МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой к.т.н
Шагмахметов Д.Р
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ «____» _____ **20__ г.**
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: „Разработка спутниковой навигационной системы контроля и управления автотранспортом"

Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) студент Набиева А.А гр. МТС-10-07
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель д.ф.-м.н. профессор Козин И.Д
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:
по экономической части:
доцент, к.э.н Бекишева А.И
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «29» мая 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
д.т.н. профессор, академик Дюсебаев М.К
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «27» мая 2014 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
старший преподаватель Артюхин А.В
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «10» июня 2014 г.
(подпись)

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

Нормоконтролер: старший преподаватель Кондратович А.П
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «10» 06 2014 г.
(подпись)

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

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехники и связи
Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра Телекоммуникационные системы

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Жабиева Айзада Абдиразаковна
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта „Разработка спутниковой навигационной системы контроля и управления автотранспортом"

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
Населенные пункты Алматы и Павлодар. Географическое положение Алматы широта 43,2°, долгота 76,5°, Павлодар широта 52,4°, долгота 77°. Техническая спецификация ИСЗ Kazsat-2 точка стояния на ГСО - 86,5в, град., количество стволов - 16, диапазон частот - Ku.

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:
Задачи радионавигации; Принципы построения спутниковых навигационных систем; Системы спутниковой радионавигации; Расчет энергетической геостационарной спутниковой линии связи для передачи данных. Расчет зависимости энергетических параметров геостационарных спутников от высоты орбиты

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Рисунки: Схема расположения навигационных объектов и принятые обозначения, Геометрическая засечка, Спутниковая система Глобального Позиционирования Global Positioning System (GPS), Функциональная схема аппаратуры потребителя, Расположение спутников на информационном экране навигатора, Сетевая радионавигационная спутниковая система ГЛОНАСС, Структура сигнала ГЛОНАСС, Схема использования геостационарного спутника связи для контроля и управления передвижением транспорта на основе спутниковой радионавигационной системы GPS, Геометрические соотношения при оценке энергетических затрат

Рекомендуемая основная литература

Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. „Сетевые спутниковые радионавигационные системы" // М.: Радио и связь, 1989 г., 472 с., Мордухович А.А., Степанов В.Д. „Системы радиосвязи" // М.: Радио и связь, 1995 г., Бородич С.В. „О применении систем спутниковой связи со спутниками на низких орбитах // Электросвязь". - 1995 г., № 9. - С. 19-24, Акимов А.А. Буравин А.Е. „Связь и навигация. Интеграция услуг // журнал Системы и средства связи 2000 г. № 3-4.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Техническая часть	Козин И.Д		
Экономическая часть	Бекишева А.И		
БЖД	Дюсебаев М.К	17.03-27.05.14	
Применение выч. тех.	Артюхин А.В	12.05-10.06.14	

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Спутниковая радионавигационная	27. 02. 14	
2.	система. Принципы работы	28. 02. 14	
3.	Системы спутниковой навигации	3. 03. 14	
4.	Физические принципы СРНС	5. 03. 14	
5.	Выбор системы местоопределения	7. 03. 14	
6.	Расчет энергетической линии	10. 03. 14	
	связи Алматы - KazSat2 на участке	11. 03. 14	
	„вверх"	12. 03. 14	
7.	Расчет энергетической линии связи	17. 03. 14	
	kazSat2 - Павлодар на участке	18. 03. 14	
	„вниз"		
8.	Расчет СЛС Алматы - KazSat2	21. 03. 14	
9.	Расчет СЛС KazSat2 - Павлодар	3. 04. 14	
10.	Безопасность жизнедеятельности	7. 04. 14	
11.	Анализ условий труда	9. 04. 14	
12.	Организация рабочего места	14. 04. 14	
13.	Расчет естественного и		
	искусственного освещения	25. 04. 14	
14.	Технико - экономическая часть	8. 05. 14	
15.	Организационный план	12. 05. 14	
16.	Расчет капитальных затрат	16. 05. 14	
17.	Расчет доходов	17. 05. 14	
18.	Экономическая эффективность	20. 05. 14	

Дата выдачи задания «____»_____20___ г.

Заведующий кафедрой _____ Шалмахметов Д. Ф
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ Козин И. Д
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ Набиева А. А.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аңдатпа

Бұл дипломдық жобада автокөлікті басқару және бақылауға арналған жерсеріктік навигациялық жүйенің қағидасы қарастырылған.

Жобада жерсеріктік навигациялық жүйенің жердегі стансадан максималды ара қашықтығына, геостационарлы жерсеріктік байланыс жүйесінің энергетикалық сипаттамаларына есептеулер жүргізілді.

Сонымен қатар, байланыс кәсіпорнында еңбекке талдау және өміртіршілік қауіпсіздігі шаралары ұсынылды. Дипломдық жобаның техникалық-экономикалық бөлімінде қондырғыға жұмсалатын шығындар, эксплуатациялық шығындар және экономикалық тиімділіктің негізгі көрсеткіштері есептелінді.

Аннотация

В данном дипломном проекте рассмотрен принцип спутниковой навигационной системы предназначенной для контроля и управления автотранспортом.

Было рассчитано максимальное удаление навигационного спутника от земной станции, энергетические характеристики геостационарных спутниковых систем связи

Кроме того, проведен анализ труда на предприятии связи и предложены меры безопасности жизнедеятельности. В технико-экономической части дипломного проекта были рассчитаны затраты на оборудование, эксплуатационные расходы и основные показатели экономической эффективности.

Annotation

In this thesis project examined the principle of a satellite navigation system designed to monitor and control vehicles.

It was calculated the maximum distance from a navigation satellite earth station, the energy characteristics of geostationary satellite communication systems

In addition, the analysis in the enterprise communications and propose measures safety. The feasibility of the graduation project was designed equipment costs, operating costs and the main indicators of economic efficiency.

Содержание

Введение 8
1 Общие принципы работы радионавигационных систем. Спутниковая радионавигационная система. 9
1.1 Задачи радионавигации 9
1.2 Требования потребителей к радионавигационным системам 9
1.3 Принципы построения спутниковых навигационных систем 11
1.4 Физические и геометрические принципы действия СРНС 12
1.5 Системы спутниковой радионавигации 15
1.5.1 Спутниковая радионавигационная система «NAVSTAR - GPS» 19
1.5.2 Спутниковая радионавигационная система «ГЛОНАСС» 20
1.6Система местоопределения, использующая специализированную спутниковую радионавигационную систему 24
2 Расчет энергетической спутниковой линии связи. Расчет энергетического выигрыша в среднеорбитальных спутниковых системах в зависимости от высоты орбиты. 26
2.1 Расчет энергетической спутниковой линии связи Алматы – Павлодар 27
2.1.1 Расчет спутниковой линии связи Алматы - KazSat2 на участке «вверх» 27
2.1.2 Расчет спутниковой линии связи KazSat2 - Павлодар на участке «вниз» 33
2.2 Расчет энергетической спутниковой линии связи Павлодар – Алматы 37
2.2.1 Расчет спутниковой линии связи Павлодар - KazSat2 на участке «вверх» 37
2.2.2 Расчет спутниковой линии связи KazSat2 - Алматы на участке «вниз» 42
2.3 Расчет энергетического выигрыша в среднеорбитальных спутниковых системах в зависимости от высоты орбиты. 47
3 Безопасность жизнедеятельности 51
3.1 Анализ условия труда на предприятии связи 51
3.1.1 Оборудования для осуществления метеорной радиосвязи 51
3.1.2 Организация рабочего места 51
3.1.3 Оценка воздействия ЭМП на обслуживающий персонал 53
3.1.4 Анализ освещения 54
3.2 Технические решение обеспечение безопасности и жизнедеятельности 55
3.2.1 Расчет воздействия ЭМП на обслуживающий персонал 55
3.2.2 Расчет естественного освещения 58
3.2.3 Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока 59
4 Технико-экономическое обоснование проекта 62
4.1 Сущность и цель проекта 62

4.2 Организационный план 64
4.2.1 Капитальные затраты 64
4.2.2 Текущие затраты на эксплуатацию данной системы связи 66
4.3 Расчет доходов 69
4.4 Расчет показателей экономической эффективности 71
Список сокращений 72
Заключение 73
Список литературы 74
Приложение А. Инженерный расчет в программной среде Mathcad 75

Введение

В настоящее время во всем мире известны возможности и преимущества спутниковой радионавигационной системы связи, которая обеспечивает автоматический контроль и управление перемещением автотранспортом. На сегодняшний день у большинства организаций и предприятий появляется необходимость оперативного слежения за местоположением и состоянием подвижных объектов, а также передачи на них оперативной информации.

Для понимания особенностей различных навигационных систем хорошо было бы для начала остановиться на самом понятии навигации. Навигация – это наука о методах и способах определения местоположения, то есть координат и

проведения транспортного средства из одной заданной точки свободного пространства в другую.

Техника навигационного определения местоположения потребителя по сигналам искусственных спутников Земли стала отрабатываться сначала момента запуска первого ИСЗ в истории человечества 4 октября 1957 года. Фундаментальное значение для радиоопределений стала работа советских учёных под руководством академика В. А. Котельникова, опубликованная в 1958 году. Было экспериментально подтверждено возможность определения параметров движения ИСЗ по результатам измерений доплеровского сдвига частоты сигнала, передаваемого с ИСЗ, в точке приёма с известными координатами. Обратной задачей заключалась, что по измерениям того же доплеровского сдвига при известных координатах ИСЗ найти координаты пункта наблюдения.

Итак, важнейшим прогрессом в задачах навигации является использование радиоволн. Постоянно совершенствуются методы радионавигации и продолжают развиваться, а также совершенствоваться в направлениях удобства их использования, себестоимости и точности определения координат. Наиболее точными системами определения координат стали спутниковые радионавигационные системы (СРНС).

В состав радионавигационной системы входят: подсистема космических аппаратов, подсистема контроля и управления (ПКУ), координатная система, а также аппаратура потребителей.

В Казахстане используются такие радионавигационные системы как GPS, Глонасс и в разработке находится Galileo на основе которых, осуществляется контроль и управление автотранспортом.

1 Общие принципы работы радионавигационных систем. Спутниковая радионавигационная система

В этом разделе рассмотрим основные области применения и принципы построения радионавигационных систем. Виды спутниковых навигационных систем, а так же метод местоопределения выбранный для дипломного проекта.

1.1 Задачи радионавигации

Навигация решает такие задачи как:

- определение местоположения подвижных объектов в пространстве (космический, воздушный, водный и наземный транспорт);

- управление движением воздушного, наземного и водного транспорта;

- геодезическое обеспечение при картографии и океанографии, геологоразведке и добыче полезных ископаемых

- специальные задачи, такие как поисково-спасательные работы, маневрирование при ловле рыбы, научно-исследовательские (экспериментальные) работы и др.;

- мониторинг деформаций инженерных сооружений и естественных объектов в целях предупреждения техногенных катастроф;

- воздушная навигация: полет по маршруту (прокладка и отображение курса, определение расстояний до пункта назначения и оценка времени прибытия в аэропорт назначения); заход на посадку (здесь в первую очередь предъявляются требования к достоверности навигационной информации и обнаружению отказов с помощью контроля целостности системы);

- навигация морских и речных судов, обеспечение безопасности плавания в узких проливах; мониторинг рыболовецких флотов, квотирование и контроль добычи морских продуктов;

- навигация в наземных условиях и диспетчерские службы грузовых автомобильных перевозок; выбор оптимального маршрута, отслеживание местоположения грузовика, оснащенного GPS-приемником; контроль целостности груза и своевременности прибытия и т.д.;

- на железнодорожном транспорте - повышение безопасности движения, повышение эффективности работы диспетчерских служб, оптимизация режимов ведения поездов;

- массовые применения средств радионавигации бытового назначения.

Это далеко неполный перечень основных направлений использования средств глобального позиционирования.[1]

1.2 Требования потребителей к радионавигационным системам

Основными требованиями, предъявляемыми в РНС, являются:

- размер рабочей зоны;
- точность определения местоположения объектов;
- доступность;
- целостность;
- непрерывность обслуживания;
- дискретность определения местоположения объектов;
- пропускная способность.

Дадим краткие определения каждому параметру.

Рабочая зона – область пространства, где обеспечивается возможность определения координат своего местоположения.

Точность определения местоположения это есть величина абсолютной значение разности между измеренными и истинными значениями координат или их среднеквадратичное отклонение.

Доступность РНС - вероятность получения достоверной информации о своем местонахождении.

Целостность РНС - способность систем обнаруживать свое неправильное функционирование, исключать использование и оценивается вероятностью оповещения потребителей при нарушении работы системы в пределах допустимого интервала времени.

Непрерывность обслуживания - вероятность безотказной работы системы и характеризуется пороговым интервалом времени.

Дискретность определения местоположения - это минимальный интервал времени, через который возможно новое определение местоположения.

Пропускная способность - это максимальное количество одновременно обслуживаемых пользователей.

Всякая радиосистема связи, коммуникации, навигации или же локации может быть организована с разрешения Международных организаций, согласно установленными их правилами и законами. Главной организацией в этой системе является Международный союз электросвязи (МСЭ), при нём функционируют: Международная комиссия по радиочастотам (МКРЧ), занимающаяся распределением, выделением и присвоением рабочих частот; Международная консультативная комиссия по радиочастотам (МККР), занимается разработкой рекомендаций и других документов. Список всех руководящих, разрешительных, предписывающих документов периодически опубликовываются в документе, носящее название Регламент Связи. В нем также определены радионавигационные службы: воздушная радионавигационная, морская радионавигационная, морская подвижная (бедствие и вызов), подвижная (сигналы бедствия и вызова), радионавигационная и спутниковая радионавигационная, а также дается перечень диапазонов частот и волн, выделенные для использования в этих системах. Службы радиолокации и радионавигации, определенные Регламентом Связи.[2]

В любом случае для создания радиосистемы в указанных диапазонах обязательным является выделение радиочастот (частотное присвоение). В нашей стране разрешение на использование радиочастот выдается Агентством РК по информации и связи.

Таблица 1.1 - Распределение частот по радионавигационным службам на первичной основе

Виды служб	Частоты
Воздушная радионавигационная	кГц: 315-405; 415-435; МГц: 74,8-75,2; 108-117,975; 328,6-335,4; 960-1215; 1300-1350; 1559-1626,5; 2700-2900; 4200-4400; 5000-5250; 5350-5460; 8750-8850; 9000-9200; ГГц: 13,25-13,4 15,4-15,7;

Морская радионавигационная	кГц: 283,5-315; 2625-2650; МГц: 5470-5650; 9200-9300;
Морская подвижная (бедствие и вызов)	МГц: 156,7625-156,8375;
Подвижная (сигналы бедствия и вызова)	кГц: 495-505; 2173,5-2190,5;
Радионавигационная	кГц: 9-14; 70-72; 72-84; 84-86; 86-90; 90-110; 110-112; 112-115; 115-117,6; 117,6-126; 126-129; 129-130; 405-415 МГц: 399,9-400,05; 1215-1260; 1559-1610; 2900-3100; 5460-5470; 8500-8750; 9300-9800; ГГц: 14-14,3; 24,25-25,25; 31,8-33,4; 43,5-47; 66-71; 95-100; 134-142; 190-200; 252-265;

1.3 Принципы построения спутниковых навигационных систем

Принцип работы спутниковой навигационной системы довольно таки прост. С помощью ракеты-носителя на орбиту вокруг Земли запускаются нужное количество искусственных спутников, на борту которых размещаются передающие устройства, играющие роль навигационных точек.

Спутниковая радионавигационная система (СРНС) состоит из трех подсистем: космического, наземного и потребительского сегментов.

Космический сегмент состоит из набора спутников, которые создают космическую группировку. Спутники, как правило, распологаются равномерно на определенных орбитах и излучают те самые радионавигационные сигналы.

Наземный сегмент же оснащен приемопередающим оборудованием с опорно-поворотными устройствами для постоянного слежения траектории полета навигационных спутников и выдачи команд для её коррекции в случае ошибок. Расстояния до спутников определяются радио или оптическими методами.

Потребительский приемник распознает спутники системы, от которых получены навигационные сигналы, и определяет временную задержку их распространения. Затем рассчитывается расстояние до каждого из них и, наконец, координаты своего местоположения, а именно широта, долгота и высота над уровнем моря.

1.4 Физические и геометрические принципы действия СРНС

Как упоминалось ранее, хотя глобальные навигационные спутниковые системы считаются чрезвычайно сложными и высокоорганизованными техническими системами, идеи и принципы, на которых сформировано их

действие, весьма просты: это - определение местоположения подвижного объекта путем измерения его расстояния от навигационных точек, чьи координаты известны.

Исходные параметры для расчетов удаления приемника *R* от *S* в геоцентрической системе координат можно представить в виде приведенного ниже рисунка 1.1.

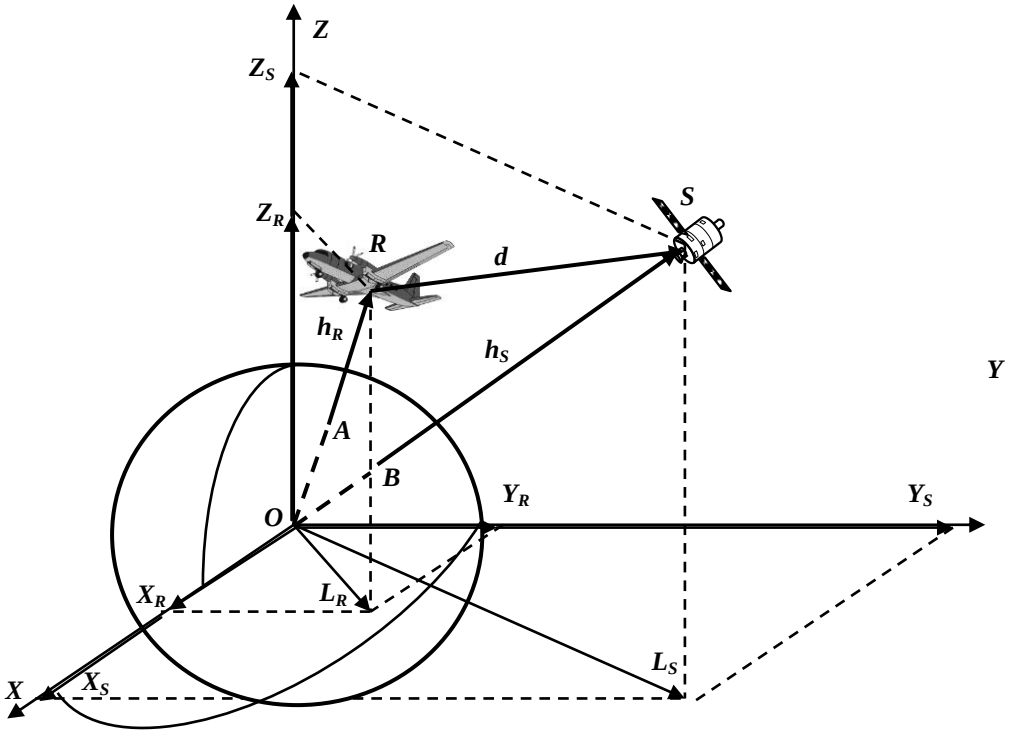


Рисунок 1.1. – Схема расположения навигационных объектов и принятые обозначения

Здесь мы имеем:

$$OA=OB=R_{\oplus},$$

h_R = AR и h_S = BS – высоты приемника и спутника над поверхностью Земли;

X, Y, Z – оси ортогональных геоцентрических координат,

$$Z_S=(h_S+R_{\oplus})\cdot\sin\varphi_S,\ L_S=(h_S+R_{\oplus})\cdot\cos\varphi_S,$$

$$Z_R=(h_R+R_{\oplus})\cdot\sin\varphi_R,\ L_R=(h_R+R_{\oplus})\cdot\cos\varphi_R,$$

где φ и λ - широта и долгота;

Z и L – проекции векторов на вертикальную ось и горизонтальную плоскость.

