МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»
Кафедра Телекоммуникационные системы

«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»

Зав.кафедрой _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «____» _____201___г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Организация многоканальной распределительной системы наземного телевещания в цифровом стандарте для удаленных пользователей

Специальность Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнила Низамутдинов Р. М (Ф.И.О.) Группа МТС-12-5

Научный руководитель ст. пр. Павлова Т. А.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «7» июня 2016 г.
(подпись)

Консультанты:

по экономической части:

доцент Бекенова Г. Ш.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «06» 06 2016 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

ст. препод. Бешимбетова А. С.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «25» мая 2016 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:

к. т. н., ст. препод. Ефремова Ю. Н.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «6» июня 2016 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Демидова Г. Д, ст. препод.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «7» июня 2016 г.
(подпись)

Рецензент: ст. менеджер магистр техники и тех-ии Марданова Н. Ю.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «7» июня 2016 г.
(подпись)

Алматы 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет Радиотехники и связи

Кафедра Телекоммуникационных систем

Специальность 5В 071900 Радиотехника, электроника и телекоммуникации

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студенту Низамутдинову Руслану Минияровичу
(Ф.И.О.)

Тема проекта Организация многоканальной распределительной системы наземного телевещания в цифровом стандарте для удаленных пользователей.

Утверждена приказом по университету №_____ от «__» _____ 201___г.

Срок сдачи законченного проекта «_____»_____201___г.

Исходные данные к проекту (требуемые параметры результатов исследования (проектирования) и исходные данные объекта):

Диапазон частот 14↑ / 11↓ ГГц

Параметры передающей космической станции: координата 57° в.д.; коэффициент усиления антенны 26 дБ; КПД$_{ант\,макс}$ 0,8.

Параметры приемной земной станции Алматы: координата 43°14' с.ш. и 76°58' в.д.; диаметр антенны 10 м; отношение $P_c/P_ш$ на приеме 15 дБ; коэфф. шума приемника 2 дБ; эффективная полоса частот 54 МГц; КПД$_{ант\,зс}$ 0,9; шумовая температура антенны 100 К.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта:

1. Изучить структуру сети MMDS
2. Выбрать оборудование системы MMDS
3. Разработать систему MMDS + Internet для наземного телевещания в цифровом стандарте для удаленных пользователей
4. Произвести расчет энергетики линии „вниз" КС – ЗС системы MMDS
5. Определить дальность действия цифровой MMDS

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): 1. Функциональная блок-схема MMDS сети,
2. Общая схема высокоскоростного доступа в Интернет по эфирно-кабельной сети MMDS
3. Структурная схема головной станции
4. Структурная схема аналоговой передающей станции MMDS на Кон-Тобе.
5. Структурная схема приемника MMDS абонента
6. Зона покрытия UCS NSS-403

Основная рекомендуемая литература:

1. А.В. Смирнов, А.Е. Пескин. „Цифровое телевидение от теории к практике". - Москва: Горячая линия - Телеком, 2005 - 38с
2. Волков С.В. „Сети кабельного телевидения". - Москва: Горячая линия, - Телеком, 2009. - 142с
3. Пачек М. „Цифровое телевидение: Теория и техника" Пер. с чеш. Под ред. Л.С. Виленчика. - Москва: Радио и Связь, 2008 - 94с
4. Печатник А.В. Системы мобильной связи, 2008.
5. Тохаева Б.Б., Сортенко А.И. Телекоммуникационные и цифровые системы передачи АЧАС, 2010г.

Консультанты по проекту с указание относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Бизнес план	Вокалова Л.	01.04 - 06.04	
БЖД	Бешимбетова А.С.	01.04 - 24.04.16	
Спец. часть	Павлова Т.Я.	21.12.15 - 22.03.16	
Выч. техника	Сафронова Ю.А.	01.03.16 - 6.06.16	

График подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
1. Структура сети MMDS	21.12.15 – 5.01.16	
2. Возможности MMDS систем	05.01.16 – 18.09.16	
3. Оборудование, используемое в системе MMDS	18.01.16 – 29.01.16	
4. Структурная схема передачи MMDS в аналоговом стандарте	29.01.16 – 08.02.16	
5. Особенности передачи цифровых сигналов по сетям кабельного телевидения и MMDS	08.02.16 – 25.02.16	
6. Разработка системы MMDS+Internet	25.02.16 – 12.03.16	
7. Энергетический расчет линии „вниз" КС-ЗС	12.03.16 – 01.04.16	
8. Определение дальности действия цифровой MMDS	01.04.16 – 13.04.16	
9. Построение расчетов в графическом редакторе MathCAD	13.04.16 – 22.04.16	
10. Сущность проекта; характеристика проекта; маркетинг	22.04.16 – 28.04.16	
11. Расчет расходов организации услуг; Оценка экономической эффективности организации	28.04.16 – 06.05.16	
12. Безопасность жизнедеятельности.	06.05.16 – 22.05.16	

Дата выдачи задания «___» _____ 201___г.

Заведующий кафедрой _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Научный руководитель Проекта _____ (Павлова Г.А.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению студент _____ (Низамутдинов Р.М.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Берілген дипломдық жобада дүнижүзілік желіге қосылған MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) жүйесі арқылы кабелдік желіге қосылу мүмкіндігі шектеулі, шалғайдағы қаланың тұрғындары үшін, цифрлық стандарттағы телерадио хабар тарату ұйымдарының сұрақтары қарастырылды.

Өмірқауіпсіздік тарауында еңбек шарттарының анализі, жерге тұйықтау есептеулері жүргізілген. Капиталды салымдардың абсолютті экономикалық тиімділігіне талдау жүргізілген және өтелу мерзімі анықталды.

Аннотация

В данном дипломном проекте рассматриваются вопросы организации телерадиовещания в цифровом стандарте для удалённых жителей города не имеющих возможность подключения к кабельной сети, подключенных к всемирной сети посредством системы MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System).

В разделе безопасность жизнедеятельности проведен анализ условий труда, сделан расчет заземления. Проведен расчет абсолютной экономической эффективности капитальных вложений и определен срок окупаемости.

Annotation

This diploma project deals with the questions of organization of television and radio broadcasting in the digital standard for remote residents, who do not have the connectivity to the cable network, connected to the global network via MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) system.

In section the life safety made analysis of working conditions, made ground calculation. Performed calculation of the absolute economic efficiency of capital investments, and the payback period is defined.

Содержание

Введение 7
1 Особенности использования технологии MMDS 8
1.1 Структура сети MMDS 8
1.2 Возможности MMDS систем 12
1.3 Оборудование, используемое в системе MMDS 15
2 Организация системы передачи по технологии MMDS 18
2.1 Структурная схема передачи MMDS в аналоговом стандарте 18
2.2 Особенности передачи цифровых сигналов по сетям кабельного телевидения и MMDS 20
2.3 Структурная схема передачи MMDS в цифровом стандарте вещания 20
2.4 Цифро-аналоговый телевизионный передатчик MMDS 23
2.5 Разработка системы MMDS + Internet 25
3 Расчёт параметров системы MMDS 28
3.1 Энергетический расчет линии вниз КС – ЗС 28
3.2 Определение дальности действия цифровой MMDS 39
4 Бизнес план 51
4.1 Сущность проекта 51
4.2 Характеристика проекта 51
4.3 Маркетинг 52
4.4 Организационный план 52
4.5 Расчет доходов от реализации услуги 57
4.6 Оценка экономической эффективности от реализации 58
4.7 Расчет абсолютной величины чистого дохода с учетом дисконтирования 59
5 Безопасность жизнедеятельности 61
5.1 Анализ условий труда 61
5.2 Организация рабочего места оператора 64
5.3 Расчёт заземления 65
5.4 Защита от электромагнитного излучения СВЧ поля, создаваемого антенной ТА-204 на телевышке Кок-Тобе 68
Заключение 71
Список литературы 72
Приложение А Расчет мощности передатчика КС 73
Приложение Б Коэффициент усиления антенны ЗС 74
Приложение В Зона покрытия ИСЗ NSS-703 использована в Интернет ресурсе Google Map 75

Введение

MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) - это многоканальная многоточечная распределительная система наземного телевещания, аналог кабельного телевидения, однако без кабеля, неким образом сходная со спутниковой телевещательной системой - только спутник-ретранслятор в данном случае как бы находится на Земле. Во многих случаях данный метод распространения теле и радиопрограмм имеет бесспорные достоинства перед давно известными и обширно используемыми - по кабельным сетям и посредством спутников-ретрансляторов. Так, в частности, приемные антенны могут быть значительно меньше спутниковых, так как мощность MMDS-сигнала гораздо больше, чем сигнал со спутника.

Система MMDS - это технология разработанная в США, которая позволяет передавать по эфиру сразу до 25 телепрограмм в аналоговом стандарте и до 250 телепрограмм отличного качества в цифровом, а еще высокоскоростной интернет, телефонию и любой другой поток информации. В данный момент в любой дом входит много всяких кабелей и проводов. MMDS позволяет убрать эту "паутину" и весь поток различной информации подать в один телевизионный кабель идущий к телевизору.

Многие компании кабельного телевидения в городе Алматы переходят на новый стандарт телевещания и предоставляют новую услугу своим абонентам, такую как кабельный Интернет и цифровое телерадиовещание. Однако, к сожалению, кабельная сеть проходит по центру города и никак не проведена на окраины либо за черту города.

В данном дипломном проекте будут рассмотрены вопросы организации телерадиовещания в цифровом стандарте для удалённых жителей города, не имеющих возможность подключения к кабельной сети и подключеных к глобальной сети посредством системы MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System). Данная система даёт возможность принятия огромного количества телепрограмм в отличном качестве изображения, со стереозвуком и массой других преимуществ, таких как информация, о программе, программа телепередач, возможность получать и отправлять на телевизор определенного абонента текстовое сообщение, заняв при этом небольшое количество эфирных частот. По одной несущей частоте в полосе 8 МГц может быть передано до 12 телепрограмм, за условно маленькую цену. В основу расчётов ляжет методика вещания телевизионных программ в аналоговом и цифровом стандарте в системе MMDS и предоставления услуг Интернета. Преимуществом системы MMDS также является довольно большая дистанция в несколько десятков километров за чертой горизонта.

1 Особенности использования технологии MMDS

1.1 Структура сети MMDS

Предлагаемое техническое решение состоит в организации широкополосного радиоканала по технологии MMDS.

Станция MMDS это целый комплекс специального оборудования, в том числе и спутниковый телепорт с несколькими антеннами большого диаметра (3 метра). Они предоставляют возможность принимать телепрограммы из десятков спутников. Остается лишь определить лучшие из большого количества государственных и зарубежных программ и подать их на передатчик.

Удаленными абонентами могут быть как отдельные телецентры, так и локальные сети. В качестве шлюза в радиосеть используется кабельный модем с комплектом антенно-фидерного и приемо-передающего оборудования. Рассмотрим распределение частотных каналов в сетях кабельного телевидения.

Сложившиеся на территории Казахстана городские кабельные сети аналогового распределения ТВ-программ выполнены на базе коаксиального кабеля. Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) на данном этапе используются на технологических линиях телецентров и операторов связи, а также на магистральных каналах междугороднего распределения ТВ-программ. Использование ВОЛС для домовой разводки кабельного телевидения с выходом на абонентские розетки в квартирах телезрителей, в настоящее время по экономическим причинам оказывается неприемлемым из-за высокой стоимости оконечного прибора демодуляции оптической линии связи.

Системы MMDS получили в крайние годы обширное распространение как альтернатива классическим кабельным сетям. Антенна MMDS передатчика устанавливается на телевизионной мачте ОРТПЦ. Сигнал с приемлемым качеством принимается на расстоянии до 10 километров (при условиях прямой видимости). Передаются 24 телеканала. Для их трансляции используется групповой MMDS передатчик мощностью около 100 Вт.

Использование MMDS имеет ряд неоспоримых преимуществ перед кабельными сетями.

Не требуется дорогостоящая прокладка подземных либо воздушных кабельных линий.

Система MMDS по сравнению с кабельной сетью наиболее компактна и мобильна, не требует содержания большого штата сотрудников для эксплуатации и ремонта сети.

Сеть на основе MMDS разворачивается всего за некоторое количество дней (рисунок 1.1).

Для расширения сети в пределах зоны обслуживания передатчика MMDS не требуется перепроектирование либо переделка передающего оборудования.

При необходимости расширения зоны обслуживания достаточно или увеличить мощность передатчика, или увеличить высоту подвески антенны.

При возникновении технической либо коммерческой необходимости, система может быть в короткие сроки демонтирована и установлена в другом месте.

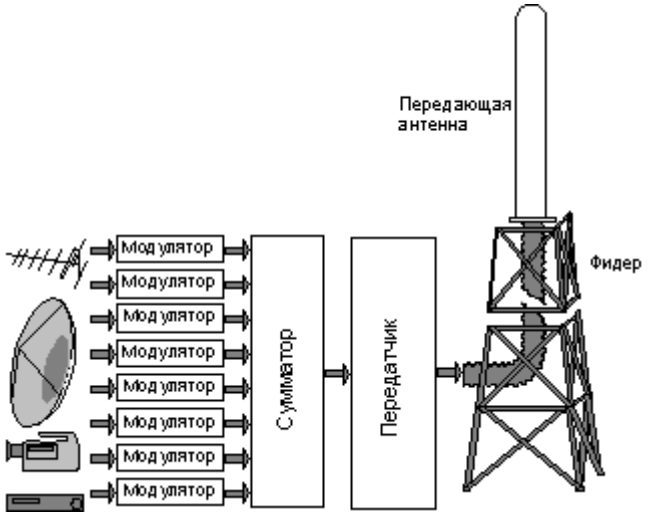


Рисунок 1.1 – Функциональная блок-схема MMDS сети

Как видно из блок-схемы, система состоит в простейшем случае из группы модуляторов (по количеству каналов), сумматора и конвертора-передатчика. На вход системы могут быть поданы сигналы с приемных телевизионных антенн метрового либо дециметрового диапазона, со спутниковой приемной системы либо сигнал местной телевизионной студии. Каждая из программ, поданных на вход системы, конвертируется таким образом, чтобы можно было сформировать групповой сигнал с шириной полосы до 200 МГц, что позволяет в общем случае передавать до 25 телепрограмм. Далее групповой сигнал фильтруется и конвертируется в спектр частот 2500 - 2700 МГц, усиливается и подается на передающую антенну. Так как прием сигнала на данных частотах возможен лишь в пределах прямой видимости, очень важно разместить передающую антенну на необходимой высоте для качественного обслуживания требуемой территории.

Приемная часть оборудования выполнена очень компактно. Она состоит из небольшой приемной антенны и понижающего конвертера, который переносит групповой сигнал из спектра 2,5-2,7 ГГц в необходимый спектр метровых или дециметровых волн (наиболее часто используются конверторы, конвертирующие в начало или конец ДМВ - диапазона). Так как при передаче используется амплитудная модуляция, принятая в эфирном телевидении, на выходе приемного конвертера выделяются сигналы телевизионных программ в обычном виде. Выход конвертера можно подключить непосредственно к телевизору абонента (при индивидуальном приеме), к домовой распределительной сети (при многоэтажной застройке) либо ко входу

головной станции локальной кабельной сети, если установить приемную антенну на каждый дом невозможно.

Радиус зоны обслуживания системы MMDS определяется высотой подвеса передающей антенны, мощностью передатчика, количеством передаваемых каналов, потерями в антенно-фидерном тракте и коэффициентами усиления передающей и приемной антенн. Технически можно реализовать зону обслуживания в радиусе 50 - 60 км. Передатчики MMDS бывают групповые и одноканальные. Групповые передатчики делают обычно мощностью от 50 до 200 Вт. При этом можно достигнуть гарантированной зоны обслуживания до 20 км.

Для обслуживания зоны радиусом до 10 км, целесообразно применение одного многоканального (группового) передатчика. Для возбуждения такого передатчика используется набор телевизионных модуляторов, формирующих сигнал в диапазоне МВ (222-350 МГц). Сигналы модуляторов складываются обычным комбайнером (сумматором) и подаются на вход многоканального передатчика, в котором групповой сигнал конвертируется в спектр 2,5 - 5,7 ГГц и усиливается. Эти системы имеют небольшой вес и габариты, стоят гораздо дешевле, нежели канальные, и позволяют получить выходную мощность до 4 Вт на канал.

В качестве возбудителей могут быть использованы всевозможные телевизионные модуляторы, формирующие АМ сигнал с частично подавленной нижней боковой полосой. Вместо модуляторов и комбайнера можно подключить ко входу многоканального передатчика кабельную головную станцию, настроив ее линейки на нужные каналы. Но для того, чтобы полностью исключить перекрестные помехи, особенно в случае использования соседних ТВ каналов, модуляторы должны быть синхронизированы единым опорным сигналом. Многоканальные передатчики не рекомендуется применять для трансляции цифровых телевизионных программ в MPEG-2 либо передачи данных (например, Internet). Для передачи больших потоков данных в полосе стандартного телевизионного канала используется многоуровневая квадратурно - амплитудная модуляция (QAM), очень чувствительная к нелинейным искажениям тракта (рисунок 1.2). Достигнуть приемлемого значения нелинейных искажений при работе в широкой полосе на нескольких каналах крайне сложно и не всегда получается.

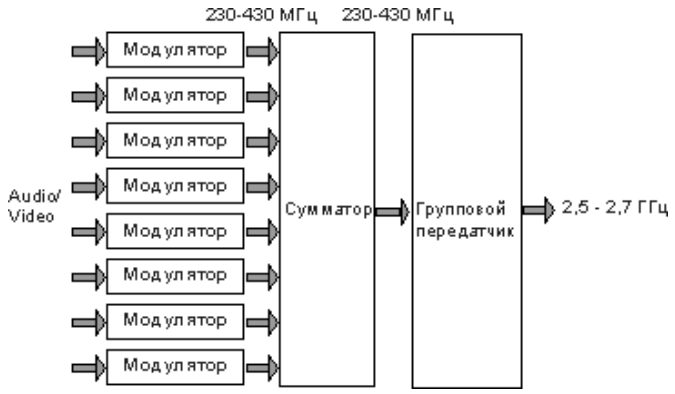


Рисунок 1.2 – Формирование группового сигнала при QAM

Для получения большой выходной мощности (более 5 Вт на канал), а также для организации цифровых видов сервиса (Internet, трансляция цифровых программ телевидения и радио) необходимо использовать системы с канальными передатчиками. В таких системах сигнал каждого телевизионного канала конвертируется в спектр 2,5 - 2,7 ГГц и усиливается до номинальной мощности отдельным передатчиком. Выходные сигналы канальных передатчиков складываются волноводным комбайнером непосредственно на входе антенно-фидерного тракта (рисунок 1.3). Такие системы стоят довольно дорого, но именно они нашли наибольшее применение в Европе и Соединенных штатах благодаря лучшим качественным показателям (по сравнению с групповыми системами), пригодности для передачи сигналов с QAM и высокой надежности. Для возбуждения канальных передатчиков нет необходимости формировать телевизионный сигнал в диапазоне МВ, с выхода модуляторов снимается сигнал промежуточной частоты 38,9 МГц. Который затем конвертируется непосредственно в диапазон MMDS (2500 – 2700)МГц.

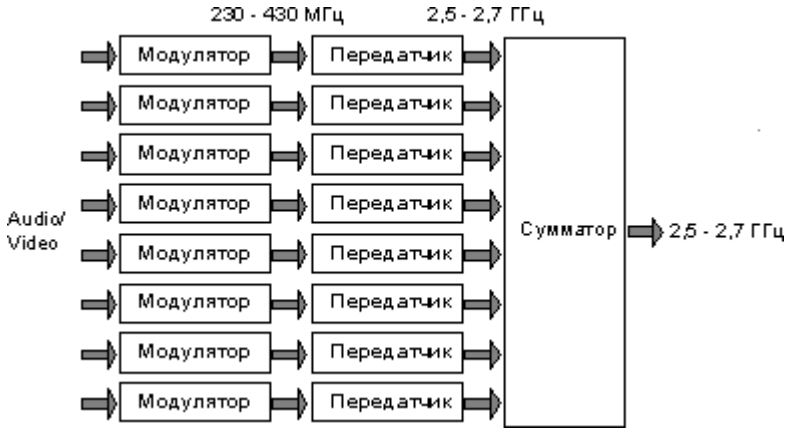


Рисунок 1.3 – Формирование группового сигнала системы с канальными передатчиками

Передающая антенна диапазона 2,5 ГГц представляет собой вертикальную фазированную антенную решетку. Вместе с радиопрозрачным кожухом антенна имеет диаметр примерно 0,2 м и высоту от 1,5 до 4 м (в

зависимости от коэффициента усиления). Как правило, применяются антенны с круговой (в горизонтальной плоскости) диаграммой направленности. Усиление антенны достигается сужением диаграммы направленности в вертикальной плоскости. Чем больше размеры антенны, тем больше коэффициент усиления антенны и, соответственно, стоимость. Всенаправленная (в горизонтальной плоскости) антенна обычно имеет коэффициент усиления около 12дБ. Иногда применение всенаправленной антенны нецелесообразно - например, в приморских городах, которые обычно занимают узкую полосу вдоль берега, или в том случае, если передающую станцию MMDS по каким-либо причинам возможно разместить только вне предполагаемой зоны обслуживания. Для таких случаев применяется одна или несколько направленных антенн, чтобы создать диаграмму направленности заданной формы.

На частотах диапазона 2,5 ГГц затухание сигнала в волноводном тракте значительно, поэтому, для того, чтобы подвести мощность от передатчика к антенне с минимальными потерями, приходится применять специальные коаксиальные фидеры с воздушным диэлектриком, а при большой длине тракта - жесткие волноводы. Стоимость таких фидеров зачастую сравнима со стоимостью самого передатчика. Для электрического и механического соединения таких линий с антенной и передатчиком используются специальные разъемы и переходники.

Из-за сложного рельефа местности или высотной застройки могут возникнуть "мертвые зоны", в которых прямая видимость передающей антенны не обеспечивается. Для охвата вещанием таких зон используются ретрансляторы. Ретранслятор представляет собой небольшую необслуживаемую приемо-передающую систему, состоящую из приемной антенны, широкополосного малошумящего усилителя и передающей антенны. Сигнал излучается ретранслятором на той же частоте, на которой и принимается. Чтобы исключить помехи абонентам, находящимся в зоне обслуживания и ретранслятора, и основного передатчика, передача программ с ретранслятора организуется в другой поляризации. В качестве передающей антенны используются секторная антенна из-за специфической диаграммы направленности для покрытия заданного сектора с равномерным распределением плотности потока электромагнитных волн. Место установки и мощность ретранслятора выбираются, исходя из размеров зоны его обслуживания.

