МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой _____
_____
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20__ г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Разработка сети связи стандарта TETRA для ТОО "Жер-Су" в поселке Бахтобат Алматинской области

Специальность Радиотехника, электроника, телекоммуникации
5В071900

Выполнил (а) Сунгунбаева Э.А. МТС-10-4
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Сарженко Л.И. ст. пр-ль
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:
Баканова Г.Ш. - доцент каф ДОиУП
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «29» 05 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Джасбаев С.Б. док-р техн наук, профф.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «29» мая 2014 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
ст. преподаватель Артюхин Д.В.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «29» мая 2014 г.
(подпись)

_____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20__ г.
(подпись)

Нормоконтролер: ст. преподав. ТКС Кондратьева А.А.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «4» 06 2014 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20__ г.
(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехники и связи
Специальность Радиотехника, электроника, телекоммуникации
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студент Сыроидукова Римма Александровна
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта "Разработка сети связи стандарта TETRA для ТОО "Керу" в поселке Бахтыбай Алматинской области"

утверждена приказом ректора № 115 от «24» сентября 2013 г.
Срок сдачи законченной работы «25» мая 2014 г.
Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта
БС: мощность передатчика 44 дБ, чувствительность приемника -119 дБ, коэффициент усиления передающей антенны - 9 дБи, коэффициент усиления принимающей антенны 0 дБи
МС: мощность передатчика 34 дБ, чувствительность приемника -110 дБ, коэффициент усиления передающей антенны 2 дБи, коэффициент усиления принимающей - 0
Предмет результата исследования - радиус зоны покрытия сети = 35 км
Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:
Общая характеристика стандарта TETRA; архитектура сети; описание разновидностей TETRA; выбор модуляции; предоставление услуги связи. В технической части необходимо произвести расчет радиуса зоны покрытия базовой станции, максимально возможного расстояния удаления от БС в режиме прямой связи. Расчет пропускной способности. Анализ зависимости количества одновременно говорящих абонентов от вероятности блокировки вызовов. Проанализировать срок окупаемости проекта. Оценка экономической эффективности проекта. Рассчитать молниезащиту антенной системы. Расчет защитного заземления БС в стандарте TETRA. Выводы.

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Общая характеристика стандарта TETRA	01.10.13 - 01.11.13	Выполнено
2	Архитектура сети, описание радиоинтерфейса, обзор модуляции	01.11.13 - 20.11.13	Выполнено
3	Процедуры соединения и предоставления услуги связи	25.11.13 - 25.12.13	Выполнено
4	Выбор оборудования базовой станции	04.01.14 - 22.01.14	Выполнено
5	Расчет дальности связи БС "Сунжа", "Кассим", "Ряда"	03.03.14 - 15.03.14	Выполнено
6	Расчет дальности связи МС в режиме прямой связи	15.03.14 - 19.03.14	Выполнено
7	Расчет пропускн. УРРЛ	19.03.14 - 10.05.14	Выполнено
8	Расчет емкости сети	10.05.14 - 15.05.14	Выполнено
9	Безопасность жизнедеятельности	21.04.14 - 22.05.14	Выполнено
10	Экономическая часть. Оценка эффективности проекта	12.05.14 - 29.05.14	Выполнено
11	Расчет срока окупаемости проекта	29.05.14 - 31.05.14	Выполнено
12	Заключение	31.05.14 - 02.06.14	Выполнено
13	Список использованной литературы	02.06.14 - 03.06.14	Выполнено
14	Аннотация	03.06.14 - 06.06.14	Выполнено

Дата выдачи задания «1» октября 2013 г.

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

Руководитель _____ Сарнаева Л.И.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ Сулонгуева Р.Ф.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Структура сети стандарта TETRA; Модели иерархии системы мобильной TETRA; временная структура сигнала; основные виды вызовов; упрощенная схема модулятора π/4 - DQPSK; структурная схема приемника и приемной части сверхкадра; структура канала; кодирование в стандарте TETRA; процедуры индивидуального вызова; процедуры группового вызова; расположение базовых станций, дизайн базовой станции; стационарные радиостанции; мобильные радиостанции; место расположения базовых установок; правила для служебных неправильно пользующихся телефонов; правила для служебных неправильно пользующихся в направлениях бесконечных вызовов; зоны обслуживания базовой станции; радиус приема ЦОРЛ; радиус зависимости трафика от территории; беспроводные базовые; зоны защиты сотового радиосвязного комплекса с разными диаграммами зон расхода.

Рекомендуемая основная литература

Уваров А.А. "Стандарты и системы подвижной радиосвязи", под ред. Обуховского А.Д., Воробьев С.В., Сорвев С.Н. - "Открытые стандарты цифровой транкинговой связи", 2000г.; Гостишев В.А. "Мобильная связь", Чернышов С.В. "Подвижная радиотелефонная связь", 2001г. Рантер Л.Х. "Радиотехника связи и вещания" Справочник, 1997; Мордухович Г.Е. "Основы радиосвязи", 1989; Голиков А.А. "Цифровые радиосвязи", 1994; Резникова Н.Е. "Вопросы в телекоммуникациях", 2008.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Тепловая часть	Сергеенко Л.И.	3.03 - 25.05.14	
БТ	Артюхин А.В.	12.05 - 25.05.14	
БЖД	Киселев М.К.	21.04 - 22.05.14	
Экономическая часть	Боканова Г.Ш.	12.05 - 29.05.14	

Аннотация

Дипломный проект выполнен на тему «Разработка сети связи стандарта TETRA для ТОО «ЖерСу» в поселке Бахтыбай Алматинской области». Целью дипломного проекта является проектирование сети цифрового стандарта транкинговой связи TETRA для предприятия ТОО «Жер-Су». Основными задачами стали: рассчитать основные параметры сети (радиус зоны покрытия, емкость сети, пролет ЦРРЛ), выбрать оптимальную аппаратуру в соответствии с потребностями предприятия, проанализировать полученные данные и сделать выводы о возможности внедрения сети связи выбранного стандарта.

Аңдатпа

Диплодық жоба «Алматы обылысы Бақтыбай ауылындағы «Жерсу» ЖШС үшін TETRA стандартының байланыс желісін өндіру» тақырыбыны жасалған. Дипломдық жобаның мақсаты – «Жерсу» ЖШС өндірісі үшін TETRA транкингті байланыстың сандыз стандарт желісін жобалау болып табылады. Негізгі тапсырмалары болып желінің негізгі параметрлерін есептеу, аумақты қамту радиусы, желінің сыйымдылығы, өндірістің қажеттілігіне сәйкес дұрыс құрылғыны таңдау, алынған мәліметтерді талдау және таңдалған стандарттың өндірудегі мүмкіншіліктерін қорытындылау.

Abstract

Thesis project was carried out on "Development of a TETRA network for LLP "Zhersu" in the village Bakhtybayev Almaty region". The purpose of the graduation project is to design a network of digital trunked TETRA standard for enterprise LLP "Zhersu". The main objectives are: to calculate the basic network parameters (radius of coverage , network capacity , span DRRL) , select the optimal equipment in accordance with the needs of businesses, analyze the data and draw conclusions about the possibility of the introduction of the selected standard .

Содержание

1Теоретическая часть 9
1.1 Общая характеристика стандарта TETRA 9
1.2 Архитектура сети 10
1.2.1 Состав оборудования сети 10
1.2.2 Топология сетей 11
1.3 Описание радиоинтерфейса TETRA 12
1.3.1 Модель протокола системы 12
1.3.2 Принципы организации физических и логических каналов 14
1.3.3 Временная структура физического канала 14
1.3.4 Временная синхронизация дуплексных пар каналов 15
1.3.5 Временная структура пакета 16
1.4 Выбор модуляции 16
1.5 Кодирование и декодирование 19
1.5.1 Кодирование и декодирование речевого сигнала по алгоритму CELP 19
1.5.2 Канальное кодирование 20
1.6 Шифрование и защита информации 21
1.7 Процедуры соединения 22
1.7.1 Индивидуальный вызов 22
1.7.2 Групповой вызов 23
1.8 Предоставляемые услуги связи 24
1.8.1 Сетевые процедуры 24
1.8.2 Специализированные услуги 25
2 Техническая часть 26
2.1 Расположение элементов сети 26
2.2 Выбор оборудования 26
2.2.1 Описание оборудования 26
2.2.2 Базовая станция DAMM Tetra Flex 27
2.2.3 Стационарная радиостанция Motorola MTM800 Enh 28
2.2.4 Мобильная радиостанция Motorola MTP3200 29
2.3 Определение зоны покрытия всенаправленной антенны БС с помощью моделей предсказания, учет потерь при распространении радиоволн 30
2.4 Расчет зоны радиуса покрытия по модели Окомура и Хата 35
2.5 Расчет зоны радиуса покрытия мобильной станции в режиме прямой связи (DMO) по модели Окомура и Хата 38
2.6 Расчет пролета ЦРРЛ 42
2.6.1Построение продольного профиля пролета 42
2.6.2 Выбор оптимальных высот подвеса антенн 42
2.6.3 Расчет запаса на замирание 43
2.6.4 Расчет времени ухудшения связи из-за дождя 43
2.6.5 Расчет времени ухудшения связи, вызванного субрефракцией радиоволн 45

2.6.6 Проверка норм на неготовность 46
2.6.7 Расчет времени ухудшения радиосвязи из-за многолучевого распространения 47
2.6.8 Проверка норм на допустимое время ухудшения связи из-за многолучевого распространения радиоволн 48
2.7 Анализ зависимости количества одновременно говорящих абонентов от вероятности блокировки вызовов 49
3 Безопасность жизнедеятельности 53
3.1 Анализ потенциально опасных и вредных факторов, воздействующих на обслуживающий персонал при монтаже и эксплуатации проектируемой базовой станции 53
3.2 Расчет молниезащиты антенной системы 53
3.3 Расчет защитного заземления базовой станции стандарта TETRA 56
3.4 Выводы по проведенным расчетам 59
4 Экономическая часть 60
4.1 Компания и отрасль 60
4.2 Описание продукции (услуги) 60
4.3 Анализ рынка сбыта. Изучение рынка услуг 60
4.4 Менеджмент 61
4.5 Финансовый план 61
4.5.1 Расчет капитальных затрат 61
4.5.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат 62
4.5.3 Затраты на аренду частотного диапазона 62
4.5.4 Амортизационные отчисления 63
4.5.5 Расчет материальных затрат 63
4.5.6 Расчет условной прибыли 65
4.5.7 Расчет показателей эффективности инвестиций 67
4.5.8 Оценка результата 69
Заключение 71
Список использованной литературы 72
Приложение А 73
Приложение Б 75
Приложение В 76
Приложение Г 77

Введение

Стандарт цифровой транкинговой связи TETRA – это комплексный метод решения проблемы построения сети связи в различных условиях. Дипломный проект рассматривает возможность использования системы стандарта TETRA как средства связи между группами абонентов, постоянно меняющих место своего расположения. Выбранный стандарт связи предусматривает как режим транкинговой связи, так и режим прямой связи, когда абоненты находятся вне зоны обслуживания базовой станции. Все это идеально подходит для ТОО «Жерсу», занимающемуся бурением водяных скважин в различных регионах республики и ближнего зарубежья.

Стандарт TETRA чаще всего используют те предприятия, где требуется организовать качественную связь быстрого проектирования, с возможностью групповой связи определенной группы абонентов и низкой вероятностью прослушивания радиоканала.

Благодаря принципу повторного использования частот, стандарт отличается большой емкостью сети, а также относительной дешевизной, как следствие снижаются эксплуатационные затраты на использование сети. Это дает возможность не только быть единственным пользователем, но сдавать в аренду каналы связи, что является одним из видов дохода.

Стандарт предполагает передачу как речи, так и данных. Отличается высокой скоростью установления вызова, низкой вероятность отказов, обеспечивает многоуровневую приоритезацию вызовов и высокой пропускной способностью системы.

Так как основная деятельность предприятия заключается в бурении водяных скважин с использованием специализированной техники, качество связи, а именно разборчивость речи в таких помеховых обстановках является немаловажным аспектом для рассмотрения.

Высокая скорость соединения гарантирует моментальное реагирование спасательных служб в случае возникновения аварий или черезвычайных происшествий, повышает безопасность технологического процесса и экономическую эффективность предприятия.

1. Теоретическая часть

1.1 Общая характеристика стандарта TETRA

Стандарт цифровой транкинговой радиосвязи TETRA разработан Европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI (European Telecommunications Standards Institute) в качестве единого цифрового стандарта для всего европейского пространства. Это явилось причиной того, что до 1997 года аббревиатура TETRA расшифровывалась как Трансевропейское транкинговое радио (Tran-European Trunked Radio). Но так как стандарт распространился по всему миру, было принято решение переименовать его в Наземное транкинговое радио (TErreestrial Trunked Radio).

TETRA разработан на технической основе стандарта GSM и направлен на организацию систем связи, которые более рационально решали задачу обмена информацией между группами абонентов с обеспечением многоуровневой расстановки вызовов по значимости и ее защищенности [1].

TETRA отличается сравнительно лучшим качеством передачи речи, высокой скоростью установки соединения, а также более экономичным использованием частотного ресурса. Стандарт дает возможность увеличить гибкость во внедрении профессиональных подвижных персональных системах радиосвязи. Кроме того, TETRA включает возможность совмещения услуги передачи данных и пейджинг, хотя до внедрения стандарта такой набор услуг предоставлялся разными операторами. Это может привлечь оконечного пользователя и создает экономическую выгоду для создателей сетей. Это спецификации TETRA V+D = "Voice and Data", а также TETRA PDO = "Packet Data Optimized". В режиме одновременной передачи речи и данных TETRA может взаимодействовать с системами GSM, получая коммутируемый канал передачи данных.

Система стандарта TETRA предполагает функционирование в нескольких режимах:

- транкинговой связи;
- с открытым каналом;
- непосредственной связи.

В режиме транкинговой связи предполагается, что территория обслуживания системы будет перекрываться зонами действия БС. Стандарт TETRA дает возможность внедрить системы с различными видами частотных каналов управления. При работе сети связи с выделенным каналом управления БС дают абонентам множество частотных каналов, один из которых — канал управления, который предназначен для обмена служебной информацией. При работе сети с распределенным каналом управления служебная информация передается либо в специально выделенном временном канале, либо в контрольном кадре мультикадра.

В режиме с открытым каналом несколько абонентов могут создавать соединение “один пункт — несколько пунктов” без установочной процедуры.

Чтобы использовать этот канал, необходимо лишь присоединиться к группе. В режиме с открытым каналом радиостанции работают в двухчастотном симплексе.