Тогда из разности векторов OS-OR находим

$$d=[(Z_R - Z_S)^2 + L_R^2 + L_S^2 - 2\cdot L_R\cdot L_S \cdot \cos(\lambda_R-\lambda_S)]^{1/2},$$

а также составляющие координаты: $X_{S,R}=L_{S,R}\cdot\cos\lambda_{S,R}$, $Y_{S,R}=L_{S,R}\cdot\sin\lambda_{S,R}$.

В основе используемого в СРНС метода для определения местонахождения является так называемая линейная геодезическая засечка. Ее суть сводится к известной геометрической задаче: найти положение точки R , расположенной на земной поверхности (h_R=0), если позиции двух других точек S_1 и S_2 и расстояния до них d_1 и d_2 известны(рис. 1.). Искомая точка R, очевидно, принадлежит одновременно двум окружностям с радиусами d_1 и d_2, описанными из центров S_1 и S_2, т.е. является одной из двух точек пересечения этих окружностей. В аналитическом представлении эта задача выражается в виде системы двух уравнений.[3]

$$d_1 = \sqrt{(X_{S1} - X_R)^2 + (Y_{S1} - Y_R)^2},$$

$$d_2 = \sqrt{(X_{S2} - X_R)^2 + (Y_{S2} - Y_R)^2}, \qquad (1.1)$$

где X, Y - прямоугольные координаты точек на плоскости.

Искомые координаты X_R, Y_R точки R получаются из решения системы (1.2) двух уравнений с двумя неизвестными.

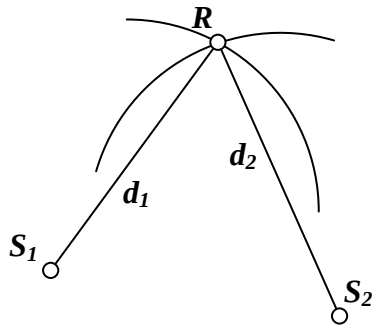


Рисунок 1. 2. - Геометрическая засечка

При обобщении этой задачи для пространственного построения вводится третья координата Z. Для определения теперь уже трех искомых координат X_R , Y_R, Z_R точки R понадобится решать систему из трех уравнений:

$$d_i = \sqrt{(X_{Si} - X_R)^2 + (Y_{Si} - Y_R)^2 + (Z_{Si} - Z_R)^2}, \; i=1,2,3. \qquad (1.3)$$

Таким образом, при решении пространственной линейной засечки должно быть 3 навигационные точки (которые, кстати, не должны лежать на

одной прямой, в противном случае система не будет иметь определенного решения). При решении систем уравнений (1.2 и 1.3) координаты и расстояния следует выразить в одной размерности – пространственной или угловой. Конечно, количество исходных точек, до которых измерены расстояния, могут быть и больше трех, - тогда система (1.3) становится переопределенной и задача решается методом наименьших квадратов. Привлечение избыточных измерений, помимо улучшения точности определения координат, дает еще больше возможности включения в систему уравнений дополнительных неизвестных параметров, определение которых необходимо для коррекции часов в приемнике. Полагая, что бортовые часы точны, разность бортовых и наземных часов для каждого приемника постоянна. Она рассчитывается методом итерации или аналитически.[3]

С помощью описанного метода геодезической засечки в ГНСС решаются две главные задачи:

- определение координат спутника по измеренным расстояниям от наземных пунктов с известными координатами (прямая геодезическая засечка);
- определение координат наземного (или надземного) объекта по измеренным расстояниям от нескольких спутников, координаты которых известны (обратная геодезическая засечка).

Первую задачу решает служба управления (наземный сегмент) орбитальной системой, вторую - потребитель (пользовательский сегмент).
Для достижения наибольшей точности в хорошем навигационном приемнике рассматривают геометрический принцип, назваемым "Geometric Dilution of Precision - GDOP" (геометрический фактор снижения точности).

Суть в том, что в зависимости от взаимного расположения спутников на небосводе геометрические соотношения, которыми характеризуется это расположение, могут многократно увеличивать или уменьшать все неопределенности, о которых будут подробно сказано ниже.

Мы представляем наше местоположение относительно спутников в виде окружностей оснований конусов, центры которых совмещены со спутниками. Поскольку каждое измерение содержит в себе и небольшую неопределенность, следует эти четкие окружности вообразить размытыми.

Наличие областей неопределенности не позволяет считать, что мы находимся в четко определенной точке. Мы можем лишь сказать, что мы находимся где-то в пределах этой суммарной области неопределенности.

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

Иначе говоря, чем больше угол между направлениями на спутники, тем точнее определяется местоположение.

Исходя из этого, хорошие приемники снабжаются вычислительными процедурами, которые анализируют относительные положения всех доступных

для наблюдения спутников и выбирают из них четырех кандидатов, т.е. наилучшим образом расположенные четыре спутника.

1.5 Системы спутниковой радионавигации

1.5.1 Спутниковая радионавигационная система «NAVSTAR - GPS»

Глобальная система определения местоположения NAVSTAR (NAVigation System using Timing And Ranging) является спутниковой РНС, предназначенной для обеспечения точной навигационной информацией всех соответствующим образом оборудованных потребителей. Система обеспечивает непрерывную навигацию почти в глобальном масштабе независимо от погодных условий. Конкретной реализацией NAVSTAR явилась система GPS - Global Positioning System (США). Система NAVSTAR состоит следующих взаимосвязанных подсистем: космических аппаратов, контроля и управления, аппаратуры потребителей.

Система GPS разрабатывалась в первую очередь для военного применения министерством обороны США и вскоре стала активно использоваться в других областях гражданской сфере. Система позволяет определить местонахождение неподвижного или же движущегося объекта с точностью до 20 м, в любой точке земного шара. Кроме того, система оснащает речные и морские суда, автомобили, самолеты электронными картами, на которых показывается местоположение объекта и наиболее удобный или кратчайший путь к его пункту назначения. GPS используется также для составления географических карт и в задачах геодезии.[4]

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

Космический сегмент GPS состоит из 26 спутников, (21 рабочий и 5 резервных, находящихся в горячем режиме) расположенных на круговых средневысотных орбитах. Плоскости орбит наклонены на угол $i = 55^0$ к плоскости экватора, они равномерно расположены на 6 орбитах и сдвинуты между собой на 60° по долготе. Радиусы орбит составляют около 20200 км, а период обращения составляет 11ч.45,8 мин.[5]

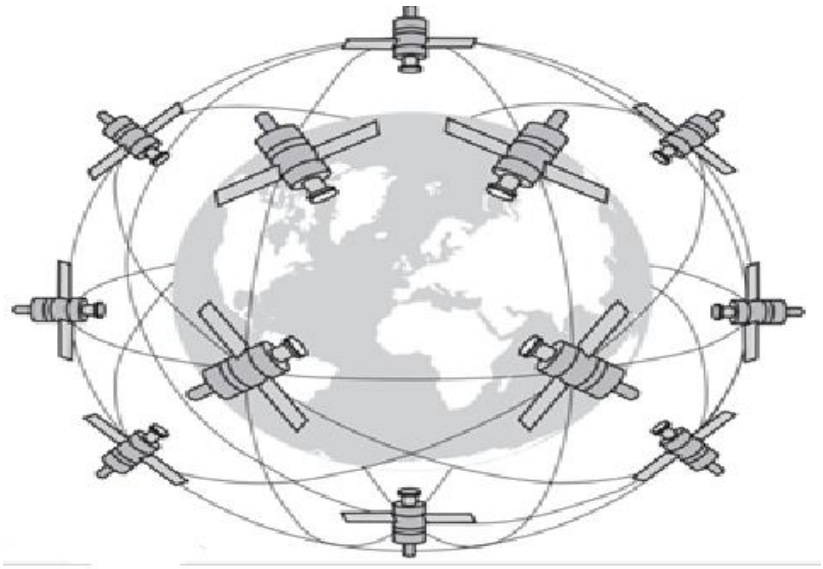


Рисунок 1.3- Спутниковая система Глобального Позиционирования Global Positioning System (GPS)

Передающая аппаратура всех спутников излучает навигационные сигналы на двух частотах: L1 = 1575,42 МГц и L2 = 1227,60 МГц, но каждый сигнал имеет свой отличительный код. [5] Сигналы модулируются псевдослучайными цифровыми последовательностями (процедура называется фазовой манипуляцией). Причем частота L1 модулируется двумя видами кодов: C/A-кодом (код свободного доступа) и P-кодом (код санкционированного доступа), а частота L2 — только P-кодом. Кроме того, обе несущие частоты дополнительно кодируются навигационным сообщением, в котором содержатся данные об орбитах ИСЗ, информация о параметрах атмосферы, поправки системного времени.

Кодирование излучаемого спутником радиосигнала преследует несколько целей:

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

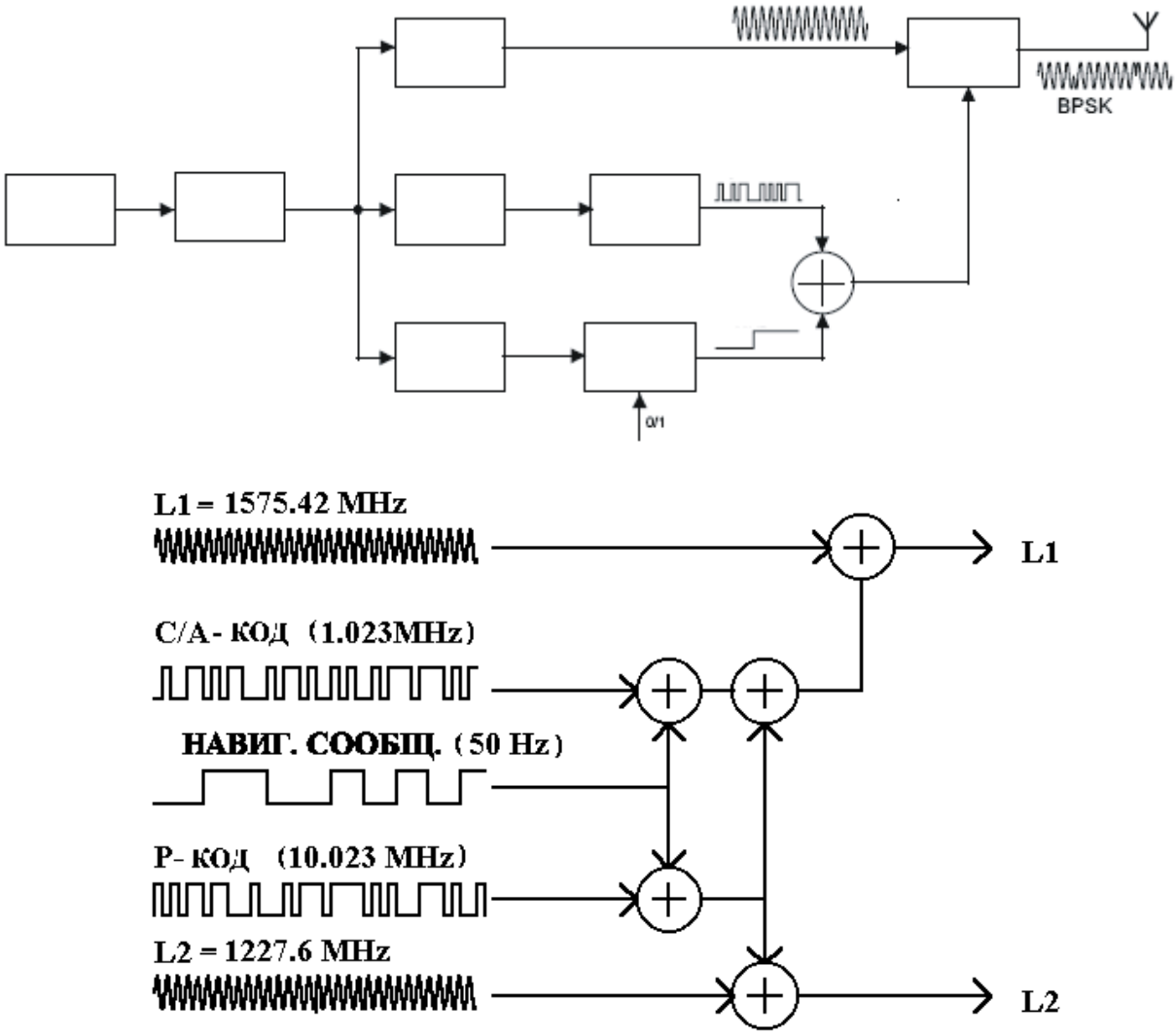


Рисунок 1.4. Структура сигнала GPS

Данные параметры расположения орбитальной группировки выбраны не случайно. В любой момент времени в любой точке земного шара можно получить сигналы как минимум от 3-х спутников, который является необходимым условием определения координат. Для более точного определения место нахождения необходим сигнал от четвертого спутника.

Наземный сегмент системы представляет собой контролирующе-измерительные станции для слежения спутников. Они расположены на Кваджалейне, на острове Вознесения, на Гавайях, Диего-Гарсия и Колорадо-Спрингс. Также в системе работают три наземные антенны (остров Вознесения, Диего-Гарсия и Кваджалейн). Управление осуществляется на центральной станции, расположенной на авиабазе в Шривере, Колорадо (Schriever Air Force Base, Colorado).[6]

Сегмент управления устанавливает шкалу времени GPS, которая привязана к шкале времени UTC. Начало отсчёта этой шкалы времени установлено в пол-

ночь с 5 на 6 января 1980 г. Самой крупной единицей времени GPS является одна неделя (604800 с). Шкала времени GPS отличается от шкалы UTC: во-первых - на целое число секунд (напомним, что в UTC иногда вводятся коррекции на 1 секунду), и, во-вторых, - на малую переменную величину, связанную с нестабильностью опорных генераторов, которую ведущая станция должна удерживать в пределах 1 мкс.

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

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

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

В аппаратуре потребителя (GPS - приёмнике) принимаемый сигнал декодируется, т.е. из него выделяются кодовые последовательности C/A либо C/A и P, а также служебная информация. Полученный код сравнивается с аналогичным кодом, который генерирует сам GPS-приёмник, что позволяет определить задержку распространения сигнала от спутника и таким образом вычислить псевдодальность. После захвата сигнала спутника аппаратура приёмника переводится в режим слежения, т.е. в БПС поддерживается синхронизм между принимаемым и опорным сигналами.[6]

.

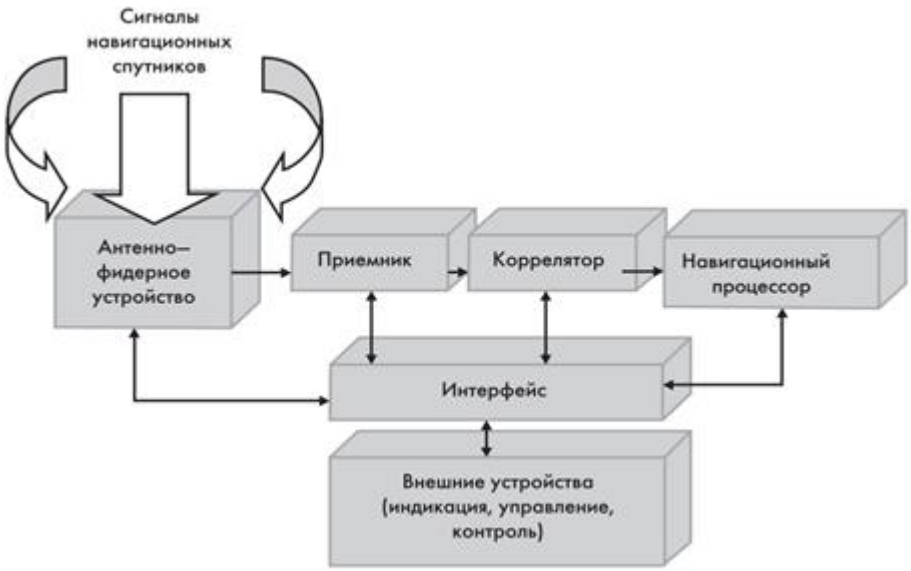


Рисунок 1.5- Функциональная схема аппаратуры потребителя

Чтобы понять, как GPS-приемник определяет координаты, необходимо иметь представление о системе координат, в которой происходит движение спутников и определение координат конечных потребителей.

Наблюдатель на Земле может представить небесную сферу, спроецированную на плоскость так, чтобы центр совпадал с местоположением наблюдателя. Именно в этой проекции пользователю GPS-приемника показывается примерное расположение спутников (рисунок 1.6).

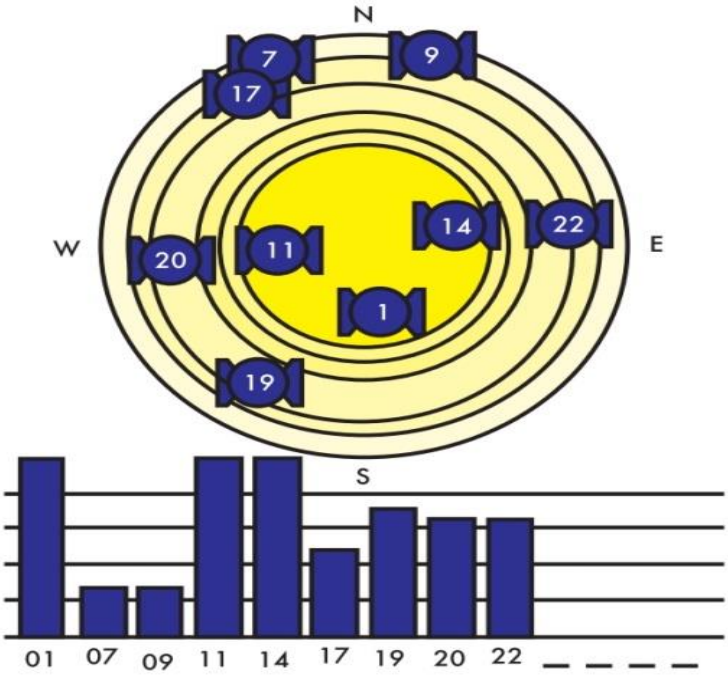


Рисунок 1.6.Расположение спутников на информационном экране навигатора

Как показано на рисунке 1.6 (снимок с экрана GPS-навигатора), спутников в пределах видимости находится девять. В реальности спутников на проекции сферы видно не более восьми, а сигналы принимаются максимум с четырех-шести. Закрашенный столбик над номером спутника показывает на устойчивый прием сигналов, а высота столбца позволяет оценить качество приема. В момент, когда GPS-приемник начинает получать информацию со спутника, над его номером появляется не закрашенный прямоугольник. Закрашивается он при уточнении параметров орбиты спутника и начале получения данных, на основе которых идет непосредственный расчет координат пользователя.

При наличии сигнала от одного спутника (№1), известной скорости распространения электромагнитного сигнала в пространстве (300 000 км/с) и времени, за которое сигнал дошел от спутника до GPS-приемника, стало возможным рассчитать геометрическое место точек нахождения приемника сигнала (им будет являться сфера с радиусом, равным расстоянию от спутника до приемника, в центре которой находится спутник).[7]

Если GPS-навигатор начал принимать сигналы от второго спутника, то аналогично первому случаю, строится сфера вокруг спутника №2. Так как GPS-приемник должен находиться на обеих сферах сразу, то теперь строится пересечение двух сфер. Каждая точка получившейся окружности может являться местом нахождения приемника в пространстве.

Итак, когда приемник поймает сигнал от спутника №3, строится еще одна сфера, при пересечении с окружностью она дает нам две точки. Одна из этих точек, как правило, имеет неправдоподобное расположение, и в процессе вычисления по алгоритму она отбрасывается. Таким образом, мы получаем результат: широту и долготу.[7]

Но если учитывать огромную скорость распространения электромагнитной волны, ошибка в расчетах на тысячные доли секунды может привести к довольно серьезным погрешностям в вычислении расстояния до спутника, а затем и в построении сфер и определении координат. Таким образом, для корректного определения координат необходим четвертый спутник.

После построения трех сфер приемник начинает манипулировать с временной задержкой. При каждом новом сдвиге времени приемника строятся новые сферы, точка пересечения их «расплывается» в треугольник. То есть сферы перестают пересекаться, а местоположение GPS-приемника может с определенной вероятностью быть в любой из точек треугольной области. Затем временные сдвиги продолжаются до тех пор, пока все три сферы снова не пересекутся в одной точке. Получаем довольно точные координаты. И чем больше спутников «видит» навигатор, тем точнее мы можем скорректировать время с вытекающим из этого увеличением точности позиционирования. При наличии четвертого спутника мы имеем возможность определить высоту над уровнем моря, скорость передвижения по поверхности и скорость вертикального перемещения.