1.2 Возможности MMDS систем

В данном разделе рассматриваются вопросы расширения технических возможностей, имующихся или строящихся эфирно-кабельных MMDS, кабельных оптико-коаксиальных HFC- или смешанных MMDS-HFC сетей посредством установки специального головного оборудования для организации широкополосного доступа к сетям связи разного уровня. Целью такой модернизации является обеспечение абонентов сети интерактивным

обслуживанием. С помощью такого оборудования можно предложить и предоставлять своим абонентам дополнительные виды сервиса, а не только услуги телевидения. Установка специального оборудования в сети позволит на базе широкополосного доступа предоставлять следующие виды дополнительных услуг:

- высокоскоростной доступ в интернет;
- услуги телефонной связи (IP-телефония и ее совместное использование с традиционной телефонией, а в случае эфирно-кабельной сети другого диапазона;
- организация магистральных радиоканалов "точка-точка" для подключения АТС в удаленных населенных пунктах);
- передача данных (информационный обмен данными, передача и сбор телеметрии);
- организация виртуальных частных сетей (VPN) для корпоративного применения.

Достоинства развертывания технологии MMDS-HFC:

- наличие транспортной среды (на базе MMDS либо HFC-оборудования или смешанной сети) для скорейшего развертывания полноценной многофункциональной телекоммуникационной системы доступа к сетям связи разного уровня;
- быстрое предоставление высокоскоростного доступа к Интернет и охват организаций (в т.ч. учебных заведений, библиотек, лечебных учреждений и т.д.) и населения на большой территории (особенно при использовании MMDS);
- телефонизация удаленных населенных пунктов, предоставление дополнительных услуг по обмену данными и передаче телеметрии в интересах различных организаций.

Типовой состав оборудования MMDS/Интернет:

- дополнительный приемный антенно-фидерный тракт для обратных каналов, работающих в спектре 2100-2300 МГц;
- приемник-конвертор сигналов (запросов, данных) обратного канала;
- головная модемная станция (на I этапе базовая - на 1 прямой и 1 обратный каналы);
- передатчик для организации передачи данных в прямом канале;
- абонентский трансвертер (приемо-передатчик с антенной и блоком питания);
- абонентский модем с соединительным кабелем для подключения компьютера.

Возможности системы MMDS/Интернет:

- 56 МБит/с в одном прямом канале;
- от 1-го до 4-х прямых каналов;
- 20 МБит/с в одном обратном канале;
- от 3-х до 12 обратных каналов;

- до 10 МБит/с на одного абонента;
- до 25 000 пользователей на один прямой канал при гарантированной скорости 64 КБит/с.

Характеристики MMDS:

- отличное качество трансляции;
- нет необходимости приобретения дорогостоящей антенны;
- нет необходимости приобретения нескольких антенн;
- возможность просмотра большого количества каналов.

Достоинства системы MMDS:

- высокая скорость передачи данных;
- обеспечение конфиденциальности передаваемых данных;
- привлекательное соотношение стоимость/производительность;
- незначительные эксплуатационные издержки;
- возможность смены расположения клиентского места без дополнительных затрат на оборудование;
- возможность приема многоканального эфирного телевидения;
- быстрое развертывание: организация центральной студии и установка абонентских антенн, возможность включения местных ТВ каналов;
- недорогое абонентское оборудование;
- легкость установки: нет нужды прокладывать кабельные коммуникации или запускать спутник;
- низкая стоимость обслуживания по сравнению с обслуживанием кабельной сети.

Недостатки системы MMDS

- сигнал распространяется в зоне прямой видимости;
- необходима лицензия на использование диапазона частот.

Так как сети MMDS в первую очередь были ориентированы на потребности телевещания, в них ни разу не закладывалась возможность двунаправленной передачи и взаимодействия с подписчиками. Предоставление услуг доступа в Internet по такой сети требовала от операторов преодоления множества не встречавшихся ранее проблем. В то же время почти всем поставщикам MMDS-сервиса оно сулило баснословные прибыли. Сеть с топологией "точка - много точек" считалась безупречным решением для обслуживания жителей крупных офисных центров, гостиниц и мотелей. Система с единственной всенаправленной антенной имела возможность обеспечить предоставление услуг в радиусе 16 км по двум нисходящим каналам со скоростью передачи данных 30 Мбайт/с в каждом. В то же время провайдерам услуг беспроводного доступа в Internet требовались надежные и экономически действенные системы, допускавшие интерактивность (т.е. наличие обратного канала). Им следовало выработать оптимальный протокол многоадресной рассылки, который бы позволил построить высокопроизводительную и одновременно насыщенную контентом среду, тем самым, стимулируя абонентов к использованию инфраструктуры широкополосной сети MMDS для обмена электронной почтой и запуска

Internet-приложений. Обратный же канал приходилось формировать при помощи кабельной сети доступа. Использование для этих целей телефонных каналов существенно усложняло структуру протоколов (по сравнению с TCP) и требовало развертывания в центральном офисе специального оборудования, поддерживавшего двунаправленный обмен данными.

Кроме головного оборудования, оператор сети должен иметь провайдерное оборудование в центре системы либо выделенный канал с Интернет-провайдером, поставщиком услуг Интернет. На стороне абонента может находиться пользовательский компьютер с сетевой картой, концентратор для подключения компьютеров, локальная компьютерная сеть, коммутатор либо маршрутизатор (сервер), и обычный или IP-телефон (рисунок 1.4).

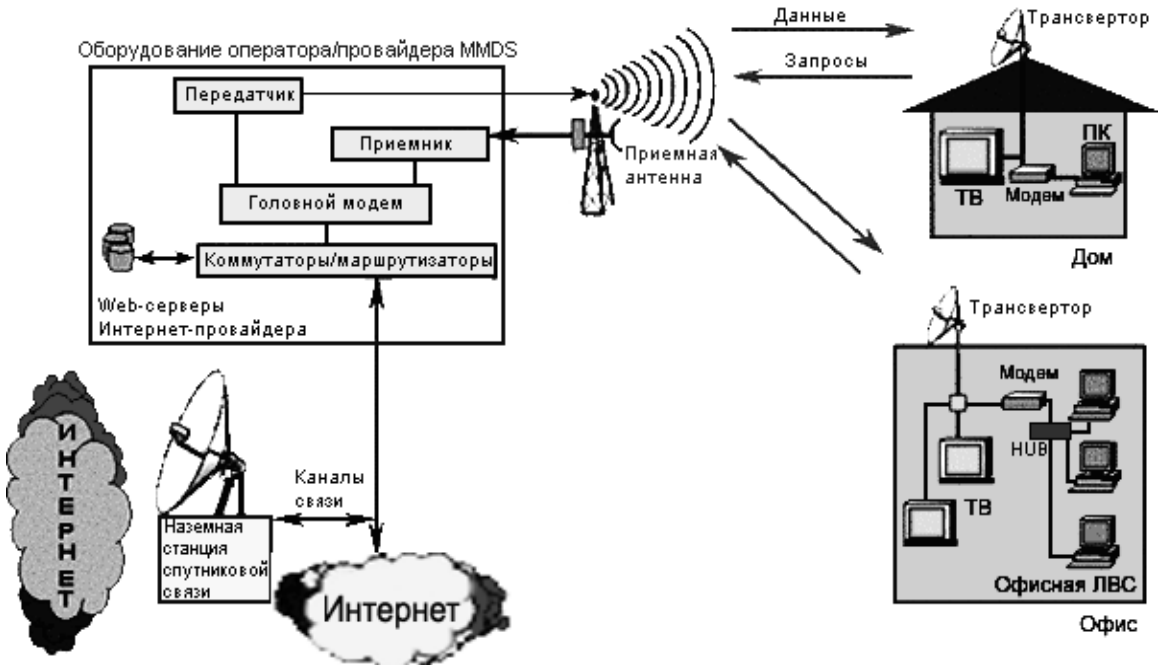


Рисунок 1.4 - Общая схема высокоскоростного доступа в Интернет по эфирно-кабельной сети MMDS

В центральной части системы MMDS может использоваться та же передающая часть, что и для телевидения. К примеру, при применении группового передатчика, добавляется лишь цифровой повышающий конвертор, а при применении канальных передатчиков - дополнительный цифровой канальный передатчик.

1.3 Оборудование, используемое в системе MMDS

Для организации передачи сигналов телевещания по технологии MMDS, устанавливается специальное приемно-передающее оборудование и абонентский модем. Сигнал, адресованный конкретному пользовательскому модему, принимается, преобразуется и попадает на компьютер. Запросы и информация из компьютера передаются на пользовательский модем, далее на

общее приемно-передающее устройство и уходят в эфир. Они принимаются центральной антенной и передаются на Головной модем, где обрабатываются и отправляются в Internet.

Одноканальные передатчики серии 5720 позволяют передавать как аналоговые телевизионные сигналы (PAL, NTSC), так и цифровые (QAM, QPSK). Как для аналогового, так и для цифрового вещания имеются цепи коррекции частотной характеристики и системы автоматического регулирования уровня сигнала (АРУ). Выходная мощность передатчиков этого модельного ряда находится в диапазоне 2.5 – 100 Вт для модулированного цифрового сигнала и 10 – 280 Вт для аналогового.

Модульное исполнение передатчиков упрощает их установку, эксплуатацию и замену. Автоматическое переключение на резервные модули позволяет не прерывать вещание в случае сбоев. Передатчики 5720 имеют встроенные модуляторы вещательного качества для телевизионных сигналов NTSC, PAL. Это значительно экономит стоечное пространство и позволяет разместить систему MMDS на 31 канал в 4-ех стойках.

ВЧ-смеситель каналов ITS-8770 смешивает до 8 каналов и крепится поверх стандартной стойки. Этот смеситель позволяет смешивать и цифровые и аналоговые каналы, примыкающие по частоте, не возбуждая перекрестные резонансы.

Ретранслятор 605C (booster) используется для расширения зоны приема, либо для ретрансляции основного сигнала в область радиотени. Эксперты ADC могут помочь в расчете зон приема и расположения станций ретрансляции с учетом рельефа местности. Система АРУ ретранслятора обеспечивает постоянный уровень выходного сигнала при разности принимаемых сигналов до 30 дБ.

Ретранслятор размещается во всепогодном защищенном корпусе, обеспечивающем необходимый влажностный и температурный режим.

В систему входят также выполненные в виде отдельных заменяемых модулей и встроенные в устройства приема/передачи:

– MMDS приемник 5041 с конвертером вниз по частоте (downconverter) с MMDS частот 2.1-2.7 ГГц до промежуточных частот (ПЧ) 32-47 МГц;

– VHF/UHF конвертер вверх по частоте (upconverter), преобразующий сигналы с ПЧ на частоты метрового и дециметрового диапазона. Данный VHF/ UHF конвертер ITS-5070 входит в состав широкополосного передатчика.

Система контроля и сбора информации SCADA (ITS-5001) позволяет операторам следить за рабочими характеристиками передающей станции и управлять ими как на месте, так и дистанционно. Графический интерфейс пользователя, работающий под NT и UNIX, позволяет настроить контроль системы в терминах рабочих коридоров и пороговых значений.

Операторы MMDS имеют уникальную возможность предоставлять высокоскоростной доступ к данным и в Интернет. Этот сервис можно

развернуть значительно быстрее и с меньшими затратами, чем с использованием проводных технологий. При этом спектр предоставляемых услуг не ограничивается перечисленными выше. Это могут быть видео по заказу, справочные службы, телевизионные курсы обучения, IP-телефония и другой интерактивный сервис.

ADC ITS Corporation предлагает полное решение для беспроводного широкополосного доступа – систему CellSpan. Система обеспечивает быстрый беспроводной доступ в Интернет и частные сети для небольших и средних офисов, абонентов в многоквартирных домах. Беспроводные кабельные модемы, устанавливаемые в локальных сетях пользователей, связываются на частотах MMDS с главным терминалом CellSpan на станции MMDS, при этом осуществляется прием цифровых телевизионных программ и обеспечение высокоскоростного доступа к интернету с помощью систем MMDS. При использовании технологии MMDS, стоимость головного оборудования снижается, требуется меньшее количество передатчиков, количество ТВ-программ, которые можно транслировать на уже имеющихся частотах, — увеличивается в 8-12 раз.

При переходе на цифровое телевещание, главная проблема в высокой стоимости абонентского декодера. В настоящее время QAM декодер стоит 350-400 долларов США (цена FOB USA без учета транспортных и таможенных расходов). Хотя цены и будут быстро снижаться, все равно пока они слишком велики для среднего абонента. Передатчики имеют модульную конструкцию, позволяющую оператору не только быстро перейти к цифре, но в случае необходимости и увеличить выходную мощность путем простой замены или добавления требуемых модулей. Например, если оператор в начале останавливает свой выбор на передатчике ITS 5720 с усилителем 20 Вт для аналогового вещания, в дальнейшем он может заменить оконечный усилитель на 50 Вт и увеличить радиус действия системы. При переходе на цифровое вещание потребуется только поменять модулятор, и передатчик готов к цифре.

В течение всего нескольких лет коммерческого использования, количество абонентов достигло 50 миллионов. Даже консервативные прогнозы предрекают устойчивый рост сети в следующем веке.

MMDS получает дополнительный импульс к развитию, обеспечивая высокоскоростной доступ к Интернет без проводов. Например, используя только один из каналов в уже существующей системе MMDS, оператор может предложить своим пользователям доступ к Интернет со скоростью 27 Мбит/с. Это более чем в 100 раз быстрее, чем могут похвастаться интернет-провайдеры, использующие телефонную связь. И это можно реализовать уже сегодня. В США и других странах уже работают 87 систем. Предложение высокоскоростного доступа к Интернет наверняка увеличит число пользователей системы MMDS, а значит, и доходы оператора. Бизнес-пользователи, образовательные учреждения, индивидуальные лица, заинтересованные в высокоскоростном доступе, наверняка будут готовы

доплатить за эту услугу. Один канал, выделенный под Интернет, способен обслужить до 8000 абонентов. Высокая гибкость системы позволяет легкое наращивание в соответствии с ростом спроса на услугу.

Для начала предоставления услуги, один из передатчиков должен быть переведен на цифровое вещание. Передатчик должен быть подсоединен к Point of Presence (PoP — точка ввода Интернет). PoP состоит из шлюза, коммутатора Ethernet, компьютера с соответствующим программным обеспечением.

Наиболее сложная часть работ по запуску системы: подсоединение PoP к Интернет. Квалифицированные инженеры фирмы ITS всегда достигают высокого качества соединения. Планируя запуск системы, оператор должен сделать выбор: будет ли система MMDS использоваться для передачи информации в обе стороны или только от оператора к абоненту. Первоначально, системы MMDS разрабатывались только для передачи информации от оператора к абоненту, а абонент дозванивался до Интернет-провайдера по телефону. Сегодня абоненту уже не нужно часами ждать ответа на свои вопросы. Если имеется свободный частотный ресурс, связь в обе стороны может осуществляться по эфиру. Скорость обмена информацией существенно возрастает.

Это особенно важно для абонентов, отправляющих большой объем информации. Двусторонняя система актуальна для регионов с плохой организацией телефонной связи. У абонента устанавливается цифровой модем, а в его компьютер вставляется карта Ethernet. В случае недостаточно высокой стабильности гетеродина конвертора приемной MMDS-антенны, а также в случае, если будет осуществляться двусторонняя связь с оператором, потребуется замена абонентской антенны. Для коллективного подключения к Интернет может использоваться специальный модем, обслуживающий одновременно до 20 пользователей.

2 Организация системы передачи по технологии MMDS

2.1 Структурная схема передачи MMDS в аналоговом стандарте

Система передачи телевизионных каналов по технологии MMDS состоит из трёх составляющих. Первая – это головная станция, которая принимает телевизионный сигнал со спутника, или спутников. Затем для каждого канала стоит свой ресивер, который преобразует высокочастотный сигнал данного канала в низкочастотный сигнал аудио и видео, и направляет его на модулятор. Далее промодулированный сигнал поступает на сумматор и затем на делителе он уходит в кабельную сеть и через ОВП в волоконно-оптическую линию, ведущую на Кок-Тобе (рисунок 2.1).

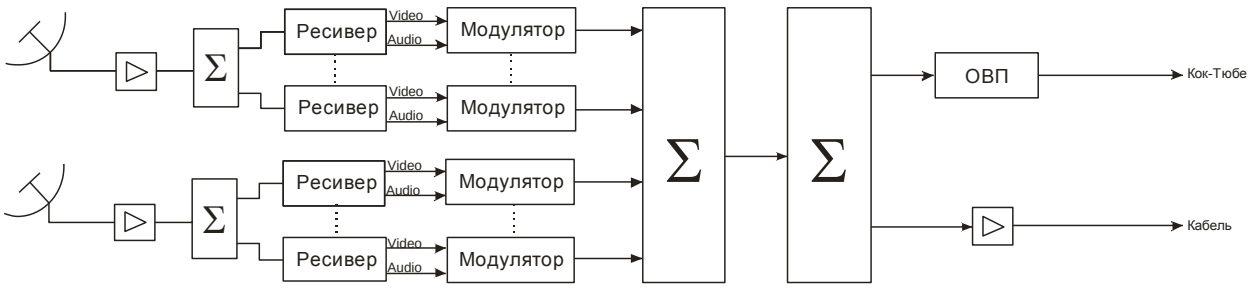


Рисунок 2.1 – Структурная схема головной станции

Вторая составляющая – это передающая станция, находящаяся на АРТПЦ «Кок-Тобе». Принятый оптический сигнал поступает на оптоволоконный преобразователь где демодулируется в ВЧ сигнал, проходит через делитель, далее для каждого канала стоит демодулятор, после которого аудиосигнал напрямую идёт на передатчик, а видеосигнал проходит через кодирующее устройство, и только потом на передатчик. Затем через фильтры и сумматор сигнал поступает на передающую антенну (рисунок 2.2).

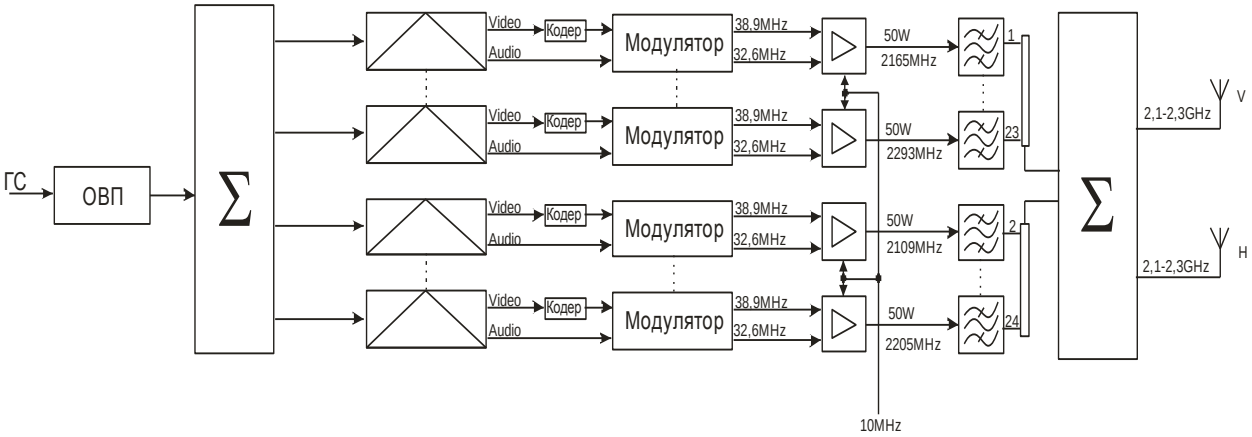


Рисунок 2.2 – Структурная схема аналоговой передающей станции MMDS на Кок-Тобе

Третья составляющая – это абонент. Принятый абонентской антенной сигнал проходит через Downconverter. Затем через ресивер по низкой частоте попадает на телевизор (рисунок 2.3).

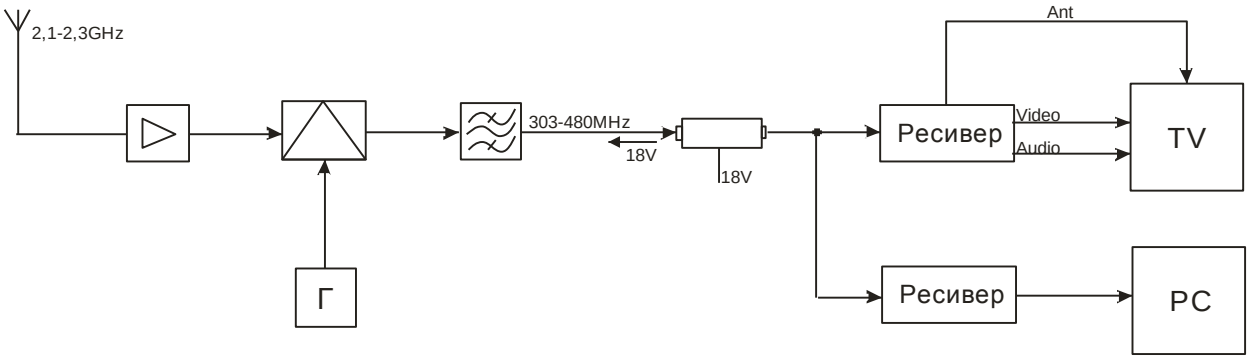


Рисунок 2.3 – Структурная схема приёмника MMDS абонента

2.2 Особенности передачи цифровых сигналов по сетям кабельного телевидения и MMDS

Предварительный анализ применимости цифровых методов кодирования и модуляции показывает, что в правильно спроектированной сети отношение сигнал-шум должно быть достаточно высоким, выше чем в спутниковой системе (по стандарту оно должно быть не ниже 43 дБ), и в то же время полоса частот канала кабельной сети значительно уже, чем полоса частот ствола спутникового ретранслятора, поэтому целесообразно применение многопозиционной модуляции КАМ. Более высокое отношение сигнал-шум снижает вероятность ошибок и позволяет обойтись одной ступенью помехоустойчивого кодирования.

Анализ помех и искажений, типичных для линейного тракта, предполагает, что цифровые сигналы менее чувствительны к интермодуляционным искажениям, чем аналоговые, благодаря значительно меньшему требуемому защитному отношению цифровой сигнал -цифровая помеха в совпадающем и соседних каналах и более гладкому спектру. В тоже время цифровые КАМ сигналы более чувствительны к амплитудным и особенно фазовым искажениям в тракте, поэтому вопросы согласования , коррекции характеристик остаются достаточно острыми.

2.3 Структурная схема передачи MMDS в цифровом стандарте вещания

Система передачи телевизионных каналов по технологии MMDS в цифровом стандарте вещания изображена на рисунке 2.4

Мультиплексор - служит для объединения в единый транспортный поток цифровых потоков от различных источников- кодеров сжатия, выходов других мультиплексоров и т.д.

Приходящие сигналы могут иметь разную временную базу (т.е. формироваться с несколько различающимися тактовыми частотами), и задача мультиплексора – сформировать асинхронный поток с сохранением синхронизирующей информации каждого из компонентов. Принцип действия мультиплексора основан на свойствах буфера памяти - информация записывается в него с одной тактовой частотой, а считывается с другой, более высокой. Основным параметром мультиплексора считается выходная скорость транспортного потока.