Среди дополнительных услуг систем TETRA есть режим прямого вызова (Direct mode), который основан на том, что пользователи сети имеют возможность коммуницировать друг с другом без участия базовой станции, то есть за пределами ее радиуса обслуживания. Такой режим вызова создает преимущество сетям стандарта TETRA перед другими сетями мобильного пользования, например, по сравнению с сотовыми системами связи, которые не располагают широким покрытием, особенно в местностях со сложным рельефом и отсутствием покрытия сети.

Также особенностями, или можно сказать достоинствами стандарта являются: иерархия приоритетов (а именно принудительное завершение соединения пользователей с низшим уровнем иерархии), высокая скорость соединения (менее 300 мс), помехоустойчивое кодирование и несколько этажей секретности. Засекречивание осуществляется как при помощи внешней аппаратуры, так и в радиоканале (кодирование). Помимо этого при соединении возможно определение принадлежности абонента к какой-либо сети.

Благодаря широким возможностям передачи данных существует возможность включать в интерфейс пользователей разные виды оборудования: ПК, устройства PDA (цифровые ассистенты), факсы, принтеры и т.д. Стандарт TETRA является полностью совместимым с другими сетями.

1.2 Архитектура сети

1.2.1 Состав оборудования сети

В состав оборудования сетей связи стандарта TETRA входят следующие основные элементы.

Базовая приемопередающая станция - это тот элемент сети, который предоставляет связь в определенной зоне. Базовая станция (БС) отвечает за основные операции установления соединения, а именно соединение с мобильными станциями (МС), управление каналами связи, координацию пространственно-разнесенного приема.

Устройство управления базовой станцией – элемент сети с возможностями управления несколькими БС. Также обеспечивает выход к внешним ресурсам, и используется для подключения диспетчерского оборудования.

Диспетчерский пульт – это устройство, которое подключается к контроллеру БС и обеспечивает связь между диспетчером и абонентами. В основном используется для создания групп пользователей и т.п.

Мобильная станция (МС) – это радиостанция, которой пользуются подвижные абоненты.

Стационарная радиостанция – радиостанция, используемая абонентом в определенном месте;

Терминал технического обслуживания и эксплуатации – терминал, который подключается к устройству управления базовой станцией и служит для наблюдения за работой системы, проведения устранения неполадок, биллинга, корректировки информации о последнем расположении абонентов и т.п. Благодаря этому элементу системы, есть возможность управления локальной сетью LNM (Local Network Management).

1.2.2 Топология сетей

Благодаря блочному принципу работы элементов сети, абсолютно все сети связи стандарта TETRA могут быть построены с разными условиями значимости и различной локализацией. Право на управление базой данных и коммутации дается всем решающим элементам сети, что дробит сеть на подсети и дает быструю организацию связи и закрепление за элементами сети приоритета управления даже при сбоях в системе. Каждое ответвление сети TETRA осуществляет определенные функции управления и коммутации, а также осуществляет взаимодействие с сетями более высокого назначения. Структура подсети зависит от количества абонентов, количества каналов связи и количества одновременно говорящих абонентов. При различных требованиях к скорости установки соединения применяется различная конфигурация организации сети. Когда нет необходимости занимать заранее каналы, тогда можно построить сеть и подсеть по конфигурации звезды. В случае задействования линейных трактов подсеть TETRA строят как длинную цепь. Тогда каждый блок аппаратного оборудования управления базовой станцией контроллера БС вместе с существующим радиусом действия сети обеспечивает полный доступ к внешним ресурсам.

В сетях связи стандарта TETRA существуют различные возможности борьбы с отказами, которые срабатывают, когда случается сбой в работе сети, и как следствие элемент сети сохраняет прерогативу к работе и функционированию. Нередко при таких обстоятельствах случается снижение времени установления соединения. Для крупномасштабных сетей применяют различные взаимозаменяемые способы соединения сетей менее масштабного уровня. В менее масштабных сетях подобные взаимозаменяемые способы применяют для соединения контроллеров базовых станций. Кроме этого, для менее крупномасштабных сетей допускается возможность обмена информацией об абонентах между контроллерами базовых станций.

Структура сети стандарта TETRA представлена на рисунке 1.1.

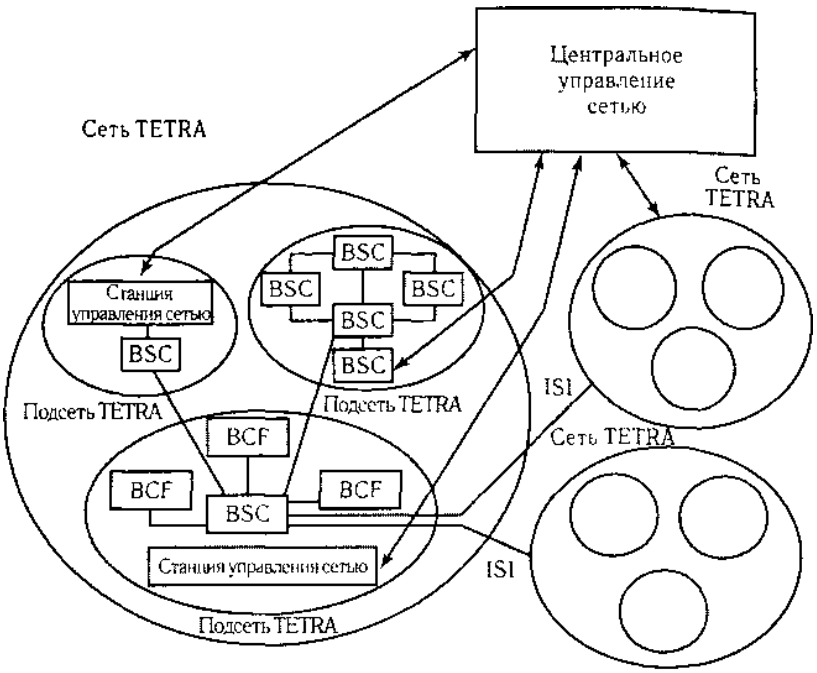


Рисунок 1.1 – Структура сети стандарта TETRA

1.3 Описание радиоинтерфейса TETRA

1.3.1 Модель протокола системы

Устройство радиоинтерфейса в стандарте TETRA основано на модели, сравнивающей различные функции и процессы с разними уровнями протокола системы, который состоит из протоколов согласования мобильных, базовых и диспетчерских станций.

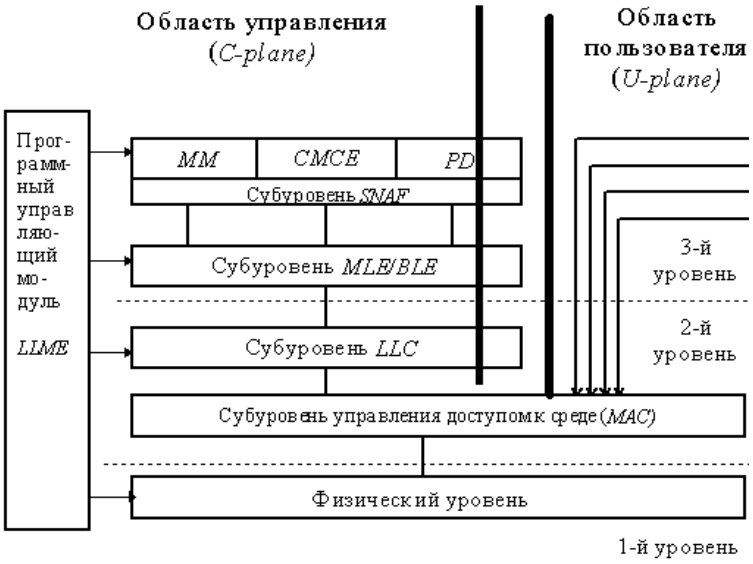


Рисунок 1.2 – Модель иерархии системного протокола TETRA

Системный протокол TETRA состоит из трех уровней (см. рисунок 1.2):

1 физический уровень;

2 канальный уровень;

3 сетевой уровень.

Во втором уровне появляются такие области уровня, как пользовательская область (U-plane) и пользовательская область (C-plane). Пользовательская область U-plane предназначена для переноса информационных данных и не располагает возможностью маршрутизировать эти данные. Пользовательская область C-plane отвечает за перевод сообщений управления с дальнейшей их маршрутизацией благодаря управляющему программному модулю LLME.

Рассмотрим подробнее каждый из уровней.

Физический уровень по расположению самый нижний, он служит для обработки физических пакетов, которые в свою очередь состоят из определенного числа битов. Все, что связано с радиоканалом, относится к функциям физического уровня. Такие процессы, как модуляция, переключение режимов, установление частоты, синхронизация физического пакета, взаимодействие с ресурсами канального уровня, шифрование, установка интервального флага кодирования осуществляются в физическом уровне. Границы физического пакета и его тактовая синхронизация являются результатом анализа битов и последовательности символов. Чтобы совершить тактовую синхронизацию, необходимо ввести специальную тестовую последовательность в физический пакет, которые полезны тем, что абсолютно безошибочно определят принятые символы.

Канальный уровень отвечает за взаимодействие логических элементов сети, а также разделяет по функциональному назначению ресурсы радиоинтерфейса и процедуры системы. Как уже было сказано выше, канальный уровень включает в себя два подуровня:

– MAC (Medium Access Control) – координирование доступа к среде;

– LLC (Logical Link Control) – регулирование логическим направлением.

Подуровень MAC участвует в осуществлении процессов канального кодирования, перемежения, сверточного кодирования и циклического кодирования, оценивает вероятность появления ошибки по битам и потерь на линии связи, присваивает канал связи, формирует мультикадр, участвует в мультиплексировании и демультиплексировании в присвоении канала связи, управляет адресами различного рода вызовов.

Подуровень LLC заведует логическим направлением, т. е. организует логические каналы типа конфигурации "точка-точка" между МС и БС. К его основным функциям можно отнести управление базовым и основным каналами, анализ передачи информации, рецидив передачи, деление и регенерация, установление прохождения данных, координация потока в предваряющем канале, а также координация присвоения логического звена.

Что касается назначения сетевого уровня, то они исходит из самого названия, то есть координация работы сетевых процедур. Его структура, в свою очередь, включает подуровни управления связью между МС и БС и наличие доступа к подсетям. Это означает, что под контролем связи между МС и БС подразумевается распознавание протокола, возникновение соединения между МС и БС одной группы, координация установления личности, возможность выбора способа предоставления услуг. Доступ к подсети дает возможность контролировать состояние мобильности абонентов, контроль пакетных данных. Все это обеспечивает возможность свободного выбора сети и зоны обслуживания, фиксирование абонента в той или иной системе, установление его подлинности и принадлежности к какой-либо базе данных предполагаемой БС, то есть идентификации.

1.3.2 Принципы организации физических и логических каналов

Описанная выше структура системы описывает конструкцию системных протоколов системы связи согласно иерархии. Результатом действия процедур сети 3-го уровня можно назвать сообщения о команде, о сигнале и об информации. Сообщения скоординированы по принципу выполняемых операций и отправляются в менее значимые уровни системы по каналам, организованным по логическому принципу. На нижних уровнях по принципу работы системы логические каналы перемещаются в физические каналы, осуществляющие транспортирование потока данных через данную среду.

Стандарт TETRA использует множественный доступ с частотным разделением, это подразумевает организацию до 4 независимых временных каналов на одной рабочей частоте. Это позволяет одновременно предавать данные по каналу и вести при этом разговор. Можно сделать вывод, что использование частот стандарта TETRA наилучшим образом согласовывается с нынешними узкополосными ЧМ-системами связи.

В пространственном разнесении по оси времени на каждом канале частоты располагаются 4 тайм-слота, являющиеся физическими каналами. Это означает, что цифровой стандарт TETRA по рациональности применения спектра частот в 4 раза превосходит узкополосные системы с TDMA доступом.

1.3.3 Временная структура физического канала

Систему TETRA запланировано было запускать в качестве перспективного предложения в целях международного использования. Это послужило следствием того, что он включил в себя передовые инновации в сфере телекоммуникаций. Включение различного рода сигналов в физический канал, а также разного рода приспособлений под обстановку реального времени в процедуры функционирования привели к тому, что система отличалась эффективностью соединения при воздействии различного рода. Это серьезным образом привел к усложненности сигнально строения. Далее детально описана своеобразность подхода к временной структуре самого физического канала (см. рисунок 1.3)

Структура передаваемого кадра, который длится 56,67 мс, состоящего из 4-х временного интервалов на кадр TDMA [4]. Сообщение передается с помощью мультикадров. В мультикадре заключены восемнадцать кадров TDMA, среди них есть кадр, используемый чтобы передать управляющий (контрольный) сигнал. В свою очередь 60 мультикадров объединяются в гиперкадр.

Мультикадра длится 1.02 с. Длительность тайм-слотов составляет 14.67 мс, где помещены 510 информационных битов, из которых 432 отводятся на информационное сообщение (два блока по 216 бит). Синхропоследовательность SYNCH является серединой в каждом временном интервале. Она служит для того, чтобы синхронизировать временной пакет.

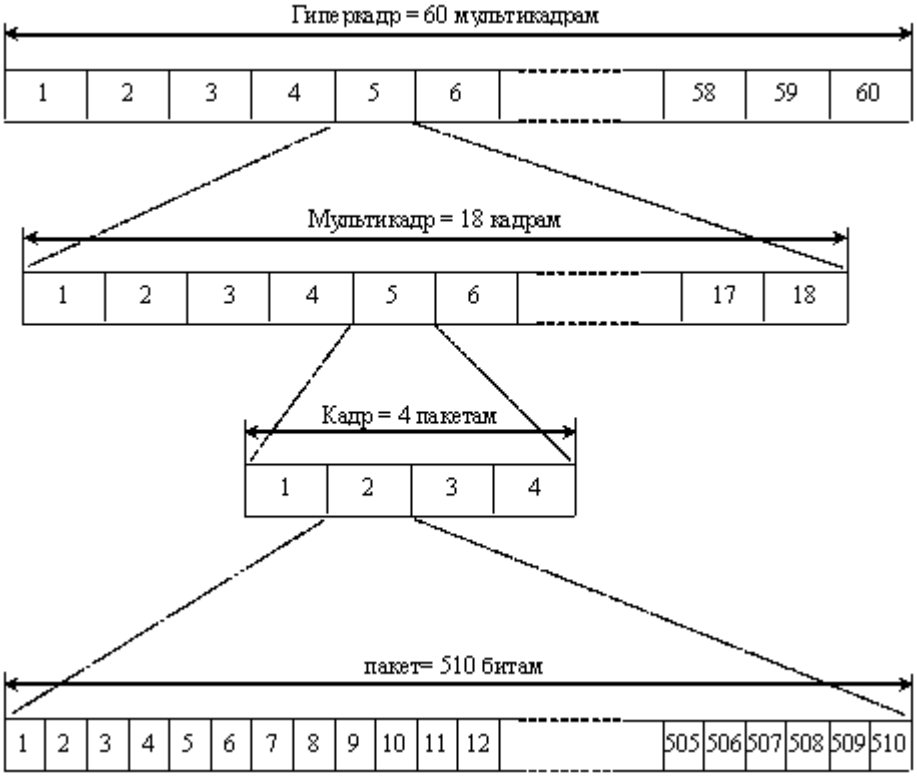


Рисунок 1.3 – Временная структура сигнала на одном частотном канале

1.3.4 Временная синхронизация дуплексных пар каналов

При организации связи между БС и МС, используя стандарт TETRA, существует отвод дуплексной пары частот. Благодаря тому, что для этого применяется уплотнение по времени до четырех суверенных каналов связи, в уровень смежных помех снижается и вводится частое уравновешивание пакетов МС относительно пакетов БС. Также происходит задержка пакетов МС от пакетов БС на 2 кадровых местоположения. Структура размещения пакетов в направлениях сверху вниз и снизу вверх изображено на рисунке 1.4.