1.5.2 Спутниковая радионавигационная система «ГЛОНАСС»

Система ГЛОНАСС предназначена для глобальной оперативной навигации подвижных объектов. СРНСС разработавалась по заказу Министерства Обороны. По своей структуре ГЛОНАСС так же, как и GPS, является системой двойного действия, то есть может использоваться как в военных, так и в гражданских целях.[8]

Система в целом включает в себя три основные части определяющие ее работу (эти части называются сегментами):

- космический сегмент, в состав которого входит орбитальная группировка искусственных спутников Земли (другими словами, навигационных космических аппаратов);
- сегмент управления, наземный комплекс управления (НКУ) орбитальной группировкой космических аппаратов;
- аппаратура пользователей системы.

Из этих трёх частей последняя, аппаратура пользователей, самая многочисленная. Система ГЛОНАСС является беззапросной, поэтому количество потребителей системы неограничено. Помимо основной функции - навигационных определений - система может производить высокоточную взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удалённых наземных объектах и взаимную геодезическую привязку. Помимо этого, с её помощью можно производить определение ориентации объекта на основе измерений, производимых от четырёх приёмников сигналов навигационных спутников.

СРНС ГЛОНАСС в полном комплекте состоит из 24 спутников, размещённых на трёх высокоширотных орбитах наклонением 64,3°, с периодом обращения 11час 15 мин 44 сек. Эта система защищена от помех и вмешательства в большей мере, чем система GPS.[8]

В системе ГЛОНАСС в качестве радионавигационной опорной станции используются навигационные космические аппараты (НКА), вращающиеся по круговой геостационарной орбите на высоте 19100 км (рисунок 1.5).

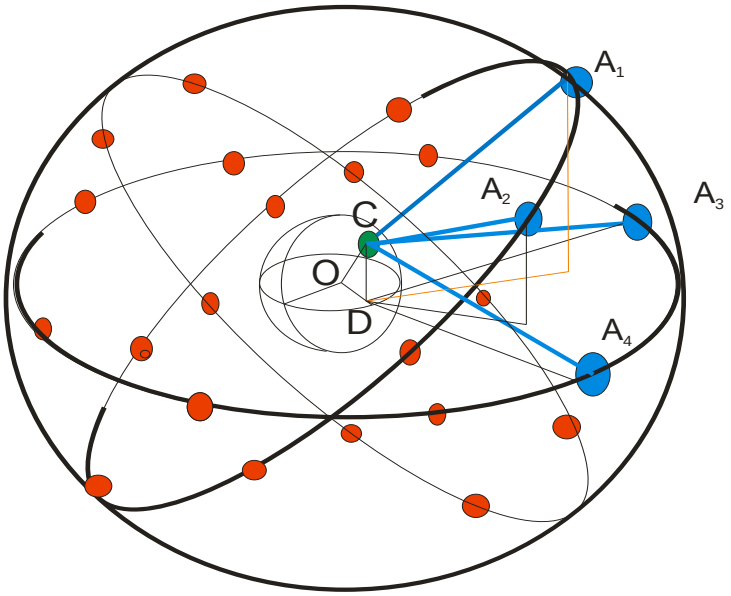


Рисунок 1.5. Сетевая радионавигационная спутниковая система ГЛОНАСС

Управление орбитальной группировкой ГЛОНАСС осуществляет наземный комплекс управления (НКУ). Он включает в себя Центр управления системой (ЦУС) (г. Голицино-2, Московская область) и сеть станций слежения и управления, рассредоточенных по всей территории РФ.

Наземный комплекс управления осуществляет сбор, накопление и обработку траекторной и телеметрической информации о всех спутниках системы и выдачу на каждый спутник команд управления и навигационной информации.

Наземный сегмент обеспечивает эфемеридное обеспечение спутников. Это означает, что на земле определяются параметры движения спутников и прогнозируются значения этих параметров на заранее определенный промежуток времени. Параметры и их прогноз закладываются в навигационное сообщение, передаваемое спутником наряду с передачей навигационного сигнала.[9]

В системе ГЛОНАСС используется частотное разделение сигналов (FDMA), излучаемых каждым спутником - двух фазоманипулированных сигналов. Частота первого сигнала лежит в диапазоне L1 = 1600 МГц, а частота второго - в диапазоне L2 = 1250 МГц. Номинальные значения рабочих частот радиосигналов, передаваемых в диапазонах L1 и L2, определяются выражением

$$f_{k1}=f_1+k\Delta f_1,$$

$$f_{k2} = f_2 + k\Delta f_2 \quad k = 0,1,...,24,$$

где k = 0,1,...,24 - номера литеров (каналов) рабочих частот спутников.

$$f_1=1602\text{МГц}; \quad \Delta f_1=9/16=0{,}5625\text{МГц},$$

$$f_2 = 1246\ \text{МГц}; \quad \Delta f_2 = 7/16 = 0{,}4375\ \text{МГц}.$$

Для каждого спутника рабочие частоты сигналов в диапазоне L1 и L2 когерентны и формируются от одного эталона частоты. Отношение рабочих частот несущей каждого спутника[3]

$$\Delta f_{k1}/\Delta f_{k2} = 7/9.$$

Номинальное значение частоты бортового генератора, с точки зрения наблюдателя, находящегося на поверхности Земли, равно 5,0 МГц.

В диапазоне L1 каждый спутник системы ГЛОНАСС излучает 2 несущие на одной и той же частоте, сдвинутые друг относительно друга по фазе на 90º (рисунок 1.6).

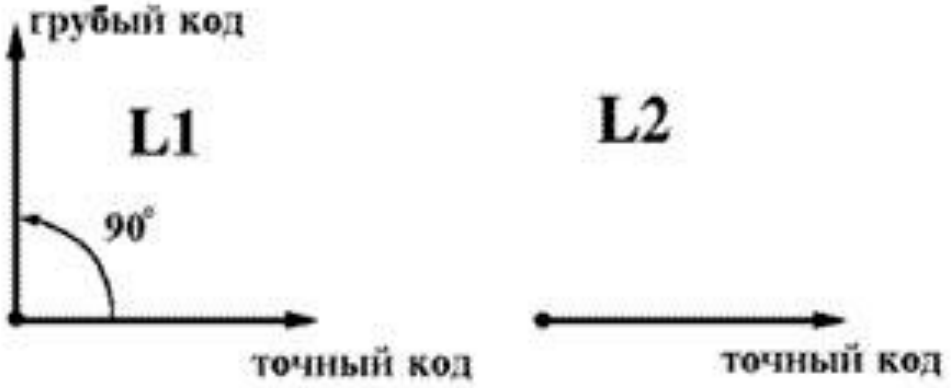
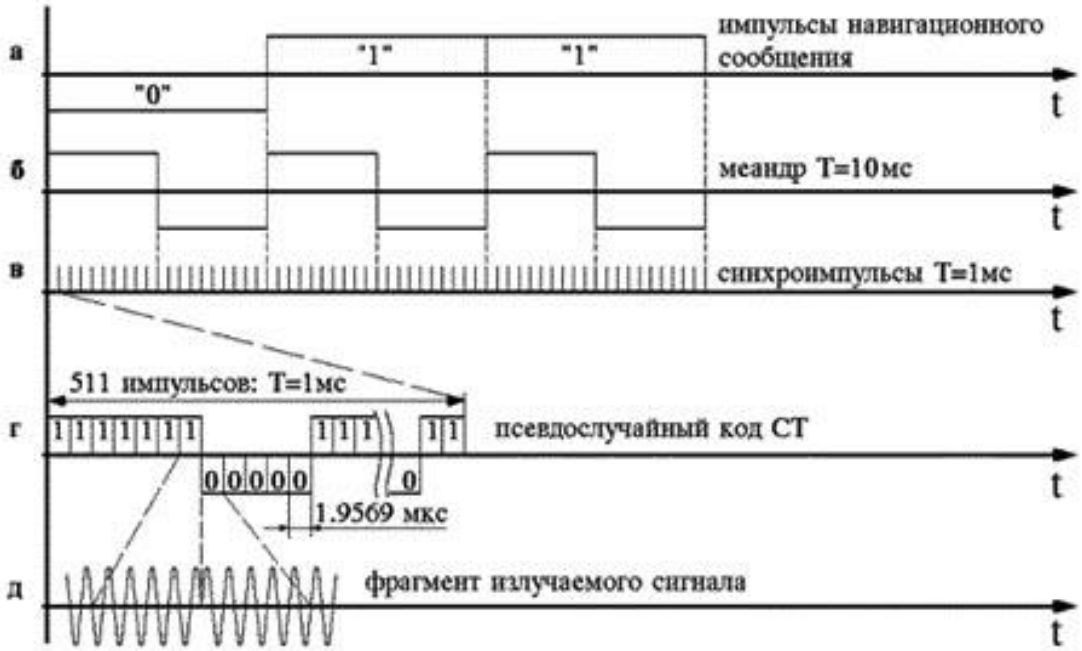


Рисунок 1.6. Векторная диаграмма несущих сигналов систем ГЛОНАСС и GPS

Одна из несущих подвергается фазовой манипуляции на 180º градусов. Модулирующий сигнал получают сложением по mod2 трёх двоичных сигналов (рисунок 1.7):



- последовательности навигационных данных, передаваемых со скоростью 50 бит/с (рисунок. 1.7, а);
- меандрового колебания, передаваемого со скоростью 100 бит/с (рисунок. 1.8,б);
- грубого дальномерного кода, передаваемого со скоростью 511 Кбит/с (рисунок. 1.8, в).

Рисунок 1.7. Структура сигнала ГЛОНАСС

Сигнал в диапазоне L1 (аналогичен C/A-коду в GPS) доступен для всех пользователей в зоне видимости КА. Сигнал в диапазоне L2 предназначен для военных нужд, и его структура не раскрывается.

1.6 Система местоопределения, использующая специализированную спутниковую радионавигационную систему

Развитие космических систем связи и навигации началось одновременно. В навигационных системах имелись служебные комплексы связи, но они не являлись системами связи большого числа обслуживания, а для решения задачи управления и связи с подвижными объектами необходимо было знание координат объектов. Возможности совмещения услуг местоопределения и связи нашло применение в обслуживании транспортных сухопутных перевозок, породив целое направление – телематику. [10]В тоже время появилась возможность измерения и передачи координат подвижных объектов что дало возможность создания нового класса систем – систем глобального аварийного оповещения.

Совмещение навигационных и связных систем возникла при необходимости отслеживания движения транспортных средств, выполнения ими графика и т.п.[10]

Эти системы относятся к категории пассивных систем с самоопределением. В них радиопередатчик находится только на навигационных ИСЗ, а аппаратура, размещаемая на подвижном объекте, имеет только приемник сигналов ИСЗ, устройство обработки сигналов и вычисления координат объекта. В данных навигационных системах результаты вычисления координат объекта имеются только на самом объекте, то есть аппаратура объекта сама определяет свои координаты. Общепринятое название этой аппаратуры - аппаратура потребителя спутниковой навигации (АПСН).[5]

Итак, рассмотренные примеры систем спутниковой связи, которые предоставляют услуги измерения координат позволяют определить основные параметры. Во-первых, достаточно широко распространены системы, использующие геостационарные ИСЗ. Однако для решения задач управления движением подвижных объектов требуется точности определения координат достигаемые только с помощью датчиков GPS-GLONASS.

Именно поэтому в дипломном проекте была выбрана система местоопределения и сопровождения автотранспорта на основе спутниковой радионавигационной системы GPS. Рисунок 1.8 дает наглядное предоставление о методике работы предлагаемого способа навигации.

Здесь аппаратура, устанавливаемая на подвижном объекте - аппаратура потребителя, осуществляет прием навигационных сигналов одновременно от нескольких спутников, находящихся в зоне видимости. Определяются географические координаты автотранспорта, скорость и направление движения.

Данные о координатах и скорости автотранспорта могут представляться потребителю в визуальной форме на табло и запоминаются с регистрацией времени измерения.[10]

Для передачи навигационных параметров подвижного объекта в транспортное предприятие используется отдельный канал связи подвижной спутниковой службы (ПСС). В данной схеме указан канал спутниковой связи автотранспорта находящийся в городе Павлодар с центральной станцией в городе Алматы через геостационарный спутник связи KazSat-2. Сеанс измерения навигационных параметров и их передача от автотранспорта включается по запросу из центральной связи. При этом не требуется вмешательства водителя на автотранспорте.

Спутниковые системы местоопределения подвижных объектов базируются на использовании радиолиний, обеспечивающих передачу сигналов между подвижным объектом, искусственным спутником Земли (ИСЗ) и наземной станцией. При этом подвижный объект, ИСЗ и наземная станция оснащаются радиотехническим оборудованием в зависимости от используемой конфигурации системы и метода определения координат объекта. Поэтому технология системы построена по стандарту VSAT.

Спутниковые системы радиоместоопределения - сравнительно новая, быстро развивающаяся ветвь навигации или отслеживания перемещения подвижных объектов.

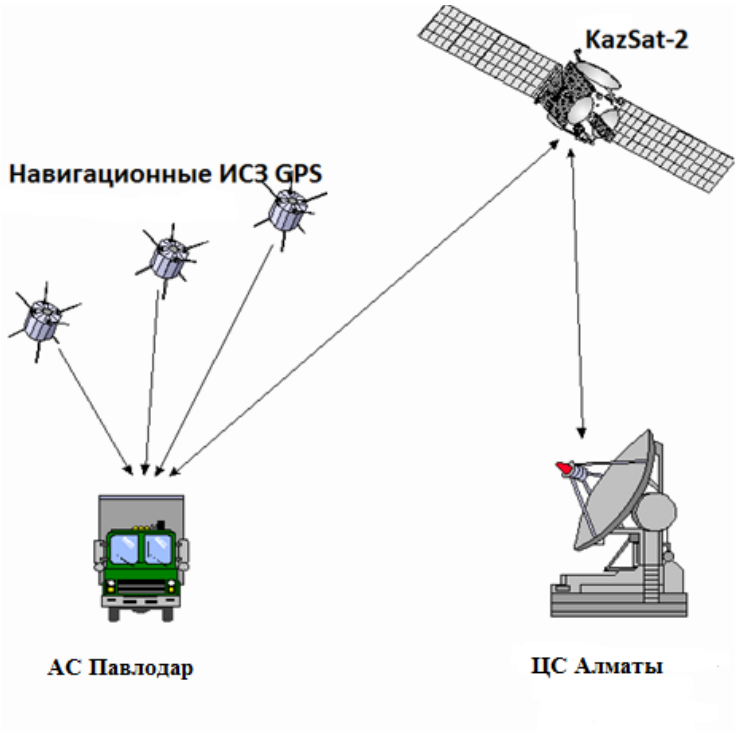


Рисунок 1.8 – Схема использования геостационарного спутника связи для контроля и управления передвижением транспорта на основе спутниковой радионавигационной системы GPS

2 Энергетический расчет геостационарной спутниковой линии связи

Через линию связи сигналы посылаются вверх, по направлению к спутнику, обрабатываются электронным способом и затем ретранслируются через линию связи вниз, по направлению к наземным приемным станциям. Линия спутниковой связи состоит из двух участков: Земля-спутник и спутник-Земля.

Основная особенность спутниковых линий - наличие больших потерь сигнала, обусловленных затуханием его энергии на трассах большой физической протяженности. Так, при высоте орбиты ИСЗ, равной 36 тыс. км, затухание сигнала может достигать 200 дБ. Помимо этого основного затухания в пространстве, сигнал в линиях спутниковой связи подвержен влиянию большого числа других факторов. Таких как поглощение в атмосфере, рефракция, влияние дождевых осадков и т. д. С другой стороны, на приемное устройство спутника и земной станции кроме собственных флуктуационных шумов воздействуют разного рода помехи в виде излучения космоса, Солнца и планет. В этих условиях правильный и точный учет влияния всех фактории позволяет осуществить оптимальное проектирование системы, обеспечить ее уверенную работу в наиболее трудных условиях и в то же время исключить излишние энергетические запасы, приводящие к неоправданному увеличению сложности земной и бортовой аппаратуры.

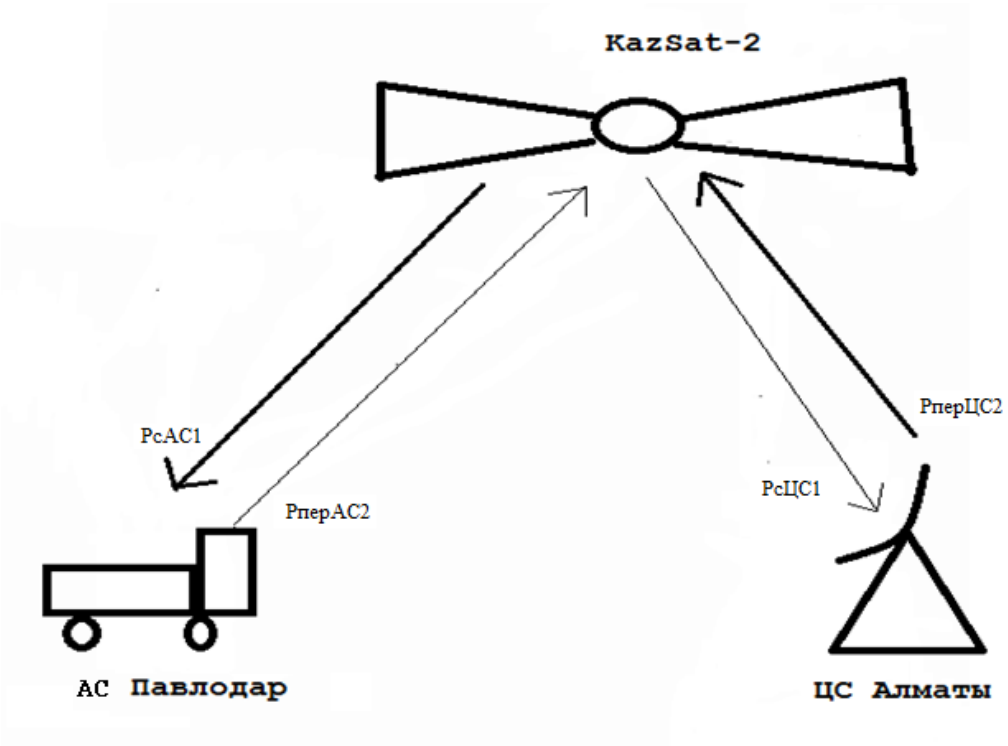


Рисунок 2.1 – Схема передачи данных через геостационарную спутниковую линии связи

2.1 Расчет энергетической спутниковой линии связи Алматы – Павлодар

Для расчета энергетической спутниковой линии Алматы – Павлодар, где будет осуществляться линия контроля и управления автотранспортом нужно выбрать конкретный ствол, чтобы знать частоты приема и передачи.