Структурная схема головной станции состоит из:

- дескрипторов;
- декодеров;
- ресиверов;
- рекламной студии;
- энкодера;
- мультиплексора;
- модуляторов.

Структурная схема головной станции MMDS состоит из:

- коммутатора;
- декодера;
- предеатчика;
- антенны.

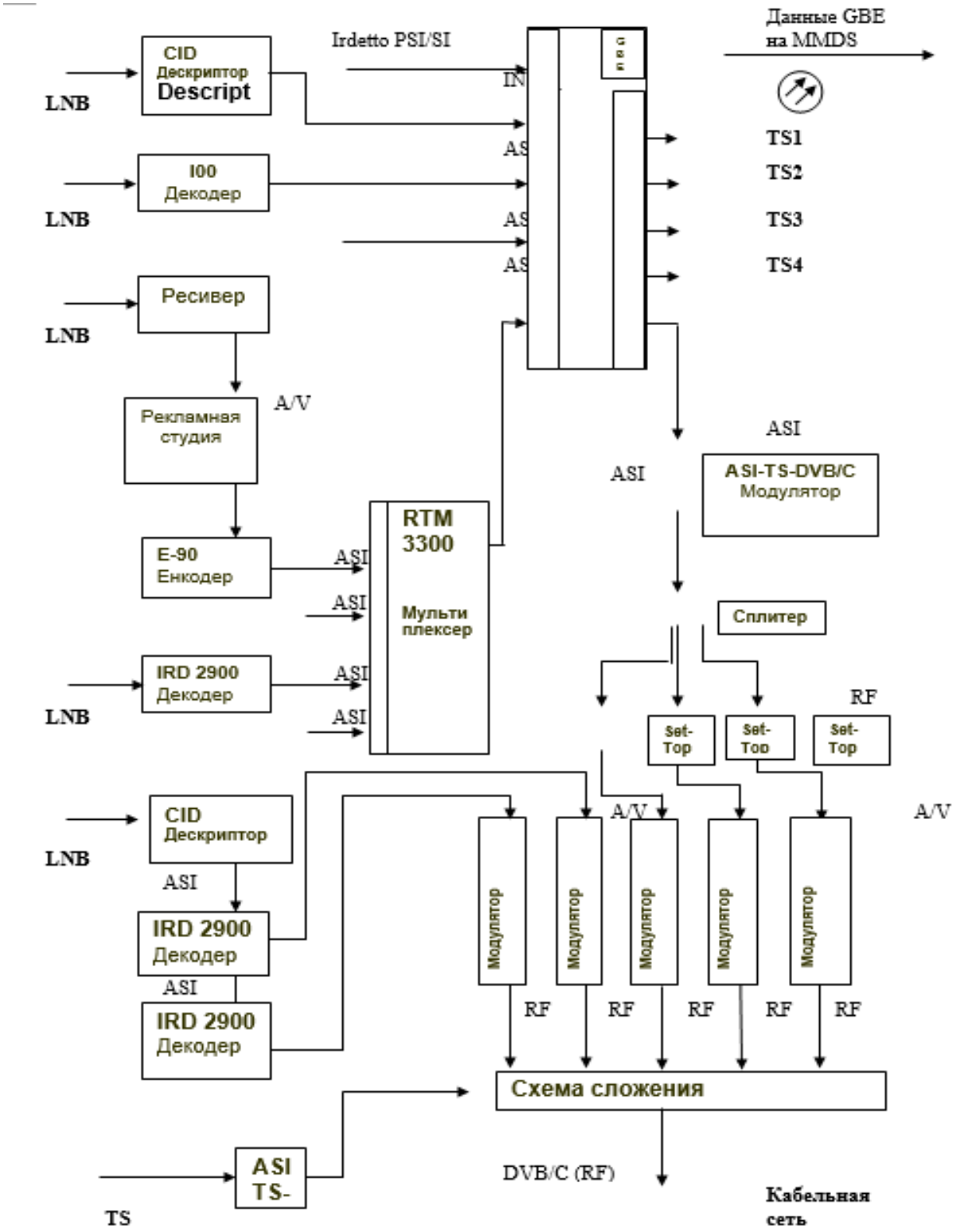


Рисунок 2.4 – Структурная схема головной станции

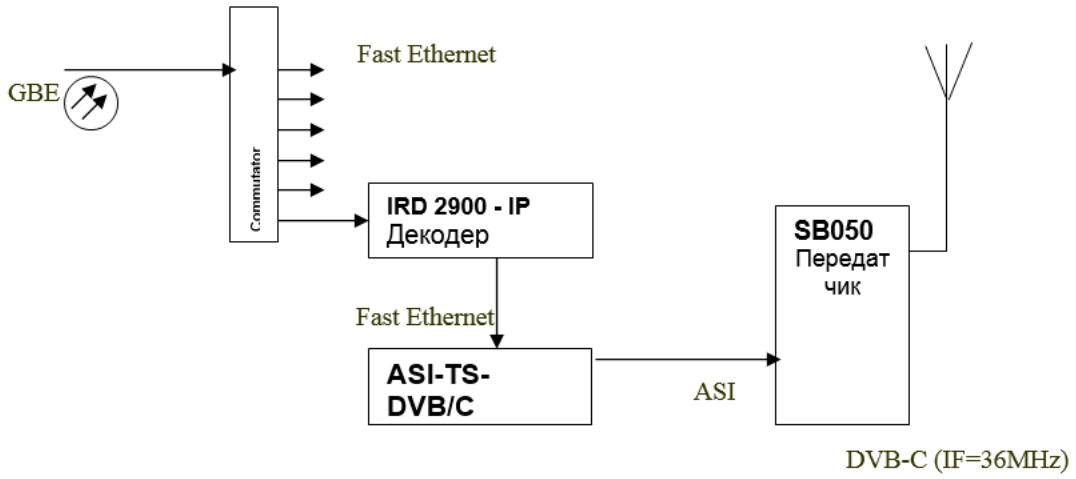


Рисунок 2.5 – Структурная схема головной станции MMDS

Цифровой модулятор – осуществляет все операции помехоустойчивого кодирования и модуляции радиочастоты, предусмотренные стандартом DVB-C. Выходная ПЧ составляет 36 МГц, необходимая для передатчика MMDS, также имеется RF выход с возможностью изменения несущей частоты в диапазоне от 470-606 МГц для кабельной сети.

Декодер – предназначен для приёма спутниковых сигналов преобразование, и декодирование с целью передачи транспортного потока по синхронным и асинхронным линиям. В нём использованы большое число входных и выходных интерфейсов.

Структурная схема типового абонентского приёмника-декодера приведена на рисунке 2.5.

Абонентское приёмное устройство, в отличие от профессионального, имеет конкретную и ограниченную задачу – восстановить после цифрового сжатия исходное изображение и звуковое сопровождение и подать их в аналоговом виде на ТВ приёмник. Основные этапы обработки сигнала – это выделение в тюнере нужного канала, демодуляция, демультиплексирование, декодирование выбранных цифровых потоков, преобразование в аналоговую композитную форму в одном из выбранных стандартов цветности. В схеме можно условно выделить пять функциональных модулей: входного интерфейса, обработки MPEG сигнала, условного доступа, модуль контроллера и выходной модуль.

Модуль входного интерфейса выполняет выделение и демодуляцию принимаемого сигнала.

Сигнал принимаемый антенной MMDS понижается по частоте при помощи downconvertera и поступает на ВЧ блок приставки где происходит фильтрация побочных составляющих, в смесителе частота гетеродина

выбирается обычно выше частоты сигнала, получающая при этом инверсия спектра компенсируется инвертированием цифрового сигнала. В качестве гетеродина используется генератор, управляемый напряжением (ГУН) с выхода схемы ФАПЧ, подстраивающей его частоту по опорному генератору приёмника. Сигнал с выхода смесителя фильтруется высоко избирательным фильтром на поверхностных акустических волнах (ПАВ) и поступает на вход демодулятора ФМ-4. Как и в модуляторе, применяется квадратурная схема и раздельная обработка I и Q компонентов. После декодера Витерби, восстановителя перемежения и декодера Рида-Соломона на выходе модуля формируется транспортный поток MPEG-2. Дальнейшая обработка ТП осуществляется в микросхемах высокого уровня интеграции (рисунок 2.6).

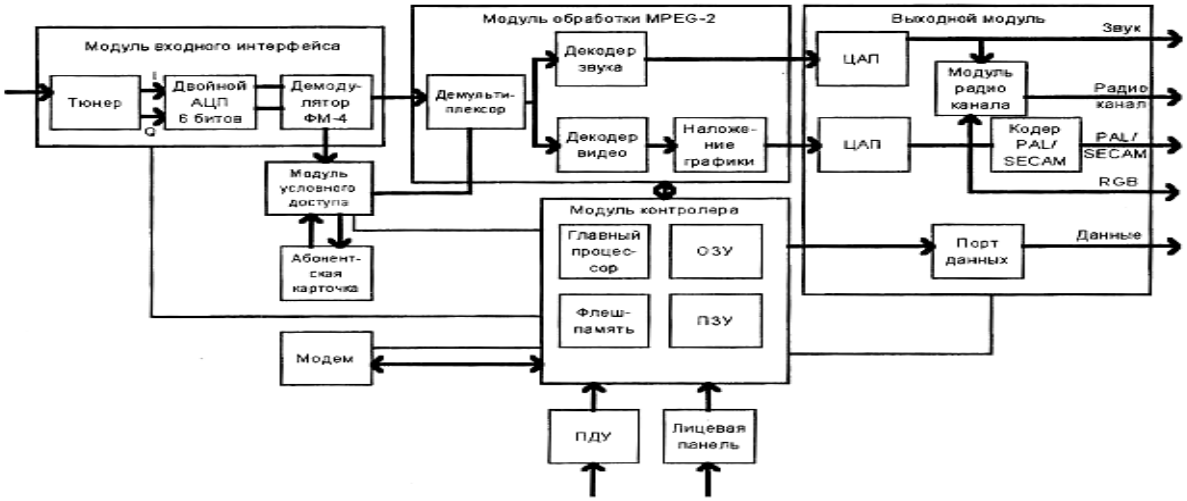


Рисунок 2.6 – Структурная схема абонентского приёмника

Выходной модуль предназначен для преобразования цифрового сигнала в композитный сигнал видео и аудио сигнал.

2.4 Цифро-аналоговый телевизионный передатчик MMDS

Комплект передатчика состоит из двух отдельных блоков, модулятора и передатчика. Отличие аналогового передатчика от цифрового в том, что в цифровом передатчике тракт усиления единый, а в аналоговом применяется раздельное усиление видео и аудио сигнала.

При использовании передатчика в аналоговом режиме, на модулятор подаётся аудио и видео сигнал, видео сигнал модулируется амплитудной модуляцией, а аудио составляющая частотной.

Промодулированный и преобразованный в промежуточную чатоту 38,5МГц видео и 32 МГц аудио, сигналы подаются на передатчик, где происходит повышение чатоты, корекция сигнала, необходимые предискажения и фильтрация.

При использовании передатчика в цифровм режиме, на модулятор работающий в стандарте DVB-C подаётся цифровой поток DVB-ASI (Asynchronous Serial Interface) асинхронный последовательный интерфейс.

Транспортнай поток модулируется многопозиционной модуляцией КАМ и благодаря эфиктивному сжатию в одном частотном канале удаётся передать 3-5 ТВ программ. После модулятора промодулированный цифровой поток на частоте 36 МГц подаётся на передатчик где происходит преобразование в более высокую частоту диапозона MMDS и усиление.

Структурная блок-схема цифро-аналогового передатчика фирмы “COMWAVE” приведена на рисунке 2.7.

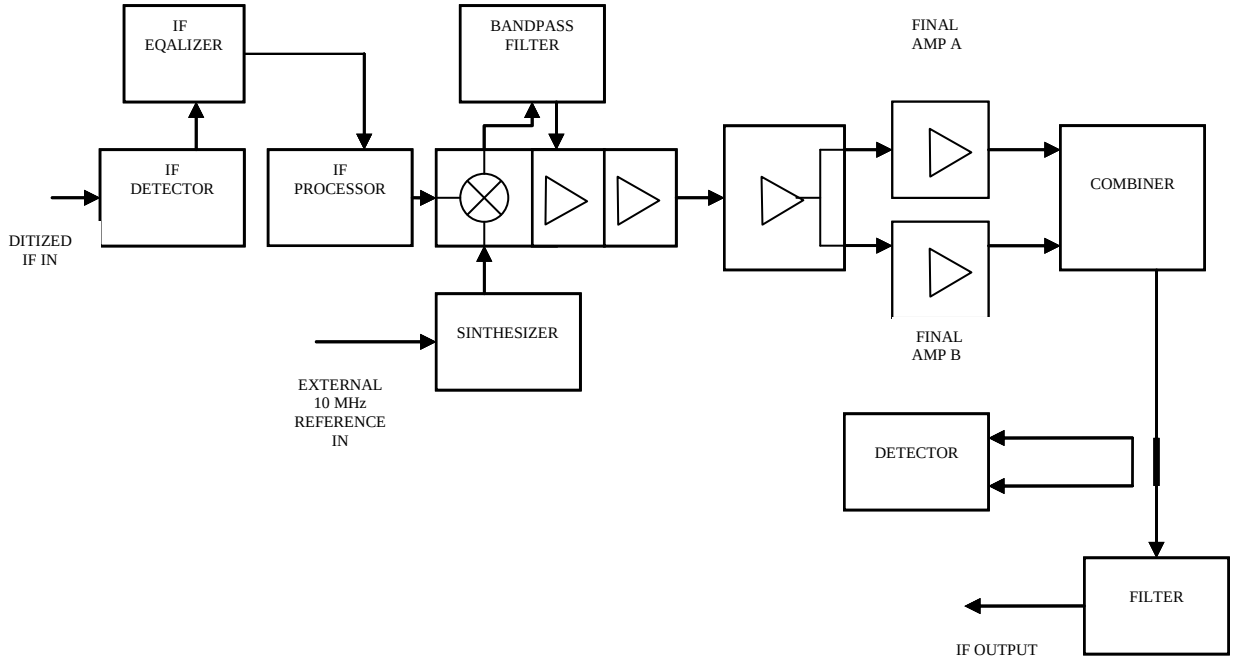


Рисунок 2.7 - Структурная схема цифрового передатчика MMDS

Промодулированный QAM модуляцией цифровой поток на частоте ПЧ=36МГц поступает на IF detector, назначение которого в определении наличия и структуры входного сигнала. Далее сигнал ПЧ поступает на IF processor, где происходит коректировка сигнала, установка уровня ручной настройки и выполняется автоматическое регулирование уровня (АРУ), внесение предискажений для получения на выходе после прохождения последующих коскадов сигнала без искажений. После IF processor сигнал поступает в блок где происходит преобразование сигнала ПЧ в более высокую, выходную частоту, путем сложения двух частот, частоты ПЧ и частоты поступающей с блока Sintnesizer.

В блоке синтезатора происходит формирование частоты локального осцилятора используя для этого частоту 10 МГц от внешнего опорного гениратора. После смесителя полезный сигнал на частоте диапазона MMDS проходит через широкополосный фильтр (Bandpass filter) и меющий полосу пропускания 8 МГц, назначение котрого, пропустить полезный сигнал и не пропустить паразитные составляющие. После фильтра сигнал подается на усилительные каскады необходимые для усиления сигнала по мощности.

На комбайнере происходит сложение двух сигналов от двух паралельных усилителей и после фильтрации сигнал через соеденительный разъем, фидер подаётся систему сложения, а затем на передающую антенну.

2.5 Состав системы MMDS + Internet

Типовой состав оборудования MMDS+Интернет:

- дополнительный приемный антенно-фидерный тракт для обратных каналов, работающих в диапазоне 2100-2300 МГц;
- приемник-конвертор сигналов (запросов, данных) обратного канала;
- головная модемная станция (на I этапе базовая - на 1 прямой и 1 обратный каналы);
- передатчик для организации передачи данных в прямом канале;
- абонентский трансвертер (приемо-передатчик с антенной и блоком питания);
- абонентский модем с соединительным кабелем для подключения компьютера.

Первые системы доступа к Internet сочетали беспроводную и кабельную технологии: от провайдера (нисходящий поток) данные передавались по радиоканалу, в то время как запросы абонентов поступали по телефонной линии с использованием модема. Это было связано не с особенностями технологии, а с ограничениями на использование радиочастот этого диапазона. Впрочем, с учетом асимметричного характера трафика в Internet это не было существенным недостатком, хотя и нарушало чистоту концепции. Может быть, поэтому вскоре соответствующие компетентные органы разрешили использовать двунаправленный радиоканал, чем немедленно и воспользовались производители оборудования для MMDS.

Возможности системы MMDS+Интернет:

- 56 МБит/с в одном прямом канале
- от 1-го до 4-х прямых каналов
- 20 МБит/с в одном обратном канале
- от 3-х до 12 обратных каналов
- до 10 МБит/с на одного абонента
- до 25 000 пользователей на один прямой канал при гарантированной скорости 64 КБит/с.

Для обеспечения дуплексного режима могут использоваться два метода: дуплексирования с разделением по времени (Time Division Duplexing -- TDD) или с разделением по частотам (Frequency Division Duplexing -- FDD). Примером TDD в сетевых приложениях служит Ethernet. Здесь любой пользователь может получать данные от всех других, при этом доступ к каналу регулируется с помощью ставшего уже классическим метода CSMA/CD.

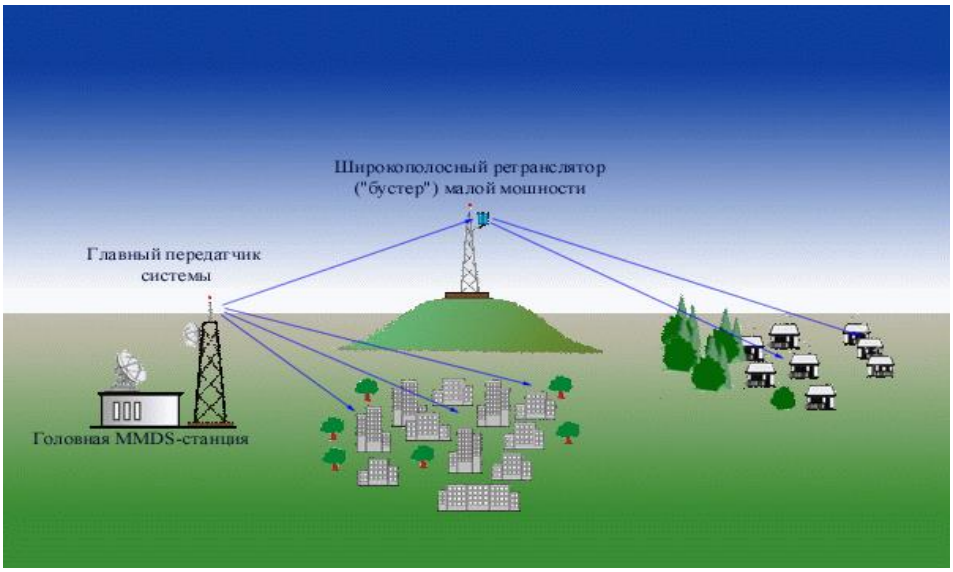


Рисунок 2.8 – Пример построения сети MMDS + Internet

Это все хорошо работает в случае относительно короткого времени задержки распространения сигнала, поскольку при коллизии теряется небольшое количество данных. Если время задержки распространения сигнала возрастает, больший объем данных успеет поступить в канал, прежде чем передающая станция обнаружит коллизию. В случае использования рассматриваемой технологии абонент вообще не имеет возможности получить сигнал от другого, так что управление доступом к каналу должно выполняться распределителем (хабом).

Метод FDD позволяет осуществлять одновременную передачу в обоих направлениях, но за это приходится платить неиспользуемой полосой спектра, служащей "зазором" между частотами приема и передачи.

В современных фиксированных микроволновых коммуникациях обычно применяется какой-либо из вариантов квадратурно-амплитудной модуляции (Quadrature Amplitude Modulation -- QAM). Эти схемы имеют различные уровни сложности. При использовании фазовой модуляции (Phase Shift Keying -- PSK) данные кодируются с помощью сдвига сигнала по фазе. Это надежный и легко реализуемый метод, но низкоскоростной. В двоичной фазовой модуляции (BPSK) синусоидальный сигнал начинается либо с фазы 0, либо со сдвигом на 1/4 периода. Здесь можно за один период передать только один бит информации. Метод квадратурно-фазовой модуляции (Quadrature Phase

Shift Keying -- QPSK) подобен BPSK, но вместо двух различимых фазовых состояний он использует четыре. Хотя в этом методе амплитуда не модулируется, его иногда обозначают как 4-QAM. В случае, когда четыре уровня амплитуды комбинируются с четырьмя фазовыми сдвигами, мы получаем схему 16-QAM и т. д.

Как уже упоминалось выше, трафик в Internet несимметричен: в нисходящем канале он обычно в 10--20 раз интенсивнее, чем в обратном.

Поэтому данные транслируются абоненту по цифровым каналам, использующим модуляцию QPSK, 16-, 32-, 64-, 128- или 256-QAM, тогда как для передачи запросов применяют более простые схемы -- QPSK или 16-QAM. Это позволяет получить в канале шириной 8 MHz скорость передачи данных до 56 Mbps в нисходящем потоке и 12 и 25 Mbps в обратном.

В качестве протокола управления доступом к среде выступает несколько модифицированный алгоритм множественного доступа, разработанный в 1970 г. для радиосети ALOHA, установленной в Гавайском университете связи между центральной ЭВМ и различными терминалами данных. Здесь каждый узел начинал передачу пакета в первом же временном окне (слоте). В MMDS этот метод используется в комбинации с резервированием полосы пропускания канала и обнаружением коллизий.

Что касается топологии сети, то геометрически это "звезда", логически -- "общая шина", а фактически -- "маркерное кольцо".

Поскольку технология MMDS традиционно применяется в телевещании, то для передачи данных выделяется только несколько каналов. Поэтому вполне актуальной является задача расширения возможностей этой технологии при организации доступа к Internet, в частности, речь идет о повторном использовании частот. В данном случае применяют два метода: разбиение на секторы и построение сотоподобных структур.