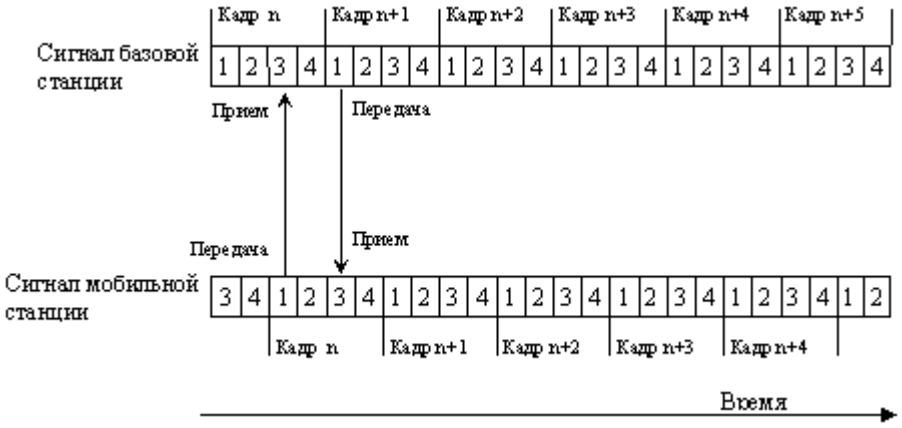


Рисунок 1.4 – Размещение пакетов в направлениях сверху вниз и снизу вверх

1.3.5 Временная структура пакета

Рисунок 1.5 демонстрирует основные виды пакетов. Первый из пакетов осуществляет трансмиссию сигналов управления снизу вверх, второй – это синтез сигналов сигнализации и управления от БС к МС и обратно в обоих направлениях. Абсолютно все пакеты имеют функцию выделения информационного поля, которая напрямую имеет отношение к назначению пакета.

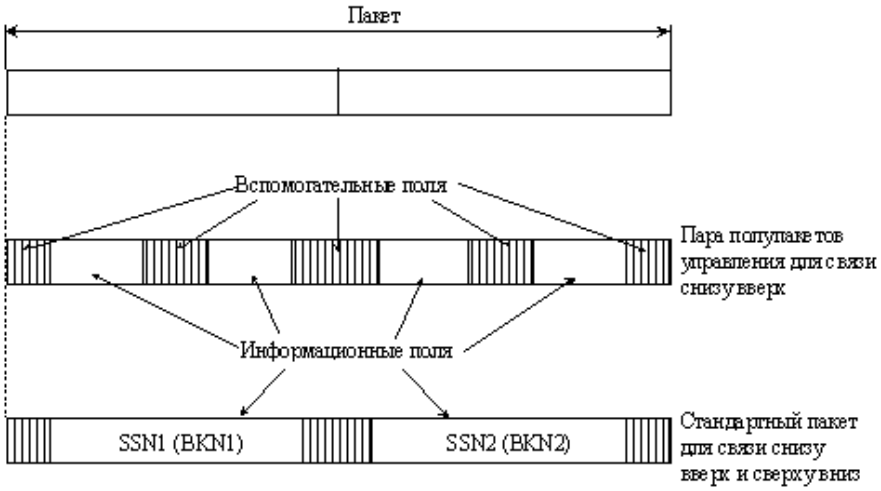


Рисунок 1.5 – Основные виды пакетов

1.4 Выбор модуляции

Для того, чтобы передать радиосигнал по каналу связи в стандарте TETRA принято выбирать за используемый тип модуляции дифференциальную квадратурную фазовую модуляцию со сдвигом π/4 (π/4-DQPSK Differential Quadrature Phase Shift Keying) [7]. Это объясняется тем, что это вид модуляции дает возможность создания сжатого спектра

радиосигнала с относительно небольшим показателем внеполосных излучений при сравнительно скоростной передаче данных и крепкой устойчивости к помехам.

Итоговая скорость полученного в процессе аналогово-цифрового преобразования, процессе кодирования и перемежения, и генерирования пакетов данных равна 36 кбит/с.

В системах стандарта TETRA используется π/4-DQPSK модуляция (см. рисунок 1.6), она дает возможность уменьшить скорость передачи потока информации с 36 кбит/с до 18 кбит/с. Такой результат достигается благодаря тому, что π/4-DQPSK модуляция применяет в системных процессах алфавит, состоящий из 4-х символов {- π/4; π/4; -3π/4; 3π/4}, где этим символам присваивается 2 информационных бита (00, 01, 10, 11), передаваемых в общем потоке со скоростью 36 кбит/с. [5]

Основные достоинства модуляции вида π/4 -DQPSK выглядят следующим образом:

– спектральная эффективность радиоканала растет благодаря тому, что в качестве одного символа выступают два инфо бита;

– при передаче информационных сообщений при изменении фазы несущей не требуется при приеме оценки фазы сигнала, благодаря чему есть возможность использовать простые схемы демодуляторов на приеме;

– передача сообщений в радиоканале осуществляется с постоянной огибающей.

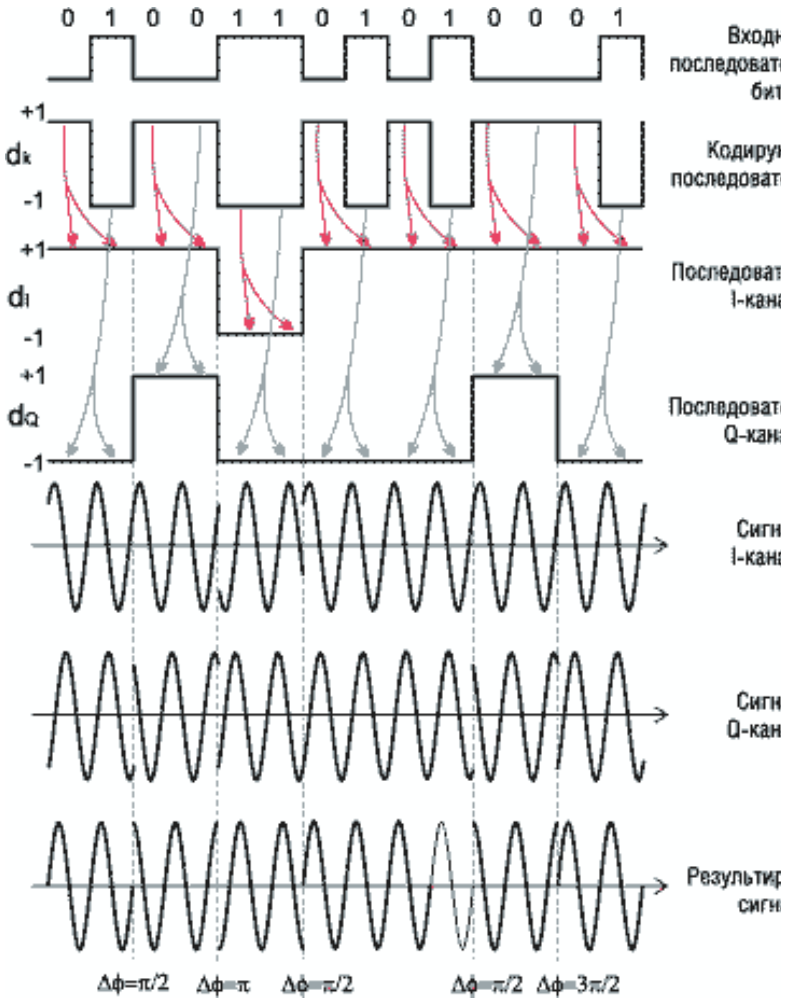


Рисунок 1.6 - Квадратурная фазовая модуляция QPSK

Сигнал формируется пошагово, в несколько уровней. При первой операции биты цифрового сигнала, которые поступают на вход модулятора, объединяются попарно в дибиты. Каждому i-му дибиту в дешифраторе ставится в соответствие приращение фазового угла $\Delta\varphi_i$. Зависимость между дибитом и приращением фазового угла приведена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Зависимость между дибитом и приращением фазового угла

Дибит	I_k	Q_k	Приращение фазового угла ($\Delta\varphi_i$)
00	0	0	$+\pi/4$
01	0	1	$+3\pi/4$
10	1	0	$-\pi/4$
11	1	1	$-3\pi/4$

После приращения фазового узла в сумматоре, который включает в себя линию задержки на длительность дибита и сумматор, осуществляется суммирование ротаций фазы, в следствие чего рождается фаза сигнала φ_i. В итоге сигнал выглядит как последовательность дельта-функций с лимитированным набором нормирований амплитуды: 0, $\pm 1/\sqrt{2}$, ± 1. Импульсный сигнал приходит на ФНЧ-формирователи, которые взяты, чтобы сформировать спектр сигнала и конкретную форму его комплексную огибающую.

Для четкого формирования квадратурных колебаний несущей служат генератор и фазовращатель. $\pi/4$ -DQPSK сигнал формируется, когда квадратурные компоненты попарно преумножатся и просуммируются

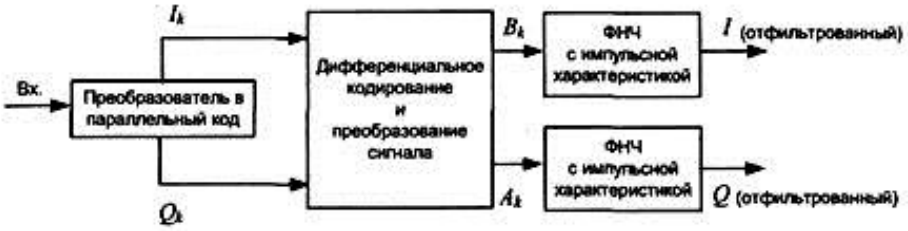


Рисунок 1.7 – Упрощенная схема модулятора $\pi/4$-DQPSK

1.5 Кодирование и декодирование

1.5.1 Кодирование и декодирование речевого сигнала по алгоритму CELP

Стандарт TETRA использует кодер с линейным предсказанием и многоимпульсным возбуждением от кода – CELP (Code Excited Linear Prediction). Этот способ кодирования основан на методе линейного предсказания с многоимпульсным кодовым возбуждением [6], дополненный определенными кодовыми книгами структуры алгебры.

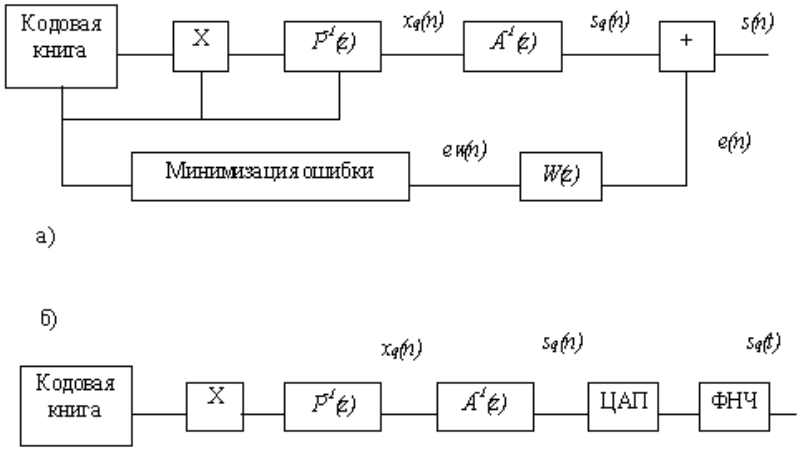


Рисунок 1.8 – Структурная схема передающей и приемной частей CELP-кодера

Алгоритм CELP выполняет векторное квантование x(p) (см. рисунок 1.8), т. е. место импульсов и их максимальных отклонений от нулевого значения в радиосигнале многоимпульсного возбуждения формируются вместе. Однако часть возбужденного сигнала выходит из ранее оптимизированного комплекса, который содержит в себе разные вариации.

Принцип работы ACELP-кодека, заключается в том, что он сжимает долю сигнала речи, который длится 30 мс (16 выборок * 8 кГц = 128 кбит/с) согласно ранее сформированной постоянной совокупности и генерирует кодированные речевые сигналы, передающиеся со скоростью речевого кодека — 4,567 кбит/с. Чтобы достичь требуемый уровень качества разговора, необходимо использовать методы прямой коррекции ошибок (Forward Error Correction, FEC) и циклического избыточного кодирования (Cyclic Redundancy Code, CRC). Приемная сторона в качестве декодера выполняет те же операции, только с точностью наоборот.

К полезным функциям кодека можно отнести:

– оценки важности элементов речи (Speech Importance Factor, SIF);
– установления комфортного уровня шума (Comfort Noise Function, CNF);
– заимствования кадров (Frame Stealing Function, FSF).

При оценке важности элемента речи проводится анализ для определения уровня ухудшения качества речи при его потере. После анализа кадр получает соответствующий уровень защиты (нулевой, т.е. низкий, средний или высокий) [7]. Функция установления комфортного уровня шума формирует особый кадр, который, как правило, используют для того, чтобы заменить некачественный кадр речи.

1.5.2 Канальное кодирование

Чтобы защитить от ошибок передаваемую информацию, в системах стандарта TETRA применяется канальное кодирование сигнала. Канальное кодирование реализуется благодаря введению избыточного потока информационных битов в передаваемую речь. В системах стандарта TETRA канальное кодирование осуществляется четырьмя процедурами (см. рисунок 1.9):

Блочное кодирование происходит тогда, когда информация на входе делится на части по m символов, преобразуемые в последствии по заданному алгоритму в p-символьные блоки, где p>m. Блочное кодирование служит для вычисления различного видов ошибок в канале связи, и иногда даже для их исправления.

Сверточное кодирование предназначена для борьбы с одиночными ошибками, учитывая тот факт, что он не всегда их находит. Каждый символ информации на входе состоит из m бит, далее он преобразуется в p-битовый символ выходной последовательности, причем p>m.