Выберем для расчета ствол Т5 (таблица 2.4)

2.1.1 Расчет спутниковой линии связи Алматы-KazSat2 на участке «вверх»

Исходные данные

Таблица 2.1 - Географическое расположение

ЦС/АС Координаты	Алматы	Павлодар
Широта (Север)	43,2°	52,4°
Долгота (Восток)	76,5°	77°

Таблица 2.2 - Техническая спецификация ИСЗ KazSat-2

Точка стояния на ГСО,град	86,5 в.д
Масса КА, кг	1330
Точность ориентации ,град	0,1
Точность позицион. ,град	+(-) 0,05
Мощность СБ ,Вт	46
Срок активного существования ,лет	12,25
Диапозон частот	Ku
Количество стволов	16
Полоса пропускания ,МГц	54
Добротность, дБ/К	5,3
ЭИИМ(Тв связь) ,дБ/Вт	53,5/49
Масса ПН ,кг	200

Таблица 2.4 - Частотный план ИСЗ KazSat-2

Номер ствола	Центральная Частота на радиолинии вверх МГц	Центральная Частота на радиолинии вниз МГц	Выходная мощность Вт	Полоса пропуска -ния Мгц	Поляриза-ция на радиолинии вверх	По ляриза-ция на радиолин ии вниз
T1	14031,25	10981,25	45	54	X	Y
T2	14031,25	10981,25	45	54	Y	X
T3	14093,75	11043,75	45	54	X	Y
T4	14093,75	11043,75	45	54	Y	X
T5	14056,25	11106,25	45	54	X	Y
T6	14056,25	11106,25	45	54	Y	X
T7	14218,75	11168,75	45	54	X	Y
T8	14218,75	11168,75	45	54	Y	X
T9(TV)	14281,75	11481,25	115	54	X	Y
T10	14281,75	11481,25	115	54	Y	X
T11(TV)	14343,75	11543,75	115	54	X	Y
T12	14343,75	11543,75	115	54	Y	X
T13(TV)	14406,25	11606,25	115	54	X	Y
T14	14406,25	11606,25	45	54	Y	X
T15(TV)	14468,75	11668,75	115	54	X	Y
T16	14468,75	11668,75	45	54	Y	X
Маяк	-	11199,5	-	-		R

Таблица 2.5- Исходные данные для расчета на участке «вверх» спутниковой линии связи Алматы-KazSat2-Павлодар

Рабочий диапазон, ГГц	14,15625
Диаметр передающей антенны ЗС, м	6
Коэффициент усиления передающей антенны, дБ	57,4
Выходная мощность передатчика ЗС, Вт	35
Потери сигнала на передающей стороне, дБ	1
ЭИИМ ЗС, дБВт	71
Полоса частот, МГц	54
Потери наведения антенны, дБ	3,3
Потери сигнала в невозмущенной атмосфере, дБ	0,2
Полная шумовая температура	800

приёмной системы ретранслятора, ^{o} К	
Потери сигнала в приёмном тракте ретранслятора, Дб	1
Пороговое отношение сигнал-шум h^2_n, Дб	12
Способ модул-кодир.	
Пороговая чувствительность приемника ,дБ	-130

1. Коэффициент усиления антенны ЗС при работе на передачу

$$G_З=109{,}67\cdot K_u\cdot D^2\cdot f^2, \qquad (2.1)$$

$$G_З=109{,}67\cdot K_u\cdot D^2\cdot f^2=109{,}67\cdot 0{,}7\cdot 36\cdot 14{,}15625^2 = 553821 \text{ (57,4 дБ)}.$$

2. Ширина диаграммы направленности антенны ЗС

$$\theta=\frac{18}{D\cdot f}, \qquad (2.2)$$

$$\theta=\frac{18}{6\cdot 14{,}15625}=0{,}21 \text{ рад}(12^{o}).$$

3. Коэффициент усиления приёмной антенны бортового ретранслятора

$$Gб=\frac{35530\cdot Ku}{\theta^2}, \qquad (2.3)$$

$$Gб=\frac{35530\cdot Ku}{12^2}=172{,}7 \text{ (22,37 дБ)}.$$

4. Потери в свободном пространстве

$$L_o = 1{,}75\cdot 10^{15}\cdot d^2\cdot f^2, \qquad (2.4)$$

где d – наклонная дальность между ЗС и КС тыс. км,
f – частота на передачу, ГГц.

$$d = 42644\sqrt{1-0{,}2954\cdot\cos\varphi}, \qquad (2.5)$$

где $\cos\varphi=\cos\xi\cos\beta$,

ξ - широта наземной станции,
β- разность долгот спутника и земной станции.

Тогда рассчитаем наклонная дальность между ЗС и КС

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos 43{,}2° \cdot \cos(76{,}5° - 86{,}5°)} =$$
$$= 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot 0{,}72896 \cdot 0{,}98480} = 37980 \text{ км}$$.

Далее рассчитаем потери в свободном пространстве

$$L_o = 1{,}75 \cdot 10^{15} \cdot 33{,}645^2 \cdot 14{,}15625^2 = 3{,}81 \cdot 10^{20} \text{ (206 дБ)}.$$

5. Дополнительные потери

Суммарные потери наведения $L_Н = 3{,}3$ дБ.
Потери сигнала в невозмущенной атмосфере $L_а = 0{,}2$ дБ.
Потери в приёмном тракте приёмника $L_{пр} = 1$ дБ.

$$L_{доп} = 3{,}3 + 0{,}2 + 1 = 4{,}5 \text{ дБ}.$$

6 Мощность полезного сигнала на входе приёмника

$$P_с = P_{пер3С} + G_З + G_б - L_о - L_{доп}, \qquad (2.6)$$

$$P_с = 15{,}44 + 57{,}4 + 22{,}37 - 206 - 4{,}5 = -115{,}29 \text{ дБ}.$$

Таким образом Рс > $E_{ПОР\ КС}$, величина сигнала на входе РПУ КС выше чувствительности РПУ

7. Мощность шума в полосе частот ствола ретранслятора

$$P_ш = kT\Delta f, \qquad (2.7)$$

$$P_ш = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 800 \cdot 54 \cdot 10^6 = 5{,}96 \cdot 10^{-13} \text{ Вт (-122,2 дБВт)}.$$

8. Отношение сигнал-шум на входе приёмника ретранслятора

$$\frac{Рс}{Рш} = Рс - Рш \text{ (дб)}, \qquad (2.8)$$

$$\frac{Рс}{Рш} = Рс - Рш = -115{,}5 - (-122{,}2) = 7 \text{ дб}.$$

9.Определяем потери в дожде

$$L_д = a \cdot I^b \cdot l \text{ (дБ)}, \qquad (2.9)$$

где I=22 мм/час — интенсивность выпадения осадков в зоне Е;
l — длина пути сигнала в дождевом слое;
a и b — вспомогательные коэффициенты.

$$a = 4{,}21 \cdot 10^{-5} \cdot f^{2{,}49} \text{ при } 2{,}9 \le f \le 54 \text{ ГГц},$$

$$a = 4{,}21 \cdot 10^{-5} \cdot 14{,}15625^{2{,}49} = 0{,}030.$$

$$b = \begin{cases} 1{,}41 \cdot f^{-0{,}0779} & \text{при } 2{,}54 \le f \le 25 \text{ ГГц} \\ 2{,}63 \cdot f^{-0{,}272} & \text{при } 25 \le f \le 164 \text{ ГГц} \end{cases},$$

$$b = 1{,}41 \cdot 14{,}15625^{-0{,}0779} = 1{,}1.$$

Длина пути сигнала в дождевом слое с учетом $h_{ЗС}=0^o$

$$l = \frac{h_Д}{\sin\gamma}, \qquad (2.10)$$

$$l = \frac{h_Д}{\sin\gamma} = \frac{6{,}9}{\sin 39{,}2} \text{ км},$$

где $h_Д$ – эффективная высота дождевого слоя,
$\gamma=39.2^o$ – угол места ЗС .

Угол возвышения равен углу места ЗС

$$\gamma = \arcsin \frac{H \cos\varphi_H \cos(\lambda_C - \lambda_H)}{\sqrt{H^2 + R^2 + 2HR\cos\varphi_H \cos(\lambda_C - \lambda_H)}}, \qquad (2.11)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{H \cos 43{,}2 \cos(86{,}5 - 76{,}5)}{\sqrt{H^2 + R^2 + 2HR\cos 43{,}2 \cos(86{,}5 - 76{,}5)}},$$

где H=42170 км – высота орбиты геостационарного спутника над Землёй,
R=6371 км – радиус Земли,
φ_H - широта ЗС,

$\lambda_C - \lambda_H$ - разность по долготе между спутником и ЗС.

Высота нулевой изотермы (км)

$$h_и = \begin{cases} 4{,}8 \quad \text{при } \psi_c < 10^o, \text{ где } \psi_c \text{ - широта ЗС} \\ 7{,}8\text{-}0{,}1(\psi_c) \text{ при } \psi_c > 10^o \end{cases} \qquad (2.12)$$

.

$$h_и = 7{,}8 - 0{,}1 \cdot 43{,}2 = 3{,}48 \text{ км.}$$

Эффективная высота дождевого слоя

$$h_д = \begin{cases} h_и \text{ при } I < 10 \quad \text{мм/час} \\ h_и + 10 \lg (I/10) \text{ при } I > 10 \text{ мм/час,} \end{cases} \qquad (2.13)$$

$$h_Д = 3{,}48 + 10\lg (22/10) = 6{,}9 \text{ мм/час,}$$

$$L_д = 0{,}030 \cdot 22^{1,1} \cdot 11 = 1 \text{ дБ.}$$

14.Отношение сигнал-шум на входе приёмника ретранслятора при работе в дожде

.

$$\left(\frac{Pc}{Pш}\right)_д = \frac{Pc}{Pш} - L_д \text{ дБ ,} \qquad (2.14)$$

$$\left(\frac{Pc}{Pш}\right)_д = \frac{Pc}{Pш} - L_Д = 7 - 1 = 6 \text{ дБ.}$$

15.Добротность приёмной системы ретранслятора

$$Д = \frac{G}{Tp}, \qquad (2.15)$$

$$Д = \frac{G}{Tp} = \frac{172{,}7}{800} = 0{,}216 \quad (-5{,}6 \text{ дБ}).$$

$T_р$=800°К — полная шумовая температура приёмной системы ретранслятора.

Минимальная добротность системы ретранслятора Д= - 10 дБ, таким образом условие качественного приема выполняется $Д_{ретр.} > Д_{min}$

16.Энергетический потенциал

$$ЭП = \frac{Pc}{No}, \qquad (2.16)$$

где N_o — эквивалентная спектральная плотность мощности шума, приведенная по входу приёмника.

$$N_o = k \cdot T_p = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 800 = -178{,}4 дБ, \qquad (2.17)$$

$$ЭП = -115{,}29-(-178{,}4) = 63{,}11 дБ.$$

2.1.2 Расчет спутниковой линии связи KazSat2-Павлодар на участке «вверх»

Таблица 2.6 - Исходные данные для расчета на участке «вниз» спутниковой линии связи Алматы-KazSat2-Павлодар

Рабочий диапазон, ГГц	11,10625
Коэффициент усиления передающей антенны ретранслятора, дБ	29,17
Выходная мощность ствола ретранслятора, Вт	45
Потери сигнала на передающей стороне, дБ	1
ЭИИМ ствола ретранслятора, дБВт	49
Полоса частот ствола, МГц	54
Потери наведения антенны, дБ	2
Потери сигнала в спокойной атмосфере, дБ	0,1
Диаметр приёмной антенны ЗС, м	2,4
Шумовая температура ЗС,^{o} К	250
Потери сигнала в приёмном тракте ЗС, дБ	2,5
Пороговое отношение сигнал-шум h^2_n,дБ	12

1.Коэффициент усиления антенны ЗС при работе на прием определим по формуле (2.1)

$G_З$=109,67· $К_u$ ·D^2·f^2 =109,67· 0,7 ·5,76·11,10625^2 = 54541 (47,36 дБ).

2.Ширина диаграммы направленности антенны ЗС определим по формуле(2.2)

$$\theta = \frac{18}{2{,}4 \cdot 11{,}10625} = 0{,}6 \text{ рад } (34{,}39^{o}).$$

3.Коэффициент усиления передающей антенны бортового ретранслятора определим по формуле (2.3)

$$Gб = \frac{35530 \cdot Ku}{34{,}39^2} = 82{,}6 \text{ (29,17 дБ)},$$

$$ЭИИМ = P_{пер} + Gб + \eta = 16{,}53 + 29{,}17 - 0{,}45 = 45{,}25 \text{ дБ}.$$

Таким образом , $ЭИИМ_{расч.}$< $ЭИИМ_{пасп.}$ 45,25 <49 Дб. Условие для правильной рабочей передачи ретранслятора выполняется.

4.Потери в свободном пространстве определим по формуле (2.4)

$$L_o = 1{,}75 \cdot 10^{15} \cdot d^2 \cdot f^2$$

где d – наклонная дальность между ЗС и КС тыс. км;
f – частота на передачу, ГГц.

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos\varphi}.$$

где $\cos\varphi = \cos\xi \cos\beta$,
ξ - широта наземной станции,
β- разность долгот спутника и земной станции.
Тогда по формуле (2.5) найдем наклонную дальность между ЗС и КС:

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos 52{,}4° \cdot \cos(77° - 86{,}5°)},$$

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot 0{,}61014 \cdot 0{,}98628} = 38681 \text{ км}.$$

Далее рассчитаем потери в свободном пространстве

$$L_o = 1{,}75\cdot10^{15}\cdot38{,}681^2\cdot11{,}10625^2 = 3{,}1\cdot10^{20}\ (205\ дБ).$$

5. Дополнительные потери определим

Суммарные потери наведения $L_Н = 2$ дБ.
Потери сигнала в невозмущенной атмосфере $L_а = 0{,}1$ дБ.
Потери в приёмном тракте приёмника $L_{пр} = 2{,}5$ дБ.

$$L_{доп} = 2 + 0{,}1 + 2{,}5 = 4{,}6\ дБ.$$

6. Мощность полезного сигнала на входе приёмника определим по формуле (2.6)

$$P_с = P_{пер3С} + G_З + G_б - L_о - L_{доп} = 16{,}5 + 47{,}36 + 29{,}17 - 205 - 4{,}6 = -116{,}57\ дБ.$$

$E_{ПОР\ зС} = -125$ дБ , таким образом величина сигнала на входе РПУ КС выше чувствительности РПУ

7. Мощность шума в полосе частот ствола ретранслятора определим по формуле (2.7)

$$P_ш = kT\Delta f = 1{,}38\cdot10^{-23}\cdot250\cdot54\cdot10^6 = 1{,}117\cdot10^{-13}\ Вт\ (-127{,}5\ дБВт).$$

8. Отношение сигнал-шум на входе приёмника ретранслятора определим по формуле(2.8)

$$\frac{Pc}{Pш} = Pc - Pш = -115{,}57 - (-127{,}5) = 10{,}93\ дБ.$$

9. Определяем потери в дожде по формуле (2.9)

$$L_д = a\cdot I^b\cdot l\ (дБ),$$

где I=22 мм/час — интенсивность выпадения осадков в зоне Е,
l — длина пути сигнала в дождевом слое,
a и b — вспомогательные коэффициенты

$$a = 4{,}21\cdot10^{-5}\cdot f^{2{,}49}\ \text{при}\ 2{,}9 \le f \le 54\ ГГц;$$

$$a = 4{,}21\cdot10^{-5}\cdot 11{,}10625^{2{,}49} = 0{,}016.$$

$$b = \begin{cases} 1{,}41\cdot f^{-0{,}0779} & \text{при}\ 2{,}54 \le f \le 25\ ГГц \\ & \end{cases}$$

$$2{,}63 \cdot f^{-0{,}272} \quad \text{при} \quad 25 \quad \le f \le \quad 164 \text{ ГГц}$$

$$b = 1{,}41 \cdot 11{,}10625^{-0{,}0779} = 1{,}16.$$

Длина пути сигнала в дождевом слое с учетом $h_{ЗС}=0^{o}$ определим по формуле (2.10)

$$l = \frac{h_Д}{\sin\gamma} = \frac{5{,}98}{\sin 29{,}7} \text{ км}$$

где $h_Д$ – эффективная высота дождевого слоя,
$\gamma=29.7^{o}$ – угол места ЗС ,

Угол возвышения равен углу места ЗС определяется по формуле (2.11)

$$\gamma = \arcsin \frac{H \cos 52{,}4 \cos(86{,}5 - 77)}{\sqrt{H^2 + R^2 + 2HR \cos 43{,}2 \cos(86{,}5 - 77)}},$$

где H=42170 км – высота орбиты геостационарного спутника над Землёй;
R=6371 км – радиус Земли;
φ_H - широта ЗС;
$\lambda_C - \lambda_H$ - разность по долготе между спутником и ЗС.

Высота нулевой изотермы определим по формуле(2.12) км

.

$$h_и = 7{,}8 - 0{,}1 \cdot 52{,}4 = 2{,}56 \text{ км}.$$

Эффективная высота дождевого слоя определяется по формуле (2.13)

.

$$h_Д = 2{,}56 + 10\lg(22/10) = 5{,}98,$$

$$L_д = 0{,}016 \cdot 11{,}10625^{1{,}16} \cdot 12{,}06 = 0{,}8 \text{ дБ}.$$

14. Определим Отношение сигнал-шум на входе приёмника ЗС при работе в дожде по формуле (2.14) , дБ

$$\left(\frac{Pc}{Pш}\right)_Д = \frac{Pc}{Pш} - L_Д = 12 - 0{,}8 = 11{,}2$$

15.Добротность приёмной системы ЗС определяется по формуле(2.15)

$$Д = \frac{G}{Tp} = \frac{54541}{250} = 218 \text{ (-23,4 дБ).}$$

T_p=250°К — полная шумовая температура приёмной системы ретранслятора.

Согласно справочнику норм МККР добротности приемной системы земных станций 17-42 дБ следовательно, условие качественного приема выполнены.

16.Определим энергетический потенциал по формуле (2.16)

ЭП = -115,5-(-203,5) = 88 дБ.

Пропускная способность канала

$$\begin{cases} C \le C_1 = \dfrac{P_c}{N_o h_n^2} = \dfrac{\text{ЭП}}{h_n^2} \\ C \le C_2 = \dfrac{\Delta f_{\text{ст}}}{\text{B}} \end{cases} \qquad C = \min\,(C_1, C_2)$$

где В – база сигнала.

Типовые параметры спутникового канала без кодирования

В=2; h^2_n = 12 дБ;

C_1 = 87 -12 = 75,4 дБ;

$C_2 = 54 \cdot 10^6 /2$ = 27 дБ;

С = C_1 = 75,4 дБ (10^6 Бит/сек) — определяется энергетическими возможностями ретранслятора, а полоса пропускания используется лишь частично.

Коэффициент использования полосы частот

$$k_{\text{исп}} = \frac{BC}{\Delta f_{\text{ст}}} = \frac{2 \cdot 10^6}{54 \cdot 10^6} = 0{,}037$$

2.2 Расчет энергетической спутниковой линии связи Павлодар – Алматы

2.2.1 Расчет спутниковой линии связи Павлодар - KazSat2 на участке «вверх»

Для расчета энергетической спутниковой линии Павлодар – Алматы, где будет осуществляться линия запроса автотранспорта на транспортное

предприятие нужно выбрать конкретный ствол,чтобы знать частоты приема и передачи.