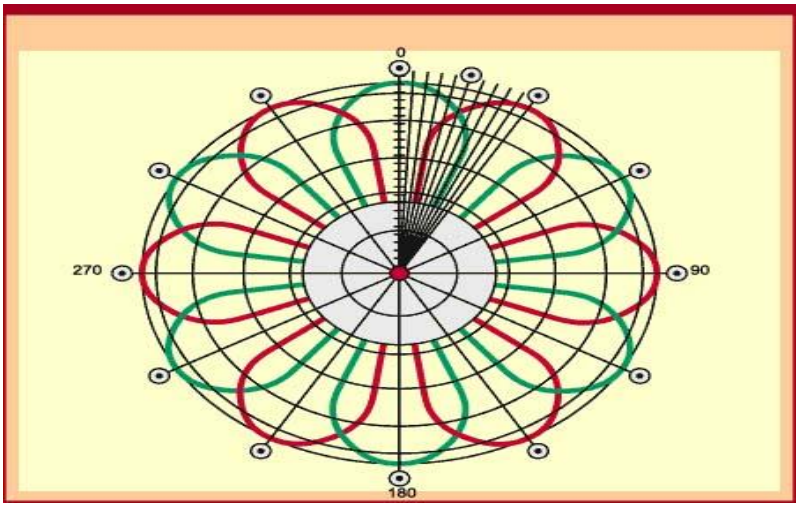


Рисунок 2.9 – Разделение групп по азимуту

Разбиение на секторы осуществляется с помощью множества узконаправленных антенн, что позволяет посылать разные данные нескольким

пользователям на одной и той же радиочастоте. Это требует разделения групп по азимуту (рисунок 2.9). Здесь сразу же возникает проблема подавления боковых лепестков излучения. Поэтому при реализации такой схемы необходим разумный компромисс между количеством секторов и сложностью используемого в каждом канале метода модуляции.

3 Расчёт параметров системы MMDS

3.1Энергетический расчет линии вниз КС – ЗС

Для расчета энергетики радиолиний зададимся исходными данными. Выберем в качестве используемого ИСЗ спутник NSS-703 (57° в.д.). Это геостационарный спутник, луч которого в Ku-диапазоне покрывает часть Китая, Средний Восток, часть России и Казахстан. Техническая спецификация спутника приведена в таблице 3.1, зона покрытия показана на рисунке 3.1.

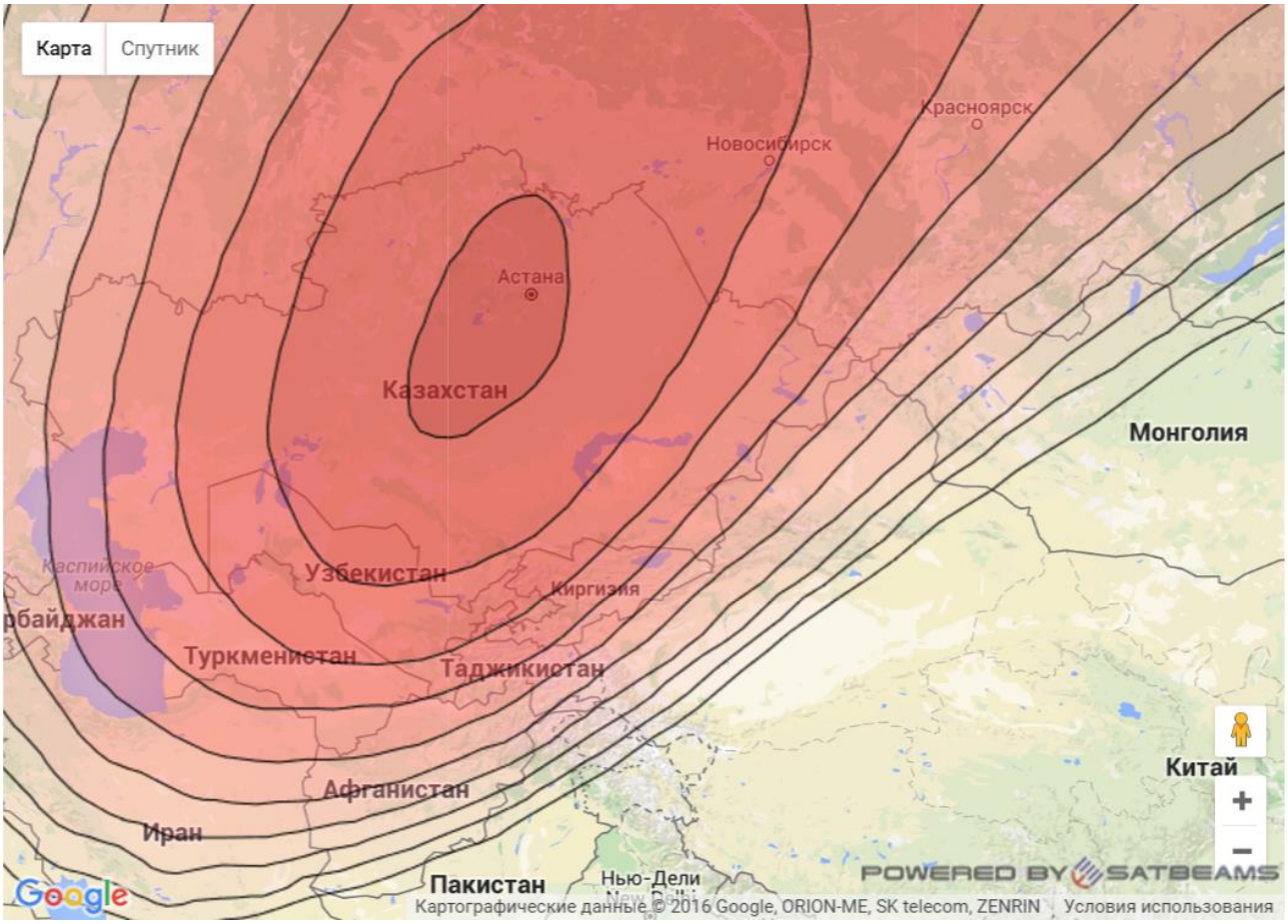


Рисунок 3.1 - Зона покрытия ИСЗ NSS-703

Линии спутниковой связи состоят из двух участков: Земля-спутник и спутник-Земля. В энергетическом смысле оба участка оказываются напряженными, первый – из-за стремления к уменьшению мощности передатчиков и упрощению земных станций (в особенности в системах с большим числом малых приемопередающих земных станций, работающих в

необслуживаемом режиме), второй – из-за ограничений на массу, габаритные размеры и энергопотребление бортового ретранслятора, лимитирующих его мощность.

Таблица 3.1 – Техническая спецификация NSS-703

№	Характеристики ИСЗ	NSS-703
1	Первоначальное название	Intelsat 703
2	Точка стояния	57° в.д.
3	Изготовитель ИСЗ	SS/Loral FS 1300
4	Дата и время запуска (UTC)	06.10.2010 06:35:02
5	РН	Atlas IIAS
6	Число транспондеров	26xC-диапазон; 10xKu-диапазон
7	Рабочие частоты, ГГц	C-диапазон: вверх: 5.925–6.650, вниз 3.70–4.20; Ku-диапазон: вверх 14.0–14.5, вниз 10.95–11.20 или 11.70–11.95 или 12.50–12.75 плюс 11.45–11.70
8	ЭИИМ	C-диапазон 39.5–31.0; Ku-диапазон 51.0–49.5

Так как расчёт идёт для Алматы то возьмём координаты 43°14' с.ш. и 76°58' в.д.

Основная особенность спутниковых линий – наличие больших потерь сигнала, обусловленных затуханием (ослаблением и рассеянием) его энергии на трассах большой физической протяженности. Так, при высоте орбиты ИСЗ 36 тыс. км затухание сигнала на трассе 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, фарадеевское вращение плоскости поляризации, рефракция, деполяризация 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 факторов позволяет осуществить оптимальное проектирование системы, обеспечить ее уверенную работу и в то же время исключить излишние энергетические запасы, приводящие к неоправданному увеличению сложности земной и бортовой аппаратуры.

3.1.1 Исходные данные

Диапазон частот $14_{\uparrow}/11_{\downarrow}$ ГГц.

Параметры передающей космической станции: координата 57° в.д; коэффициент усиления антенны 26 дБ; $КПД_{АФТ\ КС}$ 0,8.

Параметры приемной земной станции Алматы: координаты 43°14' с.ш. и 76°58' в.д. диаметр антенны 10 м; отношение $P_c/P_ш$ на приеме 15 дБ;

коэффициент шума приемника 7 дБ; эффективная полоса частот 54 МГц; $КПД_{АФТ\ ЗС}$ 0,9; шумовая температура антенны 100 К.

Расстояние между передающей (КС) и приемной (ЗС) антеннами

$$d_{\downarrow} = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot cos\psi} \tag{3.1}$$

где $cos\psi = cos\xi_{ЗС} \cdot cos\beta$;

$\xi_{ЗС}$ – широта земной станции;

$\beta = \beta_{КС} - \beta_{ЗС}$ - разность долгот земной и космической станциями.

$$\beta = \beta_{КС} - \beta_{ЗС} = 76° - 57° = 19°,$$

$$cos\psi = cos43° \cdot cos19° = 0{,}64$$

Тогда $d_{\downarrow} = 42644 \cdot \sqrt{1 - 0{,}2954 \cdot 0{,}64} = 42644 \cdot 0{,}9 = 38379{,}6$ км

Ослабление сигнала ЗС

$$L_0 = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2}{\lambda^2} \tag{3.2}$$

где d – расстояние между КС и ЗС;

λ – длина волны.

$$\lambda_{\downarrow} = \frac{c}{f_{\downarrow}} = \frac{3 \cdot 10^8}{11 \cdot 10^9} = 0{,}027 \text{ м},$$

$$L_{0\downarrow} = \frac{16 \cdot 3{,}14^2 \cdot (38379{,}6 \cdot 10^3)^2}{0{,}027^2} = 1{,}015 \cdot 10^{20} \text{ (200,1дБ)}$$

Дополнительное ослабление на трассе

В дополнительных потерях сигнала учитываются поглощение в атмосфере (осадки) L_A, потери из-за несогласованности поляризации антенн $L_П$ и потери из-за рефракции $L_Р$

$$L_{ДОП} = L_A + L_П + L_p \tag{3.3}$$

$$L_{ДОП} = 0{,}8 + 0{,}9 + 0{,}2 = 1{,}9 \text{ дБ (1,55 раз)}$$

Суммарная шумовая температура приемного тракта ЗС

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \cdot \frac{1-\eta}{\eta} + \frac{T_{Ш}}{\eta} \quad (3.4)$$

где T_A – шумовая температура приемной антенны ЗС;

$T_0 \approx 290$ К;

$T_{Ш} = (К_{Ш} - 1) \cdot T_0$– собственная шумовая температура приемника.

$$T_{Ш} = (5-1) \cdot 290 = 1740 \text{ К},$$

$$T_{\Sigma} = 100 + 290 \cdot \frac{1-0{,}8}{0{,}8} + \frac{1740}{0{,}8} = 2065{,}6 \text{ К}$$

Коэффициент усиления антенны ЗС

$$G_{ЗС} = \frac{10 \cdot g \cdot D_A^2}{\lambda^2} \quad (3.5)$$

где g – коэффициент использования поверхности антенны (0,6…0,8);

D_A – диаметр антенны ЗС.

$$G_{ЗС} = \frac{10 \cdot 0{,}7 \cdot 10^2}{0{,}027^2} = 1{,}587 \cdot 10^6 \text{ (59,8 дБ)}$$

Мощность передатчика КС

$$P_{ПРД(КС)} = \frac{L_{0\downarrow} \cdot L_{ДОП} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f^{Ш} \cdot b \cdot \left(\frac{P_c}{P_{Ш}}\right)_{\Sigma}}{G_{ПРД} \cdot G_{ПРМ} \cdot \eta_{ПРД} \cdot \eta_{ПРМ}} \quad (3.6)$$

где $\Delta f_{ш.}$ – шумовая полоса приемника;

b = 1,2 дБ (1,32) – коэффициент запаса для линии «вниз».

Коэффициент усиления антенны передатчика (КС) равен 26 дБ ($10^{\frac{26}{10}} = 79{,}43$ раз), $КПД_{АФТ}$ для приемной ЗС и КС равен 0,8 дБ. Тогда подставив в формулу (3.6) данные, получим

$$P_{ПРД(КС)} = \frac{(1{,}015 \cdot 10^{20}) \cdot 1{,}55 \cdot (1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 2065{,}6 \cdot (54 \cdot 10^6) \cdot 1{,}32 \cdot 31{,}6}{79{,}43 \cdot 1{,}587 \cdot 10^6 \cdot 1{,}23 \cdot 1{,}23} = 275 \text{ Вт (54,794 дБ)}$$

Допустимая мощность передатчика КС

Так как, ЭИИМ$_{КС}$=50дБ, то допустимая мощность передатчика КС $P_{прддоп}$ = ЭИИМ/(G_A·η) = 100000/(398·0,8) = 314 Вт (25дБ)

Суммарная мощность шумов на входе приемника

$$P_{Ш} = k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{Ш} \tag{3.7}$$

$$P_{Ш} = (1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 2065{,}6 \cdot (54 \cdot 10^{6}) = 1{,}5 \cdot 10^{-12}\ (-118\ дБ)$$

Мощность сигнала

$$P_C = P_{ПРД\ КС} + G_{КС} - \eta_{КС} + G_{ЗС} - \eta_{ЗС} - L_0 = 24{,}5+26-0{,}97+59{,}8-0{,}97 - 200= -91{,}7дБ$$

Мощность передатчика ЗС

$$P_{ПРД\ (ЗС)} = \frac{L_{0\uparrow} \cdot L_{ДОП} \cdot k \cdot T_{\Sigma} \cdot \Delta f_{Ш\ КС} \cdot a \cdot \left(\frac{P_c}{P_{Ш}}\right)_{\Sigma}}{G_{ПРД} \cdot G_{ПРМ} \cdot \eta_{ПРД} \cdot \eta_{ПРМ}} \tag{3.8}$$

Отношение сигнал-шум

$$\left(\frac{P_c}{P_{Ш}}\right)_{\Sigma} = P_c - P_{Ш} = -91{,}7 - (-118) = 26дБ$$

По стандарту, на спутниковых линиях $\frac{P_c}{P_{Ш}} = 10 \div 12дБ$

Таким образом, передача сигнала осуществляется с большим запасом качества.

Суммарная шумовая температура приемного тракта КС

$$T_{\Sigma} = T_A + T_0 \cdot \frac{1-\eta}{\eta} + \frac{T_{Ш}}{\eta}, \tag{3.9}$$

где T_A – шумовая температура приемной антенны ЗС;

$T_0 \approx 290$ К;

$T_{Ш} = (К_{Ш} - 1) \cdot T_0$ – собственная шумовая температура приемника.

$$T_{Ш} = (4-1) \cdot 290 = 870\ К$$

$$T_{\Sigma} = 40 + 290 \cdot \frac{1-0{,}8}{0{,}8} + \frac{870}{0{,}8} = 1200\ К$$

Ослабление сигнала КС

$$L_0 = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot d^2}{\lambda^2} \tag{3.10}$$

где d – расстояние между КС и ЗС;

λ – длина волны.

$$\lambda_{\downarrow} = \frac{c}{f_{\downarrow}} = \frac{3 \cdot 10^8}{14 \cdot 10^9} = 0{,}021 \text{ м},$$

$$L_{0\downarrow} = \frac{16 \cdot 3{,}14^2 \cdot (38379{,}6 \cdot 10^3)^2}{0{,}021^2} = 1{,}67 \cdot 10^{20} \ (200{,}1\text{дБ})$$

Коэффициент усиления антенны КС

$$G_{\text{ЗС}} = \frac{10 \cdot g \cdot D_A^2}{\lambda^2} \tag{3.11}$$

где g – коэффициент использования поверхности антенны (0,6…0,8);

D_A – диаметр антенны ЗС.

$$G_{\text{ЗС}} = \frac{10 \cdot 0{,}7 \cdot 10^2}{0{,}021^2} = 1{,}587 \cdot 10^6 \ (62\text{дБ})$$

Мощность передающей КС

Коэффициент усиления антенны приемника (КС) равен 19 дБ ($10^{\frac{19}{10}} = 79{,}43$ раз), $КПД_{АФТ}$ для передающей ЗС равен 0,8 дБ (0,97 раз).

$$P_{\text{ПРД(КС)}} = \frac{(1{,}67 \cdot 10^{20}) \cdot 1{,}55 \cdot (1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 1200 \cdot (54 \cdot 10^6) \cdot 3{,}98 \cdot 31{,}6}{79{,}43 \cdot 1587301{,}59 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}8} = 144 \text{ Вт } (21{,}6 \text{ дБ})$$

Мощность сигнала КС

P_c=21,6+19 – 0,97+62 – 0,97 – 202= – 101,34 дБ

Суммарная мощность шумов на входе приемника ЗС определяется по формуле

$$P_{\text{Ш}} = (1{,}38 \cdot 10^{-23}) \cdot 1200 \cdot (54 \cdot 10^6) = 9 \cdot 10^{-13} \ (-120{,}5\text{дБ})$$

Отношение сигнал - шум

$$\frac{\text{P}_c}{\text{P}_{\text{Ш}}} = -101{,}34 - (-120{,}5) = 19 \text{ дБ}$$

Далее рассчитаем угол места и азимут на спутник с земной станции по формулам, приведенным в формуле:

(3.12)

$$\text{Азимут} = 180° - arctg(\frac{tg\beta}{sin\xi})$$

$$\text{Угол места} = arctg\left(\frac{cos\beta \cdot cos\xi - 0{,}15126}{\sqrt{sin^2\beta + cos\beta \cdot sin\xi}}\right) \quad (3.13)$$

где $\beta = \gamma - \delta$,

γ - долгота подспутниковой точки, грд;

δ - долгота земной станции, грд;

ξ - широта земной станции, грд.

Подставляя исходные данные в формулы и получим:
для Алматы:

$$\text{Азимут} = 180° - arctg\left(\frac{tg(19{,}58°)}{sin43{,}14°}\right) = 180° - 27{,}48° = 152{,}5°$$

$$\text{Угол места} = arctg\left(\frac{\cos(19{,}58°) \cdot cos43{,}14° - 0{,}15126}{\sqrt{sin^2 19{,}58° + \cos(19{,}58°) \cdot sin43{,}14°}}\right) = 31{,}65°$$

3.1.2 Затухание энергии сигнала в свободное пространстве

Далее рассчитаем затухание энергии сигнала, в свободном пространстве: для этого необходимо выбрать конкретный транспондер, через который будет работать сеть, чтобы знать частоту приема, необходимую для расчетов.

Выберем для расчетов транспондер с центральной частотой - 11141 МГц.

Затухание энергии сигнала в свободном пространстве, определяемое уменьшением плотности потока мощности при удалении от излучателя, рассчитывается по формуле:

$$L = 20lg\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (3.14)$$

где L - затухание энергии, дБ;

d - расстояние между ИСЗ и ЗС, м;

$\lambda = c/f$ - длина волны, м;

$c = 3 \cdot 10^8$ *м/с* - скорость света;

f - частота сигнала, Гц.

Затухание энергии сигналов в свободном пространстве за счет расхождения фронта волны на пути распространения спутник - Земля (*f* = 11141 *МГц*, λ = 0,0269 *м*) равно:

$$L = 20lg\left(\frac{4\ \cdot 3{,}14\ \cdot 38379{,}6\ \cdot\ 10^3}{0{,}0269}\right)^2 = 202\ \text{дБ}$$

Для дальнейших расчетов необходимо воспользоваться некоторыми техническими характеристиками станции. Технические характеристики центральной и удаленной станций и бортового ретранслятора сведем в таблицы 3.2, 3.3.

Таблица 3.2 - Параметры центральной станции

Параметр	Величина	Обозначение
Диаметр антенны, м	4,6	$D_{цс}$
Коэффициенты усиления антенны: на передачу, дБ на прием, дБ	53,4 52	$G_{пер\ цс}$ $G_{пр\ цс}$
Затухание в ВЧ-части: на передачу, дБ на прием, дБ	4,1 1,9	$\eta_{пер\ цс}$ $\eta_{пр\ цс}$
Выходная мощность передатчика, дБ	13	$P_{пер\ цс}$
Эквивалентная шумовая температура, К	355	$T_{цс}$
Требуемое отношение сигнал/шум на входе приемника при вероятности ошибки 10^{-6}, дБ	7,2	$\left(P_c/P_ш\right)_{\sum цс}$

Таблица 3.3 - Параметры бортового ретранслятора

Параметр	Величина	Обозначение
Эквивалентная изотропно излучаемая мощность в центре зоны, дБ	40	*ЭИИМ*
Мощность бортового передатчика, дБ	17,40	$P_б$
Затухание в ВЧ-части на передачу, дБ на прием, дБ	2 2	$\eta_{пер.б.}$ $\eta_{пр.б.}$
Эквивалентная шумовая температура, К	1200	$T_{\sum б}$

Для дальнейших расчетов необходимо, вычислить коэффициенты усиления антенны спутника в направлении на ЗС Алматы.

Воспользуемся формулой из:

$$\text{ЭИИМ} = P_{\text{пер}} + G_{\text{пер}} - \eta_{\text{пер}} \qquad (3.15)$$

где $P_{пер}$ - эффективная мощность сигнала на выходе передатчика, дБ

η - затухание в ВЧ-части, дБ

Исходя из рисунка 3.1, Алматы находится в зоне с ЭИИМ = 47,1 дБ

$$G_{\text{пер}} = \text{ЭИИМ} - P_{\text{пер}} + \eta_{\text{пер}}$$

Вычислим усиление антенны спутника в направлении на Алматы:

$$G_{\text{пер}} = 47{,}1 - 17{,}4 + 2 = 31{,}7 \text{ дБ}$$

В диапазонах частот, выделенных для спутниковых систем, влияние атмосферы проявляется в виде ослабления (поглащения) радиоволн в тропосфере и ионосфере, искривления траектории радиолуча в результате рефракции, изменения формы и вращения плоскости поляризации радиоволн и появления помех, обусловленных тепловым излучением атмосферы и шумами поглощения.

Рассмотрим первый и перечисленных факторов – поглощение радиоволн в атмосфере, количественная оценка которого определяется коэффициентом L_A. Установлено, что в диапазонах частот выше 500 МГц основной вклад поглощения определяется тропосферой, точнее газами тропосферы – кислородом и водяными парами, а также дождём и прочими гидрометеорами (ионосфера и остальные газы тропосферы, например двуокись углерода или азота, играют малую роль).