Перемежение осуществляет изменение алгоритма символьной последовательности. Причем это осуществление приводит к тому, что символы, стоящие рядом перемешиваются с несколькими другими.

Скремблирование заключается в том, что преобразовывает входную информационную последовательность в выходную благодаря тому, что происходит процесс ее сложения по модулю два ее со ранее установленной последовательностью импульсов. Скремблирование применяется для установки подлинности абонентов.

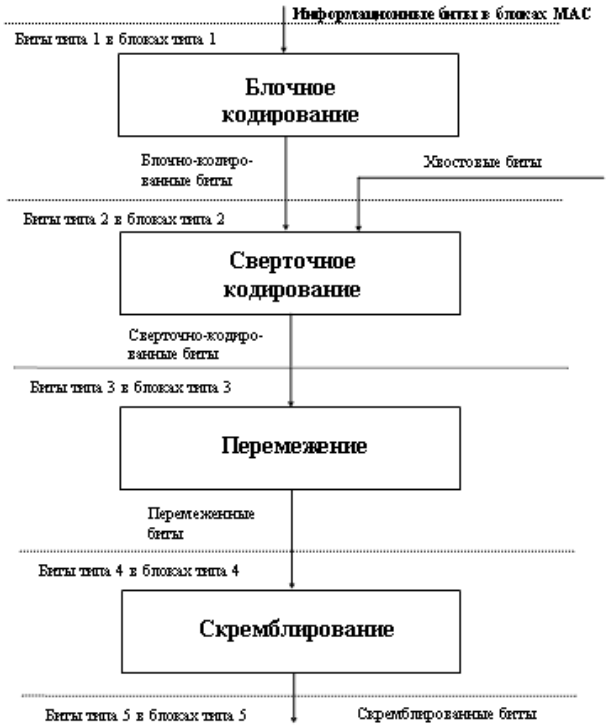


Рисунок 1.9 – Структура канального кодирования в стандарте TETRA

1.6 Шифрование и защита информации

В стандарте TETRA предусмотрены следующие функции защиты информации, предаваемой по каналам связи:

– аутентификации абонентов;
– шифрования передаваемой информации;
– обеспечения скрытности номера абонента.

Стандарт TETRA обладает высокой степенью защиты системы от несанкционированного доступа благодаря тому, что существует множество возможностей по разделению доступа к передаваемой информации. Шифрование происходит исключительно по происшествии успешного окончания идентификации абонента в сети и установления его принадлежности. На сегодняшний день в системах стандарта TETRA применяется четыре аспекта шифра. Благодаря этим алгоритмам шифрования гарантируются защита абонентов опираясь на уровень безопасности.

Шифрование речи обеспечивается благодаря тому, что происходит цифровая обработка потоков данных низких скоростей, что приводит к возможности применения различных алгоритмов с высоким уровнем стойкости к ошибкам. Эти последовательности осуществляют наиболее стойкую защиту от прослушивания. Вмешательство несанкционированных пользователей можно предупредить путем невозможности расшифровки цифровых потоков аналоговыми сканерами. Следует заметить, что по сравнению с существующими сетями GSM, сети TETRA отличаются более высокой скоростью передачи данных.

Таблица 1.2 – Зависимость скорости передачи данных (кбит/с) от степени защищенности канала

Уровень защиты	Число используемых тайм-слотов			
	1	2	3	4
Без защиты	7,2	14,4	21,6	28,8
Низкий	4,8	9,6	14,4	19,2
Высокий	2,4	4,8	7,2	9,6

Стандарт TETRA использует поточный метод шифрования, когда при формируется ключевая псевдослучайная последовательность, которая впоследствии побитно складывается с потоком данных. Если вы знаете ключ, а также изначальный эквивалент псевдослучайной последовательности, тогда вы сможете организовать такую же последовательность, и потом расшифровать сообщение, закодированное отправителем сообщения.

Поточное шифрование имеет определенное преимущество перед другими методами шифрования, которое заключается в отсутствии размножения ошибок в канале с помехами. Другими словами, ошибка приема одного бита зашифрованного текста дает также только один ошибочный бит расшифрованного текста и не приводит к нескольким ошибкам.

1.7 Процедуры соединения

1.7.1 Индивидуальный вызов

Если задуматься о том, как образуется команда при создании индивидуального, то необходимо учесть тот факт, что абоненты попадают под зону охвата общей базовой станции. Начинается процесс создания вызова с того, что абонента вызывающей МС1 передает просьбу на соединение используя алгоритм псевдослучайной последовательности – u-установка. В случае успешного приема БС дает согласие на его прием (d-продолжение) и в свою очередь отправляет запрос вызываемой мобильной станции МС2 (d-установка). Далее МС2 вне зависимости от согласия абонента МС2 дает подтверждение на установку соединения (u-соединение). БС оповещает станцию М1 о том, что соединение со станцией М2 произошло без происшествий (d-информация), также занимается подтверждением станции приема информации (d-соединение) МС2 и выделяет для этих двух абонентов

незанятый канал связи. Это означает, что МС1 и МС2 уже могут настроиться на выделенный им канал связи регулируют мощность сигнала передатчиков друг. После этого, вызываемый абонент МС2 отправляет сигнал о том, что он действительно настроен на выделенный канал связи. Если МС1 и МС2 обслуживаются разными БС, то МС1 следует отправить такой же сигнал о подтверждении присутствия в канале. Процесс заканчивается тем, что БС санкционирует МС1 передачу сообщения (d-соединение). Ниже представлен рисунок 1.5, где изображена процедура установки связи без каких-либо коллизий, учитывая, что соединение устанавливается за 270 мс.

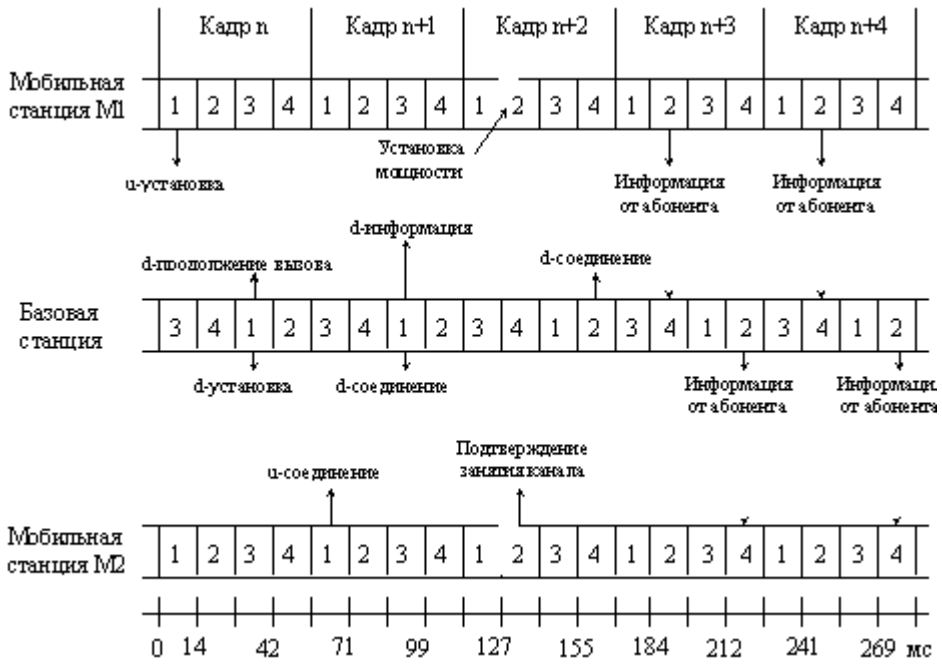


Рисунок 1.10 – Процедура индивидуального вызова

1.7.2 Групповой вызов

Групповой вызов на первых этапах создания мало чем отличается от алгоритма создания индивидуального вызова. Но, так как осуществляется вызов ряда МС, удостовериться в их готовности к связи в одном пакете физического канала нет реальной возможности, это послужило причиной того, что данный этап принято решение исключить, и БС в состоянии выделить канал связи. После этого происходит, так же, как и в случае с мобильными станциями, корректировка мощностей МС, отправка информации управления и само соединение. Экспериментальным путем было установлено, что в режиме группового вызова самая короткое время соединения равеняется 170 мс. Процедура группового вызова изображена на рисунке 1.11.

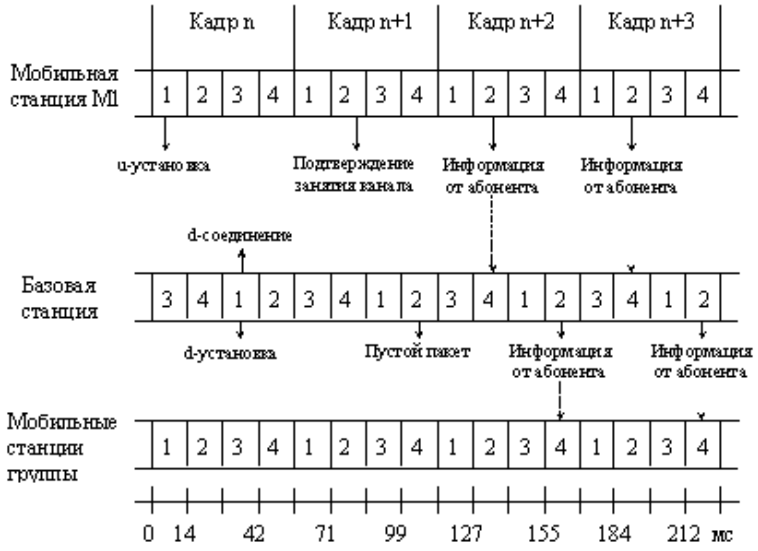


Рисунок 1.11 – Процедура группового вызова

1.8 Предоставляемые услуги связи

1.8.1 Сетевые процедуры

Сетевые процедуры – это функции, которые дают возможность абонентам пользоваться услугами сети, а также наиболее детального управления. Наличие и виды сетевых процедур зависит от оператора сети.

К основным сетевым процедурам относятся[2]:

- регистрация мобильных абонентов;
- повторное установление связи;
- аутентификация абонентов;
- отключение/подключение абонента;
- отключение абонента оператором сети;
- управление потоком данных.

Регистрация мобильных абонентов и роуминг – процесс закрепления абонента за одной или несколькими базовыми станциями, когда абонент может перемещаться из соты в соту без разрыва соединения.

Повторное установление связи, как правило, происходит в том случае, когда базовая станция, в зоне которой находился абонент, заменяется на другую по причине низкого качества связи первой.

Аутентификация абонентов – то есть подтверждение принадлежности того или иного пользователя сетью.

Отключение/подключение абонента – стандартная операция равносильная прекращению абонентского пользования сетью по его запросу.

Отключение абонента оператором сети – стандартная операция равносильная прекращению абонентского пользования сетью по запросу оператора связи.

Управление потоком данных – гарантия того, что сеть сможет перенаправлять на себя поток информации, направленный к ранее выбранному пользователю.

1.8.2 Специализированные услуги

Чтобы повысить безопасность и качество работы сети, было принято решение о включении в стандарт следующих услуг[2]:

– вызов, санкционированный диспетчером (режим, при котором контроль за всеми вызовами осуществляет только диспетчер);

– приоритетный доступ (строится таблица приоритетов, во время перегрузок в работе сети право на соединение будет иметь абонент, являющийся более приоритетным по существующей таблице);

– избирательное прослушивание (прослушивание поступающего вызова без оповещения об этом пользователей сети);

– дистанционное прослушивание (дистанционная прослушка происходящей ситуации у абонента);

– динамическая перегруппировка (создание, изменение и удаление групп пользователей с возможностью изменения).

2 Техническая часть

2.1 Расположение элементов сети

Проектируемая сеть будет расположена в Алматинской области. Планируется установить три базовые станции. В зону охвата БС «Суюнбай», расположенной по адресу г.Алматы проспект Суюнбая 243, входят бригады, расположенные в поселках Туймебаев, Касымбет, Иргели. В зону охвата БС «Каскелен», расположенной по адресу поселке Каскелен ул. Макашева 10, входят бригады бурильщиков в поселках Ашекеев, Касымбет, Иргели. Третья БС «База» будет расположена в поселке Бахтыбай по ул. Гагарина, она служит для связи бурильных бригад с офисом компании. БС «Суюнбай» соединена с БС «Каскелен» с помощью антенны РРЛ, а с БС «Бахтыбай» с помощью ВОЛС.

Рисунок 2.1 – Расположение базовых станций

2.2 Выбор оборудования

2.2.1 Описание оборудования

Таблица 2.1 – Инфраструктура базовой станции

Наименование	Количество,шт
Шкаф БС TetraFlex BS421	1
Системный Блок Управления SB421	1
Шкаф электропитания DELTA Energy Systems	1
Приемо-передающая антенна всенаправленного действия Radial F8-T	1
Антенна ЦРРЛ NERA	1

2.2.2 Базовая станция DAMM Tetra Flex

В моем дипломном проекте в качестве базовой станции выбрана продукция компании DAMM базовая станция Tetra Flex. Это законченная односайтовая платформа, включающая необходимое аппаратное обеспечение и ориентир на передачу голоса и данных. Базовая станция во всепогодном исполнении, имеющая небольшой вес и размер, может монтироваться где угодно (на зданиях, мачтах, кораблях, автомобилях) и постоянно готова к работе. Это простой путь к внедрению цифровой связи TETRAнезависимо от того, внедряется ли связь впервые или осуществляется переход от аналоговых систем к цифровым. Базовая станция Tetra Flex использует маршрутизируемые IP-соединения для взаимодействия между сайтами, что делает процесс расширения крайне легким и не требует остановки работы системы.

Рисунок 2.2 – Шкаф базовой станции

Таблица 2.2 –Технические характеристики базовой станции Tetra Flex

Основные технические характеристики	
Диапазон частот	410 - 430 (380 - 400, 450 - 470), МГц
Количество несущих частот	До 4-х
Количество каналов на несущую	4
Мощность	25 Вт (44 дБм ± 2 дБм)
Чувствительность	-110 дБм
Канальный разнос	25 кГц
Дуплексный разнос	10 МГц
Сдвиг частоты	-12.5 кГц, 0 кГц, + 12.5 кГц
Тип модуляции	п/4 DQPSK
Нестабильность частоты	$0{,}2 \times 10^{-6}$
Напряжение электропитания	-48 В пост, тока (от -44 В до -60 В)

Продолжение таблицы 2.2

Потребляемая мощность	1500 Вт при 4-х приемопередатчиках и полном резервировании
Внешние размеры стойки, мм	950(В) х 600(Ш) х 600(Г)

2.2.3 Стационарная радиостанция Motorola MTM800 Enh

Стационарная радиостанция TETRA Моторола MTM800 Enhanced разработана по инновационным разработкам стандарта TETRA от компании Моторола. Генерирует работу устройства мощный процессор, а также большой ресурс памяти и широкополосный радиотракт. Однако, этот вид оборудования оснащена встроенным GPS приемником и поддерживает сквозную систему шифрования 2E2.