Выберем для расчета ствол Т1 (таблица 2.4)

Таблица 2.7- Исходные данные для расчета на участке «вверх» спутниковой линии связи Павлодар-KazSat2-Алматы

Рабочий диапазон, ГГц	14,03125
Диаметр передающей антенны ЗС, м	2,4
Коэффициент усиления передающей антенны, Дб	49,4
Выходная мощность передатчика ЗС, Вт	5
Потери сигнала на передающей стороне, Дб	1
ЭИИМ ЗС, дБВт	55,6
Полоса частот, МГц	20
Потери наведения антенны, Дб	3,3
Потери сигнала в невозмущенной атмосфере, Дб	0,2
Полная шумовая температура приёмной системы ретранслятора, ^{o} К	800
Потери сигнала в приёмном тракте ретранслятора, Дб	1
Пороговое отношение сигнал-шум h^2_n, Дб	12
Пороговая чувствительность приемника дБ	-130

1.Коэффициент усиления антенны ЗС при работе на передачу определим по формуле (2.1)

$$G_З=109,67\cdot K_u\cdot D^2\cdot f^2=109,67\cdot 0,7\cdot 5,76\cdot 14,03125^2 = 87056 \text{ (49,4 дБ)}.$$

2.Ширина диаграммы направленности антенны ЗС определим по формуле(2.2)

$$\theta=\frac{18}{2,4\cdot 14,03125}=0,53 \text{ рад } (30,38^{o}).$$

3.Коэффициент усиления приёмной антенны бортового ретранслятора определим по формуле (2.3)

$$Gб = \frac{35530 \cdot 0,7}{30,38^2} = 93,5 \text{ (29,7 дБ).}$$

4.Потери в свободном пространстве определим по формуле (2.4)

$$L_o = 1,75 \cdot 10^{15} \cdot d^2 \cdot f^2,$$

где d – наклонная дальность между ЗС и КС тыс. км,
f – частота на передачу, ГГц.

$$d = 42644\sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos\varphi},$$

где $\cos\varphi = \cos\xi \cos\beta$,
ξ - широта наземной станции,
β- разность долгот спутника и земной станции.
Тогда по формуле (2.5) найдем наклонную дальность между ЗС и КС

$$d = 42644\sqrt{1 - 0,2954 \cdot \cos 52,4° \cdot \cos(77° - 86,5°)} =$$
$$= 42644\sqrt{1 - 0,2954 \cdot 0,61014 \cdot 0,98628} = 38681 \text{ км.}$$

Далее рассчитаем потери в свободном пространстве:

$$L_o = 1,75 \cdot 10^{15} \cdot 38,681^2 \cdot 14,03125^2 = 5,13 \cdot 10^{20} \text{ (207 дБ).}$$

5.Дополнительные потери

Суммарные потери наведения L_H = 3,3 дБ.
Потери сигнала в невозмущенной атмосфере L_a = 0,2 дБ.
Потери в приёмном тракте приёмника $L_{пр}$ = 1 дБ.

$$L_{доп} = 3,3 + 0,2 + 1 = 4,5 \text{ дБ.}$$

6.Мощность полезного сигнала на входе приёмника определим по формуле (2.6)

$$P_c = P_{пер ЗС} + G_З + G_б - L_o - L_{доп} = 7 + 49,4 + 29,7 - 207 - 4,5 = -124,5 \text{ дБ.}$$

$E_{ПОР\ ЗС}$= -130 дБ таким образом величина сигнала на входе РПУ КС выше чувствительности РРУ

7.Мощность шума в полосе частот ствола ретранслятора определим по формуле (2.7)

$P_ш = kT\Delta f = 1{,}38\cdot10^{-23}\cdot800\cdot20\cdot10^{6} = 0{,}34\cdot10^{-13}$ Вт (-132,5 дБВт).

8.Отношение сигнал-шум на входе приёмника ретранслятора определим по формуле(2.8)

$$\frac{Pc}{Pш} = Pc - Pш = -124{,}5 - (-132{,}5) = 8 \text{ дБ}.$$

9.Определяем потери в дожде по формуле (2.9)

$$L_д = a\cdot I^b\cdot l \text{ (дБ)},$$

где I=22 мм/час — интенсивность выпадения осадков в зоне Е,
l — длина пути сигнала в дождевом слое,
a и b — вспомогательные коэффициенты

$$a = 4{,}21\cdot10^{-5}\cdot f^{2{,}49} \text{ при } 2{,}9 \le f \le 54 \text{ ГГц},$$

$$a = 4{,}21\cdot10^{-5}\cdot 14{,}03125^{2{,}49} = 0{,}030.$$

$$b = \begin{cases} 1{,}41\cdot f^{-0{,}0779} & \text{при } 2{,}54 \le f \le 25 \text{ ГГц} \\ 2{,}63\cdot f^{-0{,}272} & \text{при } 25 \le f \le 164 \text{ ГГц}, \end{cases}$$

$$b = 1{,}41\cdot 14{,}03125^{-0{,}0779} = 1{,}14.$$

Длина пути сигнала в дождевом слое с учетом $h_{ЗС}=0^o$ определим по формуле (2.10)

$$l = \frac{h_Д}{\sin\gamma} = \frac{5{,}98}{\sin 29{,}5} \text{ км},$$

где $h_Д$ – эффективная высота дождевого слоя;
$\gamma=29.5^o$ – угол места ЗС;

Угол возвышения равен углу места ЗС определяется по формуле (2.11)

$$\gamma = \arcsin\frac{H\cos 52{,}4\cos(86{,}5-77)}{\sqrt{H^2+R^2+2HR\cos 52{,}4\cos(86{,}5-77)}},$$

где H=42170 км – высота орбиты геостационарного спутника над Землёй;
R=6371 км – радиус Земли,
φ_H - широта ЗС,
$\lambda_C - \lambda_H$ - разность по долготе между спутником и ЗС.

Высота нулевой изотермы по формуле(2.12) км

$$h_и = 7,8 - 0,1 \cdot 52,4 = 2,56 \text{ км.}$$

Эффективная высота дождевого слоя определяется по формуле (2.13)

$$h_Д = 2,56 + 10\lg (22/10) = 5,98 \text{ мм/час,}$$

$$L_д = 0,030 \cdot 22^{1,14} \cdot 12,14 = 0,8 \text{ дБ.}$$

14. Определим отношение сигнал-шум на входе приёмника ретранслятора при работе в дожде по формуле (2.14), дБ

$$\left(\frac{Pc}{Pш}\right)_Д = \frac{Pc}{Pш} - L_Д = 8 - 0,8 = 7,2 \text{ дБ.}$$

15.Добротность приёмной системы ретранслятора определяется по формуле(2.15)

$$Д = \frac{G}{Tp} = \frac{93,5}{800} = 0,116 \text{ (-9,3 дБ).}$$

$T_р$=800°К — полная шумовая температура приёмной системы ретранслятора.

16. Определим энергетический потенциал по формуле (2.16)

$$N_o = k \cdot T_р = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 800 = -199,86 \text{ дБ,}$$

$$ЭП = -124,5-(-199,86) = 75,36 \text{ дБ.}$$

2.2.2 Расчет спутниковой линии связи KazSat2 - Алматы на участке «вниз»

Таблица 2.8 - Исходные данные для расчета на участке «вниз» спутниковой линии связи Павлодар-KazSat2-Алматы

Рабочий диапазон, ГГц	10,98125
Коэффициент усиления передающей антенны ретранслятора, дБ	19,34
Выходная мощность ствола ретранслятора, Вт	45
Потери сигнала на передающей стороне, дБ	1
ЭИИМ ствола ретранслятора, дБВт	49
Полоса частот ствола, МГц	54
Потери наведения антенны, дБ	2
Потери сигнала в спокойной атмосфере, дБ	0,1
Диаметр приёмной антенны ЗС, м	6
Шумовая температура ЗС,^{o} К	250
Потери сигнала в приёмном тракте ЗС, дБ	2,5
Пороговое отношение сигнал-шум h^2_n,дБ	12

1.Коэффициент усиления антенны ЗС при работе на прием определим по формуле (2.1)

$$G_З=109,67\cdot K_u\cdot D^2\cdot f^2=109,67\cdot 0,7\cdot 36\cdot 10,98125^2 = 334405 \text{ (55,2 дБ)}.$$

2.Ширина диаграммы направленности антенны ЗС определим по формуле(2.2)

$$\theta=\frac{18}{6\cdot 10,98125}=0,27 \text{ рад } (17^{o}).$$

3.Коэффициент усиления передающей антенны бортового ретранслятора определим по формуле (2.3)

$$Gб=\frac{35530\cdot 0,7}{17^2}=172,7 \text{ (19,34 дБ)}.$$

4.Потери в свободном пространстве по формуле (2.4)

$$L_o = 1{,}75 \cdot 10^{15} \cdot d^2 \cdot f^2$$

где d – наклонная дальность между ЗС и КС тыс. км;
f – частота на передачу, ГГц.

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos\varphi},$$

где $\cos\varphi = \cos\xi \cos\beta$,
где ξ - широта наземной станции,
β- разность долгот спутника и земной станции.

Тогда по формуле (2.5) найдем наклонную дальность между ЗС и КС:

$$d = 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot \cos 43{,}2° \cdot \cos(76{,}5° - 86{,}5°)} =$$
$$= 42644\sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot 0{,}72896 \cdot 0{,}98480} = 379803 \text{ км.}$$

Далее рассчитаем потери в свободном пространстве:

$$L_o = 1{,}75 \cdot 10^{15} \cdot 37{,}9803^2 \cdot 10{,}03125^2 = 2{,}88 \cdot 10^{20} \text{ (205 дБ).}$$

5.Дополнительные потери

Суммарные потери наведения $L_Н$ = 2 дБ.
Потери сигнала в невозмущенной атмосфере L_a = 0,1 дБ.
Потери в приёмном тракте приёмника $L_{пр}$ = 2,5 дБ.

$$L_{доп} = 2 + 0{,}1 + 2{,}5 = 4{,}6 \text{ дБ.}$$

6.Мощность полезного сигнала на входе приёмника определим по формуле (2.6)

$$P_c = P_{пер ЗС} + G_З + G_б - L_o - L_{доп} = 16{,}5 + 55{,}2 + 19{,}34 - 205 - 4{,}6 = -118{,}56 \text{ дБ.}$$

$E_{ПОР\ ЗС}$= -130 величина сигнала на входе РПУ КС выше чувствительности РПУ

7.Мощность шума в полосе частот ствола ретранслятора определим по формуле (2.7)

$$P_ш = kT\Delta f = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 250 \cdot 54 \cdot 10^6 = 1{,}41 \cdot 10^{-13} \text{ Вт (-128,5 дБВт).}$$

8.Отношение сигнал-шум на входе приёмника ретранслятора определим по формуле(2.8)

$$\frac{Pc}{Pш} = Pc - Pш = -118{,}56 - (-128{,}5) = 9{,}94\,дБ.$$

9.Определяем потери в дожде по формуле (2.9)

$$L_д = a \cdot I^b \cdot l \text{ (дБ)},$$

где I=22 мм/час — интенсивность выпадения осадков в зоне Е,
l — длина пути сигнала в дождевом слое,
a и b — вспомогательные коэффициенты

$$a = 4{,}21 \cdot 10^{-5} \cdot f^{2{,}49} \text{ при } 2{,}9 \le f \le 54 \text{ ГГц},$$

$$a = 4{,}21 \cdot 10^{-5} \cdot 10{,}98125^{2{,}49} = 0{,}013,$$

$$b = \begin{cases} 1{,}41 \cdot f^{-0{,}0779} & \text{при } 2{,}54 \le f \le 25 \text{ ГГц} \\ 2{,}63 \cdot f^{-0{,}272} & \text{при } 25 \le f \le 164 \text{ ГГц} \end{cases}$$

$$b = 1{,}41 \cdot 10{,}98125^{-0{,}0779} = 1{,}17.$$

Длина пути сигнала в дождевом слое с учетом $h_{ЗС}=0^o$ определим по формуле (2.10)

$$l = \frac{h_Д}{\sin\gamma} = \frac{6{,}8}{\sin 39} \text{ км},$$

где $h_Д$ – эффективная высота дождевого слоя;
$\gamma=39^o$ – угол места ЗС ;

Угол возвышения равен углу места ЗС определяется по формуле (2.11)

$$\gamma = \arcsin \frac{H \cos 43{,}2 \cos(86{,}5 - 76{,}5)}{\sqrt{H^2 + R^2 + 2HR \cos 43{,}2 \cos(86{,}5 - 76{,}5)}},$$

где H=42170 км – высота орбиты геостационарного спутника над Землёй;
R=6371 км – радиус Земли,

φ_H - широта ЗС,

$\lambda_C - \lambda_H$ - разность по долготе между спутником и ЗС.

Высота нулевой изотермы определим по формуле(2.12)

$$h_и = 7{,}8 - 0{,}1 \cdot 43{,}2 = 3{,}48 \text{ км.}$$

Эффективная высота дождевого слоя определяется по формуле (2.13)

$$h_Д = 3{,}48 + 10\lg(22/10) = 6{,}82 \text{ мм/час,}$$

$$L_д = 0{,}030 \cdot 22^{1{,}17} \cdot 10{,}8 = 0{,}7 \text{ дБ.}$$

10. Определим отношение сигнал-шум на входе приёмника ретранслятора при работе в дожде по формуле (2.14)

$$\left(\frac{Pc}{Pш}\right)_Д = \frac{Pc}{Pш} - L_Д = 9{,}94 - 0{,}7 = 9{,}24 \text{ дБ.}$$

11.Добротность приёмной системы ретранслятора определяется по формуле(2.15)

$$Д = \frac{G}{Tp} = \frac{334405}{250} = 1337{,}6 \text{ (-31,2дБ).}$$

$T_р$=250°К — полная шумовая температура приёмной системы ретранслятора.

Согласно справочнику норм МККР добротности приемной системы земных станций 17-42 дБ ,следовательно условие качественного приема выполнены.

12. Определим энергетический потенциал по формуле (2.16)

$$ЭП = \frac{Pc}{No},$$

где N_o — эквивалентная спектральная плотность мощности шума, приведенная по входу приёмника.

$$N_o = k \cdot T_р = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 250 = -203{,}5 \text{ дБ,}$$

$$ЭП = -118{,}56 - (-203{,}5) = 84{,}94 \text{ дБ.}$$

Пропускная способность канала

$$\begin{cases} C \le C_1 = \dfrac{P_c}{N_o h_n^2} = \dfrac{\text{ЭП}}{h_n^2} \\ C \le C_2 = \dfrac{\Delta f_{\text{ст}}}{\text{B}} \end{cases} \qquad C = \min\,(C_1, C_2)$$

где B – база сигнала.

Типовые параметры спутникового канала без кодирования

B=2; h^2_n = 12 дБ;

C_1 = 87 -12 = 75 дБ;

$C_2 = 54 \cdot 10^6 /2$ = 74,3 дБ;

C = C_1 = 75 дБ (10^6 Бит/сек) — определяется энергетическими возможностями ретранслятора, а полоса пропускания используется лишь частично.

Коэффициент использования полосы частот

$$k_{\text{исп}} = \frac{BC}{\Delta f_{\text{ст}}} = \frac{2 \cdot 10^6}{54 \cdot 10^6} = 0{,}037.$$

2.3 Расчет зависимости энергетических параметров негеостационарных спутников от высоты орбиты

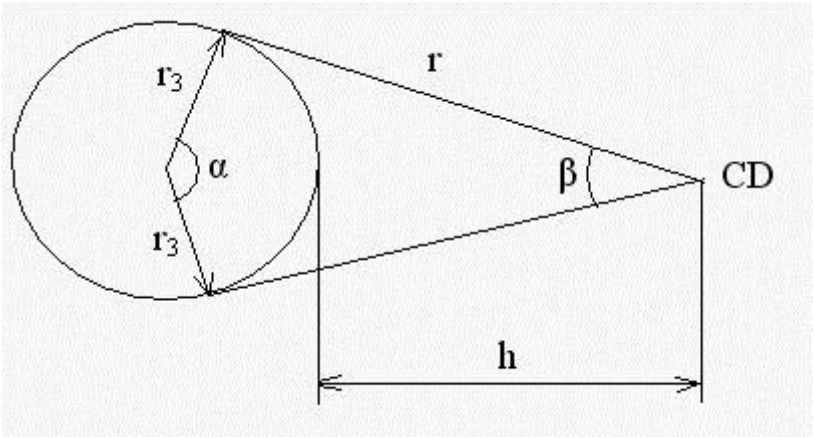
В сетях связи на базе негеостационарных спутников применяются круговые орбитальные группировки (ОГ) на низких и средних орбитах. По сравнению с геостационарными они имеют следующие преимущества:

1 Относительно небольшая дальность связи позволяет существенно снизить требования к энергетическим характеристикам аппаратуры пользователей и ретрансляторов.

2 Относительно небольшая дальность связи обеспечивает небольшие задержки распространения, что позволяет организовать интерактивный режим информационного обмена пользователей в масштабе времени, близком к реальному (при использовании геостационарных спутников задержка распространения составляет 250-270 нм)

3 Рассредоточенность негеостационарных спутников над поверхностью Земли позволяет обеспечить работу пользователей при больших углах возвышения ретрансляторов практически в любой точке земной поверхности. Область обслуживания ГСР при минимально допустимом угле возвышения 10° простирается по широте до $\pm 70^o$, а при увеличении максимально допустимого угла возвышения до 30° сокращается до $\pm 50^o$.

Оценим влияние высоты орбиты спутника — ретранслятора на требования к энергетическим характеристикам абонентских терминалов и ретрансляторов. Рассмотрим рисунок 1



α — угловой размер зоны обслуживания, угол обзора зоны из центра Земли; r — наклонная дальность; h — высота орбиты; β — угол обзора зоны обслуживания со спутника

Рисунок 2.2 – Геометрические соотношения при оценке энергетических затрат

Таблица 2.9 - Исходные данные для расчета

Тип орбиты	Средняя
GPS ,h_1, км	20,000
ГЛОНАСС, h_2, км	19,000

1 Рассчитать угол обзора зоны обслуживания со спутника.

2Определить максимальную дальность связи и результирующий энергетический проигрыш и выигрыш.

3 Определить период обращения спутника по круговой орбите, скорость скольжения зоны обслуживания и длительность сеанса связи.

Угол обзора зоны обслуживания со спутника

$$\beta = \left[180^0 - \frac{\alpha}{2} - 2arctg\left(\frac{h}{(2r_3 + h)tg\,\frac{\alpha}{4}} \right) \right] \tag{2.16}$$

$$\beta_1 = \left[180^0 - \frac{\alpha}{2} - 2arctg\left(\frac{h_1}{(2r_3 + h_1)tg\,\frac{\alpha}{4}} \right) \right] = 180^0 - 30^0 - 2 \cdot 66^0 = 18^0$$

$$\beta_1 = \left[180^0 - \frac{\alpha}{2} - 2arctg\left(\frac{h_2}{(2r_3 + h_2)tg\,\frac{\alpha}{4}} \right) \right] = 180^0 - 30^0 - 2 \cdot 70^0 = 18{,}2.^0$$

Максимальная дальность связи

$$r = r_3 \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)} \tag{2.17}$$

$$r_1 = r_3 \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\beta_1}{2}\right)} = 6371 \frac{\sin\frac{60^0}{2}}{\sin\frac{18^0}{2}} = 20360 \text{ км}$$

$$r_2 = r_3 \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right)} = 6371 \frac{\sin\frac{60^0}{2}}{\sin\frac{18{,}2^0}{2}} = 20140 \text{ км}$$

Результирующий проигрыш

$$\Pi_{p2} = \left(\frac{r_2\beta_2}{r_1\beta_1}\right)^2 = \left(\frac{20140 \cdot 18{,}2}{20360 \cdot 18}\right)^2 = 0{,}01 \tag{2.18}$$

Относительный выигрыш

$$B_p = \left(\frac{\beta_1}{\beta_2}\right)^2 = \left(\frac{18}{18{,}2}\right)^2 = 0{,}978. \tag{2.19}$$

то есть, увеличение высоты орбиты не только не сопровождается энергетическим проигрышем, но и обеспечивает незначительный выигрыш, величина которого растет по мере увеличения высоты орбиты и размеров зон обслуживания.

Период обращения спутника по круговой орбите

$$T_0 \approx 1{,}655 \cdot 10^{-4} \sqrt{(r_3 + h)^3} \tag{2.20}$$

$$T_0 \approx 1{,}655 \cdot 10^{-4} \sqrt{(6371 + 20000)^3} = 708{,}7 \text{ мин} \quad \text{для } h_1=20000$$

$$T_0 \approx 1{,}655 \cdot 10^{-4} \sqrt{(6371 + 19000)^3} = 668{,}8 \text{ мин} \quad \text{для } h_2=19000$$

Скорость перемещения подспутниковой точки по земной поверхности (скорость скольжения зоны обслуживания)

$$V = 120 \cdot \Pi \cdot r_3 / T_0 \tag{21}$$

$$V = 120 \cdot 3{,}14 \cdot 6371 / 708{,}7 = 3387{,}3 \text{ км} \quad \text{для } h_1=20000,$$

$$V = 120 \cdot 3{,}14 \cdot 6371 / 668{,}8 = 3589{,}4 \text{ км} \quad \text{для } h_2=19000.$$

Максимальное время пребывания абонента в зоне обслуживания (длительность сеанса связи)

$$T_{\max} = T_0 \cdot \alpha / 360 \text{ (мин)} \tag{22}$$

$$T_{\max} = 708{,}7 \cdot 60 / 360 = 118 \text{ мин} \quad \text{для } h_1=20000$$

$$T_{\max} = 668{,}8 \cdot 60 / 360 = 111 \text{ мин} \quad \text{для } h_2=19000$$

3 Безопасность жизнедеятельности

3.1 Анализ условия труда на предприятии связи

3.1.1 Оборудование для осуществления спутниковой навигационной системы контроля и управления автотранспортом.