Определим поглощение радиоволн в атмосфере по гафику– рисунок3.2

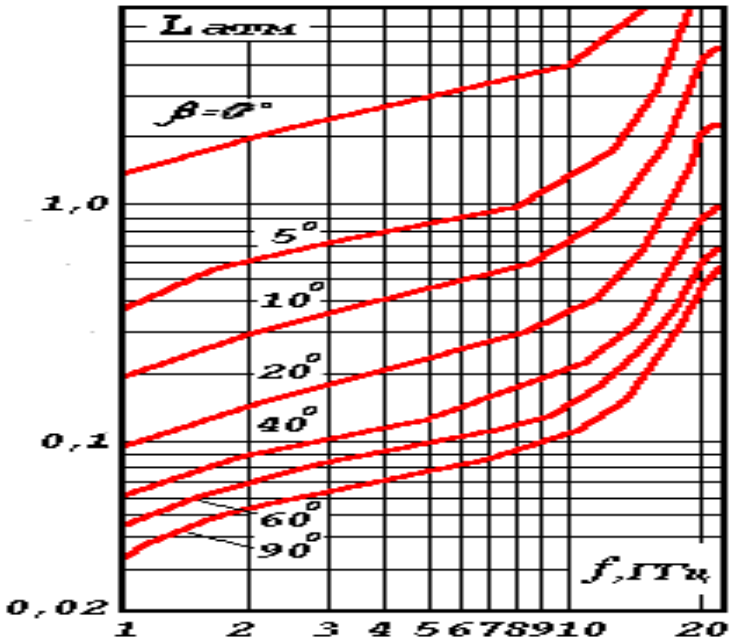


Рисунок 3.2 – Частотная зависимость поглощения радиоволн в спокойной атмосфере (без дождя) при различных углах места

Из графика видим, что L_A=1

$$L_Д = L_Д^I l_З \qquad (3.16)$$

где $L_Д^1$ - коэффициент погонного поглощения

$l_З$ - эквивалентную длину пути сигнала

Оценка затухания сигнала в гидрометеорах оказывается задачей, более сложной, чем в спокойной атмосфере, поскольку поглощение в этом случае зависит от вида гидрометеоров (дождь, снег, туман), интенсивности осадков, размеров зоны их выпадения и распределения интенсивности по зоне и распределения размеров частиц гидрометеоров. Эти факторы влияют как на коэффициент погонного поглощения $L_Д^1$, так и на эквивалентную длину пути сигнала $l_З$ в формуле .Наибольшее ослабление сигнала вносят жидкие гидрометеоры – дождь, туман, мокрый снег; ослабление в твёрдых структурах (град, сухой снег) значительно меньше.

Пользуясь графиками на рисунках 3.3 и 3.4 можно рассчитать поглощение в дождях различной интенсивности. При этом необходимо решить ещё один важный вопрос – о статистике, т.е. распределении вероятностей выпадения осадков различной интенсивности. Эта задача не поддаётся теоретическому решению и полностью базируется на экспериментальных данных метеорологии. Однако при использовании этих данных следует иметь в виду, что они имеют приемлемую достоверность при обработке результатов не менее че за 7-10 лет, относятся к определённой точке Земли и, строго говоря, не могут быть экстраполированы на всю область обслуживания ИСЗ, которая может охватывать несколько климатических зон; обычно характеризуют среднегодовое или среднемесячное количество осадков, тогда как действующие нормы МККР и ЕАСС требуют знания среднечасовых и среднеминутных распределений.

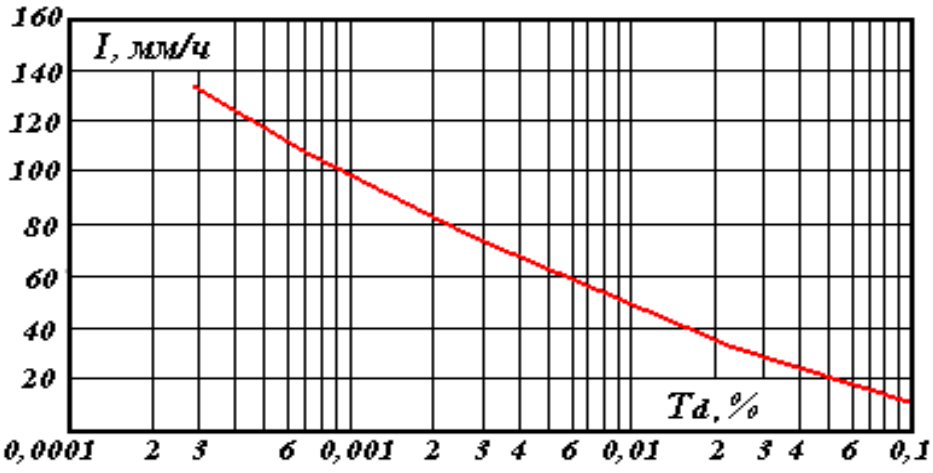


Рисунок 3.3 – Частотная зависимость коэффициента поглощения сигнала в дожде различной интенсивности

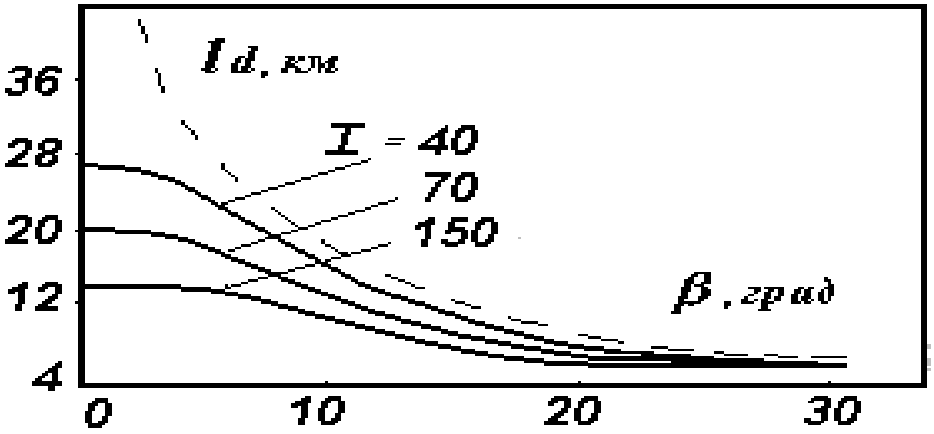


Рисунок 3.4 – Зависимость эквивалентной длины пути сигнала в дожде различной интенсивности от углов места антенны земной станции

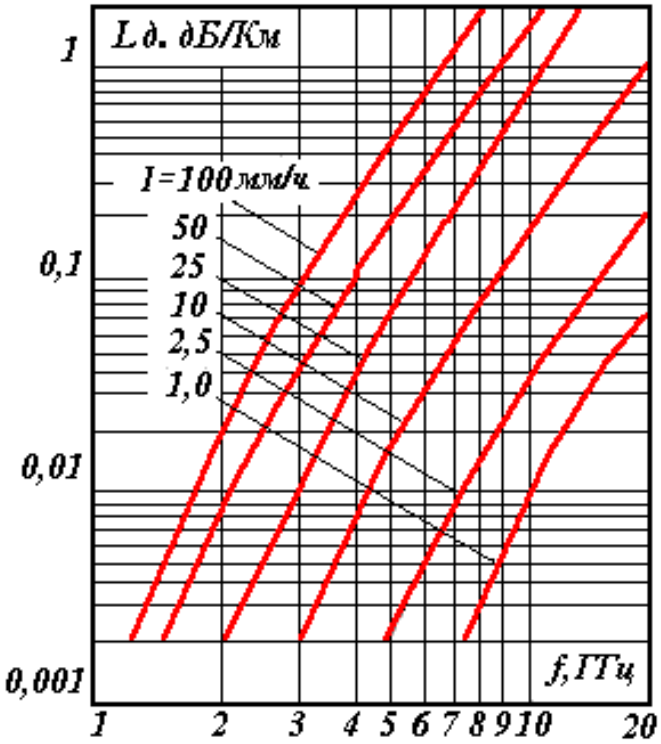


Рисунок 3.5 – Погонное затухание сигнала в дождя

По графикам статистических распределений среднеминутных значений интенсивности дождей из /Кантер/ определяем, что для Казахстана интенсивность дождя будет равна 40 мм/ч.

Далее из графиков на рисунках 3.3 и 3.4 находим, что при интенсивности дождя 40 мм/ч и частоте передачи информации 11 ГГц $L_Д^1$ = 4 дБ/км, и при угле места равном 31,65° $l_З$=11 км, далее подставим полученные данные в формулу и определим $L_Д = 2 \cdot 6 = 12 дБ$

Поглощение, вызываемое мокрым снегом, примерно такое же, как и в дожде равной интенсивности, однако в отдельных случаях (при выпадении крупных хлопьев мокрого снега) оно может оказаться в 4-6 раз большим, чем в дожде. Эксперименты показывают, что это явление достаточно редко, и при расчётах для наихудшего месяца следует практически учитывать лишь поглощение в дожде.

Ионосфера тоже оказывает влияние на условия прохождения радиоволн, однако поглощение в ней на частотах выше 1 ГГц чрезвычайно мало и / $L_И=2500/f^2$ не превышает $2{,}5\cdot10^{-3}$ дБ даже при малых углах места антенны.

Произведем расчет дополнительного затухания при распространении радиоволн в атмосфере. Воспользуемся формулой, приведенной в формуле:

$$L_{доп} = L_a + L_Д + L_Н + L_п, \qquad (3.17)$$

где $L_{доп}$ - дополнительное затухание, дБ

L_a - поглощение энергии сигнала в атмосфере, дБ

$L_Д$ - потери в гидрометеорах, дБ

$L_Н$ - потери из-за несогласованности поляризации антенн, дБ

Определим величину потерь исходя из графиков представленных на рисунке 3.2, и результатов, полученных по формуле

$$L_п = 0{,}1 дБ; L_Н = 0{,}1 дБ$$

Тогда

$$L_{доп} = 1 + 0{,}1 + 0{,}1 + 12 = 13{,}2\ дБ$$

3.2 Определение дальности действия цифровой MMDS

Проведение расчета зоны покрытия передатчиком MMDS (Microwave Multipoint Distribution System — СВЧ многоточечная распределительная система, работающая обычно в диапазоне 2,5-2,7 ГГц), представляет собой сложную задачу. Тем не менее, на практике оператору связи идеальное построение зоны покрытия обычно и не требуется. В то же время, знать ориентировочную зону покрытия MMDS он обязан. Без такой оценки он не в силах оценить число потенциальных абонентов, способных подключиться к данной MMDS.

В нашем случае под дальностью действия цифровой MMDS будем понимать определение зоны покрытия (ЗП) передатчиком при оговоренных условиях приема. На практике иногда ставится обратная задача —

определение требуемой выходной эффективно излучаемой мощности (эффективно излучаемая мощность равна произведению коэффициента усиления передающей антенны на мощность, подводимую к антенне, т.е. $P_{ЭИМ} = P_{пер} \cdot G_{пер}$) с учетом места установки передатчика (группового или канального) и высоты подвеса антенны при заданной ЗП.

Зоной покрытия (обслуживания) принято называть территорию вокруг передающего центра, на границе которой гарантируется прием с заданным качеством (для цифровых сигналов — с заданным отношением несущая/шум — C/N или E_b/N_o).

Понятие «гарантируется» весьма условно, поскольку в действительности качество приема зависит от целого ряда факторов: технических характеристик приемной установки, характера местности, условия застройки в месте приема, времени суток и года, погодных условий, вероятности приема и т.д. Кроме того, при определении зоны покрытия принято считать, что диаграмма направленности передающей антенны имеет форму окружности, тогда как допустимая нормативами неравномерность реальной диаграммы в азимутальной плоскости может достигать 3 dB, что эквивалентно изменению излучаемой мощности вдвое и, соответственно, приводит к ощутимому искажению реального вида диаграммы.

Границу зоны обслуживания определяют как геометрическое место точек, в которых значения напряженности поля E равны нормируемым (минимально допустимым или требуемым) значениям в течение T% времени в L% мест приема (обычно на практике пользуются медианным значением, то есть для 50% мест L и 50% времени приема, хотя могут быть и другие критерии, например, 90/1% или 90/90%). Очевидно, чем выше значение вероятности приема, тем большее значение напряженности поля E должно быть обеспечено. В каждом конкретном случае следует жестко оговаривать условия приема.

Действительно, они могут быть улучшены, например, за счет использования более эффективной антенны (с большим коэффициентом усиления), подъема ее на большую высоту или за счет установки конвертера MMDS с меньшим $К_ш$. Именно оговариваемые условия приема наиболее часто и определяют реальную дальность ЗП.

Вероятность приема. При стандартном проектировании полагают, что нормальным приемом считается такой, при котором осуществляется покрытие 50% мест приема L в 50% времени T. Очевидно, что при увеличении расчетного значения вероятности приема требуется увеличенное значение напряженности поля E. Наиболее существенное увеличение напряженности поля требуется при увеличении L (например, вероятность q% изменяется с 50 до 90%). Увеличение напряженности поля (корректирующий коэффициент C) должно осуществляться на значения, представленные в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Значение корректирующего коэффициента

Вероятность q, %	Корректирующий коэффициент C, дБ	Вероятность q, %	Корректирующий коэффициент C, дБ
1	-12,79	70	2,88
5	-9,05	80	4,63
10	-7,05	85	5,70
15	-5,70	90	7,05
20	-4,63	95	9,05
50	0,00	99	12,79

Например, если минимально допустимая расчетная напряженность поля составляет 48 дБмкВ/м (вероятность приема в 50%), то для вероятности приема в 90% мест приема требуемая напряженность поля должна быть увеличена на 7 дБ, что эквивалентно увеличению канальной мощности передатчика в пять раз. При той же мощности передатчика радиус зоны покрытия с вероятностью приема в 90% будет примерно в 2,3 раза меньше по отношению к радиусу зоны покрытия с вероятностью приема в 50%.

Таким образом, требуемое значение напряженности поля выражается формулой:

$$E_{треб} = E_{мед} = E_{\min} + C \qquad (3.18)$$

Минимально допустимая напряженность поля рассчитывается из условия минимально допустимого уровня сигнала на входе приемника-демодулятора (STB), гарантирующего требуемое минимальное значение отношения несущая/шум (C/N или E_b/N_o).

При оценке минимальной напряженности поля $E_{\min}$ (эквивалент минимального уровня входного сигнала) исходят из минимально допустимого значения C/N, вытекающего из расчетной скорости цифрового потока. Для систем MMDS используется как стандарт DVB-T (менее скоростной, но более помехозащищенный), так и DVB-C (менее помехозащищенный, но более скоростной). Преимущество того или иного стандарта вещания применительно к MMDS строго не определено. Помехозащищенность в данном случае является определяющей. Хотя при выборе нужно учитывать конкретные условия внедрения проекта — планируемое количество ТВ-каналов, формат компрессии и условия распространения сигналов.

Уровень мощности принимаемого сигнала на входе любого приемника определяется по формуле:

$$P_{пр} = \frac{P_{пер} G_{пер} G_A}{в} = \frac{P_{ЭИИМ} G_A}{в}, \qquad (3.19)$$

где: $P_{пер}$ — канальная мощность передатчика телевизионного вещательного центра (ТВЦ);

$G_{пер}$ — коэффициент усиления передающей антенны в заданном направлении;

G_A — коэффициент усиления приемной антенны;

в — потери на распространение сигнала по линии передатчик-приемник на рассматриваемой длине волны λ.

Эффективно излучаемую мощность относительно изотропного излучателя ($P_{ЭИИМ}$ — EIRP — Eff ective Isotropic Radiated Power) принято определять как произведение передаваемой мощности $P_{пер}$ на коэффициент усиления передающей антенны $G_{пер}$ в заданном направлении (часто именуется как коэффициент направленного действия).

Потери на распространение *в* удобно разложить на две составляющие — потери в свободном пространстве $в_о$ и коэффициент запаса $К_з$, учитывающий другие причины потери, которых будут перечислены ниже. Потери $в_о$ в свободном пространстве описываются известной формулой:

$$в_o = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2; \qquad (3.20)$$

здесь λ — рабочая длина волны ($\lambda = c/f$);

R — расстояние от ТВЦ до приемной антенны.

Бюджет канала связи. При расчете бюджета наибольший интерес представляет такой параметр, как отношение сигнал/шум (Signal-to-Noise Ratio — SNR или S/N) приемной системы, который иногда именуется отношением мощности несущей к шуму (Carrier Power-to-Noise Power — C/N или CNR). Для цифровых систем последнее определение является более удачным. По определению:

$$\frac{P_{пр}}{N} = \frac{S}{N} = \frac{C}{N} = \frac{C}{kT_c П}; \qquad (3.21)$$

где $N = kT_cП$ — шумовая мощность;

k = 1,38Ч10-23 Дж/К — постоянная Больцмана;

П — ширина полосы приемного канала

(8 МГц применительно к DVB-C и 7,61 МГц применительно к DVB-T/H);

T_c — температура приемной системы в Кельвинах:

$$T_c = T_A + T_o\left(10^{(F+\alpha)/10} - \alpha\right) \qquad (3.22)$$

Здесь: *F* — коэффициент шума в дБ малошумящего конвертера (LNC — Low Noise Converter), устанавливаемого на выходе облучателя антенны;

α — потери (в дБ) между облучателем (устанавливается в фокусе антенны) и входом конвертера (поляризатора) при нормальной температуре To = 293 °К (типовое значение α ≈ 0,2 дБ);

T_A — шумовая температура приемной антенны:

$$T_A = \frac{T_0}{2}\left[100\left(\frac{50}{f}\right)^2 + 1.5\right], \qquad (3.23)$$

T_o = 293°К — нормальная шумовая температура.

В выражении центральная частота канала f выражается в мегагерцах (МГц).

Часто возникает вопрос о допустимости применения формулы к тем или иным типам антенн. Формула получена эмпирически и применима ко всем типам антенн. «Шумовая температура антенны» — условное понятие. Шумит не само «железо», а эфир, т.е. среда распространения сигнала (например, шумы атмосферы и галактические шумы).

Выражение для $P_{пр}/N$ можно получить, разделив обе части уравнения на мощность шума N:

$$\frac{P_{пр}}{N} = \frac{P_{ЭИИМ} G_A / N}{в} \qquad (3.24)$$

Применительно к цифровым каналам связи шумовую мощность удобнее заменить на спектральную плотность мощности шума:

$$\frac{P_{пр}}{N} = \frac{P_{ЭИИМ} G_A / T_C}{кв_0 K_з} \qquad (3.25)$$

$K_з$ — коэффициент шума линии связи, который будет рассмотрен ниже. Часто именуется как коэффициент запаса ($K_з = в/в_0$).

Отношение G_A/T_c в формуле, называют добротностью приемной системы и обычно выражают в децибелах.

В цифровых системах связи в качестве критерия качества логичнее и чаще используется нормированная версия C/N, записываемая как E_b/N_o,

где: E_b — энергия бита, которая эквивалентна мощности несущей (сигнала) C, умноженной на время передачи бита информации T_b ($E_b = C \cdot T_b$);

N_o — спектральная плотность мощности шума, и ее можно выразить как мощность шума N, деленную на ширину полосы канала $П$. Поскольку время передачи бита и скорость битов R_b взаимно обратны, T_b можно заменить на 1/R:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{CT_b}{N / П} = \frac{C / R_b}{N / П} = \frac{C}{N}\left(\frac{П}{R_b}\right) \qquad (3.26)$$

Заметим, что применительно к цифровым каналам связи $R_b/П$ является аналогом спектральной эффективности. E_b/N_o — это стандартная мера производительности систем цифровой связи. Именно благодаря E_b/N_o можно рассчитывать вероятность связи для разных FEC (CR) и форматов модуляции

(например, QPSK, 16 QAM или 64 QAM). Чем меньше E_b/N_o, тем эффективнее процесс детектирования при данной вероятности ошибки (BER).

Таким образом, мы можем связать E_b/N_o и C/N из уравнения (3.26) и записать следующие зависимости:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_{пр}}{N}\left(\frac{П}{R_b}\right) \quad , \tag{3.27}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P_{пр}}{N}\left(\frac{1}{R}\right), \tag{3.28}$$

$$\frac{P_{пр}}{N} = \frac{E_b}{N_0} R . \tag{3.29}$$

Требуемое значение E_b/N_o. Как уже было уже определено, E_b/N_o является отношением энергии бита информации к спектральной плотности мощности шума, необходимой для получения заданной вероятности ошибки. Для облегчения вычисления пределов рабочего диапазона или запаса прочности $K_з$ необходимо различать требуемое E_b/N_o — $(E_b/N_o)_{треб}$ — и реальное, или принятое — $(E_b/N_o)_{прин}$. Отвлеченная иллюстрация приведена на рисунке 3.6, где на графике обозначены две рабочие точки: BER = 10^{-3} (требуемая достоверность передачи) и BER = 10^{-5} (реализуемая достоверность передачи). Для нашего случая энергетический резерв (коэффициент запаса) линии связи (link margin):

$$K_з[дБ] = (E_b/N_o)_{прин} - (E_b/N_o)_{треб}. \tag{3.30}$$

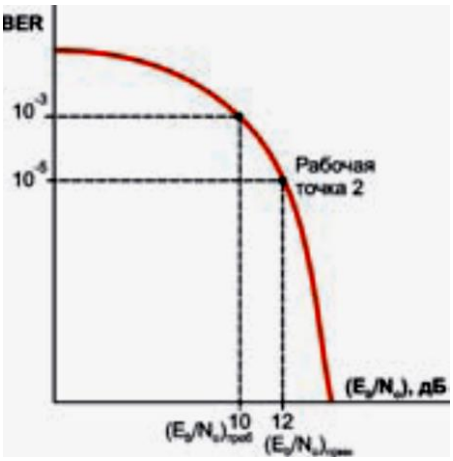


Рисунок 3.6 – Зависимость достоверности передачи

Учитывая, что $P_{пр}/N_o = (E_b/N_o)_{прин.}$, можно получить расчетное значение для энергетического резерва линии связи:

$$K_{з[дБ]} = P_{ЭИМ} + G_A - (E_b/N_o)_{треб} - R - 10lg(kT_c) - в \tag{3.31}$$

Коэффициент запаса $K_з$ в (3.25) призван учесть все технологические отклонения от идеальной рассматриваемой системы. К таким отклонениям относятся: потери, связанные с ограничением полосы, межсимвольная интерференция, фазовый шум гетеродина (случайное смешение фазы добавляет к сигналу фазовый шум), интермодуляционные (IM) составляющие, возникающие в результате взаимодействия нескольких несущих, старение антенны, поляризационные потери, помехи соседнего канала, соканальная интерференция, комбинационные помехи, неидеальность синхронизации, а также множество других составляющих. Разумеется, что каждая из них вносит разный весовой вклад. Рекомендуемое значение $K_з$ для надежной связи применительно к системам MMDS обычно составляет 2-4 дБ.

Зная (C/N)треб из тех или иных условий, можно найти требуемое значение E_b/N_o, через которое определяется BER (рисунок 3.7):

$$(E_b/N_o)_{треб} = (C/N)_{треб} - K_{roll\text{-}off} - K_{FEC} - K_{QPSK} - K_B\ , \qquad (3.32)$$

где: $K_{roll-off} = 10\lg\left(1-\frac{a}{4}\right)$;

a — коэффициент скругления спектра.