В радиостанции TETRA MTM800 производства Моторола продумана наличие многоинтервальной передачи пакетных данных по IP -протоколу со скоростью в 4 раза выше по сравнению с радиостанциями TETPA первого поколения с высокой скоростью.

Долговечность и высокую надежность терминала гарантирует тест Моторола на имитацию 5-летней работы в реальных условиях, а также соответствие стандарту IP54 и военным стандартам MIL STD810 C/D/E.

Легкость и простоту использования радиостанции обеспечивают:

– большой графический дисплей с подсветкой;
– три программируемые кнопки;
– кнопка экстренного вызова.

Новейшие технологии микропроцессора MTM800 обеспечивают модернизацию функциональных возможностей. Это гарантирует, что терминал будет всегда соответствовать современным требованиям профессионалов.

[14].

Рисунок 2.3 – Стационарная радиостанция

Таблица 2.3 – Технические характеристики стационарной радиостанции Motorola MTM800 Enh

Основные технические характеристики	
Диапазон частот	380-430 МГц; 410-470 МГц
Класс мощности	10 Вт (класс 2)
Мощность звука	8 Вт при 4 Ом
Питание	110/220 В от источника переменного тока
Модуляция	π/4-DQPSK
Речевой кодек	TETRA (ETSI EN 300 395-2)
Разнос каналов	25 кГц
Антенный разъём	BNC, 50 Ом
Скорость передачи данных	до 28,8 кб/с; до 4-х временных интервалов; полудуплекс
Рабочая температура	-20°C...+45°C
Размеры	435 x 306 x 110 мм
Вес	9,1 кг

2.2.4 Мобильная радиостанция Motorola MTP3200

Абонентские терминалы MTP3000 оснащены 2-мя портами для практичности и увеличения срока эксплуатации. Высококачественные радиостанции серии MTP3000 изготовлены по стандартам мировых производителей. Кроме того, как и все радиостанции Motorola TETRA, серия MTP3000 отличается высоким сроком эксплуатации; после тестирований установлено, что радиостанции в состоянии показывать высокий уровень технологичности в самых затруднительных технических условиях и гарантируют надежность, помогающая не заниматься повторным закупом оборудования.

Рисунок 2.4 – Мобильная радиостанция Motorola MTP3200

Таблица 2.4 – Технические характеристики мобильной радиостанции Motorola MTP3200

Основные технические характеристики	
Частотный диапазон	380-430 МГц
Сетка частот	25.0 кГц
Ширина диапазона перенастройки частот - TMO / DMO	50.0 МГц / 50.0 МГц
Разнос частот приема/передачи	10.0 МГц
Мощность передатчика	3 Вт
Диапазон температур	от -30оС до +60 оС
Размеры, мм	49.0x170.0x155.0

2.3 Определение зоны покрытия всенаправленной антенны БС с помощью моделей предсказания, учет потерь при распространении радиоволн

Необходимо произвести расчет зоны покрытия базовых станций TETRA в условиях неоднородного рельефа Алматинской местности. Учитывая запланированное размещение бурильных бригад, будут установлены три базовые станции в городе Алматы и поселке Каскелен, и одна базовая станция на территории ТОО «ЖерСу» для связи бригад с центральным офисом компании.

Основу территориального планирования составляет энергетический расчет, в процессе которого определяется архитектура сети и ее пространственные координаты с учетом качества принятого сигнала и информационной нагрузки. Радиосвязь между БС и любой МС в случайный момент времени будет обеспечена в случае, если энергия полезных сигналов в местах приема будет превышать энергию помех.

Заданное качество принятого сигнала зависит от мощности передатчика, некоторых коэффициентов, характерных для системы связи, чувствительности приемника и определяется уравнением передачи. В общем виде уравнение передачи имеет вид:

$$P_{ПРМ} = P_{ПРД} + \eta_{ФПРД} + G_{АПРД} + \xi_{П} + G_{АПРМ} + \eta_{ФПРМ} + \xi_{С} - L_{\Sigma}, \qquad (2.1)$$

где $P_{ПРМ}$ – мощность радиосигнала на входе приемника;

$P_{ПРД}$ – мощность передатчика;

$\eta_{ФПРД}$, $\eta_{ФПРМ}$ – КПД передающего и приемного фидеров;

$G_{АПРД}$, $G_{АПРМ}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

$\xi_{П}$, $\xi_{С}$ – коэффициенты согласования антенн с радиосигналом по поляризации;

L_Σ – суммарное затухание радиоволн на трассе.

В таблице 2.5 приведены стандартные значения параметров базовой и мобильной станций, необходимых в дальнейших расчетах.

Таблица 2.5 – Стандартные значения параметров БС

Обозначение	Наименование и единица измерения	Значение
$P_{ПРД\ БС}$	Мощность передатчика БС, дБ	44
$G_{ПРД\ БС}$	К-т усиления передающей антенны БС, дБ	8
$P_{ПРМ\ БС}$	Чувствительность приемника БС, дБ	-110
$G_{ПРМ\ БС}$	К-т усиления приемной антенны БС, дБ	0

Коэффициент согласования антенны с радиосигналом по поляризации (для передатчика и приемника) принимается равным $\xi_П = \xi_С = 0{,}9$.

КПД передающего и приемного фидеров принимается равным $\eta_{ФПРД} = \eta_{ФПРМ} = 0{,}95$.

Из формулы (2.1) выведем формулу расчета суммарных затуханий радиоволн на трассе:

$$L_\Sigma = P_{ПРД} + \eta_{ФПРД} + G_{АПРД} + \xi_П + G_{АПРМ} + \eta_{ФПРМ} + \xi_С - P_{ПРМ}\ . \qquad (2.2)$$

Для БС суммарное затухание радиоволн на трассе равно:

$$L_{\Sigma\ БС} = P_{ПРД\ БС} + \eta_{ФПР} + G_{АПРД\ БС} + \xi_П + G_{АПРМ\ БС} + \eta_{ФПРМ} + \xi_С - P_{ПРМ\ БС} =$$
$$= 44 + 0{,}95 + 8 + 0{,}9 + 0 + 0{,}95 + 0{,}9 + 110 = 165{,}7\ дБ.$$

Определим суммарное затухание радиоволн как потери распространения для соответствующего типа местности L_P и поправки, учитывающей рельеф местности $L_{РЕЛ}$:

$$L_\Sigma = L_P + L_{РЕЛ}\ . \qquad (2.3)$$

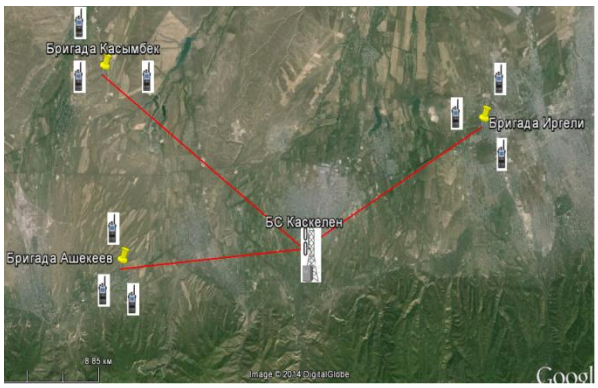


Рисунок 2.5 – Место расположения буровых установок, обслуживаемых БС Суюнбай

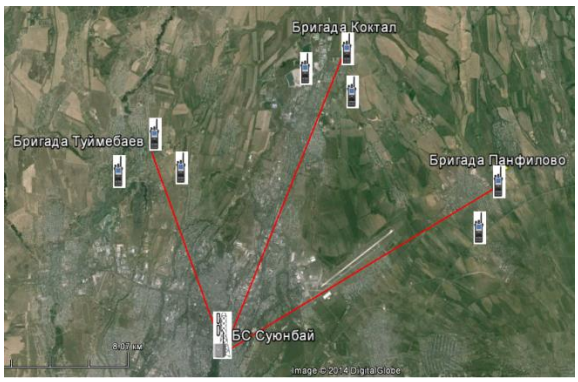


Рисунок 2.6 – Место расположения буровых установок, обслуживаемых БС Каскелен

Рисунок 2.7 – БС База (место расположение главного офиса ТОО «ЖерСу»)

Определим поправки, учитывающие рельеф местности для трех базовых станций во всех направлениях. Коэффициент $L_{рел}$ определяем, интерполируя между графиками рисунка 2.8

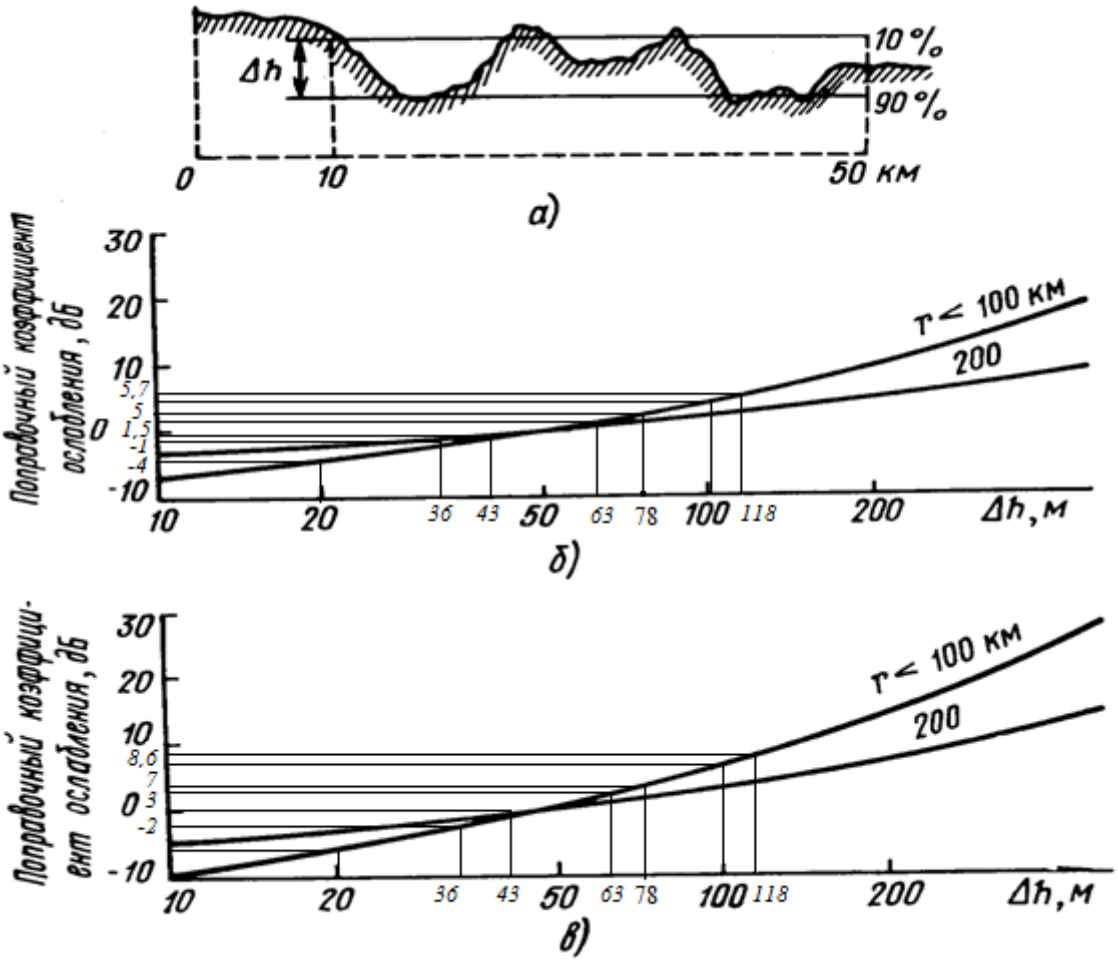


Рисунок 2.8 – График для определения поправки, учитывающей рельеф местности для БС Каскелен, БС Суюнбай и БС База.

В направлении БС Каскелен - Бригада Ашекеев рассчитаем потери распространения для соответствующего типа рельефа местности:

При $\Delta h = 43$ м; $L_{РЕЛ} = 0$ дБ – БС Каскелен – Бригада Ашекеев;

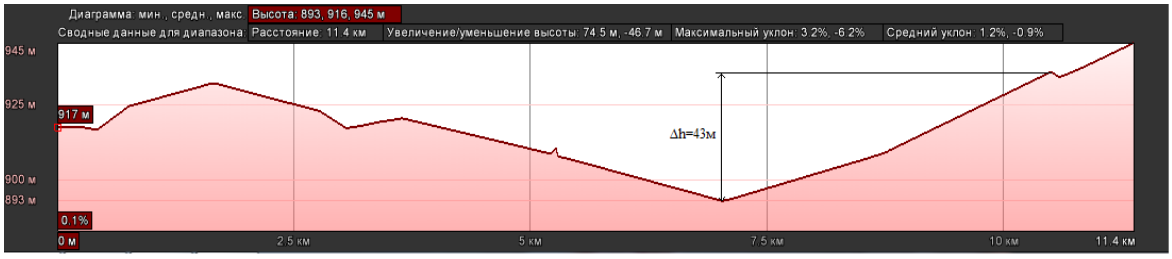


Рисунок 2.9 – Профиль рельефа местности в направлении БС Каскелен – Бригада Ашекеев

Используя формулу (2.3), определим потери распространения для соответствующего типа местности:

$L_P = L_\Sigma - L_{РЕЛ} = 165{,}7 - 0 = 165{,}7$ дБ – БС Каскелен – Бригада Ашекеев;

Аналогичным образом рассчитаем потери распространения для соответствующего типа местности для остальных бригад (профили рельефа местности приведены в приложении А).

Бригада Касымбек:

При $\Delta h = 100$ м; $L_{РЕЛ} = \frac{5+7}{2} = 6$ дБ – БС Каскелен – Бригада Касымбек;

$L_P = L_\Sigma - L_{РЕЛ} = 165{,}7 - 6 = 159{,}7$ дБ.

Бригада Иргели :

При $\Delta h = 118$ м; $L_{РЕЛ} = \frac{5{,}7+8{,}6}{2} = 7{,}15$ дБ – БС Каскелен – Бригада Иргели;

$L_P = L_\Sigma - L_{РЕЛ} = 165{,}7 - 7{,}15 = 158{,}55$ дБ.

Бригада Туймебаев :

При $\Delta h = 36$ м; $L_{РЕЛ} = \frac{-1-2}{2} = -1{,}5$ дБ – БС Суюнбай – Бригада Туймебаев;

$L_P = L_\Sigma - L_{РЕЛ} = 165{,}7 + 1{,}5 = 167{,}2$ дБ.