Для осуществления спутниковой навигационной системы контроля и управления автотранспортом на крыше здании будет расположена спутниковая антенна VSAT и от антенны на ЦСА идет антенно-волноводный тракт, где происходит преобразование сигнал передача данных (информация) и поступает на компьютер.

Антенна VSAT - однозеркальная параболическая офсетная антенна диаметром 6 м предназначена для приема и передачи радиосигналов в диапазоне частот от 10,75 до 14,50 ГГц. Технические характеристики :

Эффективная апертура (размер раскрыва антенны) - D = 6 м;

Шумовая температура антенны 250°K (угол места 10°);

Материал рефлектора - стеклопластик, армированный полиэстером;

Оптика антенны - длиннофокусная, со смещенным фокусом (оффсетная);

Тип монтировки - альт-азимутальная (азимут-угломестная);

Труба мачты - диаметр 76 мм;

Максимальный вес ВЧ-оборудования в фокальной плоскости антенны - до 2 кг;

Максимальный вес антенны без фокальных ВЧ-элементов - 55 кг;

Рабочие температуры - от -50°C до 80°C.

Антенна будет установлена на высоте 15 метров.

VSAT- терминал, работающий на основе двусторонней спутниковой связи, поддерживает интерактивные широкополосные IP приложения и многоадресное вещание и позволяет решить проблемы связи как для отдельного пункта, так и для всех отдельных.

Технические характеристики спутникового терминала :

Рабочее напряжение - широкий диапазон, 70-245 В, переменного тока или 12 В постоянного тока;

Потребляемая мощность: Менее 35 Вт;

Размеры: подлежат определению Внешние условия;

Рабочая температура: от -5 до +50 С;

Температура хранения: от -40 до +70 С;

Относительная влажность: До 90%.

3.1.2 Организация рабочего места

В дипломном проекте рассматривается разработка системы навигации с использованием геостационарного спутника связи с передачей сигналов для контроля и управления автотранспортом на основе технологии VSAT.Система представляет собой земную станцию, совмещенную с центром системного администрирования (операторская).

В центре системного администрирования (ЦСА) сменный оператор ведет наблюдение за подвижными объектами, принимает, обрабатывает и отсылает, при необходимости, электронные сообщения. Следовательно, рассмотрим организацию рабочего места и правила работы с персональным компьютером с точки зрения обеспечения безопасности труда.

По тяжести и напряженности труда, работа относится к I категории – выполняемые в оптимальных условиях труда при благоприятных нагрузках, и соответствует комфортным условиям труда.

В ЦСА 6 – сменные инженера - операторы, которые будут работать посменно по 8 часов в день: с 8.00 до 20.00 дневные и с 20.00 до 8.00 часов ночные. В одной смене 3 инженера – оператора, поэтому помещение рассчитано на 3 сидячих рабочих места, в качестве средств труда используется оргтехника (3 компьютера).

Помещение аппаратной диспетчерской имеет размеры, ДхШхВ, м: 10х8х3 с белым потолком, светлыми стенами, с большим окном с раздвигающими жалюзи и дополнительным искусственным освещением.

При конструировании рабочего места оператора создадим следующие условия: достаточное рабочее пространство для работающего человека; необходимое естественное и искусственное освещение для выполнения трудовых задач, технического обслуживания; допустимый уровень акустического шума и вибрации, создаваемых оборудованием рабочего места или другими источниками шума и вибрации, микроклимат помещения.

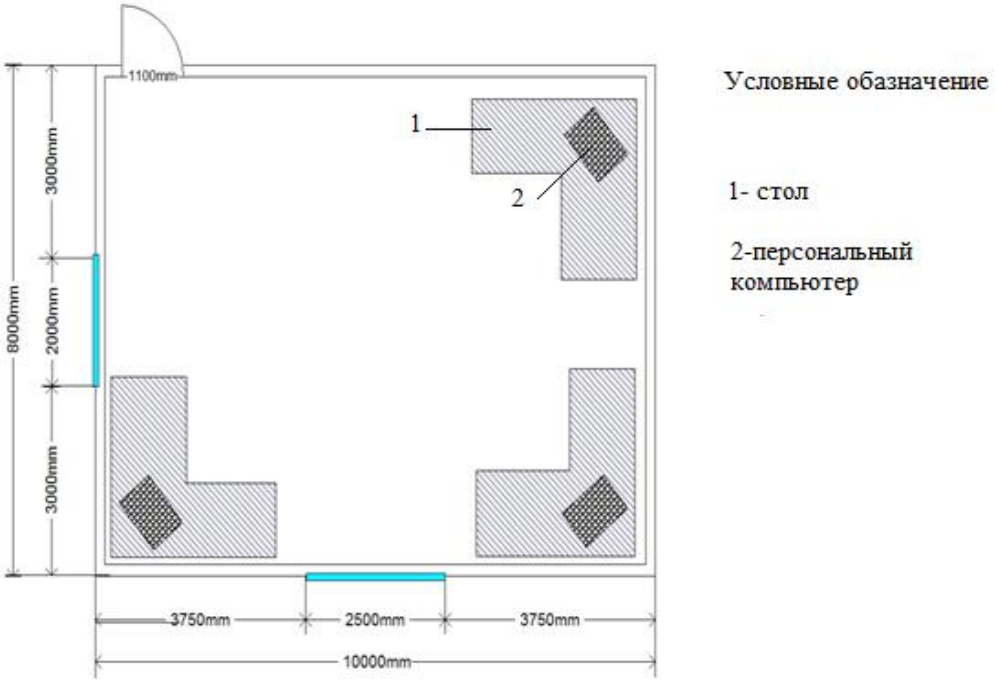


Рисунок 3.1 – Схема помещения ЦСА

3.1.3 Оценка воздействия ЭМП на обслуживающий персонал

В проекте устанавливаются антенны VSAT с высокой излучательной способностью, которые оказывают электромагнитное влияние на помешение аппаратной диспечерской. Вследствие, этого принимаются средства защиты от электромагнитных полей. Степень воздействия на организм человека зависит от частоты, мощности излучения, продолжительности действия излучения, а также от индивидуальных особенностей человека. Подобное приемо-передающее устройство запрещается устанавливать на жилых домах, детских учебных заведениях и в местах наибольшего пребывания детей и пожилых людей.

Среди технических мер защиты от воздействия радиоизлучений наиболее широко распространен метод защиты расстоянием, то есть, организацией защитных зон, обеспечивающих безопасное нахождение за их пределами обслуживающего персонала и населения.

В соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями к эксплуатации радиоэлектронных средств для контроля уровней ЭМП, создаваемых РЭС, используются расчетные и инструментальные методы. Расчетные методы используются при экспертизе проектных материалов с учетом типов передающих средств, рабочих частот, режимов и мощностей, параметров и пространственного расположения антенн, рельефа местности, наличие переотражающих поверхностей.

Обеспечение защиты работающих от неблагоприятного влияния ЭМП осуществляется путем проведения организационных, инженерно-техни ческих

и лечебно-профилактических мероприятий. Организационные мероприятия предусматривают:

1) выбор рациональных режимов работы оборудования;

2) ограждение и обозначение соответствующими предупредительными знаками зон воздействия ЭМП с уровнями, превышающими предельно-допустимые, где по условиям эксплуатации не требуется даже кратковременное пребывание персонала;

3) расположение рабочих мест и маршрутов передвижения обслуживающего персонала на расстояниях от источников ЭМП, обеспечивающих соблюдение ПДУ;

4) проведение ремонта оборудования вне зоны влияния ЭМП от других источников;

5) ограничение продолжительности пребывания персонала в условиях воздействия ЭМП;

6) проведение организации рабочих мест на максимальных расстояниях от источников ЭМП.

В диапазоне частот 300 МГц ÷ 300ГГц на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, связанного с воздействием ЭМП, оно оценивается по предельно-допустимой плотности потока энергии (ППЭ). В этом случае предельно допустимую ППЭ ЭМП устанавливают исходя из допустимого значения энергетической нагрузки на организм человека и времени его пребывания в зоне облучения, однако во всех случаях эта нагрузка не должна превышать 2 Вт/м^2 для населения и 20 Вт/м^2 вч на рабочих местах персонала передающих радиотехнических объектов (ПРТО) [15] .

Энергетическая экспозиция за рабочий день не превышает значений, указанных в таблице 3.1[13].

Таблица 3.1 Предельно допустимые значения энергетической экспозиции

	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
Диапазоны частот	По электрической составляющей, (В/м)^2 / ч	По магнитной составляющей, (А/м)^2 / ч	По плотности потока энергии (мкВт/см^2)/ ч
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	-
3 - 30 МГц	7000,0	Не разработаны	-
30 - 50 МГц	800,0	0,72	-
50 - 300 МГц	800,0	Не разработаны	-
300 МГц - 300 ГГЦ	-	-	200,0

Таблица 3.2 Предельно допустимые уровни плотности потока энергии в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц в зависимости от продолжительности воздействия [13].

Продолжительность воздействия Т, ч	$ППЭ_{пду}$, мкВт/см^2
0,5	400

Предельно допустимую ППЭ для аппаратной диспетчерской расчитан в пункте 3.2.1.

3.1.4 Анализ освещения

Освещение в операторском зале делаем комбинированным (естественным и искусственным). Естественное освещение в операторном осуществляется в виде бокового освещения. Определим приближенное значение необходимой (при боковом одностороннем освещении) площади световых проемов, обеспечивающей нормированные значения коэффициента естественной освещенности (к.е.о), в процентах от площади пола[12].

Степень яркости освещенности находится в пределах 300-500 люкс. Естественное освещение в нашем случае осуществляется в виде бокового освещения. Размер окна составляет 1,5х2м. Величина коэффициента естественной освещенности согласно санитарным нормам (рисунок 3.2) при выполнении работ высокой зрительной точности должна быть не ниже 1.5% .

Работа требует высокой точности и в этом случае естественного освещения недостаточно, т. к. оборудование, стоящее вдоль окон перекрывает световой поток и для этого производится расчет искусственного освещения.

Разряды работы	Виды работы по степени точности	Размеры предметов, которые необходимо различать при работе, мм	Нормы к.е.о., %	
			при верхнем и комбинированном освещении	при боковом освещении
I	Особо точные	0,1 и менее	10	3,5
II	Высокой точности	от 0,1 до 0,3	7	2,0
III	Точные	от 0,3 до 1,0	5	1,5
IV	Малой точности	от 1,0 до 10	3	1,0

Рисунок 3.2 – Коэффициент естественного освещения

Освещенность рабочего места и выбор количество осветительных приборов расчитан в пункте 3.2.2

3.2 Технические решение обеспечение безопасности и жизнедеятельности

3.2.1 Расчет воздействия ЭМП на обслуживающий персонал.

Расчет выполнен по методическому указанию [13].
Имеем

R – расстояние от центра наблюдения, 40 м;
S – площадь излучающей поверхности, 4,52 м^2;
$P_{ср}$ – средняя мощность излучения, 6 Вт;
$f = 14$ ГГц

с – скорость света, с $\approx 3 \cdot 10^8$ м/с

Предельно допустимую ППЭ вычисляют по формуле, Вт/м^2

$$ППЭ = \frac{ЭН_{ППЭ}}{T}, \qquad (3.1)$$

где $ЭН_{ППЭ}$ – нормированное значение допустимой энергетической нагрузки на организм, равное 2 Вт·ч/м^2 (200 мкВт·ч/см^2) для всех случаев облучения;

Т – время пребывания в зоне облучения, ч.

На рабочем месте дежурного персонала ППЭ складывается из излучения антенны (дальняя зона) и излучения передатчика (ближняя зона).

Расстояние, соответствующее предельно допустимой плотности потока энергии в промежуточной зоне антенны определяется из выражения, Вт/м^2

$$ППЭ = \left(\frac{3P_{ср}}{S}\right) \cdot \left(\frac{R_{бз}}{R}\right)^2, \qquad (3.2)$$

где R – расстояние от центра наблюдения, 40 м;
S – площадь излучающей поверхности, 4,52 м^2;
$P_{ср}$ – средняя мощность излучения, 6 Вт;
$R_{бз}$ – максимальная протяженность ближней зоны.

Длина волны электромагнитного поля

$$\lambda = \frac{c}{f}, \qquad (3.3)$$

где f – частота электромагнитного облучения на линии вверх (для Ku-диапазона $f = 14$ ГГц);

с – скорость света, с $\approx 3 \cdot 10^8$ м/с.

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{14 \cdot 10^9} = 21{,}43 \cdot 10^{-3}, \text{ м}$$

Максимальная протяженность ближней зоны, м

$$R_{бз} = \frac{D}{4} + \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{D}{\lambda}\right)^{\frac{1}{3}}, \tag{3.4}$$

где D – максимальный раскрыв антенны, 2,4 м.

$$R_{бз} = \frac{2{,}4}{4} + \frac{2{,}4}{2} \cdot \left(\frac{2{,}4}{21{,}43 \cdot 10^{-3}}\right)^{\frac{1}{3}} = 6{,}98, \text{ м}$$

$ППЭ = \left(\frac{3 \cdot 6}{4{,}52}\right) \cdot \left(\frac{6{,}98}{40}\right)^2 = 121{,}41 \cdot 10^{-3}$, Вт/м^2 < ПДУ для персонала ПРТО

Максимальное время нахождения в ближней зоне, ч

$$T = ЭН_{ППЭ} \cdot \frac{S}{3 \cdot P_{ср}} \tag{3.5}$$

$$T = 2 \cdot \frac{4{,}52}{3 \cdot 6} = 0{,}5 \text{ ч}$$

Рассчитаем ППЭ в дальней зоне, Вт/м^2

$$ППЭ = \frac{P \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot R^2}, \tag{3.6}$$

где P – мощность излучаемая на выходе антенны, 8 Вт;

Q – коэффициент направленности антенны, 10;

R – расстояние от рабочего места до антенны, 40 м.

$$ППЭ = \frac{8 \cdot 10}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 40^2} = 0{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2,$$

что не превышает допустимой нормы.

В качестве метода борьбы с ЭМП на приемо-передающей земной станции выберем метод защиты расстоянием. Для этого необходимо определить безопасное расстояние, м:

$$R_{без} = R_{нз} \cdot \sqrt{\frac{ППЭ}{ППЭ_{доп}}} \qquad (3.7)$$

где ППЭдоп – для 8 часового рабочего дня согласно (5.1) составляет

$$ППЭ_{доп} = \frac{2}{8} = 0{,}25 \text{ Вт/м}^2.$$

ППЭ = 3,98 Вт/м^2 – измеренный уровень плотности потока энергии на расстоянии $R_{из}$ = 6,98 м

$$R_{без} = 6{,}98 \cdot \sqrt{\frac{3{,}98}{0{,}25}} = 27{,}85 \text{ м}$$

Согласно расчета показывают что уровень плотности потока энергии 3,98 Вт/м^2 на расстоянии 6,98 м является допустимым.

3.2.2 Расчет естественного освещения

При боковом освещении определяют площадь световых проемов S, обеспечивающая нормированные значения КЕО (коэффициент естественной освещенности) [12], по формуле:

$$100 \cdot \frac{S_0}{S_n} = \frac{e_H^{IV} \cdot \eta_0}{\tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{зд} \cdot K_з \quad , \qquad (3.8)$$

где S_0=

$S_п$ – площадь пола помещения, м^2;

$e_н$ – нормированное значение КЕО;

$К_з$ – коэффициент запаса;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания, который равен

Офисное помещение относится по зрительным условиям работы к IV разряду (в соответствии с рисунком 3.1)[12].

Нормированное значение к.е.о. определяется из выражения

$$e_н = e \cdot m \cdot c \qquad (3.9)$$

где e – нормированное значение к.е.о. (таблица 3.2);

m - коэффициент светового климата;

c - коэффициент солнечности.

Значения коэффициентов m и c, для различных районов Казахстана приведены на рисунке 3.2[12] .

Пояс светового климата	*m*	*c* при световых проемах			
		в наружных стенах зданий	в прямо-угольных и трапецевидных фонарях	в фонарях типа шед.	при зенит-ных фонарях
IV 50° северной широты и южнее (Алматы и Караганда)	0,9	0,75	0,85	0,95	0,85

Рисунок 3.3 Значения коэффициентов m и c

$$e_Н = 1{,}5 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}8 = 1{,}08\%$$

Таким образом, мы получили значение $e_н$=1,08%. Вычислим необходимые размеры световых проемов, используя формулу (3.8)

$$S_0 = \frac{50 \cdot 1{,}08 \cdot 2{,}35}{100 \cdot 0{,}4 \cdot 1{,}15} = 2{,}1 м^2,$$

где $S_n = 8 \cdot 10 = 50 м^2$

$n_ф = 2{,}25$

Общий коэффициент светопропускания светового проема равняется

$$\tau_0 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5, \qquad (3.10)$$

где τ_1=0,9 (стекло одинарное, листовое),

τ_2=0,75 (переплеты стальные, открывающиеся) ,
τ_3=0,65 (загрязнение фонарей незначительное),
τ_4=0,9 (несущие конструкции – стальные),
τ_5=1(отсутствуют солнцезащитные устройства),

Тогда τ_0=0,4, а величина составляет τ_2 1.15

По полученным данным, площадь фонарей естественного освещения должна составлять не менее 2.1$м^2$, эксплуатируемое помещение имеет площадь фонарей 6 $м^2$.

3.2.3 Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока

Расчет выполнен по методическому указанию [13]

Дано:

длина помещения А = 10 м;

ширина помещения В = 8 м;
высота помещения Н = 3 м;
высота рабочей поверхности h_P = 0,8 м;
разряд зрительной работы III (высокой точности).

Определение расчетной высоты подвеса

$$h_{расч} = H - (h_{р.п} + h_{св}), \qquad (3.11)$$

где $h_{р.п}$ - высота рабочей поверхности (1 м);
$h_{св}$ – высота свеса светильника (0÷1,5 м).

Тогда расчетной высоты подвеса:

$$h_{расч} = 3 - (1+0) = 2 \text{ м}$$

Индекс помещения определяется по формуле

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \qquad (3.12)$$

где A - длина помещения, м;
B - ширина помещения, м;
h - расчетная высота, м.

Тогда индекс помещения равен

$$i = \frac{10 \cdot 8}{(10+8) \cdot 2} = 2{,}2$$

Коэффициент использования светового потока η=55% (для индекса помещения i=2,2; коэффициентами отражения стен $\rho_{ст}$ = 50%, потолка $\rho_{пот}$ = 70% и пола $\rho_{пол}$ = 10%)[11]

Определим число светильников по формуле

$$N = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot K}{\Phi \cdot \eta}, \qquad (3.13)$$

где E – заданная минимальная освещенность;

S – освещаемая площадь;

Z – коэффициент неравномерности освещения, равный 1,1÷1,2;

$К_з$ – коэффициент запаса, принимаемый равным 1,5.

Ф – световой поток;

η – коэффициент использования.

Освещаемая площадь

$$S = 10 \cdot 8 = 80 \quad м^2$$

Выбираем светильник ПВЛМ 2х40 с люминисцентными лампами Philips PL-TPRO мощностью 23 Вт и световым потоком 1500 лм.

