежения. В режиме поиска сигнала осуществляется грубая, и в то же время достаточная для дальнейшего захвата системой фильтрации, оценка параметров сигнала (задержки и частоты), в режиме фильтрации параметров реализуется непрерывное и точное их измерение. Поиск сигнала и фильтрация его параметров проводят по каждому НС отдельно, поэтому в дальнейшем рассмотрим алгоритмы обработки только одного сигнала.

*Алгоритм поиска и обнаружения*

Так как в приемнике имеется несколько частотных каналов, то поиск сигналов для нескольких спутников можно проводить параллельно. Процедура поиска сигнала для каждого спутника заключается в последовательном просмотре возможных значений задержек ($\tau$) и доплеровских смещений частоты ($f_{доп}$) сигнала. Для СРНС ГЛОНАСС диапазон доплеровских частот $f_{доп} = -5\ldots+5$ кГц. [18]

С позиций теории статистического оценивания задача поиска сигнала является задачей оценки его параметров $\lambda = \left|\tau \cdot f_{доп}\right|^{T}$, которые принимаются постоянными за время наблюдения [0, *T* ] и выбираются из конечной области ($\lambda_{min}\ldots\lambda_{max}$,). Однако нахождение (поиск) решения способом перебора всех

возможных значений из области определения ($\lambda_{min}\ldots\lambda_{max}$) является достаточно проблематичным, поэтому в приемниках логичней использовать иные алгоритмы поиска, основанные на параллельно-последовательном или последовательном просмотре области возможных значений $\tau$ и $f_{доп}$. Другим фактором, используемым в целях упрощения аппаратуры потребителя, является использование алгоритма обнаружения сигнала в анализируемой ячейке.

Данный алгоритм реализуется следующим способом. В режиме поиска используются синфазная и квадратурная составляющие $I_P$, $Q_P$, а задача обнаружения сигнала в элементарной ячейке поиска решается в соответствии с алгоритмом $I_P^2 + Q_P^2 \geq h$, где $h$ - порог, выбираемый из условия обеспечения заданной вероятности правильного обнаружения. При принятии решения об отсутствии сигнала осуществляется переход к следующей ячейке анализа, а при положительном решении вырабатывается команда на переход в режим непрерывного сопровождения по $\tau$ и $f_{доп}$. Если следящие системы по задержке и доплеровской частоте захватывают сигнал на сопровождение, то принимается решение о прекращении поиска, в противном случае процедура поиска возобновляется.

Длительность интервала накопления сигнала $T_H$ при анализе в одной элементарной ячейке (число накапливаемых отсчетов из формулы (2.1) $T_H=K_H.T_d$) составляет от 1 до 2 мс.

*Алгоритм работы слежения за фазой и задержкой сигнала*

Следящая система является частью корреляционного блока. Для реализации слежения за задержкой сигнала используют синфазную и квадратурную составляющие $I_P$, $Q_P$, накопление которых проводится на интервале времени $T_H$. Схема слежения за фазой сигнала представлена на рисунке 2.8.

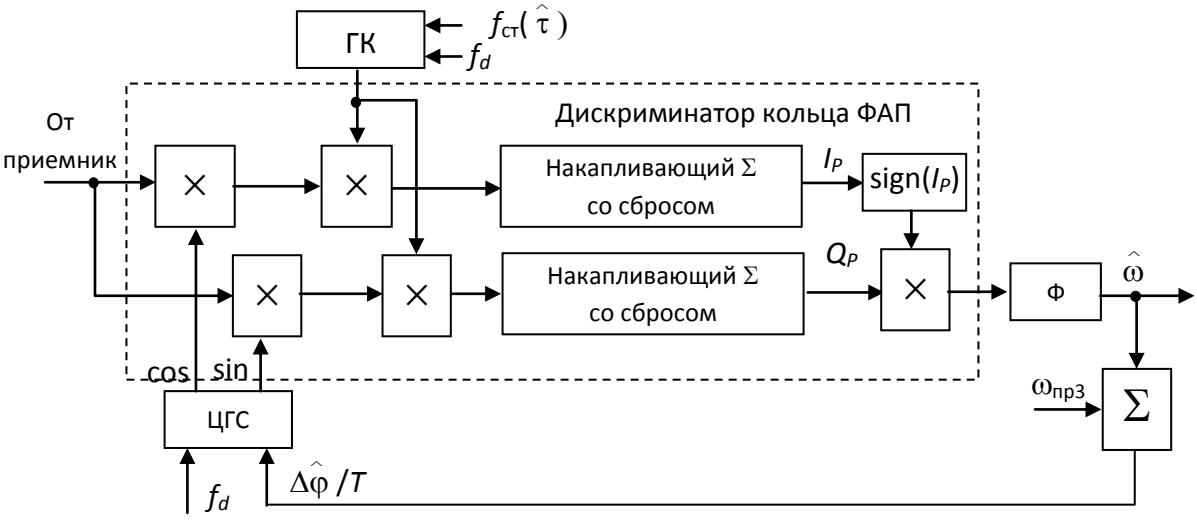


Рисунок 2.8 – Схема системы слежения за фазой

Работа схемы слежения за задержкой сигнала основывается на применении опережающих и запаздывающих квадратурных составляющих (рисунок 2.9).

Могут применяться следующие алгоритмы работы:

1) $\sqrt{I_E^2 + Q_E^2} - \sqrt{I_L^2 + Q_L^2}$;

2) $\dfrac{\sqrt{I_E^2 + Q_E^2} - \sqrt{I_L^2 + Q_L^2}}{\sqrt{I_E^2 + Q_E^2} + \sqrt{I_L^2 + Q_L^2}}$;

3) $\left(I_E^2 + Q_E^2\right) - \left(I_L^2 + Q_L^2\right)$;

4) $\left(I_E - I_L\right) I_P + \left(Q_E - Q_L\right) Q_P$.

Наиболее часто применяют алгоритм 2 ввиду его независимости от амплитуды сигнала и широкого диапазона возможных ошибок, не приводящих к нарушению слежения. [14]

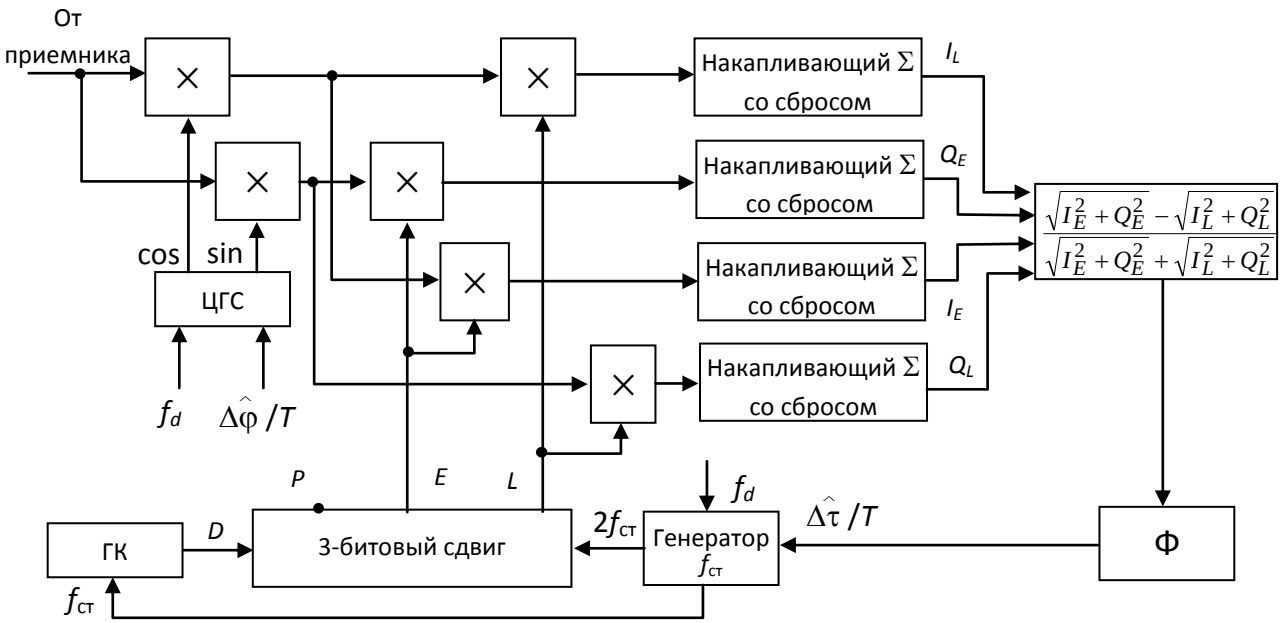


Рисунок 2.9 - Схема системы слежения за задержкой

***Алгоритмы вторичной обработки***

В результате первичной обработки радионавигационных сигналов оцениваются радионавигационные параметры (задержка и доплеровское

смещение частот) для каждого из НС выбранного рабочего созвездия. Радионавигационные параметры связаны с параметрами потребителя через соответствующие навигационные функции. В СРНС используются псевдодальномерные методы определения координат и псевдорадиально-скоростной метод определения составляющих скорости потребителя, алгоритмы которых были рассмотрены в 2.1.3

На этапе вторичной обработки информации осуществляется:

- демодуляция навигационного сообщения;
- форматирование и дешифрация эфемеридной информации и др.

Данные алгоритмы реализуются в процессоре приемника.

## 2.3 Требования к точностным характеристикам GPS-приемников. Источники погрешностей спутниковых радионавигационных систем

Использование СРНС в интересах местоопределения и навигации подвижных объектов, а также в решении специальных задач (наблюдение, аэрофотосъемка, поиск полезных ископаемых, поиск и спасение терпящих бедствие транспортных средств и людей) выдвигает более высокие требования к точностным характеристикам, таким как среднеквадратические ошибки определения навигационных параметров, показателям надежности навигационного обеспечения и другое.

Основные навигационные параметры, определяемые в СРНС – дальность и радиальная скорость. Соответствующими им радионавигационными параметрами служат задержка сигнала и доплеровское смещение частоты. Поэтому главным требованием, предъявляемым к СРНС, является высокая точность измерения данных параметров. Требования к повышению точности задержки сигнала и доплеровского смещения частоты противоречивы. Для повышения точности измерения задержки необходимо расширять спектр сигнала, а для повышения точности измерения доплеровского сдвига частоты - увеличивать длительность сигнала.

Повышения точности совместных оценок задержки сигнала и доплеровского смещения частоты можно достигнуть за счет увеличения *базы сигнала* - $B$ (произведение эффективной длительности сигнала на эффективную ширину спектра сигнала). Поэтому основным требованием к радиосигналам в СРНС является соотношение $B \gg 1$. Сигналы с такими параметрами называют шумоподобными. Известно, что помехоустойчивость радиотехнической системы определяется значением базы сигнала, а для большинства скрытность и помехозащищенность является одним из определяющих требований. [15]

Другое существенное требование - обеспечение многосистемного доступа. При определении навигационных параметров у потребителя должна быть возможность одновременного доступа к сигналам от различных спутников. Проблема многосистемного доступа решается путем временного,

частотного или кодового разделения сигналов, например, в спутниковой навигационной системе GPS используется кодовое разделение, в ГЛОНАСС - частотное. Известно, что при ортогональности сигналов и их точной синхронизации методы временного, частотного и кодового разделения эквивалентны. Это объясняет использование различных способов разделения сигналов в современных СРНС. Это предопределяет такое требование к приемникам СРНС, как точная синхронизация сигналов.

Для предъявления требований к НАП СРНС, в части касающейся точностных характеристик, также необходимо провести анализ источников погрешностей СРНС и оценить их влияние на точность навигационно-временных определений.

На точность определения потребителем СРНС навигационных параметров влияет множество факторов, которые можно разделить на три группы (рисунок 2.10): погрешности вносимые на НС или командно-измерительном комплексе; погрешности вносимые на трассе распространения сигнала; погрешности, вносимые в приемнике СРНС. Они связаны с особенностями первичных и вторичных навигационных измерений, с характеристиками используемых сигналов, среды распространения и так далее. Первая группа погрешностей обусловлена в основном несовершенством частотно-временного и эфемеридного обеспечения НС, поэтому в данной работе не будет рассматриваться.

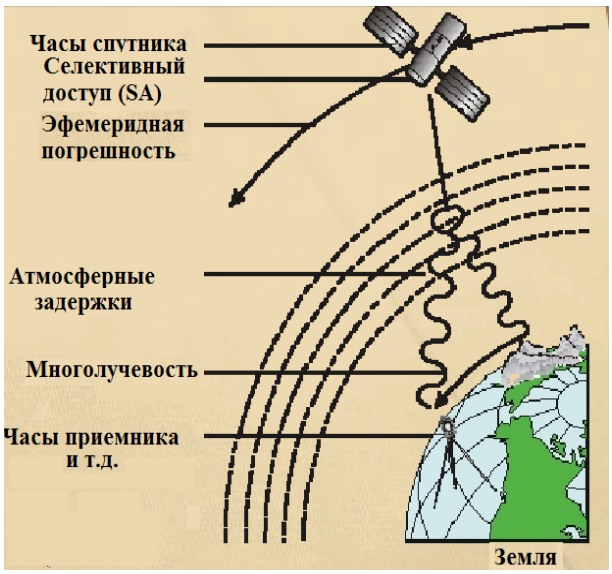


Рисунок 2.10 – Источники погрешностей измерения

*Погрешности вносимые на трассе распространения сигнала НС* вызвана неточным знанием условий распространения радиоволн в тропосфере и ионосфере. Эти два слоя оказывают заметное влияние на

качество навигационных измерений в СРНС, которое проявляется в основном в дополнительных задержках сигнала, возникающих из-за рефракции сигналов спутника при прохождении атмосферы Земли.