Для DVB-C a = 0,15 ($K_{roll\text{-}off}$ = - 0,02 дБ);
K_{FEC} — фактор влияния кода Рида-Соломона:

$$K_{FEC} = 1 - \lg\frac{T_U}{T_S} = 10\lg\frac{188}{204} = -0{,}35\ \ дБ;$$

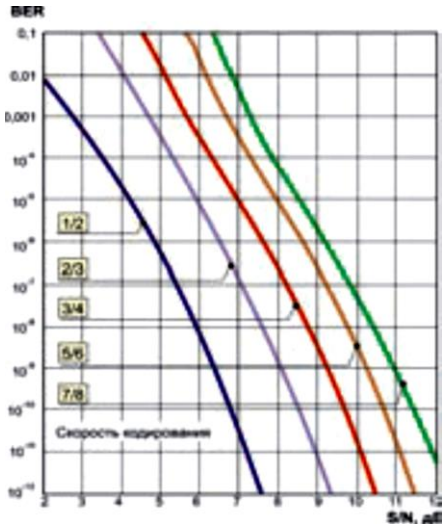


Рисунок 3.7 – К расчету фактора влияния кода Рида-Соломона K_{FEC}

K_{QPSK} — фактор влияния мапинга (модуляции):

$$K_{QPSK} = 10lgm = 10lg(2) = 3{,}0\ ;$$

$$K_{16QAM} = 10lgm = 10lg(4) = 6{,}0\ ;$$

$$K_{64QAM} = 10lgm = 10lg(6) = 7{,}8\ ;$$

K_B — фактор влияния кода Витерби (сверточного кодирования — CR):

$$K_B = 10lg(CR).$$

Для $K_B = -3{,}0$ для $CR = ½$ и $K_B = -0{,}58$ для $CR = 7/8$.

Для DVB-C сигналов помехоустойчивость является самой низкой из всех видов DVB-сигналов в силу того, что такие сигналы предназначены для их передачи в самой помехозащищенной среде распространения — в СКТ, и для них $K_B = 0$.

Используя простой математический аппарат, можно получить выражение для минимального уровня сигнала на входе спутникового конвертера LNC

$$U_{вх.min\ [дБмкВ]} = F + 10lgП - 5{,}1 + C/N. \qquad (3.33)$$

Для F = 2 дБ, $П$ = 8 МГц (DVB-C) и C/N = 36 дБ (максимальное значение), $U_{вх.min}$ = 31,9 дБмкВ. Именно такой минимальный уровень сигнала должен развиваться на входе LNC. Если коэффициент усиления абонентского конвертера составляет 55 дБ, то на его выходе должен формироваться минимальный уровень сигнала величиной 86,9 дБмкВ.

В конечном счете, задача сводится к нахождению минимальной напряженности электрического поля в точке приема, которая будет гарантировать нам требуемое C/N. С другой стороны, требуемая минимальная напряженность поля будет обеспечиваться мощностью передатчика, коэффициентом усиления передающей антенны, высотой ее подъема, ландшафтом местности и т.п. Приравняв эти два значения минимальной напряженности поля (требуемую для уверенного приема и обеспечиваемую передатчиком), находят требуемую мощность передатчика.

Не вдаваясь в математические описания, приведем точные формулы для расчетов требуемых минимальных значений напряженностей поля на любой частоте:

$$E_{мин} = C + C/N - G - 54{,}6 ++ 20lg\ (f) + 10lg\ (T_C\ ). \qquad (3.34)$$

Шумовую температуру антенны MMDS можно принимать равной величине 225 °К. Для типового коэффициента шума MMDS в 2,5 дБ формула (3.31) для частоты 2600 МГц может быть существенно упрощена:

$$E_{мин} = 40 + C/N - G + C. \qquad (3.35)$$

В формулах (3.34) и (3.35) G — коэффициент усиления приемной антенны относительно полуволнового вибратора.

Стоит напомнить, что поправочный коэффициент С зависит от вероятности приема и для типового значения в 50% С = 0 (таблицу 3.3).

Найти медианное значение требуемой напряженности поля для вероятности приема системы MMDS в 50% на частоте 2600 МГц. Требуемое C/N = 26 дБ. Коэффициент усиления приемной антенны MMDS (G) составляет 24 дБ. Подставляя численные значения в формулу (3.35), получаем:

$E_{мин}$ = 42 дБмкВ/м.

Для вероятностей приема в 70% и 90% медианные значения напряженностей поля составят 44,9 и 49 дБмкВ соответственно.

В системах MMDS принято условие радиовидимости, в силу чего коэффициент радиоэкранирования зданий (коэффициент затухания на проникновение) рассматривать не имеет смысла.

Рассчитаем уровень мощности принимаемого сигнала по формуле (3.19)

$$P_{пр} = \frac{P_{пер} G_{пер} G_A}{в},$$

где $P_{пер}$=100Вт; G_A= 24 дБ (251 раз).

$$G_{пер} = \frac{10 g D_A^2}{\lambda^2},$$

где D_A – диаметр передающей антенны 1,2 м;

λ – длина волны излучения для f = 2,5 ГГц;

$g = 0{,}8$ – коэффициент использования поверхности антенны;

D – диаметр антенны.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2{,}5 \cdot 10^9} = 0{,}12 \ \ м.$$

$$G_{пер} = \frac{10 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}2^2}{0{,}12^2} = 800.$$

Расчет ведем для двух значений R (расстояние до приемной антенны)
а) R_1=3 км, б) R_2 = 10 км

Рассчитаем потери $в_o$ в свободном пространстве по формуле (3.20):

а) $$в_{oR1} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 3000}{0.12}\right)^2 = 9{,}85 \cdot 10^{10} (110 \ \ дБ);$$

б) $$в_{oR2} = \left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10000}{0.12}\right)^2 = 2{,}7 \cdot 10^{11} (114 \ \ дБ).$$

Уровень мощности принимаемого сигнала равен

а) $P_{пр} = \frac{100 \cdot 800 \cdot 251}{9{,}85 \cdot 10^{10}} = 0{,}2 мВт (-7\ дБм)$

б) $P_{пр} = \frac{100 \cdot 800 \cdot 251}{2{,}7 \cdot 10^{11}} = 0{,}074\ мВт (-11{,}3\ дБм)$

При этом $в = в_{0.}$

Рассчитаем бюджет канала по формуле (3.21)

$$\frac{P_{пр}}{N} = \frac{C}{kT_c П},$$

где $N = kT_c П$ — шумовая мощность;

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана;

$П$ — ширина полосы приемного канала

(8 МГц применительно к DVB-C и 7,61 МГц применительно к DVB-T/H);

T_c — температура приемной системы в Кельвинах определяется по формуле (3.22):

$$T_c = T_A + T_o\left(10^{(F+\alpha)/10} - \alpha\right),$$

где F = 2 дБ — коэффициент шума в дБ малошумящего конвертера (LNC — Low Noise Converter), устанавливаемого на выходе облучателя антенны;

α — потери (в дБ) между облучателем (устанавливается в фокусе антенны) и входом конвертера (поляризатора) при нормальной температуре To = 293 °К (типовое значение α ≈ 0,2 дБ);

T_A — шумовая температура приемной антенны определяется по формуле (3.23);

T_o = 293°К — нормальная шумовая температура

$$T_A = \frac{T_0}{2}\left[100\left(\frac{50}{f}\right)^2 + 1.5\right] = \frac{293}{2}\left[100\left(\frac{50}{2500}\right)^2 + 1{,}5\right] = 225{,}6\ К.,$$

$$T_c = 225{,}6 + 293\left(10^{(2+0.2)/10} - 0{,}2\right) = 653.26\ К$$

$$N = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 653{,}26 \cdot 8 \cdot 10^6 = 7{,}2 \cdot 10^{-14}\ Вт\ (-131.4\ дБ)$$

Бюджет канала равен:

а) для R = 3 км

$$\frac{P_{пр}}{N} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{7{,}2 \cdot 10^{-14}} = 2{,}77 \cdot 10^{9}$$

б) для R = 10 км

$$\frac{P_{пр}}{N} = \frac{7{,}4 \cdot 10^{-5}}{7{,}2 \cdot 10^{-14}} = 1{,}02 \cdot 10^{9}$$

Требуемое значение E_b/N_o
Определяется по формуле (3.29)

$$\frac{P_{пр}}{N} = \frac{E_b}{N_0} R,$$

где

$$N_0 = \frac{N}{П} = \frac{7{,}2 \cdot 10^{-14}}{8 \cdot 10^{6}} = 9 \cdot 10^{-19} \ Вт$$

Тогда для R = 3 км

$$E_B = \frac{P_{пр} N_0}{NR} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 9 \cdot 10^{-19}}{7{,}2 \cdot 10^{-14} \cdot 3000} = 8{,}3 \cdot 10^{-13} Вт/м \ (-120.8 \ дБ);$$

для R = 10 км

$$E_B = \frac{P_{пр} N_0}{NR} = \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 9 \cdot 10^{-19}}{7{,}2 \cdot 10^{-14} \cdot 10000} = 9{,}25 \cdot 10^{-14} Вт/м \ (-130 \ дБ)$$

Энергетический резерв линии связи определяем по формуле (3.31)

$$K_{з[дБ]} = P_{ЭИМ} + G_A - (E_b/N_o)_{треб} - R - 10lg(kT_c) - в =$$
$$=49+24-59{,}54-34{,}77+200{,}45-110 = 69{,}14 \text{ дБ (для R = 3 км)};$$

$$K_{з[дБ]} = P_{ЭИМ} + G_A - (E_b/N_o)_{треб} - R - 10lg(kT_c) - в =$$
$$=49+24-50{,}1-40+200{,}45-114 = 69 \text{ дБ (для R = 10 км)}$$

Минимальный уровень сигнала на входе спутникового конвертора LNC определяем по формуле (3.33)

$$U_{вх.min\ [дБмкВ]} = F+10lgП - 5{,}1 + C/N$$

Здесь для R = 3 км

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} = 9 \cdot 10^{5} \ (59{,}54 \ дБ),$$

$$U_{вх.min\ [дБмкВ]} = 2+10lg8 - 5{,}1 + 59{,}54 = 65{,}44 дБ;$$

А для R = 10 км

$$\frac{C}{N} = 1{,}02 \cdot 10^5 \ (50{,}1 \ дБ)$$

$$U_{вх.min\ [дБмкВ]} = 2+10lg8 - 5{,}1 + 50{,}1 = 56дБ$$

Минимальное значение напряженности поля ан входе приемника определим по формуле (3.34)

$$E_{мин} = C + C/N - G - 54{,}6 ++ 20lg\ (f) + 10lg\ (T_C),$$

где C – корректирующий коэффициент для 70% вероятности приема C = 2,88 дБ.

$E_{мин} = 2{,}88 + 59{,}54 - 24 - 54{,}6 ++ 20lg\ (2500) + 10lg(653{,}26) = =80дБ$ *для* (для R = 3 км)

$E_{мин} = 2{,}88 + 50{,}1 - 24 - 54{,}6 ++ 20lg\ (2500) + 10lg(653{,}26) = =70{,}48дБ$ *для* (для R = 10 км)

Требуемое значение напряженности поля в точке приема на расстоянии R = 3 км от передатчика определи по формуле (3.18)

$$E_{треб} = E_{\min} + C = 80 + 2{,}88 = 82{,}88 \ дБ$$

Для R = 10 км

$$E_{треб} = E_{\min} + C = 70{,}48 + 2{,}88 = 73{,}36 \ дБ$$

Требуемое значение $(E_b/N_o)_{треб}$ определим по формуле (3.32)

$$(E_b/N_o)_{треб} = (C/N)_{треб} - K_{roll\text{-}off} - K_{FEC} - K_{QPSK} - K_B$$

Для R = 3 км

$$(E_b/N_o)_{треб} = 59{,}54 - 0{,}02 - 0{,}35 - 3 + 0{,}58 = 57{,}5 \text{ дБ}$$

Для R = 10 км

$$(E_b/N_o)_{треб} = 50{,}1 - 0{,}02 - 0{,}35 - 3 + 0{,}58 = 48 \text{ дБ}$$

Таким образом, минимальное значение напряженности поля при R=3км больше, чем требуемая напряженность поля $(E_b/N_o)_{треб}$ (82,88дБ≥57,5дБ).

И при R=10 км минимальное значении напряженности поля больше, чем требуемая напряженность поля $(E_b/N_o)_{треб}$ ($73{,}36 \succ 48$). А это говорит о возможности уверенного приема.

4 Бизнес план

4.1 Сущность проекта

Сущность проекта заключается в расширении уже существующей системы.

В данном проекте разрабатывается организация широкополосного теле радио вещания и беспроводного доступа к Интернет по технологии MMDS. Так как в Алматы вещает телепрограммы в аналоговом и цифровом стандарте, то в своём дипломе за основу я возьму их оборудование, обозначу необходимое оборудованием для вещания и приёма сигнала в цифровом формате на АРТПЦ «Кок-Тобе» и у каждого абонента.

Сущность проекта: организация цифрового канала для вещания в сети. С точки зрения экономической выгодности данной системы я сравню оборудование нескольких фирм.

Наиболее эффективным и отвечающими предъявляемым требованиям оказались аппаратно-программные комплексы фирмы AXCERA LLC (ADC Telecommunications). Проведенный тщательный анализ характеристик выявил преимущество аппаратуры AXCERA LLC, которая обладает более высоким качеством.

4.2 Характеристика проекта

Организация каких либо каналов передачи данных осуществляется, как правило, с использованием наземной инфраструктуры, включающей волоконно-оптические и кабельные линии связи, каналы коммутируемого доступа, выделенные линии. В этом случае, время организации физического канала от провайдера до конечного пользователя велико. Если создание наземной линии связи связано с большими материальными затратами или вообще невозможно, для передачи данных используются беспроводной доступ.

Проектируемая сеть позволит осуществлять беспроводной доступ к Интернет ,широкополосное цифровое теле радио вещание используя систему передачи данных MMDS.

Экономическая выгода от внедрения проекта доступа в сеть по MMDS колоссальна. Удаленными абонентами могут быть как отдельные рабочие места, так и локальные сети, удалённые от кабельной сети абоненты желающие просматривать большое количество телепрограмм в цифровом качестве.

Достоинства системы MMDS:

Возможность передавать до 10 телеканалов в цифровом стандарте используя для этого всего одну несущую частоту, высокая скорость передачи данных; обеспечение конфиденциальности передаваемых данных; привлекательное соотношение цена/ производительность; незначительные эксплуатационные затраты; возможность смены расположения клиентского места без дополнительных

затрат на оборудование; возможность приема многоканального эфирного телевидения.

Безусловно, эта ниша обладает яркими и привлекательными для бизнеса чертами: все организации пользуются Интернетом более или менее активно и предпочитают максимально сократить эту статью расходов.

4.3 Маркетинг

В данном дипломном проекте, продукцией является каналы передачи данных между АРТПЦ «Кок-Тобе» и абонентом и телерадиопрограммы цифрового стандарта качества.

Оборудование, которое будет использоваться для организации данного канала, удовлетворяет данным, полученным при расчетах.

В настоящее время в Республике Казахстан активно действующими компаниями-провайдерами 1-го уровня (т. е. имеющими свой независимый выход в международную сеть), являются Golden Telecom, Казахтелеком, Ducat, Nursat, Жарык и Astel, но они предоставляют канал связи с абонентом не радиодоступ, а dial`up или выделенная линия. Беспроводный доступ предоставляют такие компании как K`cell(GPRS,Edge), K`mobile(GPRS), Dalacom(2,5G) и Аксоран(3G).

Потенциальный рынок для MMDS достаточно широк, первым сегментом являются частные лица, которым помимо большого выбора ТВ каналов будет предоставляются также и доступ в Интернет и передача данных, что значительно расширяет число потенциальных клиентов. Ведь рынок корпоративных пользователей ограничен и конкурентность операторских предложений на нем очень высока. В то же время, даже при значительных начальных вложениях, рынок частных пользователей гораздо более широк и перспективен. Необходимо разрушить стереотипы и убедить потребителя в том, что новая технология удобна и очень выгодна для него.

4.4 Организационный план

Организация доступа по спутниковому каналу связи, для компании-клиента подразумевает определенный организационный план. Для осуществления проекта используется не только существующий персонал, но и будут привлечены новые сотрудники. Каждый из них занимается определёнными задачами. Менеджеры: работают с клиентами, заключают договора; инженеры: монтируют и тестируют оборудование, настраивают программное обеспечение у клиентов; и системные администраторы следят за работой сети.

Для реализации данного проекта потребуется следующее оборудование. Цены на оборудование представлены в таблице 4.1 без учета НДС.

Таблица 4.1 – Перечень оборудования необходимое для реализации проекта доступа к Интернет по технологии MMDS [18]

№	Наименование	Стоимость 1шт.	Кол-во	Общая сумма ,тенге
1	Приёмник MMDS-R	200	2	134000
2	Передатчик MMDS-DG/B	14000	2	9380000
3	Маршрутизатор -Cisco 2621	2000	1	670000
4	Switch-Catalyst-1924	750	1	250250
5	ПК P4-3000	500	1	167500
6	Модулятор	2000	1	670000
7	Антенна TA-204	300	4	402000
8	Кондиционер	1000	1	335000
9	Телевизор	240	6	480000
Итого, $С_{об}$			19	12488750

Суммы в тенге приведены из расчета 1 у.е. 335тенге.

Рассчитаем капитальные вложения, необходимые для создания узла сети IP-телефонии.

$$К_{Вл} = К_{Обор} + К_{Монт} + К_{Тр} + К_{Пп} + К_{пр}$$

где $К_{Обор}$ – стоимость приобретаемого оборудования для функционирования данной технологии;

$К_{Монт}$ - стоимость монтажных работ;

$К_{Тр}$ - стоимость транспортировки;

$К_{Пп}$ - стоимость арендной платы занимаемой площади;

$К_{Пр}$ - прочие затраты.

В данном проекте учитываются капиталовложения, затраты на транспортировку, монтаж, аренда занимаемой площади и прочее расходы.

$К_{Монт}$ =5%, от стоимости оборудования

$$К_{Монт}=12488750\cdot0,05=624437,5 \text{ тенге;}$$

$К_{Тр}$ =3%, от стоимости оборудования

$$К_{Тр}=12488750\cdot0,03=374662,5 \text{ тенге;}$$

$К_{Пп}$ =6%, от стоимости оборудования

$$К_{Пр}=12488750\cdot0,06=749325 \text{ тенге;}$$

$К_{Пр}$ =5%, от стоимости оборудования

$$К_{Пр}=12488750\cdot0,05=624437,5 \text{ тенге;}$$

Таким образом получается

$$К_{обор}=С_{обор}= 12488750 \text{ тенге.}$$

Общая сумма капитальных вложений составляет:

$К_{Вл}$ = 12488750+624437,5 +374662,5+749325+624437,5= 14861912,5

Эксплуатационные расходы рассчитываются по формуле:

$$Э_р = А_0 + ФОТ + О_{СН} + Н_р + Р_{МАТ} + П_{общ} ,$$

где $А_0$ - амортизационные отчисления;
ФОТ - фонд оплаты труда;
$О_{СН}$ - отчисления на социальные нужды;
$Р_{МАТ}$ - расходы на материалы;
$П_{общ}$ - отчисления поставщикам телевизионного контента;
$Н_р$ - накладные расходы.

Затраты на амортизацию рассчитываются по формуле:

$$А_0=Н_А \cdot К_{вл}, \text{ тыс.тенге}$$

где $Н_А$ – норма амортизации;
$К_{вл}$ – общая сумма капиталовложений по реализации проекта.
Нормы амортизации ($Н_А$) составляют 25%.

$$А_0 = 0{,}25 \cdot 14861912{,}5 = 3715403{,}125 \text{ тенге}$$

Размер фонда оплаты труда зависит от количества работников и существующей ставки оплаты по каждой категории работников задействованных в деятельности , а также существующей ставки оплаты по каждой категории работников.

Данные по составу, численности и средней заработной плате предоставлены в таблице 4.2

Таблица 4.2 – Затраты по оплате труда персонала, задействованного в реализации проекта (на основе средней заработной платы сотрудников “АлмаТВ”) [20].

№	Должность	Кол-во человек	Оклад, тенге	Сумма, тенге
1	Инженер - сменщик	3	140000	420000
2	Главный инженер	1	180000	180000
3	Дежурный инженер	1	350000	350000
4	Итого ФОТ в месяц	5		950000

Основная заработная плата за год составит:

$$ЗП_{осн} = 11400000 тг$$

В годовой фонд заработной платы включается дополнительная заработная плата (работа в праздничные дни, сверхурочные и т.д.) в размере 20% от основной заработной платы.

$$ЗП_{ДОП} = 11400000 \cdot 0,2 = 2280000 \ тг$$

Общий фонд оплаты труда вычисляется по формуле:

$$ФОТ = ЗП_{осн} + ЗП_{ДОП}$$

И составит :

$$ФОТ = 11400000 + 2280000 = 13680000 тг$$

Отчисления на социальный налог составляет 11% от разности фонда оплаты труда и пенсионных отчислений в размере 10% от ФОТ:

$$O_{СН} = 0.11 \cdot (ФОТ - 0.1ФОТ)$$

$$O_{СН} = 0,11 \cdot (13680000 - 0,1 \cdot 13680000) = 1354320 тг$$

Накладные расходы (Нр) составляют 30%

$$Нр = 13680000 \cdot 0,3 = 4104000 \text{ тг}$$

$$Р_{мат. мес.} = Р_{эл.эн.} + Р_{а.ч.} + Р_{а.к} ,$$

где $Р_{ЭЛ.эн}$ - расходы на электроэнергию;

$Р_{а.ч}$ - расходы на аренду частоты;

$Р_{а.к}$ - расходы на аренду канала.

К материальным расходам относятся расходы на аренду частот, электроэнергию.

Расходы по электроэнергии зависят от мощности оборудования, времени загрузки и стоимости 1 кВт/час и расчитываются по формуле:

$$Р_{эл\ эн} = W \cdot T \cdot S$$

Где W-мощность оборудования (2,84 кВт)

T – общее время работы, 8760 часов в год (круглосуточно);

S – тариф на электроэнергию, тг/кВтч;

Тариф на электроэнергию варьируется от времени суток [15]:

- дневная зона (с 07 до 19 часов) – 18,03 тг/кВтч;
- вечерняя зона (с 19 до 23 часов) – 37,72 тг/кВтч;
- ночная зона (с 23 часов до 07 часов) – 5,08 тг/кВтч

И составят:

$$Р_{эл.эн} = 2,84 \cdot 8760 \cdot (18,03 \cdot 12 + 37,72 \cdot 4 + 5,08 \cdot 8)/24 = 8470262,92 \text{ тенге}$$

Затраты на оплату поставщикам телевизионных каналов основной деятельность ТОО «Алма ТВ» является предоставление услуг телевизионного вещания. Естественно, что одна из статей расходов - выплата поставщикам телевизионного контента.

Данная категория оплачивается исходя из количества подключенных абонентов, вне зависимости от типа подключенных абонентами пакетов.

Таблица 4.3 - Потребляемая мощность оборудования [16]

№	Наименование	Мощность за 1 шт.	Общая мощность
1	Приёмник MMDS-R, Вт	50	100
2	Передатчик MMDS-DG/B, Вт	70	140
3	Маршрутизатор -Cisco 2621, Вт	200	200
4	Switch-Catalyst-1924, Вт	100	100
5	ПК P4-3000, Вт	400	400
6	Модулятор, Вт	100	100
7	Антенна TA-204, Вт		
8	Кондиционер, Вт	1500	1500
9	Телевизор, Вт	50	300
Итого мощность оборудования, Вт		2470	2840

Исходя из Положения ТОО «Алма ТВ», [19] общая величина ежемесячных отчислений поставщикам телевизионного контента составляет порядка 45% от ежемесячной абонентской платы.