Бригада Коктал:

При $\Delta h = 63$ м; $L_{РЕЛ} = \frac{3+1{,}5}{2} = 2{,}25$ дБ – БС Суюнбай – Бригада Коктал;

$L_P = L_\Sigma - L_{РЕЛ} = 165{,}7 - 2{,}25 = 163{,}45$ дБ.

Бригада Панфилово:

При $\Delta h = 20$ м; $L_{РЕЛ} = \frac{-4-5}{2} = -4{,}5$ дБ – БС Суюнбай – Бригада Панфилово;

$L_P = L_\Sigma - L_{РЕЛ} = 165{,}7 + 4{,}5 = 170{,}2$ дБ.

БС База:

При $\Delta h = 36$ м; $L_{РЕЛ} = \frac{3+4}{2} = 3{,}5$ дБ – БС База – город Талдыкорган;

$$L_P = L_{\sum} - L_{РЕЛ} = 165{,}7 + 3{,}5 = 171{,}0 \text{ дБ.}$$

Определив из потери распространения для соответствующего типа местности L_P, можно приступить к определению радиуса зоны покрытия базовой станции с помощью эмпирической модели Окомура и Хата.

2.4 Расчет зоны радиуса покрытия по модели Окомура и Хата

Рассчитаем зону радиуса покрытия БС. Из-за удаленности бригад возможно их расположения вне зоны охвата сетью. Существует достаточно большое количество эмпирических моделей предсказания потерь при распространении сигналов для различных типов местности, такие как Окомура и Хата, модель COST231-Хата и модель Вольфиша-Икегами (WIM). Воспользуемся моделью Окомура и Хата. Эта модель возникла в результате адаптации эмпирических формул Хата к графикам, составленным Окомура и его соавторами.

Данными моделью можно пользоваться, если выполняются следующие условия:

– f_0 : от 150 до 1500 МГц;

– h_b : от 30 до 200 м; возможно расширение диапазона (от 1,5 до 400 м);

– h_m : от 1 до 10 м;

– r : от 1 до 20 км; возможно расширение диапазона (от 2м до 80 км).

В моем дипломном проекте f_0=420 МГц, h_b =20 м (т.к. нецелесообразно размещать антенну БС на большую высоту, потому что это не приводит к значительному увеличению дальности связи) h_m=1,5м. Исходя из этих расчетных данных, можно смело воспользоваться моделью Окомура-Хата.

2.4.1 Расчет зоны покрытия БС

Эта модель Окомура и Хата возникла в результате адаптации эмпирических формул Хата к графикам, составленным Окомура и его соавторами.

Эта формула (метод прогнозирования Окомура) имеет следующий вид:

$$L_P = A + B\lg(r) - C \text{ - для пригородной зоны} \qquad (2.4)$$

где r – дальность связи, км.

Радиочастота несущей fo, МГц, высота антенны базовой станции hb, м, и высота антенны подвижной станции hm, м; величины A, B, C и D выражаются соответственно следующим образом :

$$A = A(f_0, h_b, h_m) = 69{,}55 + 26{,}16\log(f_0) - 13{,}82\log(h_b) - a(h_m), \qquad (2.5)$$

$$B = B(h_b) = 44{,}9 - 6{,}55 \cdot \log(h_b), \tag{2.6}$$

$$C = 2\left[\lg \frac{f_0}{28}\right]^2 + 5{,}4, \tag{2.7}$$

$$a(h_m) = 3{,}2 \cdot \left[\log(11{,}75 \cdot h_m)\right]^2 - 4{,}97, \tag{2.8}$$

где $a(h_m)$ – для средних и малых городов.

Найдем значения величин A, B, C и выразим через них дальность связи r:

$$a(h_m) = 3{,}2 \cdot \left[\log(11{,}75 \cdot h_m)\right]^2 - 4{,}97 = 3{,}2 \cdot \left[\log(11{,}75 \cdot 1{,}5)\right]^2 - 4{,}97 = -0{,}0009.$$

Подставив значение $a(h_m)$ в формулу (2.5), найдем значение параметра A:

$$A = 69{,}55 + 26{,}16\log(f_0) - 13{,}82\log(h_b) - a(h_m) = 69{,}55 + 26{,}16\log(420) - 13{,}82\log(20) + 0{,}0009 = 120{,}1949$$

Далее найдем значения величин B и C:

$$B = 44{,}9 - 6{,}55 \cdot \log(h_b) = 44{,}9 - 6{,}55 \cdot \log(20) = 36{,}3782,$$

$$C = 2\left[\lg \frac{f_0}{28}\right]^2 + 5{,}4 = 2\left[\lg \frac{420}{28}\right]^2 + 5{,}4 = 8{,}1664.$$

Выразим радиус зоны покрытия связью для каждого участка сети соответственно:

$$r = 10^{\frac{L_\Sigma - L_{PEJI} - A + C}{B}} = 10^{\frac{L_P - A + C}{B}}. \tag{2.9}$$

Для участка БС Каскелен - Бригада Ашекеев:

$$r = 10^{\frac{165{,}7 - 120{,}1949 + 8{,}1664}{36{,}3782}} = 29{,}879 \text{ км}.$$

Для участка БС Каскелен - Бригада Касымбек:

$$r = 10^{\frac{159,7-120,1949+8,1664}{36,3782}} = 20,438, \text{км}.$$

Для участка БС Каскелен - Бригада Иргели:

$$r = 10^{\frac{158,55-120,1949+8,1664}{36,3782}} = 19,003 \text{ км}.$$

Для участка БС Суюнбай - Бригада Туймебаев:

$$r = 10^{\frac{167,2-120,1949+8,1664}{36,3782}} = 32,855 \text{ км}.$$

Для участка БС Суюнбай - Бригада Коктал:

$$r = 10^{\frac{163,45-120,1949+8,1664}{36,3782}} = 25,913 \text{ км}.$$

Для участка БС Суюнбай - Бригада Панфилово:

$$r = 10^{\frac{170,2-120,1949+8,1664}{36,3782}} = 39,726 \text{ км}.$$

Для участка БС База – город Талдыкорган:

$$r = 10^{\frac{171-120,1949+8,1664}{36,3782}} = 41,789 \text{ км}.$$

Таблица 2.6 – Результат расчетов радиусов зон покрытия сетью

Расстояние между БС и бригадой, км.		Дальность связи в указанном направлении, км.
БС Каскелен - Бригада Ашекеев	11,4	29,9
БС Каскелен - Бригада Касымбек	17,2	20,4
БС Каскелен - Бригада Иргели	14,5	19,0
БС Суюнбай - Бригада Туймебаев	13,9	32,8
БС Суюнбай - Бригада Коктал	18,3	25,9
БС Суюнбай - Бригада Панфилово	20,4	39,7
БС База – город Талдыкорган	13,0	41,8

Расчеты, выполненные выше, сделаны на программе Microsoft Exel и приведены в приложении Б. Дальнсть связи изображена графически

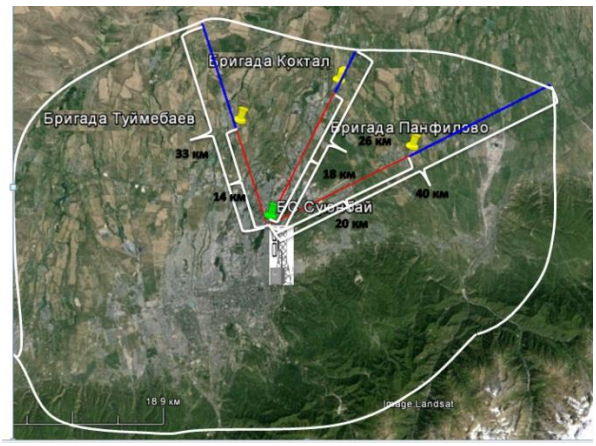


Рисунок 2.10 – Зона охвата связью БС Суюнбай

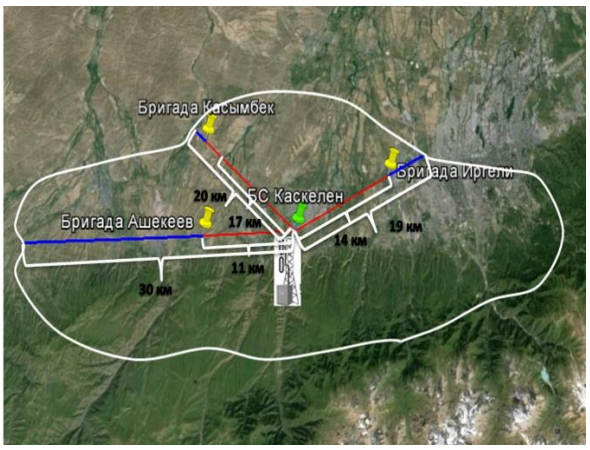


Рисунок 2.11 – Зона охвата связью БС Каскелен

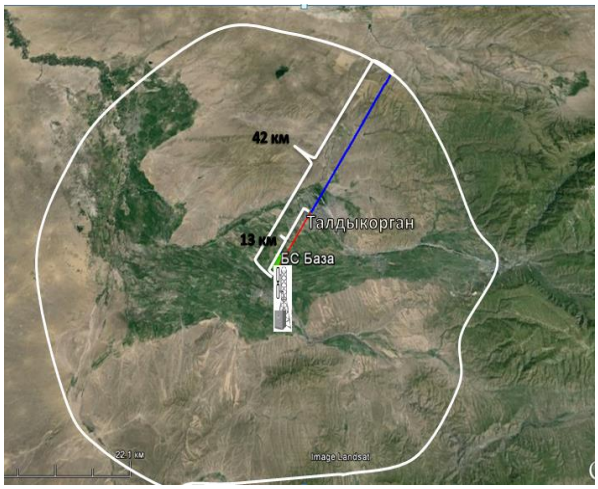


Рисунок 2.12 – Зона охвата связью БС База

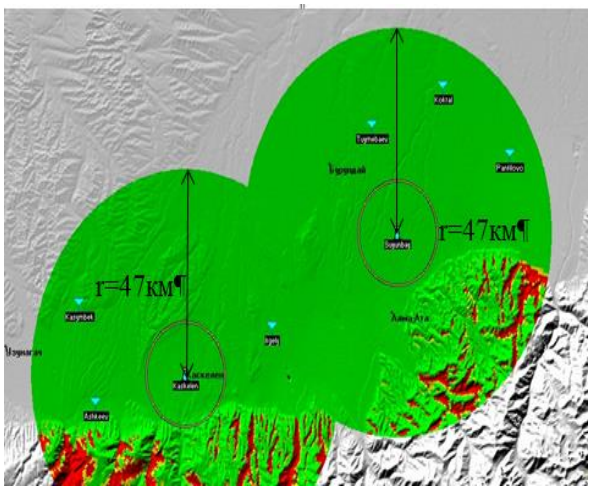


Рисунок 2.13 – Зона охвата связью для БС Суюнбай и БС Каскелен, рассчитанная по программе Radio Mobile

2.5 Расчет зоны радиуса покрытия мобильной станции в режиме прямой связи (DMO) по модели Окомура и Хата

Режим прямой связи – это актуальный вариант связи для бригад бурильщиков на случай, если рабочий выйдет за пределы зоны обслуживания базовой станции. Задача данного подраздела – рассчитать максимальное расстояние, на которое можно удалиться из зоны охвата БС, чтобы была возможность связи с другими абонентами в режиме прямой связи.

Принципы расчета радиуса покрытия остаются такими же.

Основные параметры, необходимые для расчета представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Стандартные значения параметров БС

Обозначение	Наименование и единица измерения	Значение
$P_{ПРД\ БС}$	Мощность передатчика БС, дБ	34
$G_{ПРД\ БС}$	К-т усиления передающей антенны БС, дБ	2
$P_{ПРМ\ БС}$	Чувствительность приемника БС, дБ	-110
$G_{ПРМ\ БС}$	К-т усиления приемной антенны БС, дБ	0

Рассчитаем суммарные энергетические потери, возникающие на трассе распространения радиоволн для МС по формуле (2.2):

$$L_{\Sigma} = 34 + 0{,}95 + 2 + 0{,}9 + 0 + 0{,}95 + 0{,}9 + 110 = 150\,\text{дБ}$$

Для расчета потерь, учитывающую рельеф местности, возьмем за $\Delta h = 20$ м, следовательно $L_{РЕЛ} = \frac{-4-5}{2} = -4{,}5$ дБ для удаленной МС.

Найдем значения величин A, B, C и выразим через них дальность связи r, подставим значения в формулу (2.8):

$$a(h_m) = 3{,}2 \cdot [\log(11{,}75 \cdot h_m)]^2 - 4{,}97 = 3{,}2 \cdot [\log(11{,}75 \cdot 1{,}5)]^2 - 4{,}97 = -0{,}0009\,.$$

Подставив значение $a(h_m)$ в формулу (2.5), найдем значение параметра A:

$$A = 69{,}55 + 26{,}16\log(f_0) - 13{,}82\log(h_m) - a(h_m) = 69{,}55 + 26{,}16\log(420) - 13{,}82\log(1.5) + 0{,}0009 = 135{,}741$$

Далее найдем значения величин B и C по формулам (2.6) и (2.7) соответственно:

$$B = 44{,}9 - 6{,}55 \cdot \log(h_m) = 44{,}9 - 6{,}55 \cdot \log(1{,}5) = 43{,}747\,,$$

$$C = 2\left[\lg\frac{f_0}{28}\right]^2 + 5{,}4 = 2\left[\lg\frac{420}{28}\right]^2 + 5{,}4 = 8{,}1664\,.$$

Выразим радиус зоны покрытия связью для каждого участка сети соответственно по формуле (2.9):

$$r = 10^{\frac{L_{\Sigma} - L_{РЕЛ} - A + C}{B}} = 10^{\frac{L_P - A + C}{B}} = 10^{\frac{150{,}7 - 135{,}74 + 8{,}1664}{B43{,}747}} = 2{,}03\,\text{км}$$

2.6 Расчет пролета ЦРРЛ

Таблица 2.8 – Технические параметры аппаратуры NERA

Шифр РРС	Диапазон частот f, ГГЦ	Коэффициент системы S_G, дБ	Диаметр антенны D, м	Коэффициент усиления антенны G, дБ
NL 188	8,2 – 8,5	116 (E2)	1,2	37,4

2.6.1 Построение продольного профиля пролета

Продольный профиль интервала представляет собой вычерченный в определенном масштабе вертикальный разрез местности по линии, соединяющей две радиорелейные станции. Продольные профили интервалов РРЛ полно и наглядно характеризуют рельеф местности на каждом интервале связи и являются основными рабочими документами, позволяющими выполнить расчет устойчивости работы радиорелейной линии при заданных нормах на ее качественные показатели. Построение продольного профиля будем производить с помощью приложения Google Earth. Расстояния между станциями, а также наиболее низкие (h_{min}) и наиболее высокие (h_{max}) точки профиля интервала РРЛ связи определяются по данным топографических карт, и затем вычисляется максимальная разность высот в метрах.