*Погрешности из-за многолучевости.* На приемную антенну аппаратуры потребителя СРНС может поступать не только прямой сигнал от навигационного спутника, но и множество переотраженных сигналов от земной и морской поверхностей и близлежащих объектов, например зданий. Уровень отраженного сигнала может быть соизмеримым с прямым сигналом. Это приводит к существенным искажениям полезного сигнала и к погрешностям в схемах слежения за параметрами этого сигнала (задержкой, частотой и фазой). Эти погрешности во многом зависят от взаимного расположения спутника, приемной антенны и отражающих объектов. Экспериментальные исследования показали большой разброс значений дальномерной погрешности из-за многолучевости, которая составляет 0,5 м в лучшем случае (при использовании специальных антенн) и до 100 м в худшем. Использование приемников сигналов стандартной точности с узкополосными корреляторами может снизить погрешности на порядок.

*Погрешности, вносимые приемоиндикаторном СРНС.* К дальномерным погрешностям, обусловленным аппаратурой потребителя, относят погрешности слежения за моментом прихода (временного положения) сигнала спутника, при этом основной вклад вносят шумовые и динамические погрешности схем слежения.

***Способы уменьшения погрешностей.***

Ряд составляющих дальномерной погрешности, в течение ограниченного интервала времени можно считать общими (коррелированными) для потребителей СРНС, расположенных в обширных районах рабочей зоны (районах пространственно-временной корреляции погрешностей). Поэтому, определив эти данные в произвольной точке указанного района, можно использовать их в течение времени корреляции для коррекции дальномерных измерений в других точках. Такой способ навигационных измерений в СРНС называют *дифференциальным*, и он имеет много разновидностей.

Погрешность дальномерных измерений в дифференциальных режимах СРНС существенно зависит от пространственного разноса потребителей и временного интервала между моментами расчета поправки и ее использования. В лучшем случае она может уменьшаться с обычным режимом работы СРНС от нескольких до десятков раз. При типовых погрешностях эфемерид (например СРНС GPS) 10 м и удаления точек измерения $D<30$ км и $D<2000$ км использование дифференциального режима снижает погрешности измерений до значений не более 1,5 см и 1 м соответственно. Такие значения существенно меньше аппаратурных погрешностей и погрешностей, возникающих при распространении радиоволн. [14]

*Двухчастотный метод* теоретически наиболее точный, однако, требует высокоточных измерений на двух частотах, что значительно усложняет аппаратуру потребителя. Кроме того, рассмотренная методика устранения ионосферных погрешностей приводит к значительному возрастанию важнейшей составляющей погрешности, обусловленной радиошумами, которую трудно скомпенсировать.

*Метод избыточных одночастотных измерений***.** В этом случае проводятся измерения по сигналам нескольких НС (обычно более восьми). Здесь за счет усреднения пространственных характеристик ионосферы можно достичь значительного снижения ее влияния на точность определения координат потребителей. Для стационарного потребителя такая методика дает выигрыш в точности на несколько порядков. Ионосфера может вызывать также вращение плоскости поляризации линейно поляризованных сигналов (эффект Фарадея), что приводит к появлению дополнительных потерь энергии сигнала, для уменьшения которых в СРНС применяют антенны с круговой поляризацией.

Реализация в приемниках СРНС *фазовых методов* измерений, отличающихся высокой точностью, позволяет достигнуть качественно нового уровня навигационного обеспечения потребителей. Основная проблема при фазовых измерениях - их неоднозначность. Уменьшить ее влияние, а в ряде случаев и устранить, можно при использовании избыточных измерений. Номинальная точность определения пространственно-временных координат получается на основе однократных измерений псевдодальностей до четырех НС. Повышение точности достигается также статистической обработкой результатов навигационных определений и измерений дополнительных радионавигационных параметров. В неподвижном приемнике можно усреднять получаемые координаты по конечному объему выборки.

Геометрический фактор характеризует влияние взаимного расположения НС и потребителя на точность навигационных определений в СРНС. Важным условием достижения высокой точности навигационных определений в СРНС является такое взаимное пространственное расположение рабочего созвездия НС и потребителя, при котором обеспечивается требуемая точность при заданном уровне погрешностей измерения псевдодалыюстей. На этом выводе основывается концепция коэффициента геометрии $K_г$, являющегося мерой уменьшении точности навигационных определений в СРНС из-за особенностей пространственного расположения НС и потребителя (GDOP — геометрический фактор ухудшения местоопределения).

В современных СРНС влияние кратковременных (от 5 до 30 мин) периодов "плохой геометрии" четырех НС на $K_г$ может быть снижено, например, при использовании потребителем высокоточного бортового опорного генератора (ОГ) или высотомера в этот промежуток времени. [14]

## 3 Расчет параметров сигналов, принимаемых GPS-приемником

### 3.1 Расчет мощности радионавигационного поля принимаемого наземными потребителями

Навигационные радиосигналы, излучаемые штатными НКА, образуют радионавигационное поле в околоземном пространстве. Рабочую часть ДН антенн НКА можно представить в виде конусного радиолуча с углом $2\varphi_0$ при вершине (рисунок 3.1).

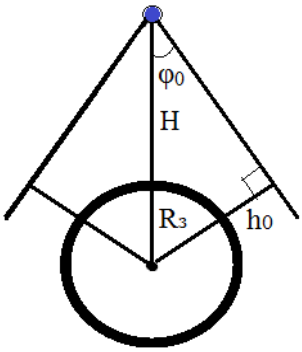


Рисунок 3.1 – Распределение радионавигационного поля в околоземном пространстве

Из рисунка видно, что

$$\sin\varphi_0 = \frac{h_0 + R_3}{H + R_3} \qquad (3.1)$$

где $2\cdot\varphi_0$ – угол раскрыва антенны,
$h_0$ – высота луча над поверхностью Земли,
$R_3$=6378 км - радиус Земли,
H - высота орбиты НКА.

Выразим из формулы (1) высоту $h_0$

$$h_0 = \sin\varphi_0 \cdot (H + r) - r \qquad (3.2)$$

В СРНС Глонасс каждый штатный НКА излучает навигационные радиосигналы частот $L_1$=1602 МГц и $L_2$=1246 МГц в сторону Земли с помощью передающих антенн, рабочая часть диаграммы направленности (ДН) которых имеет ширину $2\cdot\varphi_0$=38°. Высота орбиты НКА равна 19100 км.

$$h_0 = \sin\varphi_0 \cdot (H + r) - r = \sin 19 \cdot (19100 + 6378) - 6378 = 1917 \text{ км.}$$

Для СРНС GPS $L_1$=1575,4 МГц и $L_2$=1275,6 МГц, $2\varphi_0$=40°, H=20000 км.

$$h_0 = \sin\varphi_0 \cdot (H + r) - r = \sin 20 \cdot (20000 + 6378) - 6378 = 2644 \text{ км.}$$

При полной ОГ (24 штатных НКА) радионавигационное поле на высотах $h \le h_0$ непрерывно в пространстве, т.е. потребитель в любой точке этого пространства “освещается” радиолучами не менее чем от четырех НКА, образующих по отношению к нему удовлетворительное по геометрическому фактору созвездие для определения координат и вектора скорости.

На высотах $h > h_0$ радионавигационное поле становится дискретным в пространстве. Космические объекты на высотах $h_0 < h < H$ “освещены” радиолучами от необходимого для оперативной навигации созвездия не везде, а только при нахождении в определенных областях пространства.

Космические объекты на высотах $h > H$ (например, на геостационарной орбите) будут “освещены” на некоторых участках своей орбиты радиолучом от одного или двух НКА, что является недостаточным для определения координат.

Ограничимся рассмотрением непрерывного радионавигационного поля ($h \le h_0$), так как наземная навигация входит в эти пределы. Например, город Алматы расположен от 600 до 1100 метров над уровнем моря.

Основной характеристикой радионавигационного поля для наземного потребителя являются мощности навигационного радиосигнала от околозенитного и пригоризонтного НКА на выходе приемной антенны (без учета отражений от поверхности Земли) [1]. Она определяется по формуле

$$P_0 = \frac{P_{ПЕР} \cdot G(\varphi) \cdot G_0(\beta) \cdot \lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot R)^2} \qquad (3.3)$$

где $P_{ПЕР}$ - мощность излучения передатчика;

$G(\varphi)$ - коэффициент направленности передающей антенны (с учетом потерь в АФУ) в направлении $\varphi$ на приемную антенну;

$G_0(\beta)$ - коэффициент направленности “стандартной” приемной антенны в направлении $\beta$ на передающую антенну;

$\lambda$ - длина волны несущего колебания радиосигнала;

R - дальность от приемной антенны до передающей антенны,

$\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot R}{\lambda}\right)^2$ - потери в свободном пространстве.

В системах ГЛОНАСС и GPS передающие антенны для навигационных радиосигналов на НКА имеют круговую правую поляризацию излучения.

Коэффициент направленности G(φ) передающих антенн в рабочем секторе направлений (φ ≤ 19° для ГЛОНАСС, φ ≤ 20° для GPS) относительно оси антенны указаны в таблице 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 - Коэффициент направленности передающей антенны в направлении φ на приемную антенну

| ГЛОНАСС | | | | GPS | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| φ , угл.град. | 0° | 15° | 19° | φ , угл.град. | 0° | 16° | 20° |
| G(φ),дБ (1602 МГц) | 10 | 12 | 8 | G(φ),дБ (1575,4 МГц) | 7 | 8 | 7 |
| G(φ),дБ (1246 МГц) | 9 | 11 | 9 | G(φ),дБ (1275,6 МГц) | 8 | 10 | 9 |

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

Дальность R от приемной антенны, размещенной на поверхности Земли, до околозенитного (β=90°) НКА составит R = H, до пригоризонтного (β=5°) НКА определим исходя и рисунка 3.1.

$$R = \sqrt{h^2 + ((H_1 + R_3) - (h + R_3))} \qquad (3.4)$$

Для ГЛОНАСС если β=90°, R=19100 км, расстояние до НАП при β=5°

$$R = \sqrt{1917^2 + ((19100 + 6378)^2 - (1917 + 6178)^2)} = 24170 \text{ км.}$$

Для GPS если β=90°, R=20000 км, при β=5°

$$R = \sqrt{2644^2 + ((2000 + 6378)^2 - (2644 + 6178)^2)} = 24930 \text{ км.}$$

Подставляя данные в формулу 3.3, найдем уровень мощности сигнала на поверхности Земли. Сведем данные в таблицы 3.2 и 3.3.

Т а б л и ц а 3.2 - Уровень навигационного сигнала поддиапазона L1 и L2 системы ГЛОНАСС, принимаемого потребителем

| f, МГц | 1602 | | 1246 | |
|---|---|---|---|---|
| β, угл. град. | 90° | 5° | 90° | 5° |
| $P_П$, дБ Вт | + 15 ± 1 | | + 9 ± 1 | |
| G(φ), дБ | +10 | +12 | +9 | +11 |
| $\frac{\lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot R)^2}$, дБ | - 182 | - 184,2 | -180 | - 182 |
| $G_0(\beta)$, дБ | 0 | | 0 | |
| $P_0$, дБ | - 157,6 ± 1 | - 158 ± 1 | - 163 ± 1 | - 163 ± 1 |

Из расчетов видно, что мощность навигационного радиосигнала, принимаемого наземным потребителем с помощью изотропной антенны, одинакова для околозенитного и пригоризонтного НКА. Изобразим на графике полученные данные (рисунок 3.2).

Таблица 3.3 - Уровень навигационного сигнала поддиапазона L1 и L2 системы GPS, принимаемого потребителем

| f, МГц | 1575,4 | | 1275,6 | |
|---|---|---|---|---|
| β, угл. град. | 90° | 5° | 90° | 5° |
| $P_П$, дБ Вт | + 50 ± 1 | | + 8 ± 1 | |
| G(φ), дБ | +7 | +8 | +8 | +10 |
| $\frac{\lambda^2}{(4\cdot\pi\cdot R)^2}^2$, дБ | - 182,4 | - 184 | -180,6 | - 182,5 |
| $G_0(\beta)$, дБ | 0 | | 0 | |
| $P_0$, дБ | - 159 ± 1 | - 159 ± 1 | - 164,5 ± 1 | - 165 ± 1 |

Более высокий уровень принимаемого радиосигнала может быть обусловлен такими факторами как:

- отклонения в пределах допустимого от номинальной высоты орбиты, ошибки угловой ориентации НКА;
- различия коэффициента усиления передающей антенны НКА;
- изменения выходной мощности передатчика НКА из-за технологических причин;
- колебания температуры;
- вариации напряжения и уровня усиления;
- уменьшение потерь при распространении радиосигнала в атмосфере.