Примем за действующее значение количество потенциальных абонентов в окрестностях города Алматы $К_{аб}$ = 2000.

Исходя статистического анализа существующих телекоммуникационных сетей ТОО «Алма ТВ», усредненное процентные соотношения пакетов

«TV30+», «TV70+» , «TV100+», «TV MAX», «Просто TV» от общего числа следующее: «TV30+» - 4%, «TV70+» – 25 %, «TV100+» - 45 %, «TV MAX» - 6%, «Просто TV» - 20%.

В соответствии с пакетным наполнением, абонентская плата за пакет «TV30+» - 3200тг/мес, «TV70+» - 3600тг/мес , «TV100+» - 3900тг/мес, «TV MAX» - 4900тг/мес, «Просто TV» - 3600 тг/мес [20]. Из представленных данных можно рассчитать ежемесячную абонентскую плату:

$$Аб_{пл} = 80 \cdot 3200 + 500 \cdot 3600 + 900 \cdot 3900 + 120 \cdot 4900 + 400 \cdot 3600 = 7594000 \text{ тенге/мес.}$$

Величина ежемесячных отчислений поставщикам телевизионного контента рассчитывается по формуле:

$$П_{тк} = Аб_{пл} \cdot 0{,}45$$

Подставив значения в формулу, рассчитаем величину ежемесячных отчислений поставщикам телевизионного контента:

$$П_{тк} = 7594000 \cdot 0{,}45 = 3417300 \text{ тенге/месяц,}$$

Ежегодные отчисления поставщикам телевизионного контента:

$$П_{общ} = 3417300 \cdot 12 = 41007600 \text{ тенге/год.}$$

Расходы по аренде каналов ($Р_{а.к}$) зависят от стоимости аренды канала, которая составляет, 1 М/с - 90000 тенге [14].

Расходы по аренде несущей частоты в диапазоне 2,1-2,3ГГц составляют 100000 тенге [14].

$$Р_{мат.\ мес.} = 8470262{,}92+90000+100000=8660265{,}92 \text{ тенге}$$

Тогда общая сумма эксплуатационных расходов составит:

$$Э_Р = 3715403{,}125 + 13680000 + 1354320 + 4104000 + 8660265{,}92 + 41007600= 72521589{,}045 \text{ тенге}$$

4.5 Расчет условной прибыли

Рассчитаем условную прибыль при подключении абонентов в окрестностях города Алматы.

Доход от основной деятельности – предоставление услуг цифрового телевидения с пакетным наполнением, можно определить по следующей формуле:

$$Д_о = \sum_{i=1}^{n} qi \times \tau Ti,$$

где n – номенклатура услуг, в данном случае – пакетные наполнения.

Таких пакетных наполнений пять – пакеты программ «TV30+», «TV70+» , «TV100+», «TV MAX», «Просто TV». То есть n = 5;

qi – исходящий платный объем по видам. Учитывая среднее количество потенциальных абонентов в окрестностях города Алматы, взяты средние значения. Согласно собранной статистике в существующей сети MMDS по г. Алматы, процентные соотношения пакетов «TV30+», «TV70+» , «TV100+», «TV MAX», «Просто TV» от общего числа следующее: «TV30+» - 4%, «TV70+» – 25 %, «TV100+» - 45 %, «TV MAX» - 6%, «Просто TV» - 20%. Примем за действующее значение, количество потенциальных абонентов в окрестностях города Алматы $К_{аб}$ = 2000. Как следствие, усредненное количество абонентов подключенных по пакету «TV30+» - qi_1 = 80, «TV70+» – qi_2 = 500, «TV100+» - qi_3 = 900, «TV MAX» - qi_4 = 120, «ПростоTV» - qi_5 = 400,

τTi – среднедоходная такса по i-му виду услуг. В соответствии с пакетным наполнением, абонентская плата за пакет «TV30+» - 3200тг/мес, «TV70+» - 3600тг/мес , «TV100+» - 3900тг/мес, «TV MAX» - 4900тг/мес, «Просто TV» - 3600 тг/мес.

Воспользовавшись формулой рассчитаем доход от основной деятельности предприятия:

$$Д_о = 80 \cdot 3200 + 500 \cdot 3600 + 900 \cdot 3900 + 120 \cdot 4900 + 400 \cdot 3600 = 7594000 \text{тенге/мес.}$$

Тогда годовой доход от основной деятельности предприятия будет следующим:

$$Д_г = Д_о \cdot 12 = 7594000 \cdot 12 = 91128000 \text{ тенге.}$$

4.6 Оценка экономической эффективности от реализации

При оценке эффективности инвестиционных проектов ключевыми вопросами являются следующие показатели : рентабельность вложения средств в данный проект; срок окупаемости инвестиций; оказывающие определяющее влияние на результат. На основе этих показателей можно получить объективное представление о различных аспектах эффективности данного проекта и в конечном итоге принять обоснованное решение о перспективах его окупаемости.

Срок окупаемости ($Т_{ОК}$) – это минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за который окупятся затраты, связанные с предоставлением услуг предприятия, и после которого предприятие начнет получать прибыль:

$$T_{ок} = \frac{K_{вл}}{ЧП},$$

где ЧП – чистая прибыль.

Чистая прибыль предприятия – это прибыль оставшаяся у предприятия, после уплаты всех налогов и рассчитывается по формуле:

$$ЧП=(Д_г-Эр)\cdot КПН$$

где $Д_г$- доход от реализации услуг,

Эр- общая сумма эксплуатационных издержек,

КПН- корпоративный подоходный налог с юридичесих лиц, по ставке 20 % от налогооблагаемой прибыли.

ЧП= (91128000 - 72521589,045) 0,2= 3721282,191 тенге в год

Тогда срок окупаемости составит:

$$T_{ок} = \frac{14861612,5}{3721282,191} = 3,99 \quad \text{года}$$

Результаты расчётов технико-экономические показателей от внедрения новой сети широкополосного цифрового вещания по системе MMDS представлены в таблице 4.4

Таблица 4.4 - Технико-экономические показатели внедрения новой сети широкополосного цифрового вещания по системе MMDS

Наименование показателей	Численные значения
Капитальные вложения на технологию, тенге	14861612,5
Эксплуатационные расходы ($Э_Р$), тенге	72521589,045
Доход от реализации услуг от основной деятельности (Д год), тенге	91128000
Срок окупаемости ($Т_{ОК}$), лет	3,99

Таким образом, средства, вложенные в организацию проекта беспроводной связи, предприятие окупит за 3,99 года.

4.7 Расчет абсолютной величины чистого дохода с учетом дисконтирования

Коэффициент дисконтирования (PV) – это норматив приведения, при установлении которого следует учитывать инфляционное изменение покупательной способности денег в течение рассматриваемого периода времени, необходимость обеспечения минимального гарантированного уровня доходности и риск инвестора.

Величина расчетного срока окупаемости составляет 3,99 года, что, в свою очередь, ниже величины нормативного срока окупаемости, который составляет 5 лет.

Так как деньги имеют временную ценность, то в расчетах проекта следует их учесть. Ставка дисконтирования составляет r_0 =15%

Коэффициент дисконтирования рассчитывается по формуле:

$$PV = \frac{ЧП}{(1+r)^n}$$

где r – ставка дисконты, r = 0,15;
n – год.

1 год $PV = \frac{3721282,101}{(1+0,15)^1} = 3235897,47$ тг

2 год $PV = \frac{3721282,101}{(1+0,15)^2} = 2813823,89$ тг

3 год $PV = \frac{3721282,101}{(1+0,15)^3} = 2446803,38$ тг

4 год $PV = \frac{3721282,101}{(1+0,15)^4} = 2127655,11$ тг

5 год $PV = \frac{3721282,101}{(1+0,15)^5} = 1850134,88$ тг

6 год $PV = \frac{3721282,101}{(1+0,15)^6} = 1608812,94$ тг

7 год $PV = \frac{3721282,101}{(1+0,15)^7} = 1398967,77$ тг

Определим капитальные вложения методом расчета абсолютной величины чистого дохода NPV. Чистая приведенная стоимость проекта будет определяться следующей формулой:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} PV - K,$$

где NPV – чистая приведенная стоимость, тг;
PV_t – текущая стоимость доходов за t - ый год, тг;
K – капиталовложения, тг.

$$NPV = (3235897,47 + 2813823,89 + 2446803,38 + 2127655,11 + 1850134,88 + 1608812,94 + 1398967,77) - 14861612,5 = 650482,94 \text{ тг}$$

Значение NPV получилось больше нуля, поэтому можно сделать вывод, что проект может возместить первоначальные траты, также приносить прибыль.

Теперь необходимо определить индекс рентабельности данного проекта, то есть отношение суммарного дисконтированного дохода к суммарным дисконтированным затратам. Индекс рентабельности вычисляется по следующей формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^{n} PV/K$$

$$PI = \frac{15512095,44}{14861612,5} = 1,04$$

Индекс рентабельности получился больше единицы, это значит, что проект можно принять.

Теперь вычислим дисконтированный период окупаемости(DPP) по формуле:

$$DPP = t + \frac{К-(П_1+П_2+\cdots+П_{n-1})}{П_n},$$

где t – количество лет, за которые капиталовложения окупятся без учета дисконтирования, t = 6;

К – капиталовложения;

$П_n$ – прибыль по годам (возьмем значение чистой прибыли с учетом дисконтирования).

$$DPP = 6 + \frac{14861612,5 - 14083127,2}{1398967,77} = 6,5 \text{ лет} \approx 6 \text{ лет } 6 \text{ месяцев}$$

5 Безопасность жизнедеятельности

5.1 Анализ условий труда

Производственная активность оператора, принуждает его длительное время пребывать в сидячем положении, которое считается принужденной позой, потому организм непрерывно испытывает недостаток в подвижности и активной физической деятельности. При исполнении работы сидя, огромную роль играет плечевой пояс. Перемещение рук в пространстве влияет не только на работу мускул плечевого пояса и спины, однако и на состояние позвоночника, таза и в том числе и ног.

Природное освещение исполняется через окна либо световые просветы в внешних стенах (боковое освещение), через остекленные световые фонари и перекрытие (верхнее) либо через фонари и окна одновременно (комбинированное).

На производстве рекомендуется создавать динамический климат с явными перепадами характеристик. Температура воздуха у плоскости пола и на уровне головы никак не различается более, чем на 5 градусов. Главным параметром, характеризующим свойства вентиляционной системы, считается кратность обмена, т.е. сколько раз в час сменится воздух в помещении.

Для избежания электрических травм, стимулированных касанием металлических конструкций или корпусов электрооборудования, оказавшихся под напряжением вследствие испорченной изоляции, а еще для защиты аппаратуры, конструктивно защитное заземление, представляющее собой преднамеренное соединение с землёй металлических частей электроустановок, нормально не находящихся под напряжением.

Степень огнестойкости зданий принимается в зависимости от их назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности, площади этажа в пределах пожарного отсека.

Сооружение, в котором располагается операторская, относится к категории К1 (малопожароопасное), так как тут находятся горючие (книги, бумаги, документы, мебель, оргтехника и т.д.) и тяжело сгораемые вещества (сейфы, различное оборудование и т.д.), которые при взаимодействии с пламенем имеют все шансы пламенеть без взрыва.

По конструктивным характеристикам сооружение относится к зданиям с несущими и ограждающими конструкциями из природных либо из искусственных каменных материалов, бетона либо железобетона, где для перекрытий позволяется внедрение древесных систем, защищенных штукатуркой или тяжело горючими листовыми, а еще плотными материалами.

Рабочие места операторов мониторов располагаются в отдельных специально выделенных помещениях, соответствующих гигиеническим требованиям в отношении площади, критерий природного освещения и вентиляции.

Для работы за мониторами наиболее подходят помещения с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией светопроемов.

Площадь помещения соответствует требованиям санитарных норм - не менее 4,5 кв. м на одного работающего. Объем производственного помещения на одного работающего не менее 15 куб. м (СН 245-71). Рабочее место оператора состоит из стола с расположенным на нем экраном. Целесообразно размещение клавиатуры раздельно от экрана. Это обеспечивает выбор оптимального положения, высоты и наклона всех составляющих оборудования рабочего места оператора.

Экран располагается ниже уровня глаз прямо либо с наклоном на оператора, для чего используется приспособление регулировки угла наклона по отношению к горизонту в 88 - 105 град. Маневренность экрана вокруг оси по вертикали должна составлять +/- 10 град. Угол зрения, при котором гарантируется наилучшее различение символов на экране, располагается в пределах 20 - 30 мин. Экран отстоит от глаз оператора на расстоянии 40 - 90 см. Наилучшее расстояние при высоте символов 2,5 мм - 50 см; при высоте символов 3 - 4 мм его разрешено увеличить до 80 см. Документы читаются оператором с подвижной подставки, высота и наклон которой регулируются. Подставка располагается в одной плоскости и на одной высоте с экраном и наклоняться от 30 до 70 град. Наклон документа в 60 град. позволяет максимально сократить блик от него. Рабочее кресло обязано быть подвижно

с тем, чтобы оператор мог временами поменять позу. Не длинные подлокотники кресла обеспечивают положение рук чуть выше уровня стола.

Освещенность рабочих мест (в горизонтальной плоскости в зоне размещения клавиатуры и рабочих документов) в пределах от 300 до 500 лк. На рабочем месте обеспечено соответствующее распределение яркости в поле зрения оператора. В рабочей зоне отношение яркостей поверхностей не превышает 3 : 1, а между рабочей поверхностью стола и окружающими поверхностями (стен, оборудования и т.п.) - 10 : 1. Этого можно достигнуть правильным подбором коэффициентов отражения: клавиатура должна быть матового исполнения с коэффициентом отражения р = 0,4 - 0,6; поверхность стола также должна быть матовой с р < либо = 0,5. Окружающие поверхности имеют последующие коэффициенты отражения: потолок 0,7 - 0,8; стены - 0,4 - 0,6; пол 0,3 - 0,5. Отбор цветовой отделки помещения проводится в соответствии с требованиями окраске внутренних поверхностей следует придавать матовую фактуру. Для освещения дисплейных залов используются светильники с люминесцентными лампами. Выбор светильников проводится с учетом способности снабжения на рабочем месте требуемой освещенности, а еще исключения засветок экранов и бликов отражения на них.

С данной целью используются светильники типа УСП-5-2х40, УСП-35-2х40, ЛВ003-2х40-002 с непрозрачными боковыми стенками и закрытые снизу рассеивателями из замутненного оргстекла либо ПХВ пленки. При применении светильников с люминесцентными лампами принимаются меры по ограничению пульсации освещенности в пределах до 10%.

Для исключения засветок экранов прямыми световыми потоками светильники всеобщего освещения размещаются между рядами рабочих столов с необходимым боковым смещением, при этом линии светильников располагаются параллельно световым просветам. С целью исключения на экранах мониторов ярких пятен, на рабочем месте не должно быть блестящих предметов больших размеров; одежда операторов должна по возможности темная; все предметы сзади оператора имеют низкую яркость (не более 40 кд/м2); при рядовом размещении оборудования не допускается, чтобы мониторы были направлены экранами друг к другу, в случае, если это имеет место, нужно между ними установить перегородки.

Во избежание засветок экранов и понижения перепадов яркости в поле зрения при естественном освещении рабочие столы операторов располагаются дальше от окон и таким образом, чтобы оконные просветы находились сбоку от работающих, а естественный свет падал с левой стороны. Окна снабжаются светорассеивающими шторами (р = 0,5 - 0,7) либо регулируемыми жалюзи. При южных ориентациях световых просветов, наиболее действенным средством для создания подходящей световой среды в помещении и понижения теплового воздействия инсоляции считается использование на окнах пленки с металлизированным покрытием.

При рабочей технике излучение от видеотерминалов располагается в пределах фона. Работа мониторов сопровождается выделением тепла. Для

поддержания обычного микроклимата нужен достаточный объем вентиляции. Рабочее место за экраном фактически тихое. Шум в дисплейных залах создают кондиционеры, телефонные звонки, печатные машинки. Значения уровня шума на рабочих местах операторов не превышают 50 дБА.

Режим труда и отдыха. Рассчитанное по показателю утомления операторов, занимающихся работой за экраном монитора 46 - 61% времени смены, суммарное время на внутрисменный отдых продолжительностью 20 - 22 мин. Кроме того, 2% времени смены операторам отводится на собственные необходимости. Исполнение операторами других функций в оставшееся время с физиологической точки зрения рассматривается как смена деятельности и играет положительную роль, профилактируя лишнее понижение трудоспособности.

Согласно типовому режиму труда и отдыха общее время регламентированных перерывов распределяется следующим образом: до работы - 7 мин. вводной гимнастики, два перерыва по 5 и 8 - 10 мин. во второй половине рабочего дня с интервалом 1,5 часа. Сигналы о перерывах подаются ЭВМ через мониторы. Время регламентированных перерывов, часть обеденного перерыва, а еще микропаузы целесообразно применять для активного отдыха и глазной гимнастики.

При наиболее интенсивной работе за экраном либо большей ее продолжительности (80% времени смены и более) время на отдых увеличено до 12% времени смены. Из данного расчета предоставляются перерывы на отдых и общение по 5 - 10 мин. каждый час работы или 15 - 20 мин. каждые два часа работы.

Психологическая подготовка ориентирована на преодоление временных трудностей периода привыкания с целью его сокращения. Прежде всего нужно повысить мотивацию к труду за видеотерминалом путем объяснения наиболее широких технических возможностей аппаратуры, увеличения удобства работы, уменьшения трудоемкости отдельных операций по сравнению с обычным их выполнением, а также по мере освоения оборудования.

Необходимо снять беспокойность операторов по поводу ощущений общественной изоляции, а также робости облучиться, потерять зрение, испортить оборудование, не справиться с задачей и т.п.

Целесообразно выделить необходимость предупреждения временной повышенной усталости глаз за счет оптимального режима труда и отдыха и функционального применения регламентированных перерывов и микропауз для специальных упражнений, снижающих зрительное и полное напряжение, восстанавливающих работоспособность.

5.2 Организация рабочего места оператора

Чтобы исключить происхождение заболеваний имеется возможность свободной смены поз. Соблюдается режим труда и отдыха с перерывами, заполняемыми "отвлекающими" мышечными нагрузками на те звенья опорно-

двигательного аппарата, которые никак не интегрированы в поддержание главной рабочей позы.

Антропологические свойства человека характеризуют габаритные и компоновочные характеристики его рабочего места, а еще свободные характеристики отдельных его частей.

По условиям работы рабочее место оператора относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя.

Рабочее место оператора занимает площадь никак не меньше 6 м² , высота помещения не менее 2,5 м, а объем - не менее 15 м^3 на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей плоскости, за которой работает оператор, составляет 800 мм. Рабочий стол оператора при надобности разрешено регулировать по высоте в пределах 720 - 820 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 х 1000 кв. мм. Под столом иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм.

Рабочий стол оператора также имеет подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм.

Удаленность клавиатуры от края стола не более 300 мм, что даст оператору комфортную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея составляет 40 - 80 см.

Рабочий стул оператора обеспечен подъемно-поворотным приспособлением. Высота сиденья регулируется в пределах 400 - 500 мм. Глубина сиденья составляет не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья меняется в пределах 90 - 110 °.

5.3 Расчёт заземления

Расчёт заземления рассчитываем согласно методике

Сопротивление одиночного заземлителя определяется по формуле:

$$R_{оз} = 0{,}366 \cdot \rho \cdot (\lg(2 \cdot L/d) + 0{,}5 \cdot \lg[(2{,}4 \cdot t + L)/(4 \cdot t \cdot d)])/L ,$$

где $R_{оз}$ – сопротивление одиночного заземлителя, Ом;
ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;
L – протяженность заземлителя, м;
t – глубина заложения заземлителя, м;
d – диаметр заземлителя, м

$$R_{оз} = 0{,}366 \cdot 70 \cdot (\lg(2 \cdot 2{,}5/0{,}01) + 0{,}5 \cdot \lg[(2{,}4 \cdot 2 + 2{,}5)/(4 \cdot 20{,}01)])/2{,}5 ,$$

$R_{оз}$ = 35,9 Ом.

Количество заземлителей определяется по формуле:

$$n = R_{оз} / R_{зн}$$

n=35,9/4=9,

где n – количество заземлителей, шт.;

$R_{оз}$– сопротивление одиночного заземлителя, Ом;

$R_{зн}$– сопротивление заземлителя согласно общепринятым нормам (4 Ом).

Расстояние между заземлителями рассчитывается по формуле:

$$a = 2 \cdot L$$

где a – расстояние между заземлителями, м;

L – длина заземлителя, м

$$a = 2 \cdot 2{,}5;\ a = 5 \text{ м}$$

Число заземлителей с учетом их взаимного экранирования определяется по формуле:

$$n_э = n/\eta_{эз},$$

где $n_э$ - число заземлителей с учетом их взаимного экранирования, шт.;

n - число заземлителей без учета их взаимного экранирования, шт.;

$\eta_{эз}$ – коэффициент использования заземлителей учитывающий их взаимное экранирование.

$$n_э = 9/0{,}88;\ n_э = 10 \text{ шт.}$$

Длина заземляющих проводников определяется по формуле:

$$L_п = 1{,}05 \cdot a \cdot n_э,$$

где $L_п$ – протяженность заземляющих проводников, м;

a – расстояние между заземлителями, м;

$n_э$ – количество заземлителей с учетом их взаимного экранирования, шт.;

$$L_п = 1{,}05 \cdot 5 \cdot 10;\ L_п = 52{,}5 \text{ м}$$

Сопротивление заземляющего проводника находится по формуле:

$$R_{п\,п} = 0{,}366 \cdot \rho \cdot (\lg(2 \cdot L_п \cdot 2/b \cdot t))/L,$$

где $R_{п\,п}$ – сопротивление заземляющего проводника из полосовой стали, Ом;

$L_п$ – протяженность заземляющих проводников, м;

b – ширина полосы заземляющего проводника, м;

t – глубина заложения заземлителя, м

$$R_{п\,п} = 0{,}366 \cdot 70 \cdot (\lg(2 \cdot 52{,}5 \cdot 2/0{,}05 \cdot 2))/2{,}5;$$

$R_{п\,п} = 25$ Ом

Действительное сопротивление заземляющего проводника с учетом обоюдного экранирования заземлителей и заземляющих проводников находится по формуле:

$$R`_{п\,п} = R_{п\,п} / \eta n$$

где $R`_{п\,п}$ – действительное сопротивление заземляющего проводника, Ом;

$R_{п\,п}$ - сопротивление заземляющего проводника, Ом;

ηn - коэффициент использования заземляющего проводника.

$$R`_{п\,п} = 25/0{,}89;\ R`_{п\,п} = 28 \text{ Ом}$$

Сопротивление растеканию тока всего заземляющего устройства находится по формуле:

$$R_{зп} = R_{оз} \cdot R`_{п\,п} / ( R_{оз} \cdot \eta n + R`_{п\,п} \cdot \eta_{эз} \cdot n),$$

где $R_{зп}$ – сопротивление растеканию тока всего заземляющего устройства, Ом.

$$R_{зп} = 35{,}9 \cdot 28/(35{,}9 \cdot 0{,}89 + 28 \cdot 0{,}88 \cdot 9);$$

$R_{зп} = 3{,}7$ Ом

Действительное количество заземлителей определяется по формуле:

$$n` = R_{оз} / \eta_{эз} \cdot R_{зп}$$

где $n`$ – действительное число заземлителей, шт.

$$n` = 35{,}9 / 0{,}88 \cdot 3{,}7;\ n` = 11 \text{ шт.}$$

Итак, проектируемый заземлитель состоит из 11 вертикальных стержней из стали протяженностью 2,5 м с диаметром 0,01 м, расположенных друг от друга на расстоянии 5 м и стального горизонтального электрода длиной 52,5 м, заглубленных в землю на 2м. Общее сопротивление грунтового заземлителя 3,7 Ом, что обеспечивает сохранность работы на оборудовании.