2.6.2 Выбор оптимальных высот подвеса антенн

Из-за неравномерности вертикального градиента диэлектрической проницаемости атмосферы радиолуч получает искривление, что приводит к ухудшению радиосвязи. Если он встречается с естественным препятствием, то связь нарушается. Поэтому необходимо правильно определить просвет трассы путем правильного выбора высот подвеса антенн.

Радиолуч перемещается внутри зоны Френеля, которая представляет собой эллипсоид вращения в точке приема и передачи. Минимальный радиус зоны Френеля определяется по формуле

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k \cdot (1-k)}\text{, м} \qquad (2.10)$$

где $\lambda = c / f = \frac{3 \cdot 10^8}{8 \cdot 10^9} = 0{,}0375$ – длина волны, м.

Так как наивысшая (критическая) точка приходится в точке нахождения второй базовой станции, то относительное расстояние до препятствия $k = 0{,}5$

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 31{,}8 \cdot 10^3 \cdot 0{,}0375 \cdot 0{,}5 \cdot (1-0{,}5)} = 9{,}989 \ м.$$

Среднее значение изменения просвета за счет рефракции, существующее в течение 80% времени, вычисляется по формуле:

$$\Delta H(\bar{g}+\sigma_{R_0}) = -\frac{R_0^2}{4}\cdot(\bar{g}+\sigma_{R_0})\cdot k\cdot(1-k), \qquad (2.11)$$

где $\bar{g}$ и σ_{R_0} – соответственно, среднее значение и стандартное отклонение вертикального градиента проницаемости.

Для нашей полосы: $\bar{g} = -7\cdot 10^{-8}\ м^{-1}$, $\sigma = 9\cdot 10^{-8}\ м^{-1}$

При длине пролета меньше 50 км стандартное отклонение должно определяться по формуле

$$\sigma_{R_-} = (10\cdot 10^{-8} + \frac{\bar{g}}{3{,}1})\cdot(\frac{1}{y}-1) + \frac{\sigma}{y} = (10\cdot 10^{-8} + \frac{-7\cdot 10^{-8}}{3{,}1})\cdot(\frac{1}{0{,}88}-1) + \frac{9\cdot 10^{-8}}{0{,}88} = 11{,}28\cdot 10^{-8}\ м^{-1},$$

где σ – значение стандартного отклонения, $м^{-1}$;

y = 0,88 при R_0 = 31,8 км (выбор y см.в приложении В).

$$\Delta H(\bar{g}+\sigma_{R_0}) = -\frac{R_0^2}{4}\cdot(\bar{g}+\sigma_{R_0})\cdot k\cdot(1-k) = -\frac{(31{,}8\cdot 10^3)^2}{4}\cdot(-7+11{,}28)\cdot 10^{-8}\cdot 0{,}5\cdot(1-0{,}5) =$$
$$= -2{,}707\ м$$

Просвет в отсутствии рефракции радиоволн (при g=0) рассчитывается по формуле:

$$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g}+\sigma_{R_0}) = 9{,}689 - (-2{,}707) = 12{,}676\ м \qquad (2.12)$$

Высоты подвеса антенн определим из рисунка 10. Для этого от критической точки профиля откладывается расстояние H(0) и через данную точку проводится луч, соединяющий антенны. Т.к. k=0,5, то критическая точка приходится на середину трассы. Выбирая высоты подвеса антенн, необходимо учитывать то, что линия, соединяющая антенны, должна быть выше радиуса зоны Френеля, и сама высота подвеса должна быть не ниже 10 м. Графически изобразив, получаем высоты равные h_1=25 м и h_2=20 м.

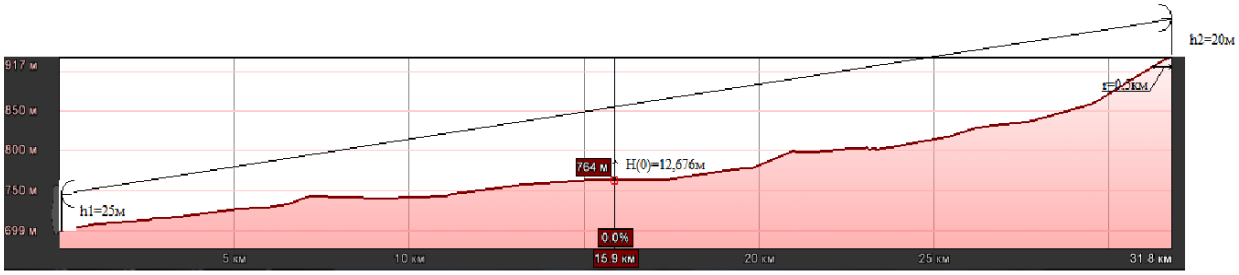


Рисунок 2.14 – Профиль пролета ЦРРЛ

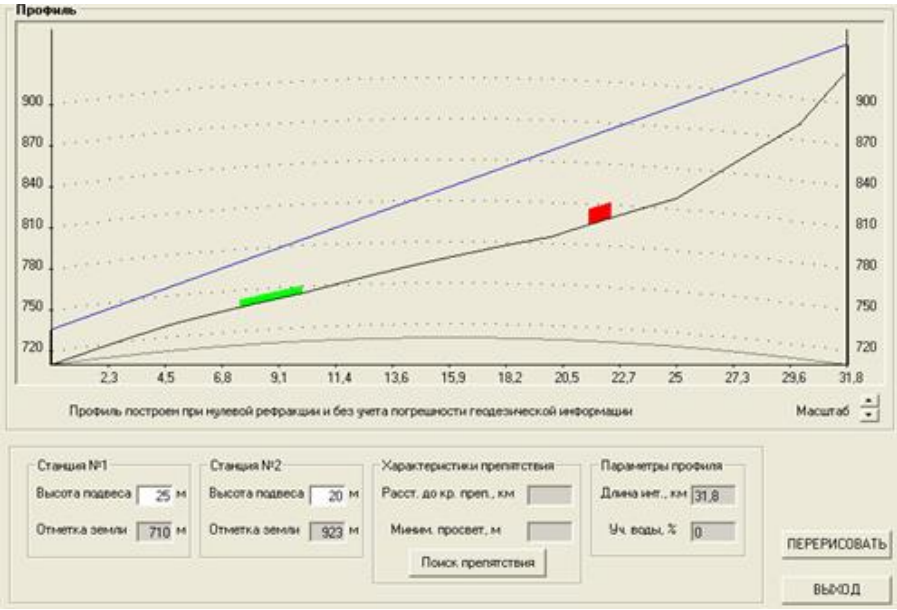


Рисунок 2.15 – Изображение профиля пролета, построенного с помощью программы Prof Edit

2.6.3 Расчет запаса на замирание

Расчет запаса на замирание производится по формуле

$$F_t = S_G + G_{ПРД} + G_{ПРМ} - 2\eta - L_0 \text{, дб} \qquad (2.13)$$

где S_G – коэффициент системы, дБ;

$G_{ПРД} = G_{ПРМ}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, дБ;

$2\eta \approx 5 дБ$ – коэффициент полезного действия антенно-фидерного тракта;

L_0 – затухание радиоволн в свободном пространстве, дБ

$$L_0 = 20 \cdot (\lg(f) + \lg(d)) + 32{,}45 = 20 \cdot (\lg(8 \cdot 10^3) + \lg 31{,}8) + 32{,}45 = 140{,}56 дБ$$

где f – частота передачи, МГц;

d=R_0 – расстояние между передающей и приемной антеннами (длина пролета), км.

$$F_t = 116 + 37{,}4 + 37{,}4 - 5 - 140{,}56 = 45{,}240 дБ.$$

2.6.4 Расчет времени ухудшения связи из-за дождя

Чем выше частота радиоизлучения, тем сильнее влияет на ослабление сигнала размер капель и интенсивность дождя. Поэтому при расчете времени ослабления необходимо учитывать климатическую зону в зависимости от интенсивности дождя в течение 0,01% времени.

Территория СНГ разделена на 16 климатических зон [11]. Казахстан относится к зоне Е, для которой интенсивность осадков =22 мм/час.

Коэффициенты регрессии для оценки затухания в зависимости от поляризации волны представлены в таблице В1 Приложения В.

Так как интенсивность дождя неравномерно распределяется вдоль трассы, определяем эффективную длину пролета

$$d_э = r \cdot R_0, \tag{2.14}$$

где R_0 – длина пролета (31,8 км);

$$r = \frac{1}{1 + R_0 / d_0} = \frac{1}{1 + \frac{31{,}8}{25{,}16}} = 0{,}442$$ – коэффициент уменьшения.

$$d_0 = 35e^{-0{,}015R_{0,01}} = 35 \cdot e^{-0{,}01522} = 25{,}16\ км$$ – опорное расстояние, км.

$$d_э = 0{,}442 \cdot 31{,}8 = 14{,}046\,км.$$

Удельное затухание в дожде в зависимости от поляризации волны (дБ)

$$\gamma = k \cdot R_{0,01}^{\alpha} \tag{2.15}$$

определяется для горизонтальной и вертикальной поляризации и выбирается наибольшее из них

$$\gamma_Г = k_Г \cdot R_{0,01}^{\alpha_и} = 0{,}00454 \cdot 22^{1,327} = 0{,}274 \text{ дБ/км}, \tag{2.16}$$

$$\gamma_V = k_V \cdot R_{0,01}^{\alpha_V} = 0{,}00395 \cdot 22^{1,31} = 0{,}266 \text{ дБ/км}, \tag{2.17}$$

где $k_í$, k_v, $\alpha_í$, α_v – коэффициенты регрессии.

Затухание на трассе, превышающее 0,01% времени, определяется по формуле

$$A_{0,01} = \gamma \cdot d_э. \tag{2.18}$$

Время, в течение которого ослабление сигнала больше, чем запас на замирание

$$T_g = 10^{11{,}628\left[-0{,}546 + \sqrt{0{,}29812 + 0{,}172 \lg\left(0{,}12 \cdot \frac{A_{0,01}}{F_t}\right)}\right]}, \tag{2.19}$$

при $A_{0,01}/F_t < 0{,}155$ принимаем $A_{0,01}/F_t = 0{,}155$.

$$A_{0,01} = 0{,}274 \cdot 14{,}046 = 3{,}85\ дБ,\ \frac{A_{0,01}}{F_t} = \frac{3{,}85}{45{,}240} = 0{,}085,$$

$$A_{0,01}/F_t < 0{,}155,\ \text{тогда}\ T_g = 10^{11{,}628\left[-0{,}546+\sqrt{0{,}29812-0{,}172\lg(0{,}12\cdot 0{,}155)}\right]} = 8{,}031\cdot 10^{-7}\ \%.$$

2.6.5 Расчет времени ухудшения связи, вызванного субрефракцией радиоволн

Стандартная атмосфера имеет наибольшую плотность у поверхности Земли, поэтому радиолучи изгибаются к низу. В результате просвет на пролете, определяемый по минимальному радиусу зоны Френеля, не имеет постоянной величины, т.к. плотность атмосферы изменяется и зависит от времени суток и состояния атмосферы.

Среднее значение просвета на пролете

$$H(\bar{g}) = H(0) + \Delta H(\bar{g}) = H(0) - \frac{R_0^2}{4}\cdot(\bar{g})\cdot k\cdot(1-k). \qquad (2.20)$$

$$\Delta H(\bar{g}) = -\frac{(31{,}8\cdot 10^3)^2}{4}\cdot(-7\cdot 10^{-8})\cdot 0{,}5\cdot(1-0{,}5) = 4{,}424\ м,$$

$$H(\bar{g}) = 12{,}676 + 4{,}424 = 17{,}1\ м.$$

Относительный просвет

$$p(\bar{g}) = \frac{H(\bar{g})}{H_0} = \frac{17{,}1}{9{,}969} = 1{,}715\ \text{м}. \qquad (2.21)$$

На чертеже профиля пролета проводим прямую параллельно радиолучу на расстоянии $\Delta y = H_0$=923-10=913 от вершины препятствия и находим ширину препятствия при 913м. r=31,8-31,3=0,5 км .

Относительная длина препятствия

$$l = \frac{r}{R_0} = \frac{0.5}{31{,}8} = 0{,}019\ \text{м}. \qquad (2.22)$$

Параметр μ, характеризующий аппроксимирующую среду

$$\mu = \sqrt[3]{\frac{k^2(1-k)^2}{l^2}}\cdot\sqrt[6]{\frac{64\pi\cdot\alpha}{3}}, \qquad (2.23)$$

где $\alpha = 0{,}5$ или $\alpha = 1$.

Принимаем $\alpha = 0{,}5$, тогда $\mu = \sqrt[3]{\frac{0{,}5^2(1-0{,}5)^2}{0{,}019^2}} \cdot \sqrt[6]{\frac{64 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}5}{3}} = 11{,}352$

Значение относительного просвета $p(g_0)$, при котором наступает глубокое замирание сигнала, вызванное экранировкой препятствием минимальной зоны Френеля

$$p(g_0) = \frac{V_0 - V_{min}}{V_0}, \qquad (2.24)$$

где V_0 – множитель ослабления при H(0)=0, определяемый из рисунка Г1 приложения Г по значению μ, т.к. $\mu \to \infty$ при V_0=-6 дБ, примем V_0=-6 дБ.

V_{min} – минимальный допустимый множитель ослабления

$$V_{min}^2 = -F_t \Rightarrow V_{min} \approx -\frac{F_t}{2} = -\frac{45{,}24}{2} = -22{,}62. \qquad (2.25)$$

Отсюда $p(g_0) = \frac{-6 + 22{,}62}{-7} = -2{,}37.$

Параметр ψ определяется по формуле:

$$\psi = 2{,}31 \cdot A \cdot \left[p(\bar{g}) - p(g_0)\right], \qquad (2.26)$$

где $A = \frac{1}{\sigma}\sqrt{\frac{\lambda}{R_0^3 \cdot k(1-k)}} = \frac{1}{9 \cdot 10^{-8}} \cdot \sqrt{\frac{0{,}0375}{(31{,}8 \cdot 10^3)^3 \cdot 0{,}5 \cdot (1-0{,}5)}} = 0{,}759.$

$$\psi = 2{,}31 \cdot 0{,}759 \cdot \left[1{,}715 - (-2{,}37)\right] = 7{,}162.$$

Процент времени ухудшения связи, вызванного субрефракцией радиоволн, $T_0(V_{min})$ определяется по рисунку Г2 Приложения Г: $T_0(V_{MIN}) \approx 0.$

Оптимизация высот подвеса антенн проводится, если $T_0(V_{min}) \geq 0{,}003\%$, при этом необходимо увеличить $H(\bar{g})$, пересчитать $p(\bar{g})$, ψ, $T_0(V_{min})$ и соответственно на эту величину увеличить h_1 и h_2 на пролете.