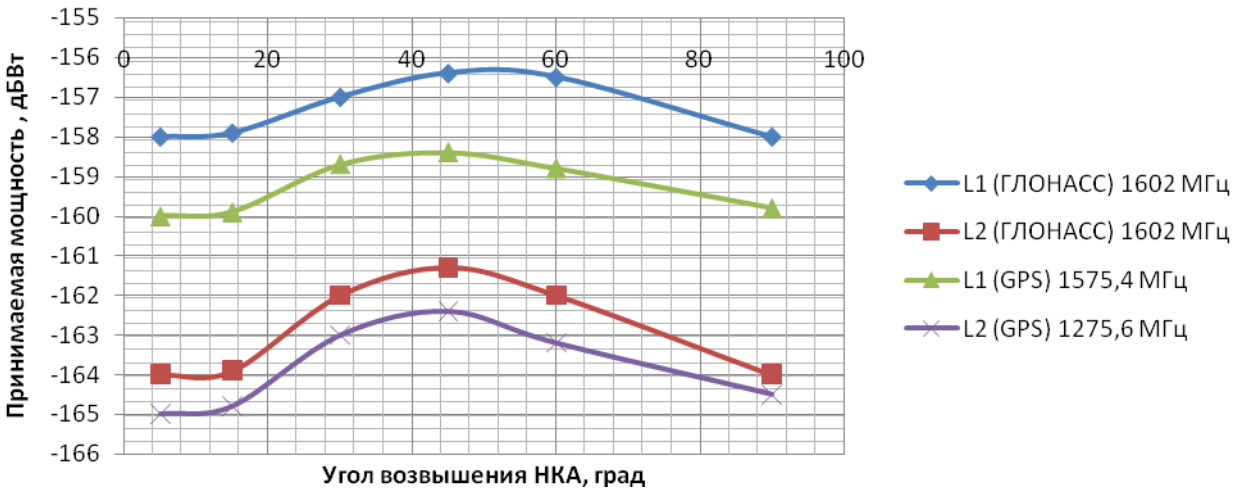


Рисунок 3.2 - Зависимость минимальной мощности радиосигналов принимаемых потребителем от угла возвышения НКА

Согласно интерфейсному контрольному документу, ожидается, что максимальный уровень принимаемого потребителем радиосигнала ГЛОНАСС не превысит -155,2 дБВт, для GPS -155 дБВт [5,6].

## 3.2 Расчет помехоустойчивости сигналов спутниковых радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС

Работа разработанного в дипломном проекте приемника основана на определении координат по данным от спутников двух СРНС. То есть, для получения высокоточных навигационных данных используются одновременно несколько сигналов. Особенно это важно в сложной помеховой обстановке, например, при работе приёмника вблизи аэропортов или других объектов, имеющих большое количество радиосвязных и радиолокационных средств. В этих условиях большую роль играет уровень защиты от помех сигналов СРНС.

Вычислим значение уровня защиты сигналов систем GPS и ГЛОНАСС, доступных гражданским пользователям. Для этого необходимо знать параметры сигналов, а также используем вышерассчитанные значения мощности сигнала, принимаемого потребителем. Эти данные приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Характеристики сигналов GPS и ГЛОНАСС

| Тип сигнала | Параметры сигналов | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $f_н$, ГГц | $f_т$, МГц | N | $P_c$, дБВт | T, мс |
| L1-GPS | 1575,42 | 1,023 | 1023 | -158 | 1 |
| L2- GPS | 1227,6 | 1,023 | 10230 | -165 | 10 |
| L1-ГЛОНАСС | 1602 | 0,511 | 511 | -158 | 1 |
| L2-ГЛОНАСС | 1246 | 0,511 | 511 | -165 | 1 |

В радионавигационных системах используются шумподобные сигналы, поэтому уровень защиты от помех $q^2$ в таком канале связи можно вычислить по формуле [15]:

$$q^2 = 2 \cdot \rho^2 \cdot B \qquad (3.5)$$

где $\rho^2 = \frac{P_c}{P_n}$ - отношение мощностей сигнала $P_c$ и шума $P_n$ на входе приёмника;

$B=F \cdot T=T/t_0=N$ - база сигнала, равная числу импульсов в одном периоде сигнала.

База ШПС характеризует расширение его спектра по сравнению со спектром исходного сигнала. Расширение спектра частот может осуществляться умножением исходного сигнала на псевдослучайную последовательность (ПСП) с периодом повторения T, включающую N бит ПСП длительностью $t_0$ каждый. В этом случае база ШПС численно равна количеству элементов ПСП - N.

Мощность принимаемого сигнала $P_c$ была вычислена ранее (таблицы 3.2 и 3.3).

Величину $P_n$ найдём из соотношения:

$$P_n = k \cdot T \cdot \Delta F \tag{3.6}$$

где $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ - постоянная Больцмана,

$T$ - температура окружающей среды в градусах Кельвина,

$\Delta F$ -полоса частот, занятая сигналом (будем считать, что она равна ширине спектра сигнала, ограниченной первыми нулями).

Тогда формула (3.5) примет вид:

$$q^2 = \frac{2 \cdot P_c \cdot \mathrm{N}}{\mathrm{k} \cdot \mathrm{T} \cdot \Delta \mathrm{F}} \tag{3.7}$$

Вычисляя выражение (3.7) для сигнала системы GPS с L1-кодом при температуре окружающей среды 300 К без учета внутрисистемных помех, получим:

$$q_{L1GPS}{}^2 = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 1023}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}46 \cdot 10^6} = 32{,}73 = 15 \text{ дБ.}$$

То есть приём сигналов с L1-кодом системы GPS при температуре 300 К возможен только в том случае, если уровень помех в полосе сигнала превышает уровень теплового шума на величину не более 15 дБ. Однако эта величина ещё не до конца характеризует свойства сигнала. Необходимо знать конкретное значение мощности сигналов помех $P_{n,0}$, при воздействии которых работа приёмных устройств невозможна. Для его определения используем теорему Шеннона, согласно которой величина $q_0^2 = 2\ln 2 = -1{,}6$ дБ является пороговой при определении пропускной способности канала. Если отношение сигнал-шум в канале больше порогового значения, $q_0^2 < q^2$, то в нём возможна передача сигнала со сколь угодно малой вероятностью ошибки. В противном случае, $q_0^2 > q^2$, вероятность ошибки резко возрастает и передача сигнала невозможна. Вычислим теперь искомую мощность сигналов помех $P_{n,0}$, сложив значение уровня теплового шума в полосе сигнала в децибелах, вычисленное по формуле:

$P_{n\,L1GPS}$ =1,38·10$^{-23}$·300·2,46·10$^{6}$ = 1,018·10$^{-14}$ Вт = -140 дБВт,

$$P_{n,0} = P_n + q^2 + q_0^2 \qquad (3.8)$$

где $q^2$-значение помехозащищённости кода; $q_0^2$-значение предела Шеннона.

Для кода L1 системы GPS:

$$P_{n,0\,L1GPS} = -140 + 15 + (-1{,}6) = -126{,}5 \text{ дБВт.}$$

Эту величину можно получить и другим способом - используя формулу, следующую из теоремы Шеннона и формулами (3.5) и (3.7).

$$q_0^{\,2} = \frac{2 \cdot P_C \cdot B}{P_{n,0}} \qquad (3.9)$$

где $q_0^2$=ln2=-1,6 дБ – предел Шеннона.

Выразим искомую мощность сигналов помех:

$$P_{n,0} = \frac{P_C \cdot B}{\ln 2} \qquad (3.10)$$

Вычислим выражение (3.10) для сигнала системы GPS с L1-кодом:

$$P_{n,0\,L1GPS} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 1023}{\ln 2} = 2{,}3 \cdot 10^{-23} \text{ Вт} = -126{,}6 \text{ дБВт.}$$

$$P_{n,0\,L1GPS} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 1023}{\ln 2} = 2{,}3 \cdot 10^{-23} \text{ Вт} = -126{,}6 \text{ дБВт.}$$

На языке Delphi 7 была создана программа, рассчитывающая параметры помехоустойчивости навигационных сигналов (рисунок 3.3). В работе приведен листинг программы (Приложение Б).

Аналогично, используя выражения (3.6), (3.7) и (3.8), вычислим уровень защиты от помех всех сигналов спутниковых радионавигационных систем используемых в разработанном приемнике.

Сигнал L2 GPS. Так как N=10230; F=2,6·10$^{6}$ Гц; P=10$^{-16,5}$=0,32·10$^{-16}$Вт, то подставив в формулы получим следующие данные:

$$q_{L2GPS}{}^{2} = \frac{2 \cdot 0{,}32 \cdot 10^{-16} \cdot 10230}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{6}} = 60{,}11 = 17 \text{ дБ};$$

$$P_{n\ L2GPS} = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{6} = 1{,}08 \cdot 10^{-14} \text{ Вт} = -139 \text{ дБВт};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139+17-1{,}6 = -123{,}6 \text{ дБВт}.$$

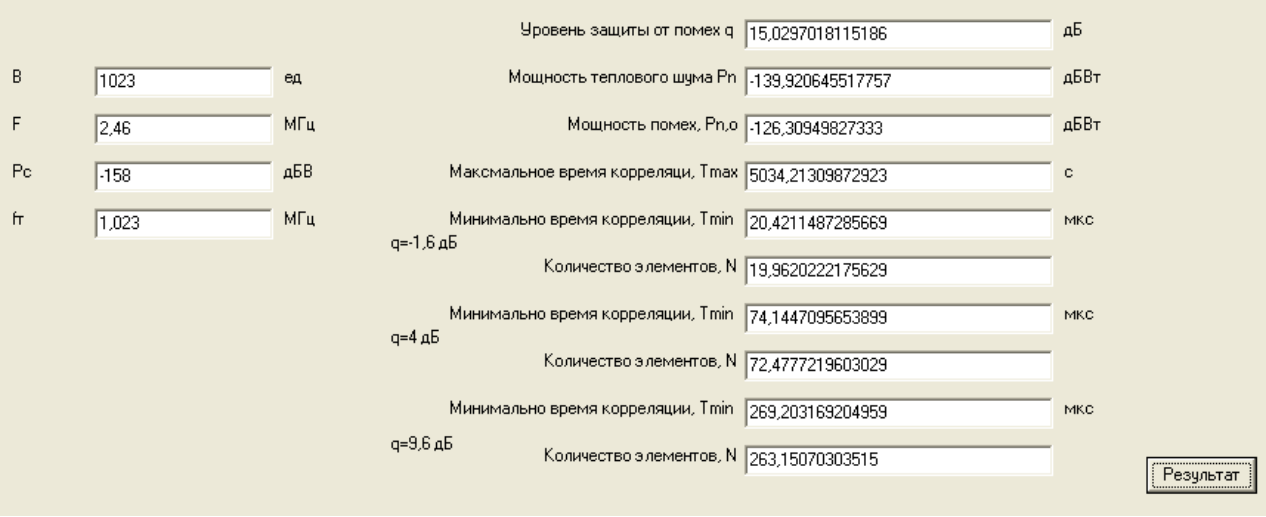


Рисунок 3.3 – Расчет параметров помехоустойчивости сигнала на Delphi 7

Сигнала L1 ГЛОНАСС. Для него N=10230; $F=1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Гц и $P=10^{-15{,}8}=1{,}6 \cdot 10^{-16}$ Вт, соответственно

$$q_{L1ГЛОНАСС}{}^{2} = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 511}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{6}} = 36 = 16 \text{ дБ};$$

$$P_{n\ L1ГЛОНАСС} = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{6} = 4{,}554 \cdot 10^{-15} \text{ Вт} = -143 \text{ дБВт};$$

$$P_{n,0\ L1ГЛОНАСС} = -143+16-1{,}6 = -128{,}6 \text{ дБВт}.$$

Сигнал L2 ГЛОНАСС. N=10230; $F=0{,}9 \cdot 10^{-6}$ Гц и $P=10^{-16{,}4}= 0{,}4 \cdot 10^{-16}$ Вт.

$$q_{L2ГЛОНАСС}{}^{2} = \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-16} \cdot 511}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 0{,}9 \cdot 10^{6}} = 11 = 10 \text{ дБ};$$

$$P_{n\ L2ГЛОНАСС} = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{6} = 4{,}554 \cdot 10^{-15} \text{ Вт} = -144 \text{ дБВт},$$

$$P_{n,0\ L2ГЛОНАСС} = -144+10-1{,}6 = -135{,}6 \text{ дБВт}.$$

Результаты вычислений представлены в таблице 3.5. В СРНС для формирования сигналов используются сегменты псевдослучайных последовательностей.

Таблица 3.5 - Уровень защиты от помех сигналов и значение уровня мощности помех, соответствующее достижению предела Шеннона

| Сигнал | Параметры сигналов | | | |
|---|---|---|---|---|
| | тактовая частота $f_т$, МГц | база сигнала B | помехоустойчивость $q^2$, дБ | уровень мощности шума $P_{n,0}$, дБВт |
| L1-GPS | 1,023 | 1023 | 15 | -127 |
| L2- GPS | 1,023 | 10230 | 17 | -124 |
| L1-ГЛОНАСС | 0,511 | 511 | 16 | -129 |
| L2-ГЛОНАСС | 0,511 | 511 | 10 | -136 |

Значения подсчитаны для одного полного периода каждого из сигналов. Однако это означает, что навигационные данные будут обновляться в приёмниках не чаще одного раза за период сигнала. Поэтому вычисленные значения говорят, скорее, о потенциальном уровне защиты от помех, а не о его реальном значении. Для определения реальных значений воспользуемся данными, согласно которым обычно время накопления сигнала составляет от 1 до 4 мс, а максимальное время накопления сигнала соответствует длительности бита передачи навигационных данных и составляет 20 мс. [16]

Найдем результаты вычислений уровня защиты от помех при времени корреляции 4 мс.