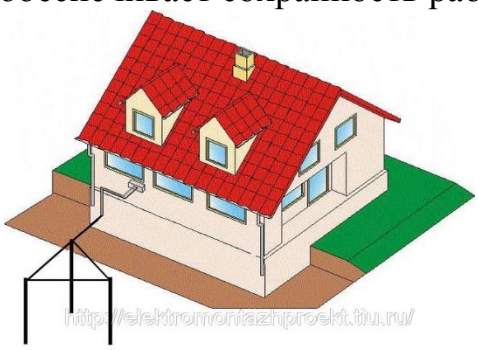


Рисунок 5.1 – Схема заземлителя.

5.4 Защита от электромагнитного излучения СВЧ поля, создаваемого антенной ТА-204 на телевышке Кок-Тобе

Расчёт ведём согласно методике.

Техническое средство - оборудование Axcerra LLC ITS-6450 на телевышке Кок-Тобе. Используется антенна ТА-204 с углом раскрыва зеркала $2\psi = 60°$. Антенна находится на высоте 180 м. Диапазон частот 2,1-2,3 ГГц. Мощность излучаемой антенны равна 25 Вт.

Внешняя граница зоны определяется на высоте 2 м от поверхности земли и не должна превышать ПДУ.

ПДУ равен 2,5 мкВт/см.^{2} /10/.

Характеристика оборудования Axcerra LLC ITS-6450:

- средняя длина волны: 0,13 м;
- мощность передатчика одного ствола: 25 Вт;
- тип антенны: ПА-3;
- диаметр апертуры: 3 м;
- КНД: 44 дБ.

Рассчитаем плотность потока энергии, создаваемую этим оборудованием.

Постановка задачи расчета иллюстрируется рисунком 5.3

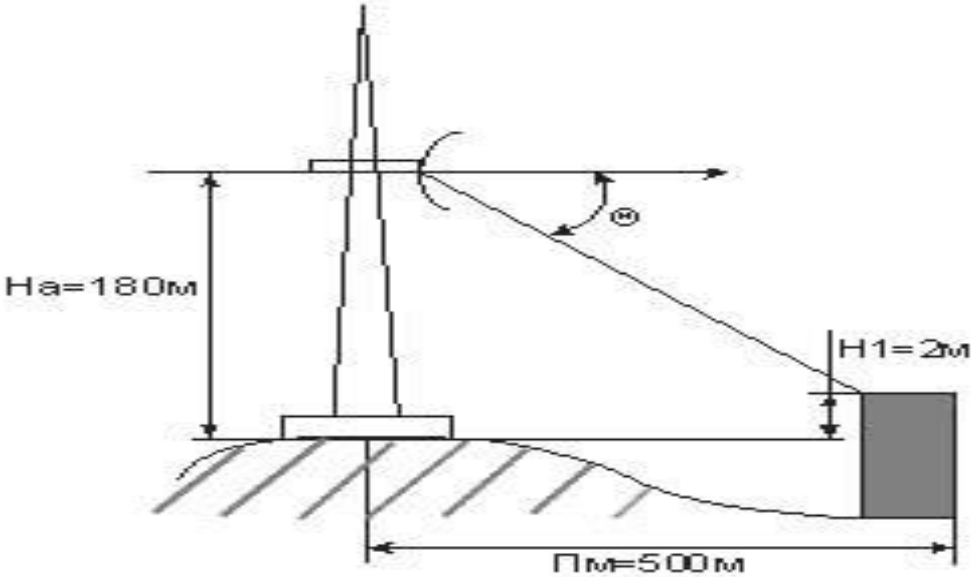


Рисунок 5.3 - Иллюстрация к примеру расчета ППЭ от антенны ТА-204

Точка H_1 расположена в направлении в сторону города на близлежащее здание, которое располагается в 500 метрах от телевышки. Разность ее высоты и основания вышки составляет - 2 м.

Исходные данные:

- мощность, излучаемая антенной: P = 25Вт (работает 1 ствол, КПД АФТ считается равным 1);
- длина волны: $\lambda = 0{,}13$ м ($f = 2{,}1 \div 2{,}3$) ГГц
- диаметр антенны d = 3 м;

- КНД антенны ПА-3 D_o= 44,0 дБ;

Расчет ППЭ в точке H_1

Находится расстояние R_m- ”центр апертуры” - точка M_1 и угол Θ_m:

$$R_m = ((H_a - H_т)^2+\rho_m)^{1/2} = ((180 - 2)^2 + 500^2)^{1/2} = 531 \text{ м};$$

Угол между направлением наибольшего излучения и направлением линии “центр апертуры - точка М” :

$$\Theta_м = \arccos\{[\rho_m \cdot \cos\varphi \cdot \cos\alpha - (H_a - H_т) \cdot \sin\alpha] / R_m\}$$

При $\varphi = 0$ (азимут) и $\alpha = 0$ (угол места):

$$\Theta_m = \arccos\rho_m/R_m = \arccos 500/531 = 21{,}4°$$

Находится граничное расстояние R:

$$R_{гр} = 2 \cdot d^2/\lambda = 2 \cdot 3^2/0{,}13 = 138{,}5 \text{ м}$$

Определяются обобщенные координаты x и u:

$$x = R_m /R_{гр} = 531/138{,}5 = 3{,}8$$

$$u = (\pi \cdot d \cdot \sin\Theta_m) /\lambda = (3{,}14 \cdot 3 \cdot \sin 21{,}4°) / 0{,}13 = 8{,}8$$

По таблице определяется функция

$$201gF(u,x) = -34 \text{ дБ}$$

По графику определяется функция

$$201g[B(x)/x] = 8 \text{ дБ}$$

Апертурная составляющая ППЭ:

$$П_a = 10 \cdot \lg(P \cdot \lambda^2/d^4)+10 \cdot \lg D_o+20 \cdot \lg[B(x)/x]+20 \cdot \lg F(u,x)+3$$

$$П_a = 10 \cdot \lg(0{,}13^2/3^4)+44+8-34+3 = - 15{,}8 \text{ дБ}$$

По графику /9/ определяем

$$D_{обл,дБ} = 10 \cdot \lg D_{обл} = 2{,}2 \text{ дБ}$$

Составляющая ППЭ облучателя:

$$П_{обл} = 10 \cdot \lg[P/(4 \cdot \pi \cdot R_m^2)]+10 \cdot \lg D_{обл}+10$$

$$П_{обл} = 101g[1 / (4 \cdot 3{,}14 \cdot 531^2)] + 2{,}2 +10 = - 53{,}3 \text{ дБ}$$

Суммарная ППЭ в точке M_1:

$$П = 10^{0,1Па} + 10^{0,1Побл} = 10^{-1,58} + 10^{-5,33} = 0,002631 \text{ мкВт/см}^2$$

Вывод: ППЭ в точке H_1 меньше ПДУ, равного 2,5мкВт/см^2.

Таким образом, санитарно-защитная зона на расстоянии 500 м, гарантирует соблюдение норм ПДУ, и никак не делает негативного воздействия на близстоящие населенные жилые местности.

Так как на рабочем месте находятся электроприборы с которыми оператор работает (компьютер, измерительные приборы и т. д.), нужно заземление, наконец в итоге расчета был рассчитан следующий заземлитель, который состоит из 11 вертикальных стержней из стали длиной 2,5 м с диаметром 0,01 м, находящихся друг от друга на расстоянии 5 м и стального горизонтального электрода протяженностью 52,5 м, заглубленных в землю на 2м. Общее сопротивление грунтового заземлителя 3,7 Ом, что обеспечивает сохранность работы на оборудовании.

Также был произведён расчет безопасной зоны от электромагнитного излучения. Таким образом, санитарно-защитная зона на расстоянии 500 м, гарантирует соблюдение норм ПДУ, и не оказывает неблагоприятного воздействия на близстоящие населенные жилые местности.

Заключение

В дипломном проекте были рассмотрены структурные схемы организации сетей MMDS, произведен анализ архитектур и протокольных реализаций. Данная сеть способна предоставлять как доступ к сети Интернет, так и передачу данных и ТВ программ.

На основании результатов измерений были приняты возможные решения по созданию сети. Было выявлено, что планирование и организация MMDS сложный и дорогостоящий процесс с точки зрения как материальных, так и физических затрат, но хорошо спланированная и организованная сеть, в будущем, способна покрыть эти затраты. Следовательно, при постоянно растущем количестве абонентов, а также их потребностей периодически необходимо повторять процесс планирования. Демонстрируется этот факт в расчетной части.

Исходя из расчетов самой сети, а также и экономических расчетов прихожу к выводу, что данная сеть является не только революционной в Казахстане с точки зрения технологии, но и с точки зрения экономики и видов предоставления услуг.

Расчет экономической части показал, что проектирование данной системы будет выгодным, так как полученный срок окупаемости получился меньше нормативного.

По части безопасности жизнедеятельности, данная система удовлетворяет санитарным нормам, и поэтому будет безопасна для жизни, как для рабочего персонала, так и для людей живущих рядом.

Список литературы

1 А. В. Смирнов, А. Е. Пескин. «Цифровое телевидение от теории к практике». - Москва: Горячая линия- Телеком, 2005.-38с.

2 А. В. Смирнов. «Цифровое телевидение». - Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. - 56с.

3 Волков С. В. «Сети кабельного телевидения».- Москва: Горячая линия-Телеком, 2009.-142с.

4 Птачек М. «Цифровое телевидение: Теория и техника» / Пер. с чеш. Под ред. Л. С. Виленчика.- Москва: Радио и Связь, 2008-94с.

5 Локшин Б. А. «Цифровое вещание: от студии к телезрителю»- Москва: Компания Сайрус Системс, 2007.-73с.

6 Мамаев Н. С., Мамаев Ю. Н., Теряев Б. Г. «Цифровое телевидение»/ Под ред. Н. С. Мамаева.- Москва: Горячая линия-Телеком, 2006.-112с.

7 Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга. Л., «Энергия», 2007.-79с.

8 Нисис М.Н. Справочник по технике безопасности. – Киев: Будівельник, 2006-12с.

9 Охрана труда на предприятиях связи. /Под ред. Баклашова Н.И. – М.: Радио и связь.-2005. 124с.

10 Охрана труда в радио- и электронной промышленности. / Под ред. Павлова С.П. – М.: Радио и связь, 1985.-38с.

11 Организация и планирование производства. Управление предприятием: методические указания к экономической части дипломных проектов для специальностей 3803; АИЭС А- ты 2004.-117с.

12 Срапионов О.С. Экономика связи. – М.: Радио и связь, 2005.-254с.

13 Правила кредитной системы обучения и организациях образования, дающих высшее профессиональное образования (утвержденные приказом МОиН РК № 753 от 9.12.2005г.).

14 http://www.ducat.kz/?lan=ru&id=50

15 http://www.esalmaty.kz/index.php/ru/rates-and-services/tariff-plans

16 http://www.teleset.ru/oborud/mmdspr.htm

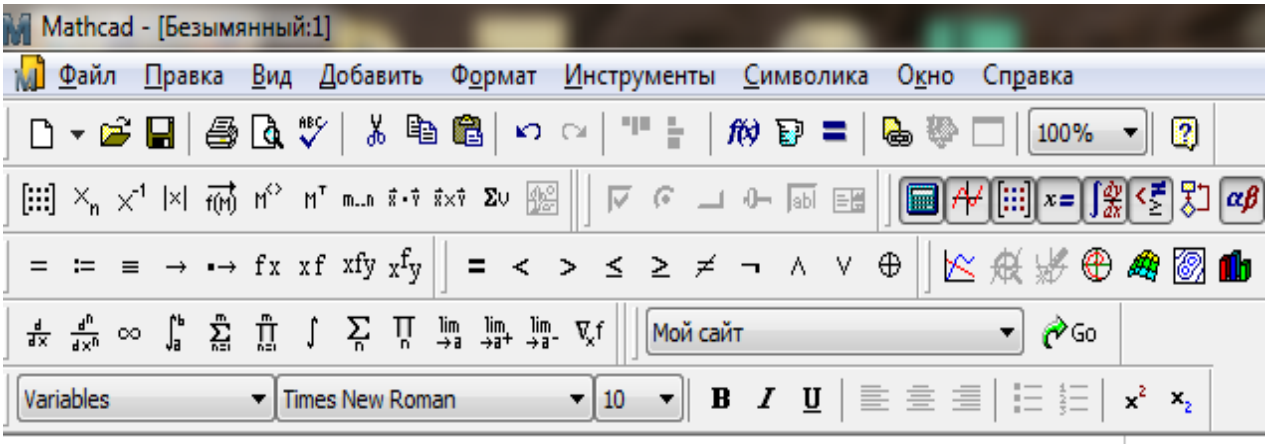
17 http://telecom.kz/services/packages/view/universal-number

18 http://www.betatvcom.dn.ua/

19 Положение ТОО «Алма ТВ» от 01.01.2015. URL: http://www.almatv.kz/otkritoe_polozhenie (дата обращения 01.06.2016)

20 https://www.almatv.kz/internet_tv/?city=42

Приложение А
Расчет технической части в среде Mathcad 13



$$k := 1.38 \cdot 10^{-23}$$

$$Tr := 2065.6$$

$$f := 54 \cdot 10^{6}$$

$$b := 1.32$$

$$A := 31.6$$

$$Gprd := 79.43$$

$$Gdrm := 1.587 \cdot 10^{6}$$

$$\eta prd := 1.23$$

$$\eta prm := 1.23$$

$$\eta prdks := \frac{Loi \cdot Ldop \cdot k \cdot Tr \cdot f \cdot b \cdot A}{Gprd \cdot Gdrm \cdot \eta prd \cdot \eta prm}$$

$$\boxed{\eta prdks = 54.794}$$

Рисунок А.1 - Расчет мощности передатчика КС

Приложение Б
Расчет технической части в среде Mathcad 13

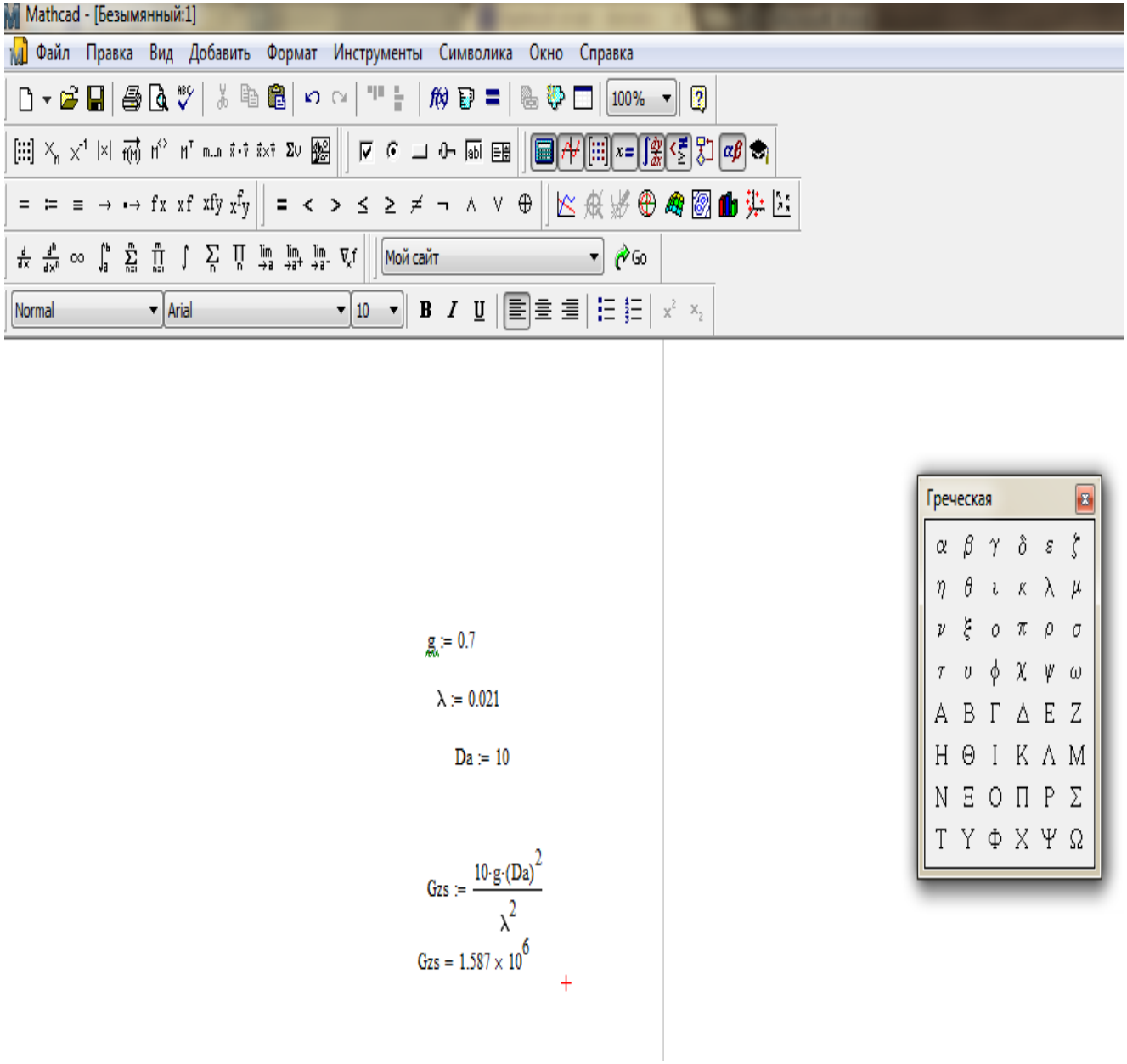


Рисунок Б.1 - Коэффициент усиления антенны ЗС

Приложение В
Зона покрытия спутника ИСЗ NSS-703

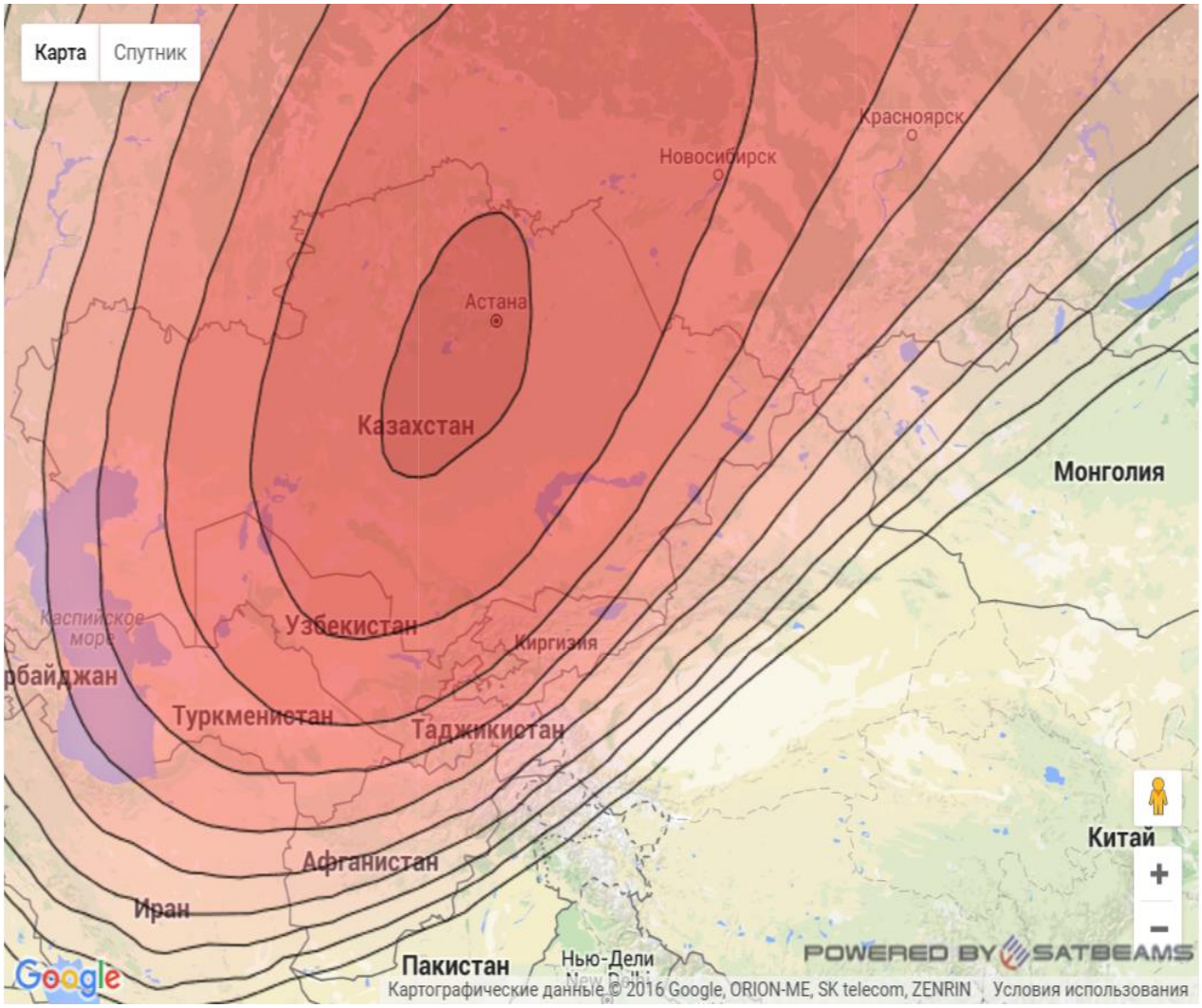


Рисунок В.1 - Зона покрытия ИСЗ NSS-703 использована в Интернет ресурсе Google Map