Рассчитаем количество ламп

$$\mathrm{N} = \frac{\mathrm{E} \cdot \mathrm{K_з} \cdot \mathrm{S} \cdot \mathrm{Z}}{\mathrm{n}\Phi_л \eta} = \frac{300 \cdot 1{,}5 \cdot 80 \cdot 1{,}1}{2 \cdot 3500 \cdot 0{,}55} \approx 12\,\text{шт}$$

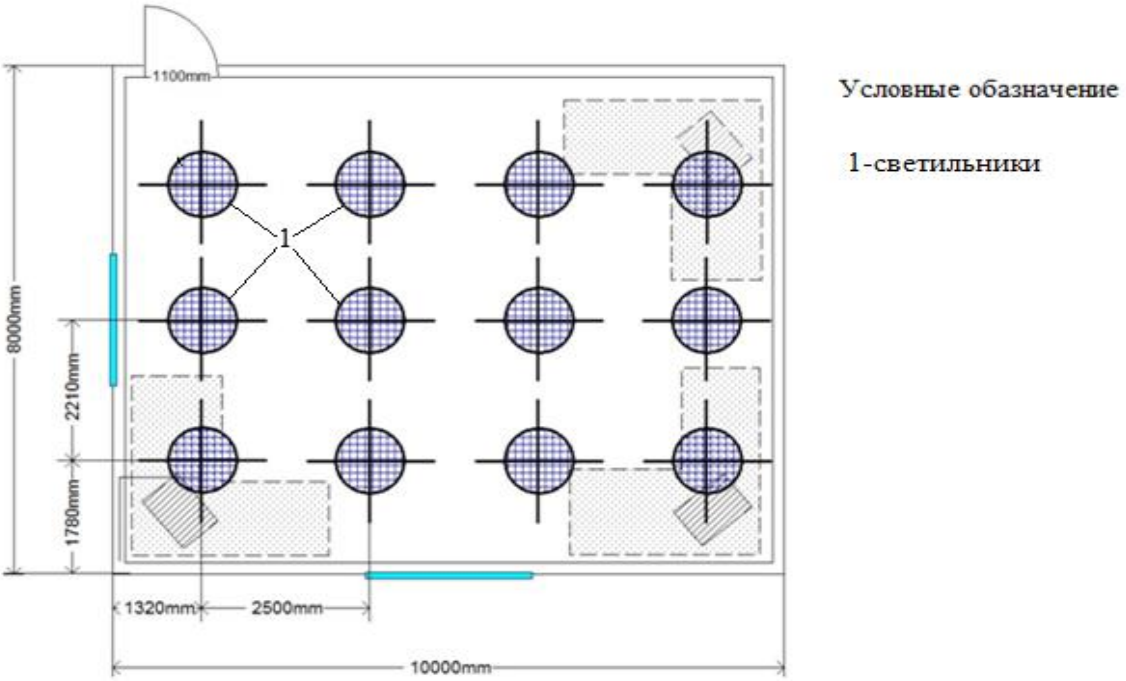


Рисунок 3.4 – Схема искусственного освещения

$$L_{A,B} = \lambda \cdot h,$$

где $\lambda = 1{,}2 \div 2$

$$L_A = 1{,}7 \cdot 1{,}25 = 1{,}78 м$$

$$L_B = 1{,}7 \cdot 1{,}32 = 2{,}21 м$$

$$l_{A,B} = L_{A,B} / 2$$

$$l_A = 2{,}5/2 = 1{,}25 м,\ l_B = 2{,}64/2 = 1{,}32 м.$$

Для обеспечения необходимой освещенности помещения с параметрами 10х8х3 и разрядом зрительных работ III (в) установим количество светильников типа ПЛВМ-2х40-12 штук с лампами по 23 Вт, марки Philips PL-TPRO со световым потоком 1500 лм. [12]

Вывод

Проанализировав рабочие условия эксплуатации персонала ПРТО, рассмотрены следующее:

– освещенность рабочего места ;

– воздействие СВЧ ЭМ поля и мероприятия по защите персонала от этого воздействия.

Рассмотрение данных вопросов позволяет оценить не только безопасность для здоровья рабочих условий, но и их воздействие на продуктивность обслуживающего персонала.

Учитывая неблагоприятное биологическое воздействие СВЧ ЭМ поля на организм человека, необходимо проведение специальных мероприятий и создание определённых условий, позволяющих снизить или вообще исключить данной воздействие.

Исходя из проведенных расчетов:

1) полученный уровень ППЭ на рабочем месте составляет 0,25 Вт/м^2 и не превышает предельно-допустимый уровень. Расстояние от средств передачи равен 6,98 м является достаточным для безопасной работы персонала.

2) по расчету освещенности видно, что для диспетчерской требуется 12 ламп ПВЛМ 2х40.

4 Технико-экономическое обоснование проекта

4.1 Сущность и цель проекта

В данном проекте рассматривается использование геостанционарного спутника связи для связи с подвижным объектом и для определения его координат (местоположения). Определение местонахождения подвижного объекта осуществляется передачей сигнала движущемуся абоненту через спутник. Разница во времени приема двух сигналов измеряется терминалом мобильной связи и посылается на центр сетевого администрирования (ЦСА). Полученная информация комбинируется со временем передачи туда и обратно, что позволяет гарантировать точность определения местоположения около 100 метров в любой точке зоны обслуживания с достоверностью 95%.

Система построена по принципу электронной почты. Координаты объектов не вычисляются самим терминалом, а определяются на ЦСА и передаются обратно в виде электронной почты на подвижный терминал.В качестве геостационарного ИСЗ связи, для организации системы был предложен казахстанский спутник связи «Kazsat-2», работающий на геостационарной орбите.

Характеристика системы:

ЦСА состоит из приемо-передающей антенны направленной на спутник, блок приемо-передатчик, сервер для обработки информации, сервер для хранения данных, рабочий сервер для оператора, соединенный с двумя главными серверами.

На транспортном средстве(автомобиле) устанавливается абонентский комплект, состоящий из трех базовых блоков - наружного антенного (он защищен радиопрозрачным колпаком), внутреннего блока связи и клавиатуры с дисплеем (раскладка QWERTY).

Терминал оснащен запоминающими устройствами (ЗУ) для хранения сообщений. Блок приемо-передатчика, который может размещаться в любом месте салона автомобиля, так как управление работой терминала осуществляется с помощью клавиатуры и встроенного дисплея. Клавиатура имеет дополнительно несколько перепрограммируемых функциональных клавиш и оснащена средствами индикации времени ожидания сообщения, синхронизации со спутником связи и выходной мощности. МСТ имеет стандартизированный интерфейс для подключения дополнительных периферийных устройств - тревожной кнопки и дополнительных датчиков в нескольких вариантах комплектации для контроля различных параметров автомашины и груза (например, температуры в рефрижераторе).

Маркетинг.

Разрабатываемый проект – предоставление услуг связи и навигации с использованием геостационарного спутника.

Спутниковые системы связи с подвижными объектами и, в особенности, системы, предоставляющие услуги определения местоположения абонентского терминала, позволяющие осуществлять управление и контроль за перемещением и состоянием грузов, являются перспективным и растущим сектором рынка.

Как показывает зарубежный опыт, крупные автотранспортные фирмы и компании, занимающиеся грузоперевозками, вполне кредитоспособные и являются стабильными клиентами, которые заинтересованы в повышении производительности и рентабельности своей деятельности.

Использование аппаратуры потребителя услуг спутниковой системы радиоопределения местоположения и подвижной связи позволяет:

а) транспортной компании:

- увеличить оборачиваемость транспорта и доход от кругорейсов;
- оперативно переориентировать транспортные средства на более выгодный фрахт;
- вовремя реагировать на непредвиденные обстоятельства;
- контролировать график кругорейса;
- повысить безопасность грузоперевозок и сохранность груза;
- улучшить управление на основе оперативной информации;
-разрешать споры благодаря наличию аргументированных материалов, находящихся в базах данных;
-экономия топлива;

2) водителю транспортного средства:

- поддерживать непрерывный контакт с диспетчером в офисе компании;
- экономить время;

- оперативно решать непредвиденные проблемы;

3) клиентам транспортной компании:

- иметь точное расписание доставки;
- контролировать погрузку и доставку груза;
- снизить риски, связанные с безопасностью груза.

Исследования, проведенные американской фирмой CTA, показывают, что в развитых странах установка такой аппаратуры на транспорте увеличивает продуктивность их использования до 40% в год.

Использование при перевозке грузов режима текстовых сообщений имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционной передачей речи. Кроме того этот режим обеспечивает конфиденциальность передаваемой и принимаемой информации. Не менее важен и тот факт, что абонент-водитель получает данные об изменениях маршрута с точными названиями городов и пограничных пунктов, которые в случае голосовой связи не всегда правильно слышится.

Передача текстового сообщения не требует обязательного присутствия абонента на транспорте в момент передачи (в отличие от голосовой связи). На диспетчерском пункте компьютер принимает и хранит всю поступающую информацию, но даже если он выключен, эти сведения не пропадают, а сохраняются в другом устройстве — компьютере регионального оператора. При включении компьютера и установлении модемной связи с региональным центром диспетчер получает всю поступившую для него информацию. Электронные карты местности, на которые могут быть нанесены изображения всех машин, позволяют ему оперативно отслеживать маршруты движения каждого автотранспорта.

Можно добавить, что такая организация связи обеспечивает (при необходимости) контроль за транспортными средствами и в нерабочее время.

4.2 Организационный план

Предлагаемая система может быть разработана телекоммуникационной, или же, как некоторая независимая компания, предлагающая характерные услуги в основном для корпоративных клиентов. Для организации системы потенциальный услугодатель заключает договор с ЗАО «Казинформтелеком» на поставку и монтаж оборудования для организации работы ЦСА, закупает мобильные терминалы, предварительно получив разрешение у государственных органов на ввоз и эксплуатацию на территории Казахстана. Следующий шаг – заключение договора с провайдером на аренду канала в Ku диапазоне.

4.2.1 Капитальные затраты

Капитальные вложения включают в себя

$$К = Ц + К_{тр} + К_{мон} + РС + К_{пл} + К_{зап} \quad (4.1)$$

где Ц – цена на приобретение оборудования,

$К_{тр}$ – стоимость перевозки к месту эксплуатации,

$К_{мон}$– стоимость монтажа прибора на месте,

$К_{пл}$ – стоимость занимаемой площади,

$К_{зип}$ – стоимость запаса именных частей.

Таблица 4.1 – Стоимость оборудования спутниковой системы.

Наименование оборудования	Цена оборудования, тенге	Количество оборудования	Стоимость, тенге
Параболическая антенна ТНА- 6 м.	228 000	1	228 000
Блок приемо-	650 000	1	650 000
Система управления и обработки информации	540 000	1	540 000
Мобильный терминал	195 000	200	39000000
ODU	90 400	1	90 400
Дополнительное оборудование	545 000	-----	545 000
Стоимость всего оборудования			40 153 000

Таким образом цена на приобретение оборудования составляет

Ц = 40 153000 тг.

Стоимость перевозки к месту эксплуатации Ктр составляет 2% от стоимости оборудования

$$К_{тр} = Ц \cdot 0{,}02 = 40153000 \cdot 0{,}02 = 803060 \text{ тг.}$$

Стоимость монтажа прибора на месте составляет 5% от стоимости оборудования

$$К_{мон} = Ц \cdot 0{,}05 = 40153000 \cdot 0{,}05 = 2007650 \text{ тг.}$$

Стоимость запаса именных частей Кзип составляет 3% от стоимости оборудования

$$К_{зип} = Ц \cdot 0{,}03 = 40153000 \cdot 0{,}03 = 1204590 \text{ тг.}$$

Стоимость занимаемой площади Кпл составляет 6% от стоимости оборудования

$$К_{пл} = Ц \cdot 0{,}06 = 40153000 \cdot 0{,}06 = 2409180 \text{ тг.}$$

Откуда капитальные затраты равны

$$K = 40\ 153\ 000+803060+2007650+1204590+2409180=46\ 577\ 480 \text{ тг.}$$

4.2.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Эксплуатационные расходы определим по формуле

$$Э_р = ЗП + С_н + А + М + С_{эл} + С_{адм} + С_р + Ar \qquad (4.2)$$

где ЗП – основная и дополнительная заработная плата персонала,обслуживающего прибор (устройство, систему) или объект связи с отчислением на социальное страхование и занятости;[15]

$С_н$ – социальный налог;

А – амортизационные отчисления;

М– затраты на материалы и запасные части;

$С_{эл}$ – электроэнергия со стороны производственных нужд;

$С_{адм}$– прочие административные управленческие и эксплуатационные расходы

$С_р$ – затраты на рекламу.

Ar - затраты на аренду канала

Для вычисления заработной платы приведем среднемесячные оклады обслуживающего персонала, которые сведем в таблицу 4.2

Таблица 4.2 – Заработная плата обслуживающего персонала

Наименование должности	Количество человек	Месячная заработная плата, тг Оклад тг/мес	Годовая заработная плата, тг Сумма
Инженеры	6	120 000	1 440 000
Итого	6	120 000	1 440 000

Основная заработная плата за год составит

$$ЗП_{осн} = 1440000 \text{ тг.} \qquad (4.3)$$

В годовой фонд заработной платы включается дополнительная заработная плата (работа в праздничные дни, сверхурочные и т.д.) в размере 30% от основной заработной платы.

$$ЗП_{доп} = ЗП_{осн} \cdot 0,3 = 1440000 \cdot 0,3 = 432000 \text{ тг.} \quad (4.4)$$

При расчете фонда заработной платы следует учесть премии для выплаты рабочим (25%)

$$П = ЗП_{осн} \cdot 0,25 = 1440000 \cdot 0,25 = 360000 \text{ тг.} \quad (4.5)$$

Заработная плата складывается из основной и дополнительной заработной платы

$$ЗП = ЗП_{осн} + ЗП_{доп} + П \text{ ,} \quad (4.6)$$

$$ЗП = 1440000 + 432000 + 360000 = 2232000 \text{ тг.}$$

Социальный налог составляет 11 % от общей заработной платы

$$С_{н} = (ЗЗ - 0,1 \cdot ЗП) \cdot 0,11 = (2232000 - 223200) \cdot 0,11 = 220968 \text{ тг} \quad (4.7)$$

Амортизационные отчисления на систему связи по существующему положению в настоящее время 15%

$$А = На\ (\%) * К_{вл}/100\% = 15*46577480\ /100 = 6986622 \text{ тг} \quad (4.8)$$

Затраты на материалы и запасные части находятся в размере 2% от стоимости коммутационного оборудования

$$М = Ц \cdot 0,02 = 46577480 \cdot 0,02 = 931549 \text{ тыс.тг,} \quad (4.9)$$

Затраты на электроэнергию рассчитаем по следующей формуле

$$C_{эл} = W \cdot T \cdot S \text{ ,} \quad (4.10)$$

где W – потребляемая мощность станций, W = 15 кВт,

T – количество часов работы оборудования в год,

S – стоимость киловатт-часа электроэнергии, S = 17 тг/кВт час.

Откуда

$$С_{эл} = 15 \cdot 8760 \cdot 17 = 2233800 \text{ тг.}$$

Стоимость прочих расходов составляет 30% от основной заработной платы

$$С_{адм} = ЗП \cdot 0,3 = 2232000 \cdot 0,3 = 432000 \text{ тг.} \quad (4.11)$$

Затраты на рекламу составят 500 000 тг

Затраты аренды радиоканала за год Ar =3168000 тг

Таким образом, эксплуатационные расходы составят

$$Э_Р = ЗП + С_н + А + М + С_{эл} + С_{адм} + Р \quad (4.12)$$

$Э_Р = 22322000 + 220968 + 6986622 + 931549 + 2233800 + 432000 + 500000 + 3168000$ =10416939 тг

Результаты заносим в таблицу 3.3

Таблица 3.3 – Эксплуатационные затраты

Показатель	Сумма, тенге
ЗП	2 232 000
Отчисления на социальный налог	220 968
Амортизационные отчисления	6 986 622,00
Материальные затраты	931 549,00
Затраты на электроэнергию	2 233 800,00
Платежи за использование радиочастот	3 168 000
Затраты на рекламу	500 000,00
Административные, управленческие расходы	432 000,00

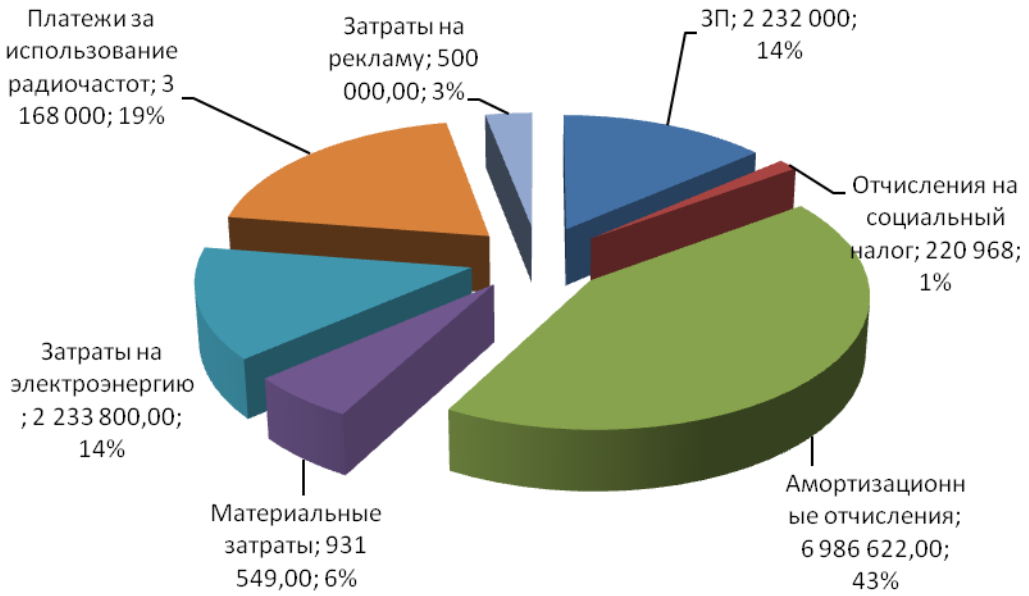


Рисунок 4.1 Приведена диаграмма, отражающая структуру производственных эксплуатационных затрат.

4.3 Расчет доходов

Доходы компании состоят из разовых и постоянных платежей клиентов.

Доход от реализации услуг рассчитывается по формуле

$$Д = (T \cdot n) \cdot N \tag{4.13}$$

где T – месячная абонентская плата клиентов;

N – количество клиентов,

n – число месяцев;

Оценки эффективности от реализации проекта производится на основе следующих показателей

1. Чистый доход;
2. Чистый приведенный доход;

Для расчета срока окупаемости необходимо определить чистый доход и доход предприятия после налогообложения.

Чистая прибыль от реализации услуг определяется по формуле

$$ЧП = П - КПН \tag{4.17}$$

где П - прибыль от реализации услуг, КПН – корпоративный подоходный налог с юридических лиц. Сумма налога в бюджет составляет 20% от чистого

дохода предприятия.[17] Чистый доход предприятия после налогообложения рассчитывается по формуле:

$$КПН = 0,2 \cdot П \quad (4.18)$$

Прибыль от реализации услуг рассчитывается по формуле

$$П = Д - \sum Э \quad (4.19)$$

где Д - реальный доход от внедрения услуг в год;
$\sum Э$ – эксплуатационные расходы.

Чистый денежный поток (ЧДП) считаем по формуле

$$ЧДП=ЧП+А \quad (4.20)$$

где А – амортизационные отчисления.

Абонентами сети будут являться физические лица. Месячная абонентская плата составляет 8000 тенге. Предположим, что 800 человек будут пользоваться услугой.

Доход от реализации услуг

Д= (8000*12)*800=76 800 000 тг;

Прибыль от реализации услуг

П =76 800 000 – 15 912 939= 60 887 061тг;

Корпоративный подоходный налог с юридических лиц

КПН= 0,2·10 982 137= 1 217 741,2тг;

Чистая прибыль от реализации услуг

ЧП = 60,887 061- 1 217 741,2= 59,669 319 тг;

Чистый денежный поток

ЧДП=59,669319 + 6986622 = 66,655 941тг.

4.4 Расчет показателей экономической эффективности

Рассчитаем коэффициент общей экономической эффективности капитальных вложений по формуле

$$Е=П/К \quad (4.21)$$

где П-чистая прибыль;
К- капитальные вложения;

$$Е=59669319/46\ 577\ 480 =1,3$$

Срок окупаемости находим по формуле:

$$Т=1/Е \quad (4.22)$$

где Е – коэффициент общей экономической эффективности

$$Т=1/1,3= 0,7$$

Таким образом, средства, вложенные в организацию проекта, предприятие окупит за 0,7 года, то есть за 9 месяцев (256 дней).