Для сигнала L1 GPS:

$$B = 4 \cdot 1023 = 4092;$$

$$q_{L2GPS}{}^2 = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 4092}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}46 \cdot 10^6} = 129 = 21 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139+21-1{,}6 = -119{,}6 \text{ дБВт}.$$

Для сигнала L2 GPS:

$$B = \frac{4 \cdot 10920}{10} = 4092;$$

$$q_{L2GPS}{}^2 = \frac{2 \cdot 0{,}32 \cdot 10^{-16} \cdot 4092}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}6 \cdot 10^6} = 24 = 14 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139+14-1{,}6 = -126{,}6 \text{ дБВт}.$$

Для сигнала L1 ГЛОНАСС:

$$B = 4 \cdot 511 = 2044;$$

$$q_{L1ГЛОНАСС}{}^{2} = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 2044}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{6}} = 142 = 22 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L1ГЛОНАСС} = -143+22-1{,}6=-122{,}6 \text{ дБВт.}$$

Для сигнала L2 ГЛОНАСС:

$$B = 4 \cdot 511 = 2044;$$

$$q_{L2ГЛОНАСС}{}^{2} = \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-16} \cdot 2044}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 0{,}9 \cdot 10^{6}} = 44 = 16 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2ГЛОНАСС} = -144+16-1{,}6=-129{,}6 \text{ дБВт.}$$

Найдем результаты вычислений уровня защиты от помех при времени корреляции 20 мс.

Для сигнала L1 GPS:

$$B = 20 \cdot 1023 = 20460;$$

$$q_{L2GPS}{}^{2} = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 20460}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}46 \cdot 10^{6}} = 643 = 28 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139+28-1{,}6=-112{,}6 \text{ дБВт.}$$

Для сигнала L2 GPS:

$$B = \frac{20 \cdot 10920}{10} = 20460;$$

$$q_{L2GPS}{}^{2} = \frac{2 \cdot 0{,}32 \cdot 10^{-16} \cdot 20460}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}6 \cdot 10^{6}} = 120 = 21 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139+21-1{,}6=-119{,}6 \text{ дБВт.}$$

Для сигнала L1 ГЛОНАСС:

$$B = 20 \cdot 511 = 10220;$$

$$q_{L1ГЛОНАСС}{}^{2} = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 10220}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^{6}} = 711 = 29 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L1ГЛОНАСС} = -143+29-1{,}6 = -115{,}6 \text{ дБВт}.$$

Для сигнала L2 ГЛОНАСС:

$$\text{B} = 20 \cdot 511 = 10220;$$

$$q_{L2ГЛОНАСС}{}^{2} = \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-16} \cdot 10220}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 0{,}9 \cdot 10^{6}} = 218 = 23 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2ГЛОНАСС} = -144+23-1{,}6 = -122{,}6 \text{ дБВт}.$$

Полученные данные представлены в таблице 3.6. Видно, что при повышении времени корреляции помехоустойчивость сигнала увеличивается.

Таблица 3.6 - Уровень защиты от помех сигналов и значение уровня мощности помех, соответствующее достижению предела Шеннона при различном времени корреляции

| Сигнал | Параметры сигналов | | | |
|---|---|---|---|---|
| | время накопления, мс | база сигнала B | помехоустойчивость $q^2$, дБ | уровень мощности шума $P_{n,0}$, дБВт |
| L1-GPS | 4 | 4092 | 21 | -120 |
| | 20 | 20460 | 28 | -113 |
| L2- GPS | 4 | 4092 | 14 | -127 |
| | 20 | 20460 | 21 | -120 |
| L1-ГЛОНАСС | 4 | 2044 | 22 | -123 |
| | 20 | 10220 | 29 | -116 |
| L2-ГЛОНАСС | 4 | 2044 | 16 | -130 |
| | 20 | 10220 | 23 | 123 |

Для сигналов можно математически определить максимально возможное время корреляции из выражения:

$$\text{T}_{\max} = \tau \cdot N = \frac{N}{f} \qquad (3.11)$$

где $N$ - количество элементов сигнала, участвующих в процессе корреляции.

Используем формулу

$$N\max < \frac{0{,}26}{\delta f}, \qquad (3.12)$$

где $\delta f$ - суммарная нестабильность генераторов АП и НИСЗ.

Нестабильность генератора НИСЗ определяется стабильностью цезиевого генератора и равна $(1...5)\cdot 10^{-13}$. Стабильность современных термостабилизированных кварцевых генераторов для НАП достигать значения $5\cdot 10^{-11}$. Таким образом, основную нестабильность вносит генератор ГНСС-приемника. Подставляя в формулу (3.10) указанное значение нестабильности генератора, получим максимальное количество элементов сигнала $N_{max}$, которые могут участвовать в процессе корреляции:

$$\mathrm{Nmax} = \frac{0.26}{5\cdot 10^{-13} + 5\cdot 10^{-11}} = 5{,}15\cdot 10^{9}.$$

Соответственно, определим по формуле 9 максимальное время корреляции кодов с тактовой частотой 1,023 (GPS) и 0,511 МГц (ГЛОНАСС):

$$\mathrm{T}_{\mathrm{maxGPS}} = \frac{5{,}15\cdot 10^{9}}{1{,}023\cdot 10^{6}} = 5034 \text{ с};$$

$$\mathrm{T}_{\mathrm{max\ ГЛОНАСС}} = \frac{5{,}15\cdot 10^{9}}{0{,}511\cdot 10^{6}} = 10078\,\text{с}.$$

Максимальное время корреляции кодов уменьшается с ростом тактовой частоты.

Определим также для каждого сигнала минимальное время корреляции. Его величина определяется заданным порогом ложной тревоги. Например, при вероятности ложной тревоги $10^{-2}$ и $10^{-5}$ необходимо иметь отношение мощностей сигнал-шум 4 дБ и 9,6 дБ соответственно [17].

Из формулы (3.5) следует:

$$B = \frac{q^2 \cdot P_n}{2\cdot P_S} \qquad (3.13)$$

Учитывая, что $B = \dfrac{T}{\tau_0}$, находим

$$T = \frac{q^2 \cdot P_n \cdot \tau_0}{2 \cdot P_S} = \frac{q^2 \cdot P_n}{2 \cdot P_S \cdot f_0} \qquad (3.14)$$

Вычислим согласно этому выражению найдем минимальное время корреляции сигналов СРНС (без учета внутрисистемных помех). При этом исходя из формулы (3.11) значения количества элементов последовательности определяется по формуле:

$$N_{\min} = T_{\min} \cdot f_0 \qquad (3.15)$$

Найдем значения при $q^2$ = -1,6 дБ (предел Шеннона), 4 дБ (вероятность ложной тревоги $10^{-2}$) и 9,6 дБ (вероятность ложной тревоги $10^{-5}$).

Для сигнала L1 GPS:

$$T_{\min 1} = \frac{10^{\frac{-1,6}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 22 \cdot 10^{-6} = 22 \text{ мкс};$$

$$N_{\min 1} = 22 \cdot 10^{-6} \cdot 1.023 \cdot 10^6 = 22;$$

$$T_{\min 2} = \frac{10^{\frac{4}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 78 \cdot 10^{-6} = 78 \text{ мкс};$$

$$N_{\min 2} = 78 \cdot 1.023 = 79;$$

$$T_{\min 3} = \frac{10^{\frac{9,6}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 284 \cdot 10^{-6} = 284 \text{ мкс};$$

$$N_{\min 3} = 284 \cdot 1.023 = 290.$$

Для сигнала L2 GPS:

$$T_{\min 1} = \frac{10^{\frac{-1,6}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-165}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 115 \cdot 10^{-6} = 115 \text{ мкс};$$

$$N_{\min 1} = 115 \cdot 1.023 = 117;$$

$$T_{\min 2} = \frac{10^{\frac{4}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-165}{10}} \cdot 1{,}023 \cdot 10^{6}} = 418 \cdot 10^{-6} = 418\,\text{мкс};$$

$$N_{\min 2} = 418 \cdot 1.023 = 428;$$

$$T_{\min 3} = \frac{10^{\frac{9{,}6}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-165}{10}} \cdot 1{,}023 \cdot 10^{6}} = 1518 \cdot 10^{-6} = 1518\,\text{мкс};$$

$$N_{\min 3} = 1518 \cdot 1.023 = 1553.$$

Для сигнала L1 ГЛОНАСС:

$$T_{\min 1} = \frac{10^{\frac{-1{,}6}{10}} \cdot 10^{\frac{-143}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 20 \cdot 10^{-6} = 20\,\text{мкс};$$

$$N_{\min 1} = 20 \cdot 0{,}511 = 10;$$

$$T_{\min 2} = \frac{10^{\frac{4}{10}} \cdot 10^{\frac{-143}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 71 \cdot 10^{-6} = 71\,\text{мкс};$$

$$N_{\min 2} = 78 \cdot 0{,}511 = 36;$$

$$T_{\min 3} = \frac{10^{\frac{9{,}6}{10}} \cdot 10^{\frac{-143}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 256 \cdot 10^{-6} = 256\,\text{мкс};$$

$$N_{\min 3} = 256 \cdot 0{,}511 = 131.$$

Для сигнала L2 ГЛОНАСС:

$$T_{\min 1} = \frac{10^{\frac{-1{,}6}{10}} \cdot 10^{\frac{-144}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-164}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 63 \cdot 10^{-6} = 63\,\text{мкс};$$

$$N_{\min 1} = 63 \cdot 0{,}511 = 32;$$

$$T_{\min 2} = \frac{10^{\frac{4}{10}} \cdot 10^{\frac{-144}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-164}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 230 \cdot 10^{-6} = 230\,\text{мкс};$$

$$N_{\min 2} = 230 \cdot 0{,}511 = 118;$$

$$T_{\min 3} = \frac{10^{\frac{9{,}6}{10}} \cdot 10^{\frac{-144}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-164}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 835 \cdot 10^{-6} = 835\,\text{мкс};$$

$$N_{\min 3} = 835 \cdot 0{,}511 = 427.$$

Результаты вычислений приведены в таблице 3.7.

Т а б л и ц а 3.7 - Минимальное время корреляции сигналов ГНСС

| Сигнал | $q_1^2$ = 1,6 дБ | | $q_2^2$ = 4 дБ | | $q_3^2$ = 9,6 дБ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $T_{min1}$, мкс | $N_{min1}$ | $T_{min2}$, мкс | $N_{min2}$ | $T_{min3}$, мкс | $N_{min3}$ |
| L1-GPS | 22 | 22 | 78 | 79 | 284 | 290 |
| L2- GPS | 115 | 117 | 418 | 428 | 1518 | 1553 |
| L1-ГЛОНАСС | 20 | 10 | 71 | 36 | 256 | 131 |
| L2-ГЛОНАСС | 63 | 32 | 230 | 118 | 835 | 427 |

Сравнивая данные таблицы 3.5, 3.6 можно заметить, что сигналы системы ГЛОНАСС и GPS обладают почти одинаковой помехоустойчивостью. Поэтому в сложной помеховой обстановке для определения собственных координат пользователям целесообразно использовать мультисистемную аппаратуру потребителей, которая будет принимать сигналы от различных НКА. Из сравнения данных таблицы 3.7 следует, что в случае отсутствия помех минимальное время поиска сигналов достигается при использовании сигналов L1-ГЛОНАСС и L1-GPS.

В заключение отметим, что принятые в работе методы расчета и полученные данные могут быть использованы при реализации алгоритмов повышения уровня защиты от помех в ГНСС-приёмниках.

## 4 Безопасность жизнедеятельности

### 4.1 Создание параметров микроклимата на предприятии связи

Микроклимат производственных помещений - метеорологические условия внутренней среды этих помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Отклонения отдельных параметров от рекомендованных значений снижают работоспособность, ухудшают самочувствие работника и могут привести к профессиональным заболеваниям.

Одним из параметров микроклимата является температура воздуха. Низкая температура вызывает охлаждение организма и может способствовать возникновению простудных заболеваний. При высокой температуре возникает перегрев организма, что ведет к снижению работоспособности. Влажность и скорость движения воздуха играют также заметную роль в создании микроклимата в рабочей зоне. Повышенная влажность воздуха затрудняет испарение влаги с поверхности кожи и легких, что ведет к нарушению терморегуляции организма и, как следствие, к ухудшению состояния человека. При пониженной относительной влажности (менее 20%) у человека появляется ощущение сухости слизистых оболочек верхних дыхательных путей. При температуре менее 36 ˚С скорость движения воздуха оказывает на человека освежающее действие, а при температуре более высокой температуре - неблагоприятное. [19]

На создание оптимального микроклимата производственного помещения оказывает влияние технологический процесс. Для проектируемого предприятия по сборке НАП будет предусмотрен и создан оптимальный производственный микроклимат нормы которого согласуются с органами государственного санитарного надзора. На предприятии основным является помещение, где проходит процесс сборки и тестирования НАП, здесь имеется вычислительная техника и специализированное оборудование.

Таблица 4.1 - Оптимальные параметры микроклимата

| Период работы | Параметры микроклимата | | |
|---|---|---|---|
| | температура воздуха,˚С | относительная влажность, %, | скорость движения воздуха, м/с, не более |
| Холодный | 21 – 23 | 30 – 60 | 0,1 |
| Теплый | 22 - 24 | 40 – 60 | 0,2 |

Инженера выполняют в основном работу операторского типа. Работа относится к категории Iб - легкая физическая работа. Энергозатраты составляют 140—174 Вт. Оптимальные параметры микроклимата для этой

категории работ приведены в таблице. Они достигаются в основном за счет применения систем кондиционирования воздуха. Далее рассчитаем вентиляцию помещения.

## 4.2 Расчет системы кондиционирования и вентиляции

Системы кондиционирования предназначены для обеспечения параметров воздуха (температуры, влажности и подвижности), в максимальной степени отвечающих требованиям определенного производственного или технологического процесса, а также обеспечивающих работоспособность радиоэлектронного оборудования, высокочастотных приборов и т. п. Определенное состояние воздуха является необходимым, часто решающим условием для осуществления новейших технологических процессов.

В данной части дипломного проекты рассчитаем систему кондиционирования помещения площадью 20 м$^2$, высотой потолков 2,5 м находящегося в г.Алматы. В расчетах учтем, что в помещении находятся 3 инженера, 2 компьютера и аппаратура имитации сигналов СНС, которые выделяют тепло. Кондиционирование воздуха необходимо для поддержания специальных условий хранения аппаратуры, создания чистой, стерильной воздушной среды и соблюдения температурного режима, необходимого для организации труда инженера.

Таблица 4.2 - Исходные данные

| Параметры помещения (Д х Ш х В), м | | 5 х 4 х 2.5 |
|---|---|---|
| Лампы | | люминесцентные |
| Мощность оборудования, Вт | имитатор сигналов,1 шт | 150 |
| | компьютер, 2 шт | 300 |
| Число сотрудников, из них | Мужчин | 2 |
| | Женщин | 1 |
| Окна | Количество | 4 (2/2) |
| | площадь одного окна, м$^2$ | 3,2 |
| | Расположение | ЮВ/ЮЗ |

### 4.2.1 Расчет тепловых нагрузок в помещении

В помещениях различного назначения действуют в основном тепловые нагрузки, возникающие снаружи помещения (наружные); а также тепловые нагрузки, возникающие внутри зданий (внутренние). [20]

*Рассчитаем наружные тепловые нагрузки.*

Данные нагрузки представлены следующими составляющими:

– теплопоступления и теплопотери в результате разности температур снаружи и внутри здания через стены, потолки, полы, окна и двери;

– разность температур снаружи здания и внутри него летом является положительной, в результате чего имеет место приток тепла снаружи во внутрь помещения; и наоборот – зимой эта разность отрицательна и направление потока тепла меняется;

– теплопоступления от солнечного излучения через застекленные площади; данная нагрузка проявляется в форме ощущаемого тепла;

– теплопоступления от инфильтрации.

В зависимости от времени года и времени суток наружные тепловые нагрузки могут быть положительными.

Теплопоступления и теплопотери в результате разности температур для летнего периода: $Q_{огр.Л} = 0$ Вт; для зимнего периода определяются по формуле (4.1):

$$Q_{огр.З} = V_{пом} \cdot X_o \cdot (t_{Врасч} - t_{Нрасч}) \qquad (4.1)$$

где $V_{пом}$ – объем помещения, м$^3$;

$X_o$ – удельная тепловая характеристика, Вт/м$^3$ $^0$С;

$t_{Нрасч}$ – наружная температура для холодного периода;

$t_{Врасч}$ – внутренняя температура зимой.

Найдем теплопотери для зимнего периода:

$$V_{пом} = 5 \cdot 4 \cdot 2.5 = 50 \text{ м}^3;$$

$$X_o = 0.42 \quad Вт / м^3\,^0C \text{ Вт/ (м}^3 \cdot {}^0\text{С)};$$

$$t_{Нрасч} = -25\ ^0\text{С};$$

$$t_{Врасч} = 20\ ^0\text{С};$$

$$Q_{огр.З} = 50 \cdot 0.42 \cdot (20 - (-26)) = 966 \text{ Вт}.$$

Избыточная теплота солнечного излучения в зависимости от типа стекла почти до 90% поглощается средой помещения, остальная часть отражается. Максимальная тепловая нагрузка достигается при максимальном уровне излучения, которое имеет прямую и рассеянную составляющие. Интенсивность излучения зависит от ширины местности, времени года и времени суток. Теплопоступление от солнечного излучения через остекление определяется по формуле (4.2):

$$Q_p = (q^I F_0^I + q^{II} F_0^{II}) \cdot \beta_{с.з.} \qquad (4.2)$$

где $q^I$, $q^{II}$ – тепловые потоки от прямой и рассеянной солнечной радиации, Вт/м$^2$;

$F^I_o$, $F^{II}_o$ – площади светового проема, облучаемые и необлучаемые прямой солнечной радиацией, м$^3$;

$\beta_{с.з.}$ – коэффициент теплопропускания.

Для штор и маркиза из светлой ткани.$\beta_{с.з.}$ = 0.15.

При отсутствии наружных затеняющих козырьков, ребер и т. д. для периода облучения остекления солнцем, когда его лучи проникают через окно в помещение $F^{I}_{о}=F_{о}$; $F^{II}_{о}=0$, (4.3), теплопоступление от солнечного излучения $Q_p$, Вт, определяется по следующей формуле:

$$Q_p = q^I F_0 \cdot \beta_{с.з.} = (q_{вп} + q_{вр}) \cdot K_1^c \cdot K_2 \cdot \beta_{с.з.} \cdot n \cdot S_o \qquad (4.3)$$

где $q_{вп}$ и $q_{вр}$ – тепловые потоки от прямой и рассеянной радиации, Вт/м$^2$.

$F_о$ – площадь светового проема;

$K_1$ – коэффициент затемнения остекления переплетами;

$K_2$ – коэффициент загрязнения остекления.

Для широты в 44$^0$СШ (г. Алматы) после в 12-13 ч. при расположении ЮВ-ЮЗ $q_{вп}$ = 214 Вт/м$^2$, $q_{вр}$ = 79 Вт/м$^2$.

Найдем площадь светового проема:

$$F_о = nS_о \qquad (4.4)$$

где n – число окон;

$S_о$ – площадь 1 окна.

$$F_о = 2 \cdot 3.2 = 6.4 \text{ м}^2 .$$

Так как остекление одинарное в деревянных переплетах, то $K^C_1$= 0.46.

Загрязнение окон является незначительным, поэтому $K_2$ = 0.95.

Теплопоступление от солнечного излучения через остекление для выбранного помещения

$$Q_p = (214 + 79) \cdot 0.46 \cdot 0.95 \cdot 0.15 \cdot 6.4 = 123 \text{ Вт.}$$

*Рассчитаем внутренние тепловые нагрузки.*

Внутренние нагрузки в жилых, офисных или относящихся к сфере обслуживания помещениях слагаются в основном из тепла:

- выделяемого людьми;
- выделяемого лампами и осветительными, электробытовыми приборами;
- выделяемого компьютерами, печатающими устройствами фотокопировальными машинами пр.;

В производственных и технологических помещениях различного назначения дополнительными источниками тепловыделений могут быть: нагретое производственное оборудование, горячие материалы, в том числе жидкости и различного рода полуфабрикаты, продукты сгорания и химических реакций.

Теплопоступления от людей зависит от интенсивности выполняемой работы и параметров окружающего воздуха. Тепло, выделяемое человеком, складывается из ощутимого (явного), то есть передаваемого в воздух помещения путем конвекции и лучеиспусканий, и скрытого тепла, затрачиваемого на испарение влаги с поверхности кожи и из легких.

Для летнего периода при 26 $^0$С один мужчина выделяет явного тепла 63 Вт, а общего – 132 Вт (положение стоя либо легкое движение). Женщина выделяет 85% от нормы тепловыделений взрослого мужчины (явного тепла 53.55 Вт, а общего – 112.2 Вт). Тогда выделение явного тепла в помещении в летний период составит:

$$Q^{я}_{л.Л} = 63 \cdot 2 + 63 \cdot 1 \cdot 0{,}85 = 179{,}55 \text{ Вт.}$$

А выделение общего тепла в теплый период:

$$Q^{о}_{л.Л} = 132 \cdot 2 + 132 \cdot 1 \cdot 0{,}85 = 376{,}2 \text{ Вт.}$$

Для зимнего периода при 20 $^0$С один мужчина выделяет явного тепла 63 Вт, а общего – 133 Вт при положении стоя либо в легком движении. Женщина выделяет 85% от нормы тепловыделений мужчины. Тогда выделение явного тепла в помещении в зимний период составит:

$$Q^{я}_{л.З} = 92 \cdot 2 + 92 \cdot 1 \cdot 0.85 = 262{,}2 \text{ Вт.}$$

А выделение общего тепла в зимний период:

$$Q^{о}_{л.З} = 133 \cdot 2 + 133 \cdot 1 \cdot 0.85 = 379{,}05 \text{ Вт.}$$

Теплопоступление от осветительных приборов, оргтехники и оборудования рассчитывается следующим образом. Теплопоступление от ламп $Q_{осв}$, Вт, определяется по формуле (4.5):

$$Q_{осв} = \eta \cdot N_{осв} \cdot F_{пол} \qquad (4.5)$$

где η – коэффициент перехода электрической энергии в тепловую (для люминесцентных ламп η=0,5);

$N_{осв}$ – установленная мощность ламп (N=40 Вт/м$^2$);

Fпол – площадь пола.

$$F_{пол} = 5 \cdot 4 = 20 \text{ м}^2.$$

Тогда теплопоступление от осветительных приборов:

$$Q_{осв} = 0{,}5 \cdot 50 \cdot 20 = 500 \text{ Вт.}$$

Тепло, выделяемое производственным оборудованием, определяется по формуле:

$$Q_{об} = N_{уст} \cdot K \tag{4.6}$$

где К – количество установок,

$N_{уст}$ - мощность одной установки.

Имеется имитатор сигналов СРНС в количестве 1 штука. $N_{уст}$ = 150 Вт =0,15 кВт.

$$Q_{об} = 150 \cdot 1 = 0{,}15 \text{ кВт.}$$

Теплопритоки, возникающие за счет находящейся оргтехники, в среднем берется 0,3 кВт на 1 компьютер в полной комплектации. Установлено 2 компьютера.

$$Q_{орг} = 0{,}3 \cdot 2 = 0{,}6 \text{ кВт.}$$

### 4.2.2 Расчет теплового баланса помещения

На основании выполненных расчетов составим баланс теплопоступлений в помещении.

В теплый период:

$$Q_{изб.Л} = Q_р + Q^{я}_{л.Л} + Q_{осв} + Q_{об} + Q_{орг} - Q_{огр.Л} \tag{4.7}$$

$$Q_{изб.Л} = 123 + 179{,}55 + 500 + 150 + 600 - 0 = 1552{,}55 \text{ Вт.}$$

В зимний период:

$$Q_{изб.З} = Q_р + Q^{я}_{л.З} + Q_{осв} + Q_{об} + Q_{орг} - Q_{огр.З} \tag{4.8}$$

$$Q_{изб.З} = 123 + 262{,}2 + 500 + 150 + 600 - 966 = 669{,}2 \text{ Вт.}$$

Так как тепловой баланс для лета больше зимнего, то рассчитаем теплонапряженность воздуха $Q_н$, кал/м$^3$ по формуле (4.8):

$$Q_{\text{н}} = \frac{Q_{\text{изб.Л}} \cdot 860}{\text{V}_{\text{пом}}} \tag{4.8}$$

$$Q_{\text{н}} = \frac{1552{,}55 \cdot 860}{50} = 26703 \text{ кал/м}^3 \approx 27 \text{ ккал/м}^3.$$

При $Q_{\text{н}}$>20кал/м$^3$, $\Delta t = 8\,°\text{C}$; при $Q_{\text{н}}$<20кал/м$^3$, $\Delta t$=6 °С, отсюда $\overline{\Delta t = 8\,°\text{C}}$

Количество воздуха необходимого для подачи в помещении $L$, м$^3$/час, исходя из теплового баланса, определяется по формуле:

$$L = \frac{Q_{изб.Л} \cdot 860}{c \cdot \Delta t \cdot \gamma} \tag{4.9}$$

$$L = \frac{1.552 \cdot 860}{0.24 \cdot 8 \cdot 1.206} = 577 \text{ м}^3\text{/час}$$

Определим кратность воздухообмена $n$, час$^{-1}$:

$$n = \frac{L}{V_{\text{пом}}} \tag{4.10}$$

$$n = \frac{577}{50} = 11{,}54 \text{ , час}^{-1}.$$

### 4.2.3 Выбор кондиционера. Схема расположения

Теплопоступления для рассматриваемого помещения равно 1553 Вт. Выберем кондиционер холодопроизводительность которого наиболее близка к полученным данным. Установим кондиционер сплит-системы настенного типа серии CP фирмы Delonghi (Италия). Его технические характеристики приведены в таблице 4.3.