Таблица 3.5 – Показатель экономической эффективности

Наименование статей затрат	Показатели
Капитальные вложения, тенге	46 577 480
Эксплуатационные расходы, тенге	15 912 939
Доход от реализации услуг, тенге	76 800 000
Прибль от реализации услуг, тенге	60 887 061
Чистая прибыль, тенге	59 669 319
Срок окупаемости, год	0,7

Вывод

Анализируя расчет экономических показателей можно сказать следующее, для реализации данного проекта необходимо капитальное вложение в размере 46 577 480 тенге. Сумма затрат за год составит фактическую производственную себестоимость или величину годовых эксплуатационных расходов, в нашем случае эксплуатационные расходы составили 15 912 939 тенге. Чистая прибыль от внедрения спутниковой навигации составит 59 669 319 тенге. Экономическая эффективность свидетельствует об инвестиционной привлекательности проекта, так как проект окупается за 0,7 год, то есть за 9 месяцев.

Список сокращений

ИСЗ – искусственный спутник Земли
СРНС – спутниковая радионавигационная система
GPS – global position system
ГЛОНАСС – глобальная навигационная спутниковая система
РНС – радионавигационная система
МСЭ – Международный союз электросвязи
МКРЧ – Международная комиссия по радиочастотам
МККР – Международная консультативная комиссия по радиочастотам
GDOP – Geometric Dilution of Precision
НКУ – наземный комплекс управления
АПСН – аппаратура потребителя спутниковой навигации
НКА – навигационный космический аппарат
ПСС – подвижная спутниковая служба

Заключение

В данном дипломном проекте была рассмотрена возможность осуществлении контроля и управления автотранспортом с помощью спутниковой навигационной системы. Была выбрана система для местоопределения подвижного объекта, которую можно использовать в Казахстане - это система является GPS.Для передачи данных таких, как координаты автотранспорта в транспортное предприятие использовался геостационарный спутник KazSat-2 в системе спутниковой связи по сети VSAT .

В технико-экономической части дипломного проекта был предоставлен организационный план с капитальными, эксплуатационными затратами проектируемой системы связи, с указанием срока окупаемости предоставленного проекта.

В части безопасности жизнедеятельности был проведен анализ условий труда и расчет естественного и искусственного освещения.

Таким образом, вся выполняется работа и соответствие расчитанных параметров сегментов системы спутниковой связи справочным техническим характеристикам и возможность практического применения проекта.

Список литературы

1. Козин И.Д. «Спутниковые радионавигационные системы» // Алматы: АИЭС, 2006г.
2. БеляевскийЛ.С.,НовиковВ.С., ОлянюкП.В.«Основы радионавигации». // М.: Транспорт, 1982г, 287 с.
3. Шебшаевич В.С, Дмитриев П.П, Иванцевич Н.В и др. «Сетевые спутниковые радионавигационные системы» // М.: Радио и связь, 1989г,272 с.
4. Мордухович А.А, Степанов В.Д «Системы радиосвязи» //М.: Радио и связь, 1995г.
5. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. М.: КНИЦ ВКС, 1995.
6. www.chipnews.ru Е.Павеляев, С.Хуторный
7. Бородич С.В. «О применении систем спутникой связи со спутниками на низких орбитах // Электросвязь». -1995г, № 9. - С. 19-24
8. Акимов А. А. Буравин А.Е. "Связь и навигация. Интеграция услуг //журнал Системы и средства связи 2000 г. № 3-4.
9. Соловьев Ю.А. «Системы спутниковой навигации» //М.: Эко-Трендз, 2000, 260с.
10. Лекции доктора технических наук В.В.Конина. www.kvatn.com.ua/resourse/All/lections/lect.
11. СНиП РК 2.04-05.2002 Естественное и искусственное освещение. Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства.
12. Анчарова Т.В. Проектирование промышленных осветительных установок. Методическое пособие. – М.: Изд.: МЭИ, 2003.
13. СанатоваТ.С., Хакимжанов Т.Е. Охрана труда и основы безопастности жизнедеятельности: Методические указания к выполнению раздела «Расчет электромагнитного поля»-Алматы:АИЭС, 2011.
14. Абдимуратов Ж.С., Мананбаева С.Е. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела «Расчет производственного освещения» в выпускных работах для всех специальностей. Бакалавриат – Алматы: АИЭС,2009. – 20с.
15. Справочная книга для проектирования электрического освещения/ Под.ред. Г.М. Кнорринга. – Л.: Энергия, 1976

16. Базылов К.Б., Еркешева З.Д., Бабич А.А. Методические указания для экономической части выпускной работы – для студентов всех форм обучения специальности 050719 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АИЭС, 2009
17. Е.А. Голубицкая, Г.М. Жигульская. Экономика связи: Учебник для вузов. – М.:Радиосвязь, 1999

Приложение А

Инженерный расчет в программной среде Mathcad

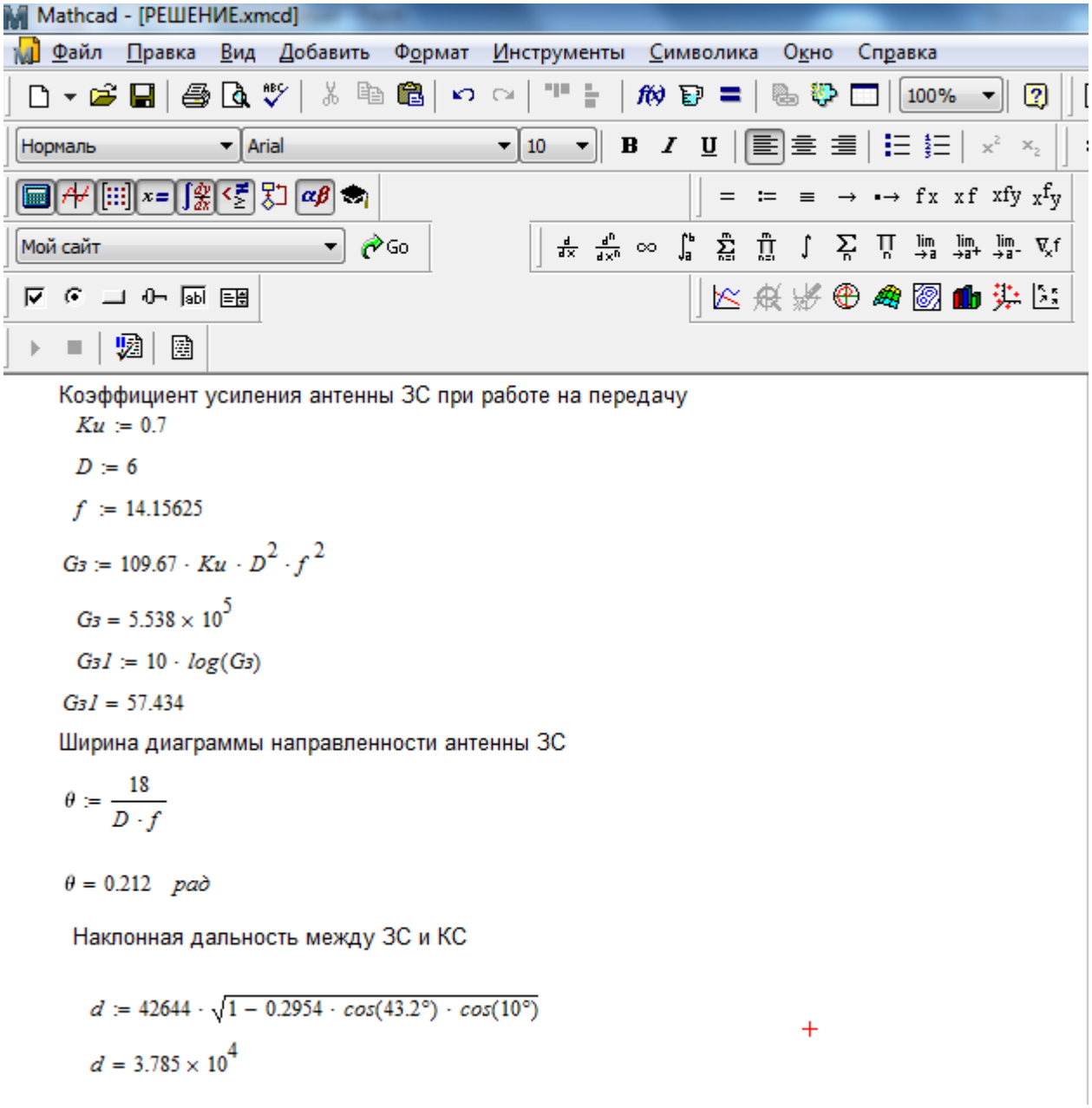


Рисунок А.1 – Рисунок результата расчета спутниковой линии связи Алматы – KazSat-2 - Павлодар на участке «вверх»

Продолжение приложения А

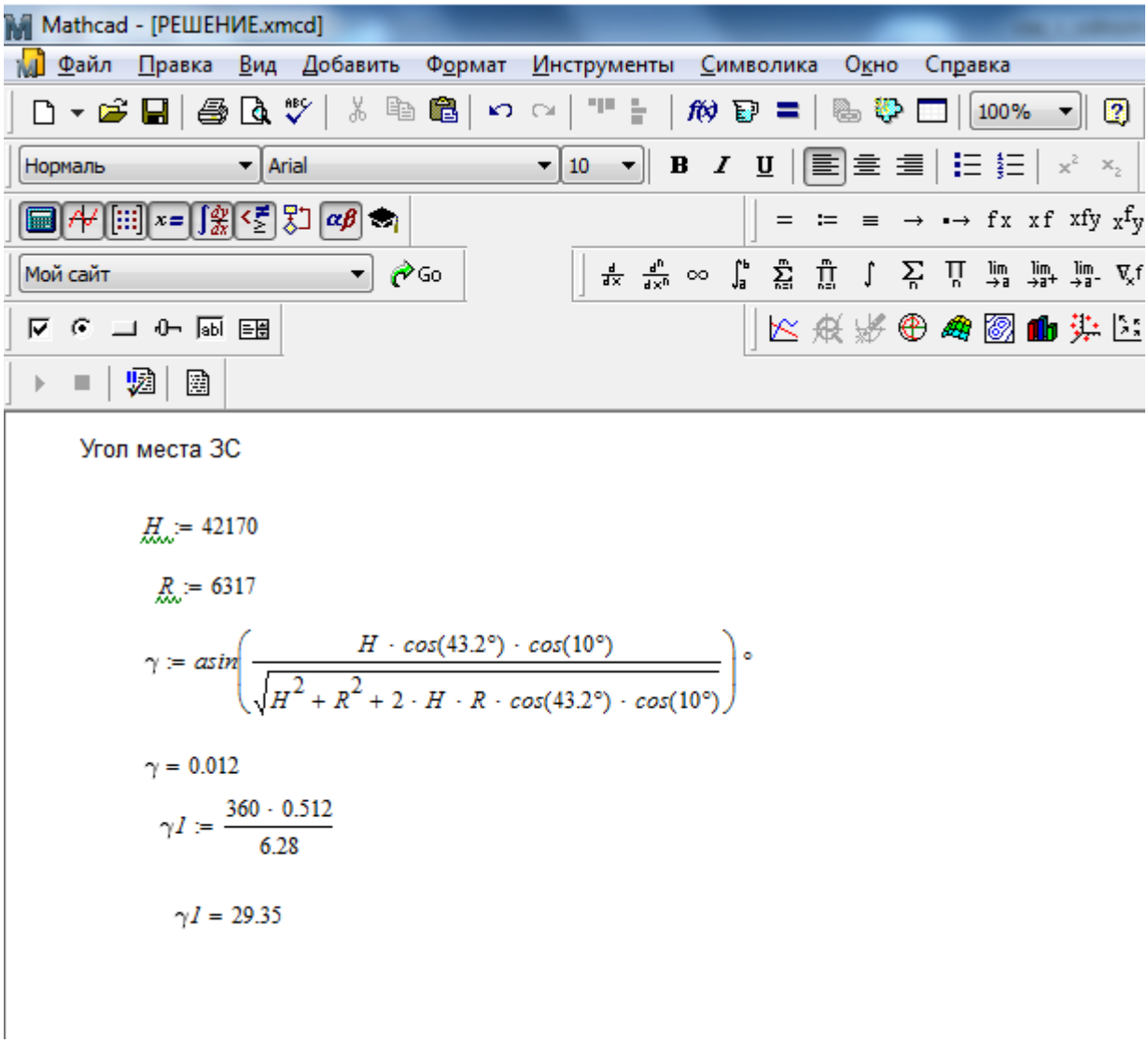


Рисунок А.2 – Рисунок результата расчета угол места спутниковой линии связи Алматы – KazSat-2 - Павлодар на участке «вверх»

Продолжение приложения А

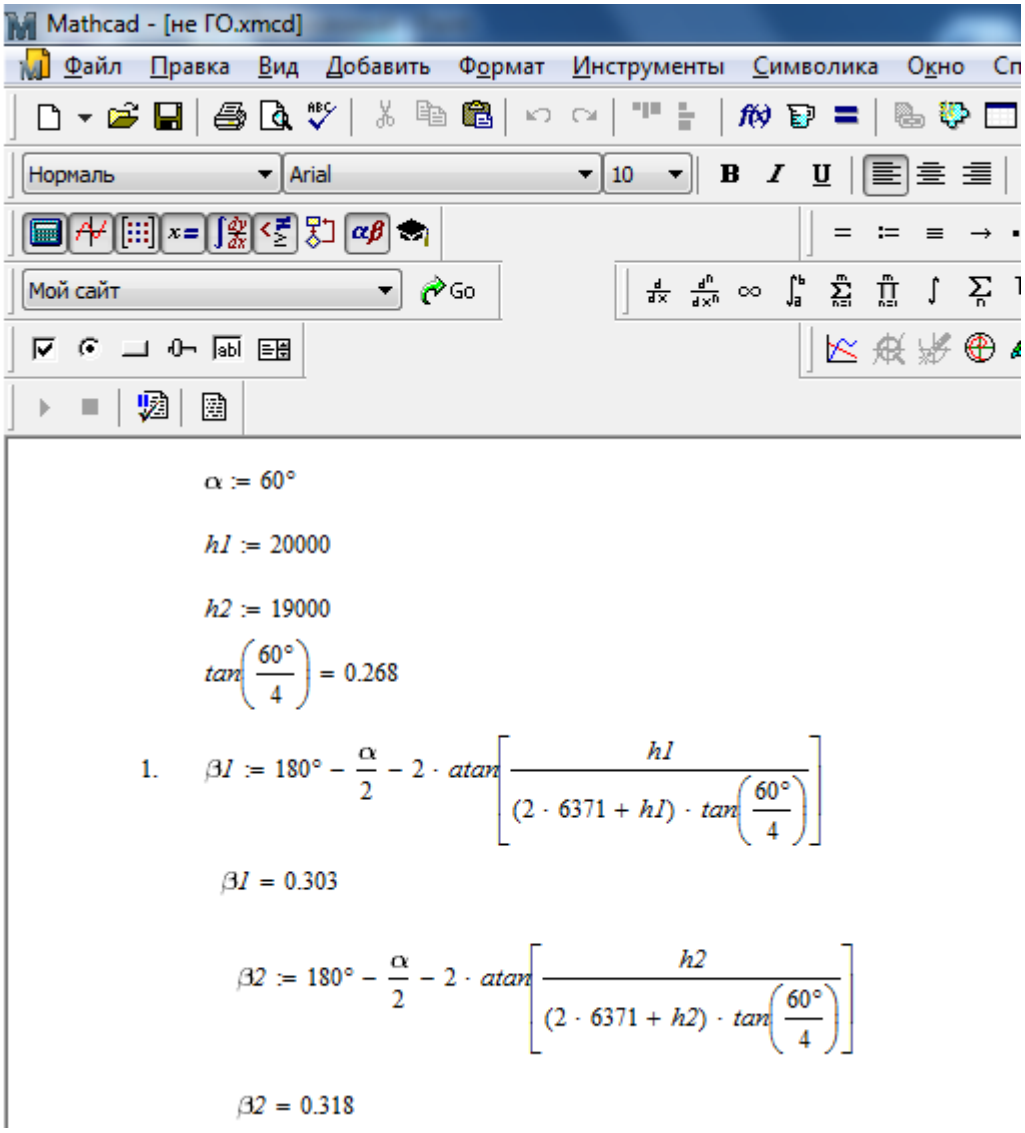


Рисунок А.3 – Рисунок результата расчета угол обзора обслуживания со спутника для GPS и ГЛОНАСС

Продолжение приложения А

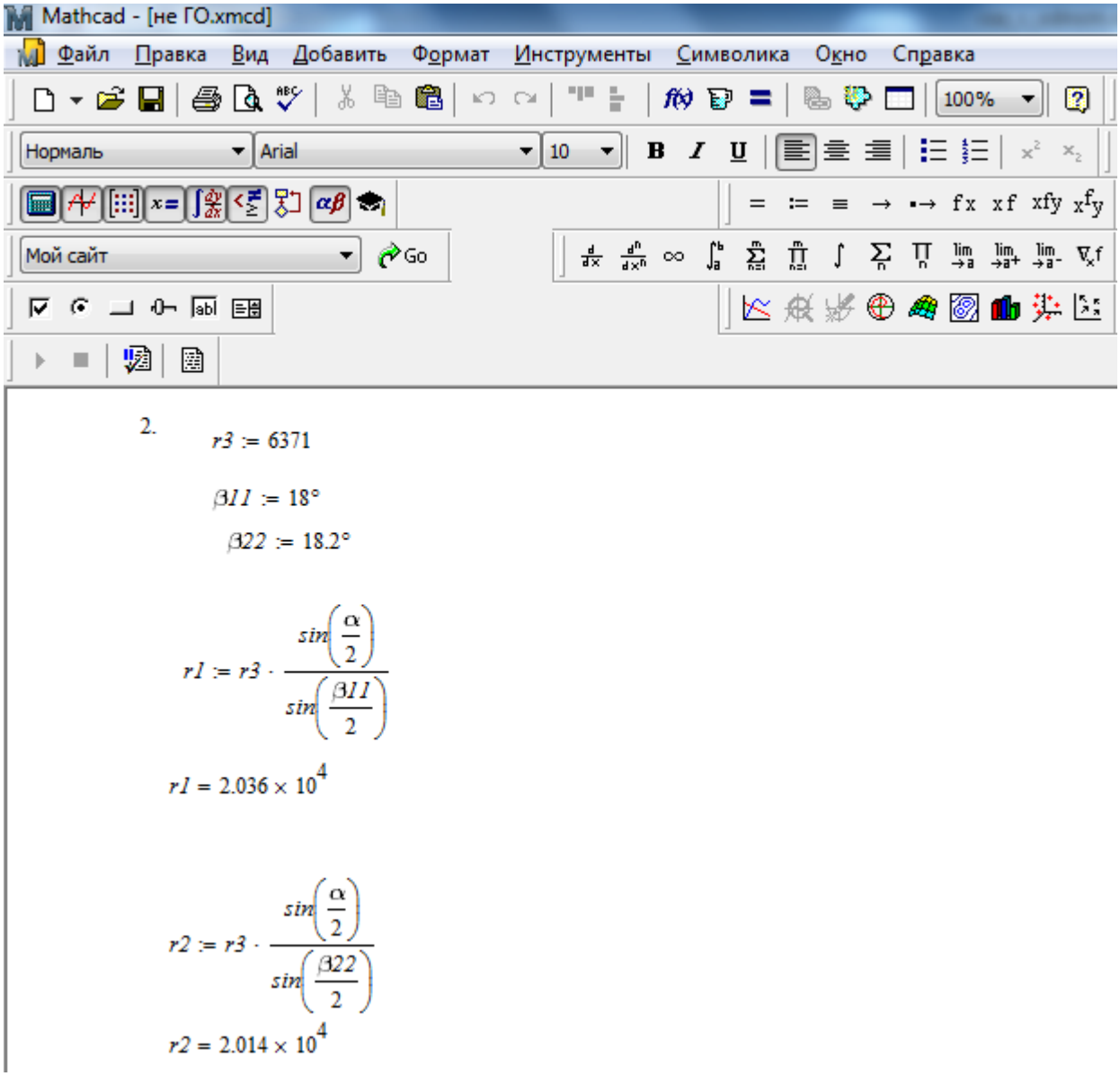


Рисунок А.4 – Рисунок результата расчета максимальной дальности связи для GPS и ГЛОНАСС