Сплит-система состоит из внешнего блока (компрессорно-конденсаторного агрегата) и внутреннего блока (испарительного). Во внешнем блоке находятся компрессор, конденсатор и вентилятор. Его можно установить на стене здания или на крыше, то есть в таком месте, где горячий конденсатор будет продуваться атмосферным воздухом более низкой температуры. Внутренний блок устанавливается непосредственно в помещении и предназначен для охлаждения или нагревания воздуха, его фильтрации и создания необходимой подвижности воздуха в помещении. Внутренние блоки поддерживают заданную температуру, обеспечивают равномерное распределение воздуха в помещении и работают практически бесшумно (уровень шума равен 35-38 дБ).

Преимуществом сплит-системы является его простота конструкции, что позволяет получить достаточно низкую стоимость кондиционера при быстрой и легкой его установке. Недостатком такой системы является невозможность подачи в помещение свежего воздуха.

Т а б л и ц а 4.3 - Основные технические характеристики кондиционера фирмы Delonghi модель CP 40.

| Параметры | | Ед.изм | величина |
|---|---|---|---|
| Электропитание | | В/Ф/Гц | 230/1/50 |
| Производительность по холоду | | Вт | 1891 |
| Потребляемая электрическая мощность | | Вт | 650 |
| Потребляемый ток | | А | 2,8 |
| Удаление влаги (мах) | | л/4 | 1 |
| Производительность по теплу | | Вт | 2052 |
| Внутренний блок | | | |
| Расход воздуха (мах) | | $м^3$/ч | 320 |
| Размеры | длина | мм | 750 |
| | высота | мм | 270 |
| | глубина | мм | 175 |
| Внешний блок | | | |
| Расход воздуха | | | 950 |
| Размеры | длина | мм | 660 |
| | высота | мм | 500 |
| | Глубина | мм | 230 |

Управление кондиционером осуществляется с помощью дистанционного пульта, который позволяет задать режим работ и требуемую температуру, установить таймер и изменить направление воздушного потока в результате регулирования направляющих шторок.

Площадь проектируемого помещения - 20 метров. Схема расположения кондиционера представлена на рисунке 4.1.

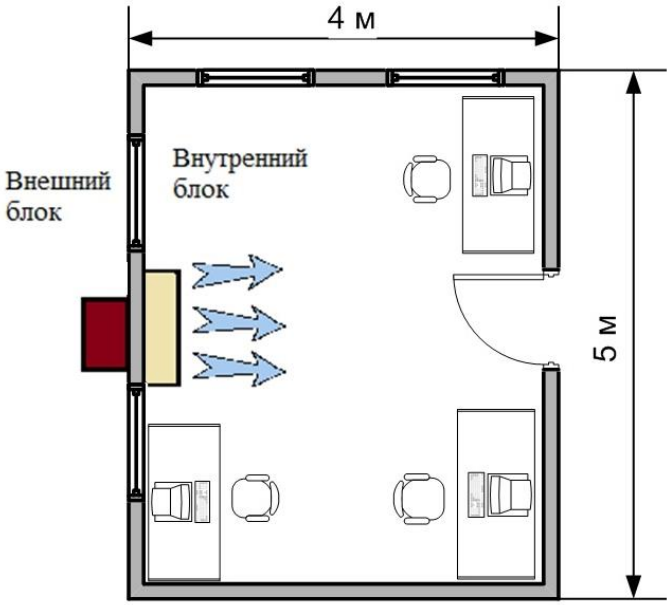


Рисунок 4.1 – Схема расположения кондиционера в производственном помещении

Обеспечение воздушного комфорта в производственном помещении зависит от систем аспирации, вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха. Задача данного расчета заключалась в выборе системы, которая поддержит такие параметров воздушной среды, при которых каждый человек благодаря своей индивидуальной системе автоматической терморегуляции организма будет чувствовать себя комфортно.

## 4.3 Охрана окружающей среды

Под охраной окружающей среды понимают совокупность технических и организационных мероприятий, позволяющих свести к минимуму или в идеальном случае совершенно исключить выбросы в биосферу материальных и энергетических загрязнений.

Требования охраны окружающей среды обязательны для всех, граждан, для должностных лиц всех рангов, а также для коллективов предприятий, учреждений и организаций. Необходимость охраны природных ресурсов отражена Законе РК «Об охране окружающей среды».

Основными принципами охраны окружающей среды являются:

- приоритет обеспечения благоприятных экологических условий для жизни, труда и отдыха населения;
- учет законов природы и возможностей самовосстановления и самоочищения ее ресурсов;
- недопущение необратимых последствий для охраны природной среды и здоровья человека;
- право населения и общественных организаций на своевременную и достоверную информацию о состоянии окружающей среды и

отрицательном воздействии на нее и на здоровье людей различных производственных объектов;

- неотвратимость ответственности за нарушение требований природоохранительного законодательства.

Предприятия и сооружения связи, в отличии от химической, ядерной промышленности и других подобных отраслей, по отрицательному воздействию на атмосферу и гидросферу условно можно отнести к сравнительно "чистым".

### 4.3.1 Выбор и расчет средств газоулавливания

Одним из этапов изготовления приемников является травление печатных плат для последующей сборки электронной части оборудования. При изготовлении печатных плат выделяется большое количество вредных веществ. Травление происходит в растворе соляной кислоты. температура раствора составляет 60-70 $^{o}$C. При этом выделяются хлорид меди $CuCl_2$, водород $H_2$. Водород при смешивании с атмосферным кислородом образует взрывоопасную смесь. Хлор относится ко второму классу опасности (высокоопасные вещества), его нормированная предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны составляет 1 мг/м$^3$. Он может вызвать тяжелые отравления. Для защиты от воздействия вредных веществ необходимо применение не только общей, но и местной вентиляции. [21]

Для эффективного отвода загрязненного воздуха от участка по тавлению печатных плат применим двубортовые отсосы, расположенные около каждой из трех ванн для травления печатных плат. Ванны имеют одинаковые размеры 400 на 200 мм. Схема двубортового отсоса приведена на рисунке 4.2. Количество воздуха L (м$^3$/час), удаляемого одним двубортовым отсосом, определяется по формуле:

$$L = 1400 \cdot B \cdot l \cdot k_{\cdot 1} \cdot k_2 \cdot k_{\Delta T} \cdot \sqrt[3]{\frac{0{,}53 \cdot B \cdot l}{B + l} + H} \qquad (4.11)$$

где B – расчетная ширина ванны, м;

l – длина ванны, м;

H – расстояние от зеркала электролита до оси щели, м (по конструктивным соображениям принимаем 100 мм);

$k_1$ - коэффициент учета конструкции отсоса, 1 для двубортового отсоса;

$0k_2$ – коэффициент учета токсичности выделяющихся вредных веществ (равный 1,25);

$k_{\Delta T}$ - коэффициент учета температуры электролита, при разности температур электролита и окружающего воздуха в 50$^{o}$ C равный 1,79.

Количество воздуха, удаляемого одним двубортовым отсосом:

$$L = 1400 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}2 \cdot 1{,}79 \cdot 1{,}25 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0{,}53 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}2}{0{,}4 + 0{,}2} + 0{,}1} = 104 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Общее количество удаляемого воздуха, м$^3$/ч,равно

$$L_{общ} = L \cdot n \qquad (4.12)$$

где n – количество двубортовых отсосов.

$$L_{общ} = 104 \cdot 6 = 624 \text{ м}^3/\text{ч}$$

В качестве вентилятора, удаляющего такой объем воздуха, необходимо применить приточно-вытяжную установку с производительность по воздуху не менее 630 м$^3$/ч.

Обязательно исполнение мер безопасности при работе с ваннами для травления печатных плат и травильными растворами. Запрещается работа с неисправной вентиляцией, так как в этом случае выделяемый хлор может вызвать отравление людей, а водород создает с атмосферным кислородом взрывоопасную смесь. Емкости с травильным раствором хранят в плотно закупоренных емкостях в местах, исключающих их возможное повреждение.

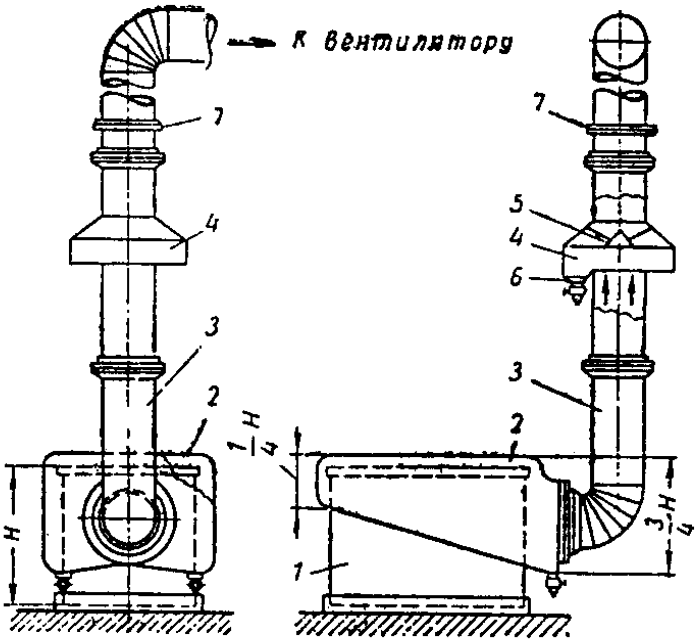


Рисунок 4.2 - Схема двустороннего бортового отсоса: 1 - корпус ванны; 2 - кожух бортового отсоса: 3 - воздуховод; 4 - сборник для улавливания раствора; 5 - конус в сборнике; 6 - удаление конденсата; 7 - заслонка.

### 4.3.2 Выбор метода очистки сточных вод

При производстве печатных плат выделяются вредные вещества: водород, хлорид меди, пары соляной кислоты. Также возможно выделение хлора. Соляная кислота и хлор относятся к классу высокоопасных химических веществ. Они оказывают раздражающее воздействие на слизистые оболочки, поверхность кожи и органы дыхания. Превышение предельно допустимой концентрации отрицательно воздействует на окружающую среду. Попадание этих веществ в водоемы изменяет уровень кислотности pH, что влечет за собой изменение биологического равновесия и может привести к гибели живых организмов. Поэтому прямой сброс сточных вод в канализацию недопустим. Для очистки их в предприятии по выпуску печатных плат от солей меди и соляной кислоты применим ионообменный метод очистки. Этот метод позволяет обеспечить высокую эффективность очистки, а также получать выделенные из сточной воды металлы в виде относительно чистых концентрированных солей.

Для ионообменной очистки сточных вод используют синтетические ионообменные смолы. На рисунке 4.3 представлена схема ионообменной очистки сточных вод ванн травления от соединений меди. Сточные воды поступают в приемный резервуар 1, откуда насосом 2 подаются в фильтр 3 для очистки от механических примесей. Очищенная от механических примесей сточная вода поступает в последовательно расположенные анионитовые фильтры 4 и 5, заполненные ионообменной смолой в OH-форме. Очищенная таким образом сточная вода вновь подается в ванну омеднения 12. Вспомогательный катионитовый фильтр 6 предназначен для дополнительной обработки сточной воды в пусковой период. В бак 7 поступают выделенные соединения меди. Бак 8 предназначен для сбора отработанного раствора. Емкости 13 – со щелочью и 14 – с кислотой предназначены для промывки фильтров. Промывной раствор нейтрализуется в баке 11, куда через дозатор 9 одновременно подается необходимое для нейтрализации количество извести из бака 10. Данная схема позволяет задерживать до 95% солей металлов, образующихся при работе участка по производству печатных плат. [21]

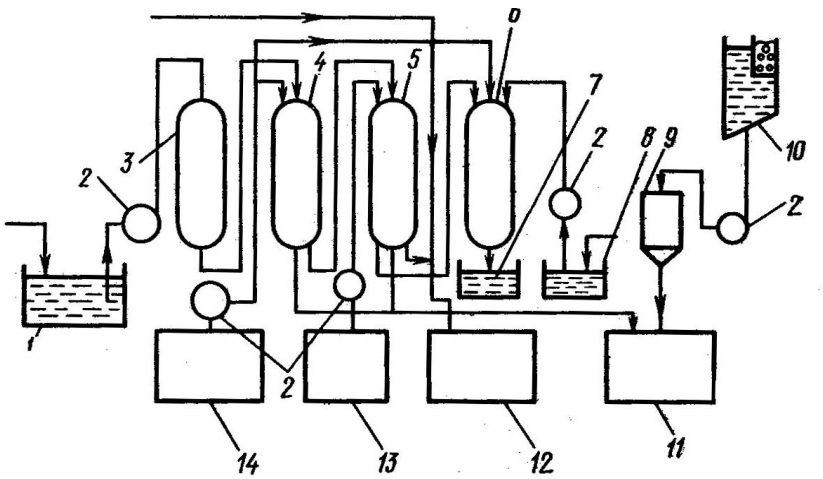


Рисунок 4.3 - Схема ионообменной очистки сточных вод: 1- резервуар; 3-6 – фильтры; 7, 8, 10, 11 – баки; 9 – дозатор; 13, 14 – емкости с щелочью и кислотой

# 5 Технико-экономическое обоснование выпускной работы

## 5.1 Резюме

Системы спутниковой навигации являются в настоящее время одной из наиболее динамично развивающихся отраслей мировой экономики. Радионавигационное обеспечение государств-участников СНГ осуществляется с помощью спутниковых (ГЛОНАСС и GPS) и наземных радионавигационных систем (РНС) при пока еще преобладающем использовании GPS и наземных РНС. Это обусловливается состоянием орбитальной группировки ГЛОНАСС, доступностью потребительской аппаратуры и уровнем освоения спутниковых технологий.

Целью дипломной работы является исследование возможностей точного определения координат одночастотного GPS-приемника, для чего были решены следующие задачи:

- определение факторов, влияющих на точность определения координат, учитывая при этом особенности навигации космических средств;
- обоснование выбора наиболее подходящего метода позиционирования;
- произвести решение навигационной задачи для конкретного космического аппарата.

## 5.2 Анализ и описание продукции

Потребности в системах позиционирования растут с каждым годом. Если в 2010 году мировой оборот навигационной аппаратуры (по результатам исследований компании ResearchAndMarkets) составил около 3 млрд долларов, то к 2014 году оборот рынка навигационных устройств увеличится до 6-8 млрд долларов.

Расширяются сферы использования СРНС. однако качество их работы в ряде случаев не отвечает потребностям, что объясняется блокированием сигналов спутников в условиях городской застройки и горной местности, понижением точности из-за многолучевости, а также недостаточной помехоустойчивостью. Все эти проблемы можно разрешить с разработкой и созданием мультисистемой навигационной аппаратуры. Рынок потребительской навигационной аппаратурой ГЛОНАСС выглядит пока значительно хуже GPS, хотя спрос на такие приемники достаточно большой. По сей день не достаточно доступны для потребителя навигационные устройства с использованием ГЛОНАСС.

В связи с достижениями в области интегральных микросхем, а также интенсивного развития радио и компьютерных технологий происходит прорыв в создании аппаратуры по определению координат объекта. Таким образом, предлагаемая навигационная аппаратура приемлема

массогабаритными и энергетическими характеристиками, что не затрудняет их использования во многих сферах деятельности.

Выгода в реализации НАП диктуется не только спросом со стороны частных лиц, но также и со стороны государственных предприятий. Так 25 августа 2008 г. Правительство РФ издало постановление Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS. В их число входят автомобильные и железнодорожные транспортные средства, используемые для перевозки пассажиров, специальных и опасных грузов, приборы и оборудование, используемые при проведении геодезических и кадастровых работ, специальная техника и другое. Такие шаги делаются в целях обеспечения национальной безопасности, проведения независимой политики в области спутниковой навигации, повышения эффективности управления движением транспорта, уровня безопасности перевозок пассажиров, специальных и опасных грузов, а также совершенствования геодезических и кадастровых работ.

В настоящее время космический сегмент ГЛОНАСС располагает достаточным для нормальной работы числом исправных, функционирующих спутников. Поэтому можно предположить, что навигационный рынок должен отреагировать на это, и должен появиться спрос на потребительскую аппаратуру с функцией ГЛОНАСС, так как совмещённые GPS-ГЛОНАСС устройства обладают большей надёжностью, имеют более высокую точность и возможность надёжного приёма сигнала во всех частях земного шара.

## 5.3 Маркетинговый план. Менеджмент

Центральной задачей маркетинговой службы является исследование рынка, поиск наиболее выгодных вариантов сбыта продукции. Результатом анализа рынка является получение прогноза в решении вопроса реализации НАП, распространение услуг и в конечном итоге получение прибыли и формирование хорошей репутации предприятия.

Ценовая политика при реализации продукции заключается в стремлении сделать ее более доступной для жителей Казахстана. Для привлечения клиентов наряду с продажей навигационных приемников, предприятие выпускает лицензионное программное обеспечение, карты города, создается удобная для потребителей система проверки и контроля исправности аппаратуры.

Для привлечения клиентов необходимо провести рекламную компанию как в печатных средствах, так и на страницах Интернета. Возможно предложение установки НАП в специальных службах, то есть на скорой помощи, автомобилях дорожной полиции, ЧС, пожарных. Поскольку предлагаемая продукция будет приемлемой по цене и качеству, то что она должна вызвать интерес со стороны различных групп населения.

Уделим внимание и тому, что на сегодняшний день обслуживание навигационной аппаратуры редко возможно при отсутствии специалистов. Поскольку немногие могут себе позволить иметь запасной комплект аппаратуры, отказ какой-либо одной части обычно означает отказ всего прибора. Поэтому подготовка и привлечение квалифицированных специалистов является одной из задач при создании предприятия по выпуску НАП. В этом случае необходима профессиональная подготовленность, предусмотрительность и изобретательность инженеров, которые будут заниматься не только сборкой и установкой оборудования, но и проверкой исправности оборудования и его ремонтом.

## 5.4 Финансовый план

### 5.4.1 Расчет инвестиционных затрат

Капитальные вложения включают в себя стоимость оборудования, монтажных работ и транспортных услуг. Определим величину капитальных затрат. Для этой цели составляются сметы на приобретение оборудования. Кроме того учитываются затраты на строительство здания, сооружения и т.д.

Общие капитальные вложения

$$К=Ко+Кп+Ктр \quad (5.1)$$

где Ко - капитальные вложения на приобретение оборудования;

Кп - капитальные вложения на покупку программного обеспечения;

Ктр - капитальные вложения на транспортные расходы (10 % от стоимости оборудования).

Таблица 5.1 - Расчет капитальных вложений на приобретение ПО

| Наименование ПО | Стоимость, тг |
|---|---|
| MS BOX Windows 7 Профессиональная 32/64bit | 52 000 |
| MS BOX Office Basic 2007 Russian | 16 000 |
| MapInfo Professional 10 Russian на 10 рабочих мест | 250000 |
| Итого, тг | 318000 |

Таблица 5.2 - Расчет капитальных вложений на покупку компьютерной техники и оборудования

| Наименование | Коли-чество | Цена за единицу тг | Стоимость, тг |
|---|---|---|---|
| Имитатор сигналов СРНС ГЛОНАСС/GPS/GALILEO | 1 | 165000 | 185000 |
| Intel Core i5 2,6 Ghz /3Gb/ 500Gb/1024MbGF220GT/DVDRW/K/M/P | 2 | 92500 | 185000 |
| Intel Core2Duo 2,6 Ghz /S775/ 2Gb/160Gb/512Mb/SB/LAN/K/M/P | 6 | 42000 | 252000 |
| 17" Benq G702AD TFT 5ms | 8 | 21000 | 168000 |
| Samsung SCX-4300 A4 Laser printer/scaner/copier | 2 | 21 200 | 42400 |
| HP DesignJet 70 Plotter A2 | 1 | 143 000 | 143000 |
| Итого, тг | 1047900 | | |

Капитальные вложения составят

$$К=1047900+318000+0,1\cdot1047900=1470690 \text{ тг.}$$

### 5.4.2 Эксплуатационные расходы

Таблица 5.3 - Расчёт заработной платы персонала предприятия

| Исполнитель | Наименование содержания работ | Коли-чество | Заработная плата за месяц, тг | Заработная плата за месяц всего, тг |
|---|---|---|---|---|
| Главный специалист | техническое регулирование | 1 | 95000 | 95000 |
| Инженер | сборка НАП, монтаж оборудования, устранение технических неисправностей | 2 | 80000 | 160000 |
| Служащий | сбор информации для электронной карты, выполнение технических заданий | 2 | 65000 | 130000 |

| Исполнитель | Наименование содержания работ | Наименование содержания работ | Заработная плата за месяц, тг | Заработная плата за месяц всего, тг |
|---|---|---|---|---|
| Программист | разработка ПО, карты местности для НАП | 3 | 90000 | 270000 |
| Менеджер | поиск клиентов, продажа приемника | 2 | 65000 | 130000 |
| Всего, тг | | 12 | | 785000 |

Основная заработная плата за год составит

$$ЗП_{осн} = 12 \cdot 785000 = 9420000 \text{ тг.} \quad (5.2)$$

В годовой фонд заработной платы включается дополнительная заработная плата в размере 15 % от основной заработной платы.

$$ЗП_{доп} = ЗП_{осн} \cdot 0{,}15 = 9420000 \cdot 0{,}15 = 1413000 \text{ тг.} \quad (5.3)$$

Заработная плата складывается из основной и дополнительной заработной платы

$$ЗП = ЗП_{осн} + ЗП_{доп}, \quad (5.4)$$

$$ЗП = 9420000 + 1413000 = 10833000 \text{ тг.}$$

Социальный налог в 2014 году составляет 11 % от общей заработной платы за вычетом пенсионных отчислений в размере 10 %:

$$О_с = (ЗП - 0{,}1 \cdot ЗП) \cdot 0{,}11 = ЗП \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}11 = 10833000 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}11 = 1072467 \text{ тг} \quad (5.5)$$

Таблица 5.4 - Расчёт расхода комплектующих изделий на один навигационный приемник

| Наименование материала | Цена за единицу, тг |
|---|---|
| Антенная система для приема сигналов | 1000 |
| Приемник сигналов | 4500 |
| Процессор | 3000 |
| Устройство управления и контроля | 1300 |
| Устройства сопряжения с другими средствами | 700 |
| Итого расходы на комплектующие, тг | 10000 |
| Транспортно-заготовительные расходы в размере 10% от комплектующих изделий | 1000 |
| Всего, тг | 11000 |

Количество выпускаемых приемников в год составляет 800, тогда расход комплектующих изделий на один год составит 8800000 тг.

Таблица 5.5 - Оплата услуг сторонних организаций

| Расходы на аренду | | | | Коммунальные услуги | Услуги связи |
|---|---|---|---|---|---|
| Помещение | площадь помещения, $м^2$ | стоимость в месяц за $м^2$, тг | сумма, тг | стоимость в месяц, тг | стоимость в месяц, тг |
| Сборочный цех | 20 | 1800 | 36000 | 19000 | 16000 |
| Другие помещения | 55 | 1700 | 93500 | | |
| Итого за месяц | 164500 тг | | | | |

Расходы на аренду, включая коммунальные платежи, за год составят

$$Ра=164500 \cdot 12=1974000 \text{ тг.}$$

Расчет амортизационных отчислений приведён в таблице 5.6. В качестве оборудования используются компьютеры, периферийные устройства, а также предусмотрено использование дополнительного ПО.

Т а б л и ц а 5.6 - Расчет амортизационных отчислений на оборудование

| Наименование | Стоимость, тг | На, % | А, тг |
|---|---|---|---|
| Имитатор сигналов ГЛОНАСС/GPS | 165000 | 25 | 41250 |
| Intel Core i5 2,6 Ghz /3Gb/ 500Gb/1024MbGF220GT/DVDRW/K/M/P | 185000 | 35 | 64750 |
| Intel Core2Duo 2,6 Ghz /S775/ 2Gb/160Gb/512Mb/SB/LAN/K/M/P | 252000 | 35 | 88 200 |
| 17" Benq G702AD TFT 5ms | 168000 | 25 | 42 000 |
| SamsungSCX-4300A4 printer/scaner/copier | 42400 | 25 | 10 600 |
| HP DesignJet 70 Plotter A2 | 143000 | 25 | 35 750 |
| Итого на компьютерную технику, | 314925 | | |

Сумму амортизационных отчислений определяют по формуле, тенге:

$$A = \frac{\sum_{1}^{n} k_n \cdot H_a}{100} \qquad (3.6)$$

где $k_n$ – стоимость *i-го* оборудования/ПО, тенге;

$H_a$ – годовая норма амортизации.

Т а б л и ц а 5.7 - Расчет амортизационных отчислений на приобретение ПО

| Наименование ПО | Стоимость, тг | На, % | А, тг |
|---|---|---|---|
| MS BOX Windows 7 Профессиональная 32/64bit | 52 000 | 15 | 7800 |
| MS BOX Office Basic 2007 Russian | 16 000 | 15 | 2400 |
| MapInfo Professional 10 Russian | 250000 | 15 | 37500 |
| Итого А на ПО, тг | 47700 | | |

Амортизационные отчисления составят

А=314925+47700=362625 тг.

Определяем общую сумму эксплуатационных расходов (Э) по всем перечисленным статьям затрат.

$$Э = ФОТ + Ос + А + Рм + Ра + Н, \qquad (5.7)$$

где ФОТ – фонд оплаты труда (основная и дополнительная заработная плата),

Ос – социальный налог;

А – амортизационные отчисления;

Рм – расходы на материалы;

Ра – расходы на аренду, включая коммунальные платежи;

Н – прочие накладные расходы (административные и прочие производственные составляют 10% от всех затрат).

Н=(12792000+1266408+362625+8800000+1974000)·0,1=2304209 тг,

Э=12792000+1266408+362625+8800000+1974000+2304209=23042092+ +2304209=25346301 тг.

### 5.4.3 Расчет доходов от основной деятельности

Рассчитаем доходы предприятия от реализации услуг, а также прибыль от основной деятельности.

Оценка доходов будет происходить следующим образом:

– доходы от реализации НАП ($Д_{НАП}$);

– доходы от продажи программного продукта ($Д_{Пр}$);

- доходы от дополнительных услуг ($Д_{У}$).

$$Д = Д_{НАП} + Д_{ПП} + Д_{У}, \quad (5.8)$$

Таблица 5.8 - Расчет доходов

| Категория | Стоимость без учета НДС, тг. | Стоимость с учетом НДС, тг. | Объем в год | Итого за год, тг |
|---|---|---|---|---|
| НАП (НАП) | 20000 | 22600 | 800 | 16000000 |
| Программный продукт (ПП) | 6000 | 6780 | 2000 | 12000000 |
| Дополнительные услуги (У): | | | | 2775000 |
| монтаж НАП | 2000 | 2260 | 1200 | 2400000 |
| переподключение, замена компонентов НАП | 1500 | 1695 | 150 | 225000 |
| проверка исправности установленного НАП | 500 | 565 | 300 | 150000 |
| Общая сумма доходов, тг | 30775000 | | | |

Доходы от основной деятельности - доходы получаемые предприятиями связи за весь объём реализованных потребителем услуг и продуктов связи:

$$Д = 16000000 + 12000000 + 2775000 = 30775000 \text{ тг.}$$

### 5.4.4 Расчёт показателей экономической эффективности

Экономическая эффективность производства показывает, какую часть денежных средств ежегодно возвращает предприятие от суммы вложенных средств.

Прибыль – это разность валового дохода и суммы эксплуатационных затрат на производство, то есть:

$$П = Д - Э \tag{5.9}$$

Из вышеперечисленных расчетов известно, что доход равен 32630000 тенге, эксплуатационные затраты составляют 25346301 тенге.

$$П = 30775000 - 25346301 = 5428699 \text{ тг}$$

Рассчитаем чистую прибыль за исключением корпоративного налога (20 %)

$$П_{чист} = П \cdot 0{,}8 \tag{5.10}$$

$$П_{чист} = 5428699 \cdot 0{,}8 = 4342959 \text{ тг}$$

Коэффициент общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений - при строительстве нового объекта, предприятия:

$$Еа = \frac{Д - Э}{К} = \frac{П_{чист}}{К} \tag{5.11}$$

где Д – доходы от основной деятельности;

Э – эксплуатационные расходы;

$П_{чист}$ – чистый доход;

К - общие капитальные вложения.

$$Еа = \frac{4342959}{1470690} = 3.$$

Срок окупаемости – это величина, показывающая, за какой период времени произойдет возврат денежных средств (капитальных вложений), затраченных на организацию предприятия. [23]

$$Т = \frac{К}{П_{чист}} = \frac{1}{Еа} \tag{5.12}$$

где Т- срок окупаемости капитальных вложений;

Еа – абсолютная экономическая эффективность.

$$T = \frac{1}{3} = 0{,}33 \text{ года}$$

Таким образом, средства, вложенные в организацию предприятия по выпуску навигационных приемников и услуг по их обслуживанию, окупятся за четыре месяца.

Рентабельность предприятия – это относительный показатель, определяющий уровень доходности бизнеса, который характеризуют эффективность работы в целом по предприятию. Рентабельность, %, определим по формуле

$$P = \frac{П_{чист}}{Э} \cdot 100$$

$$P = \frac{4342959}{25346301} \cdot 100 = 17 \ \% \qquad (5.13)$$

Предприятие рентабельно, так как суммы выручки от реализации продукции достаточно для покрытия затрат на производство.

Таблица 5.9 - Показатели экономической эффективности проекта по выпуску навигационной аппаратуры потребителя

| Наименование показателей | Значение |
|---|---|
| Капитальные затраты, тг | 1470690 |
| Эксплуатационные расходы, тг | 25346301 |
| Доходы, тг | 30775000 |
| Прибыль, тг | 5428699 |
| Коэффициент экономической эффективности Е | 3 |
| Срок окупаемости | 0,33 года |
| Рентабельность продукта, % | 17 |

**Заключение**

В дипломном проекте был рассмотрен вопрос построения навигационной аппаратуры потребителя. На сегодняшний день полностью развернутыми и работоспособными являются СРНС GPS и ГЛОНАСС. Поэтому была разработана структурная схема GPS - приемника, который работает на основе сигналов, передаваемых спутниками данных систем. Выбор приемника обусловлен тем, что с недавних времен началась трансляция навигационных сигналов на различных частотах, которые доступны гражданским пользователям.

Использование такого приемника дает увеличение точности позиционирования, особенно в местах, где видимость спутников ограничена (зоны высотной застройки, горные районы). Улучшается геометрия расположения спутников благодаря увеличению их количества и обеспечения хорошей видимости. Использование сигналов со спутников различных систем значительно сокращают время инициализации и повышают надежность полученных результатов в целом. Для проведения одномоментных измерений приемник имеет 24 канала.

Недостатком является усложнение структуры приемника, так как в нем имеются каналы обработки радиосигналов как системы GPS, так и ГЛОНАСС. Однако отметим, что с развитием цифровой техники появились малогабаритные микросхемы, с помощью которых можно реализовать алгоритмы приема и обработки радионавигационных параметров сигнала.

В работе был проведен сравнительный анализ шумоподобных сигналов GPS и ГЛОНАСС, принимаемых разработанным приемником. В результате определили, что они имеют идентичную мощность сигнала на выходе антенны приемника и обладают почти одинаковыми параметрами помехоустойчивости. Полученные расчеты доказывают возможность совместного использования данных двух СРНС в НАП. Наибольшее значение мощности помех, при воздействии которых работа приёмных устройств невозможна, характерно для сигнала L1-GPS. Без учета внутрисистемных помех, минимальное время корреляции достигается при использовании сигналов L1-GPS и L1-ГЛОНАСС, так как тактовая частота кода меньше, чем для сигналов диапазона L2. Однако заметно, что при повышении времени накопления сигнала (корреляции) вероятность ошибки уменьшается. Предъявляются высокие требования к стабильности генератора приемника, так как от него зависит значение максимального времени корреляции, а также точность определение координат в целом.

В заключение отметим, что принятые в работе методы расчета и полученные данные могут быть использованы при реализации алгоритмов повышения уровня защиты от помех в GNSS-приёмниках

**Список литературы**

1 Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации и ее приложение. - Москва: Эко-Трендз, 2003. - 326 с.

2 Бордовицына Т.В. Технологии глобального позиционирования. (GPS/ГЛОНАСС) Электронное учебное пособие. - Томск, 2007. // Сайт Томского государственного университета http://www.astro.tsu.ru/TGP

3 Коротоношко А., Климов В. Радионавигация и спутниковые радионавигационные системы. Часть 1. // Радио. – 2007 - №7. - с.6-8.

4 Сайт информационно-аналитического центра Федерального космического агентства России http://www.glonass-ianc.rsa.ru

5 НАВСТАР-GPS. Интерфейсный контрольный документ. Космический сегмент. Сегмент потребителя. (GPS-800). - Центр космических систем (SMC), 2006. - 121 с.

6 Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1 и L2. Редакция 5.1. - Москва: РНИИ космического приборостроения, 2008. - 74 с.

7 Михайлов В.С. Навигация и локация. – Киев, 2009. // Сайт Киевской академии водного транспорта http://www.maritime.kiev.ua/book1/index.html

8 Громаков Ю.А., Северин А.В., Шевцов В.А, Технологии определения местоположения в GSM и UMTS - Москва: Эко-Трендз, 2005. – 144 с.

9 Поваляев Е., Хуторной С. Системы спутниковой навигации ГЛОНАСС и GPS. Часть 1. // Chip News. Инженерная микроэлектроника. - 2002. - №3 (66). - с.5-11.

10 Программа моделирования антенн MMANA-GAL 1.2.0.20. Официальный сайт журнала «Радио» http://www.radio.ru/mmana/

11 GPS модули. Системное руководство. Краткий обзор. - 175 с. // Сайт компании «МикроЭМ» http://www.microem.ru/pages/u_blox/tech/antaris4/GPS-MS-05007RUS.pdf

12 Гончаренко И.В. Компьютерное моделирование антенн. Все о программе MMANA. - Москва: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио». - 2002 - 80с.

13 Поваляев Е., Хуторной С.. Системы спутниковой навигации ГЛОНАСС и GPS. Часть 4. Структура коррелятора навигационного приемника аппаратуры потребителя // Chip News. Инженерная микроэлектроника. – 2002. - №3 (66). - с.5-11.

14 Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова, В.А. Болдина. М.: ИПРЖР, 1998.

15 Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. - Москва: Радио и связь, 1985. - 384 с.

16 Калугин Е. Помехоустойчивость перспективных сигналов спутниковых радионавигационных систем. //Современная электроника. - 2007. - №9 - с.38-41.

17 Прокис Дж. Цифровая связь. - Москва: Радио и связь, 2000. - 797 с.

18 Барашенков В.В. Лутченко А.Е. Цифровые радионавигационные устройства. – Москва: Советское радио, 1980. – 288 с.

19 Хакимжанов Т. Е. Охрана труда: Учебное пособие для ВУЗов. – Алматы: Эверо, 2006. – 264 с.

20 Общие строительные нормы и правила устройства систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Административные и бытовые здания. СНиП РК 2.04-01-2001.

21 Баклашов Н.И., Китаева Н.Ж., Терехов Б.Д.. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды. – М.:Радио и связь, 1989.

22 22 Голубицкая Г.А.. Экономика связи. Учебник для вузов. – Москва: Радио и связь, 2000. – 488 с.

23 Резникова Н.П., Демина Е.В. Менеджмент в телекоммуникациях. Москва: Эко-Трендз, 2005. – 392с.

## Список принятых сокращений

| | |
|---|---|
| Бортовая шкала времени | |
| Высокая точность | БШВ |
| Глобальная навигационная спутниковая система | ВТ |
| Глобальная Система Позиционирования | GNSS (ГНСС) |
| Глобальна Навигационная Спутниковая Система | GPS |
| Защищенный код | ГЛОНАСС |
| Метки времени | Р |
| Навигационный космический аппарат | МВ |
| Навигационный спутник | НКА |
| Навигационная аппаратура потребителя | НС |
| Наземный комплекс управления | НАП |
| Псевдослучайная последовательность | НКУ |
| Спутниковая радионавигационная система | ПСП |
| Стандартная точность | СРНС |
| Стандартный код | СТ |
| Цифровая информация | С/А |
| | ЦИ |

## Приложение А

## Листинг программы на языке программирования Delphi 7

```
unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, jpeg, ExtCtrls;
type
  TForm1 = class(TForm)
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Button1: TButton;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Edit5: TEdit;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label1: TLabel;
    Edit7: TEdit;
    Edit8: TEdit;
    Label8: TLabel;
    Edit9: TEdit;
    Label9: TLabel;
    Label10: TLabel;
    Label11: TLabel;
    Edit10: TEdit;
    Edit11: TEdit;
    Edit12: TEdit;
    Edit13: TEdit;
    Edit14: TEdit;
    Edit15: TEdit;
    Label12: TLabel;
    Label13: TLabel;
    Label14: TLabel;
    Label15: TLabel;
    Label16: TLabel;
    Label17: TLabel;
    Label18: TLabel;
    Label19: TLabel;
    Label20: TLabel;
    Label21: TLabel;
    Label22: TLabel;
    Label24: TLabel;
    Label25: TLabel;
    Label26: TLabel;
    Label27: TLabel;
```

```
    Label28: TLabel;
    Label29: TLabel;
    Label30: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;
      N,F,Pc,q,q1,Pn,Pn1,Pno,Pno1,ft,Tmax,Tmin1,Tmin2,Tmin3,Nmin1,Nmin2,Nmin3:real;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
N:=strtofloat(edit1.Text); // База
F:=strtofloat(edit2.Text); // Полоса частот
Pc:=strtofloat(edit4.Text); // Мощность сигнала
         q:=(2*exp(Pc*ln(10)/10)*N)/(1.38*(1E-23)*300*F*(1E+6));
         q1:=10*ln(q)/ln(10); // Уровень защиты сигнала от помех, дб
         edit3.Text:=floattostr(q1);// Вывод уровня защиты от помех
   Pn:=1.38*(1E-23)*300*F*(1E+6);
   Pn1:=10*ln(Pn)/ln(10);
   edit7.Text:=floattostr(Pn1); // Вывод знчения теплового шума, дБВт
  Pno:=exp(Pc*ln(10)/10)*N/Ln(2);
  Pno1:=10*ln(Pno)/ln(10);
  edit8.Text:=floattostr(Pno1); // Вывод мощности помех, соотвтствующей достижения
предела Шеннона
ft:=strtofloat(edit5.Text); // Тактовая частота
Tmax:=(5.15E+9/(ft*1E+6));
edit9.Text:=floattostr(Tmax); // Вывод максимального времени корреляции при, мкс
    Tmin1:=(exp((-1.6)*ln(10)/10)*Pno/(exp(Pc*ln(10)/10)*N)*ft*2)*10;
    edit10.Text:=floattostr(Tmin1); // Вывод минимального времени корреляции при 1,6 дБ,
мкс
    Nmin1:=Tmin1/ft;
    edit11.Text:=floattostr(Nmin1); // Вывод минимального N 1,6 дБб
Tmin2:=(exp((4)*ln(10)/10)*Pno/(exp(Pc*ln(10)/10)*N)*ft*2)*10;
edit12.Text:=floattostr(Tmin2); // Вывод минимального времени корреляции при 4 дБ, мкс
Nmin2:=Tmin2/ft;
edit13.Text:=floattostr(Nmin2);
  Tmin3:=(exp((9.6)*ln(10)/10)*Pno/(exp(Pc*ln(10)/10)*N)*ft*2)*10;;
  edit14.Text:=floattostr(Tmin3); // Вывод минимального времени корреляции при 9.6 дБ,
мкс
  Nmin3:=Tmin3/ft;
  edit15.Text:=floattostr(Nmin3);
         end;
end.
```