2.6.6 Проверка норм на неготовность

Характеристики неготовности для ГЭЦТ (гипотетический эталонный цифровой тракт) установлены в рекомендации 557МСЭ-Р.

ГЦЭТ считается неготовой, если в течение 10 последовательных секунд возникли следующие условия или одно из них:

– передача цифрового сигнала прервана;
– в каждой секунде BER хуже 10^{-3}.

Неготовность аппаратуры уплотнения исключается. Характеристики неготовности делятся на неготовность оборудования и неготовность, вызванную условиями распространения радиоволн, например, величина неготовности, вызванной дождем, составляет 30-50%.

Характеристики готовности ГЭЦТ протяженностью 2500 км определяются величиной 99,7%, причем эти проценты определяются в течение достаточно большого интервала времени. Этот интервал должен составлять более года, характеристики неготовности определяются, таким образом, величиной 0,3%.

Норма на неготовность

$$UR_{ДОП} = \frac{0{,}3 \cdot R_0}{2500} > T_0 + T_g, \qquad (2.27)$$

где R_0 – длина пролета, км;

2500 – длина эталонной гипотетической линии.

Для нашего случая:

$$UR_{ДОП} = \frac{0{,}3 \cdot 31{,}8}{2500} = 0{,}004\,\%.$$

$$T_0 + T_g = 8{,}031 \cdot 10^{-7}\,\%.$$

$4 \cdot 10^{-3} > 8{,}031 \cdot 10^{-7}$, условие (2.21) выполняется.

2.6.7 Расчет времени ухудшения радиосвязи из-за многолучевого распространения

При моделировании радиолиний протяженностью более чем несколько километров должны учитываться четыре механизма замирания в чистой атмосфере, обусловленные чрезвычайно преломляющими слоями:

– расширение луча;
– развязка в антенне;
– поверхностное многолучевое распространение;
– атмосферное многолучевое распространение.

Большинство этих механизмов возникают сами по себе или в комбинации с другими механизмами. Сильные частотно-избирательные затухания возникают, когда расфокусировка прямого луча сочетается с отражением сигнала от поверхности, что вызывает замирание вследствие многолучевого распространения. Мерцающие замирания, вызванные небольшими турбулентными возмущениями в атмосфере, всегда имеют место при этих механизмах, но на частотах ниже 400 ГГц их влияние на общее распределение замираний не существенно. На больших глубинах замирания процент времени Тинт, в течение которого в узкополосных системах не превышается уровень принимаемого сигнала в средний худший месяц, может быть определен с помощью следующего приближенного асимптотического выражения

$$T_{инт} = K \cdot Q \cdot f^{B} \cdot d^{C} \cdot 10^{-A/10}, \qquad (2.28)$$

где $A=F_t$ – запас на замирание, дБ;

d – длина пролета, км;

f – частота, ГГц;

K – коэффициент, учитывающий влияние климата и рельефа местности;

Q – коэффициент, учитывающий другие параметры трассы;

B=0,89; C=3,6 – коэффициенты, учитывающие региональные эффекты.

Коэффициент, учитывающий влияние климата и рельефа местности [12]

$$K = P_L^{1,5} \cdot 10^{(-6,5-C_{LAT}-C_{LON})}, \qquad (2.29)$$

где P_L=5%=0,05 – процент времени с вертикальным градиентом рефракции;

$C_{LAT}=C_{LON}=0$ для Казахстана.

Коэффициент, учитывающий другие параметры трассы:

$$Q = (1 + |E_P|)^{-1,4}, \qquad (2.30)$$

где $|E_P| = \frac{h_1 - h_2}{d}$ – наклон радиотрассы, мрад (здесь h_1, h_2 в м; d в км).

Решение. $K = 0,05^{1,5} \cdot 10^{-6,5} = 3 \cdot 10^{-9}$,

$E_P = \frac{0.025 - 0.020}{31,8} = 0,000157\, мрад$,

$Q = (1 + 0,000157)^{-1,4} = 0,99$,

$T_{инт} = 3 \cdot 10^{-9} \cdot 0,99 \cdot 22^{0,89} \cdot 31,8^{3,6} \cdot 10^{-45,24/10} = 3,567 \cdot 10^{-7}\ \%$.

2.5.8 Проверка норм на допустимое время ухудшения связи из-за многолучевого распространения радиоволн

Норма на допустимое время ухудшения связи для высшего качества связи

$$SES = \frac{0,054 \cdot R_0}{2500} > T_{инт}. \qquad (2.31)$$

Решение. $SES = \frac{0,054 \cdot 31,8}{2500} = 6,87 \cdot 10^{-4}\ \%$.

$6,87 \cdot 10^{-4} > 3,567 \cdot 10^{-7}$, условие выполняется.

2.7 Анализ зависимости количества одновременно говорящих абонентов от вероятности блокировки вызовов

Вероятность блокировки вызовов находится по формуле Эрланга В с отказами:

$$P_\alpha = \frac{A^N / N!}{\sum_{i=0}^{N} A^Z / Z!} \tag{2.32}$$

где А – интенсивность трафика (нагрузка)

N – число каналов

Z – число поступающих вызовов

Выведем формулу, связывающую допустимую телефонную нагрузку А и вероятность P_α отказа в установлении соединения при заданном числе телефонных каналов N.

Учитывая соотношения:

$$\frac{1}{N!}\int_A^\infty x^N e^{-x} dx = e^{-A} \sum_{\ell=0}^{N} A^Z / Z! \tag{2.33}$$

$$n! \cong \sqrt{2\pi n}\, n^n e^{-n} \tag{2.34}$$

Оценим интеграл в формуле (2.34) методом Лапласа:

$$\frac{1}{n!}\int_A^\infty x^n e^{-x} dx \approx \int_{\sqrt{n}\left(\frac{A}{n}-1)\right)}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \frac{dt}{\sqrt{2\pi}} \tag{2.35}$$

Из формулы (2.33и 2.35) следует, что при A<n

$$P_\alpha \le \frac{2n^n e^{-n}}{n!} \cong \sqrt{2/\pi n} \tag{2.36}$$

Рассмотрим случай, когда выполняется условие формулы (2.36). При этом из формулы (2.32) имеем следующее приближенное соотношение:

$$\left(\frac{A}{n}\right) e^{-\left(\frac{A}{n}-1\right)} \cong \left(P_\alpha \sqrt{\pi n / 2}\right)^{1/n} \tag{2.37}$$

Следует учитывать, что, из формулы (2.37):

$$Z = \left(\frac{A}{n} - 1\right) \cong 0 \text{ Ц } e^{Z} \cong 1 + Z \qquad (2.38)$$

Найдем нагрузку:

$$A = N + \sqrt{\frac{N}{2} + 2 \cdot N \cdot \ln\left[P_{\alpha}\sqrt{\frac{\pi \cdot N}{2}}\right]} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \qquad (2.39)$$

Одна базовая станция TETRA поддерживает 8 логических каналов. Исходя из этого рассчитаем возможное количество одновременно говорящих абонентов при заданных вероятностях блокировки, с учетом того что 3 логических канала отдаются в аренду.

Рассчитаем максимально возможное количество одновременно говорящих абонентов при вероятности блокировки $P_B = 1\%$

По формуле (2.39) определим нагрузку при 5 каналах.

$$A = 5 + \sqrt{\frac{5}{2} + 2 \cdot 5 \cdot \ln\left[0.01\sqrt{\frac{\pi \cdot 5}{2}}\right]} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 6{,}744 \text{ Эрл}$$

Трафик на одного абонента составляет $A_{АБ} = 0.1$ Эрл, соответственно число одновременно говорящих абонентов определяется по формуле:

$$N_A = \frac{A}{A_{АБ}} \qquad (2.41)$$

где А – нагрузка, Эрл

$A_{АБ}$ – трафик на одного абонента, Эрл

Подставим найденное значение нагрузки и трафик на одного абонента в формулу (2.41)

$$N_A = \frac{6{,}774}{0{,}1} = 68 \text{ абонентов}$$

Рассчитаем максимально возможное количество одновременно говорящих абонентов при вероятности блокировки $P_B = 2\%$

По формуле (2.39) определим нагрузку при 5 каналах.

$$A = 5 + \sqrt{\frac{5}{2} + 2 \cdot 5 \cdot \ln\left[0.02\sqrt{\frac{\pi \cdot 5}{2}}\right]} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 7{,}101 \text{ Эрл}$$

Подставим найденное значение нагрузки и трафик на одного абонента в формулу (2.41)

$$N_A = \frac{7{,}101}{0{,}1} = 72 \text{ абонента}$$

Рассчитаем максимально возможное количество одновременно говорящих абонентов при вероятности блокировки $P_B = 5\%$

По формуле (2.39) определим нагрузку при 5 каналах.

$$A = 5 + \sqrt{\frac{5}{2} + 2 \cdot 5 \cdot \ln\left[0.02\sqrt{\frac{\pi \cdot 5}{2}}\right]} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 7{,}877 \text{ Эрл}$$

Подставим найденное значение нагрузки и трафик на одного абонента в формулу (2.41)

$$N_A = \frac{7{,}877}{0{,}1} = 78 \text{ абонентов}$$

Рассчитаем максимально возможное количество одновременно говорящих абонентов при вероятности блокировки $P_B = 10\%$

По формуле 3.6 определим нагрузку при 5 каналах.

$$A = 5 + \sqrt{\frac{5}{2} + 2 \cdot 5 \cdot \ln\left[0.1\sqrt{\frac{\pi \cdot 5}{2}}\right]} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 10{,}211 \text{ Эрл}$$

Подставим найденное значение нагрузки и трафик на одного абонента в формулу (2.41)

$$N_A = \frac{10{,}211}{0{,}1} = 102 \text{ абонентов}$$

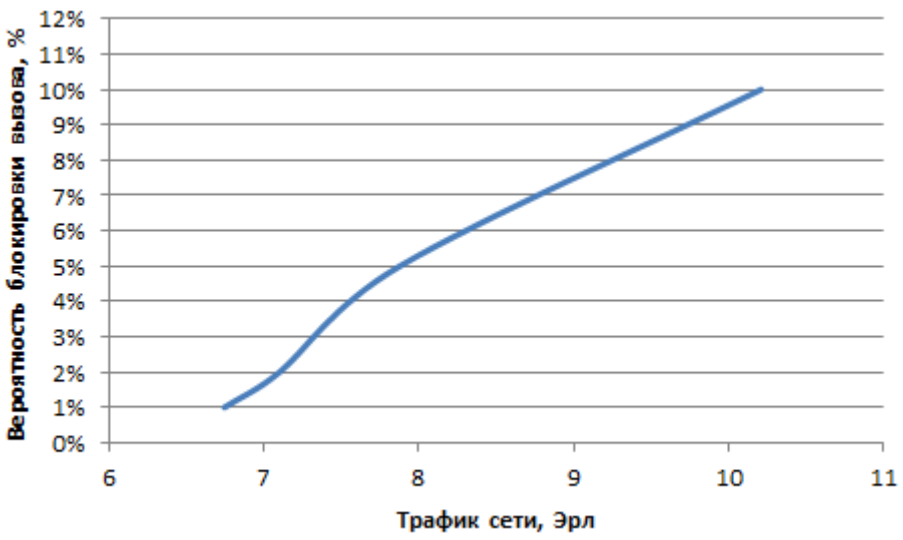


Рисунок 2.16 – Зависимость вероятности блокировки вызова от трафика.

Из рисунка 2.16 видно, что при увеличении нагрузки на сеть, вероятности блокировки вызова так же увеличивается. В связи с этим, приближенные соотношения, полученные в результате вычисления, представляют собой практический интерес и позволяют определить абонентскую нагрузку с заданной вероятностью блокировки при заданном количестве радиоканалов.

Таким образом, полученная зависимость и метод расчета нагрузки позволят операторам подвижных сетей прогнозировать распределение нагрузки в пределах зоны действия базовой станции.

3 Безопасность жизнедеятельности

3.1 Анализ потенциально опасных и вредных факторов, воздействующих на обслуживающий персонал при монтаже и эксплуатации проектируемой базовой станции

Цель дипломного проекта состоит во внедрении сети стандарта TETRA с применением антенного усилителя, антенн и радиорелейной антенны.

Антенны будут находиться на вышке, а возле нее в помещении будет находится шкаф базовой станции.

Следовательно, вся эта антенная система представляет высокую степень опасности для обслуживающего технического персонала. Так как, данный антенный усилитель находится на крыше здания, непосредственно около него могут находиться многие объекты. Это – блок питания, кабеля электроснабжения, трубы и т.д. Чтобы характеристики антенной системы меньше зависели от окружения, стараются поднимать антенный усилитель выше, устанавливать его дальше от проводящих конструкций, делать неметаллические мачты, оттяжки.

Монтаж и осмотр данного антенного оборудования должен производиться в соответствии с инструкцией и следованию технике безопасности.

В зонах возможной опасности не допускается размещение взрыво - и пожароопасных материалов и проведение буровзрывных работ. В качестве способов защиты персонала и оборудования от наводимых напряжений следует использовать:

– молниезащиту здания и сооружения;

– заземление металлоконструкций и неизолированных (открытых) частей конструкций, шин проводов.

Основным защищаемым объектом является система из антенн, расположенных на башне высотой примерно 20 м, поэтому, возрастает вероятность прямого поражения конструкции грозовым разрядом. Кроме этого на башне может находиться большое количество кабелей связи и электропитания, что увеличивает опасность проникновения больших потенциалов на станционное оборудование и конструкции здания, что может привести к поражению технического персонала базовой станции электрическим током.

3.2 Расчет молниезащиты антенной системы

С целью обеспечения безопасности людей, оборудования и материальных ценностей, сохранности здания базовой станции от возможных возгораний и разрушений, в здании станции следует использовать средства молниезащиты. Молниезащита – совокупность организационных мероприятий и специальных технических устройств, защищающих здания, оборудование и людей от ущерба при прямом попадании молнии или импульсного электромагнитного поля, выводящее из строя чувствительное

оборудование. Для защиты от прямого удара молнии в здании устраивают молниеотводы, которые воспринимают электрический разряд и безопасно отводят ток молнии в землю, создавая защитную зону, пространство, создаваемое молниеотводом, в пределах которого люди, здания и сооружения защищены от поражения молнией. Молниеотводы состоят из молниеприемников, токоотводов и заземлителей защиты.

Для защиты работающих от опасности поражения электрическим током при переходе напряжения на металлические нетоковедущие части (например, при коротком замыкании), нормально не находящиеся под напряжением, применяют защитное заземление.

Защитное заземление обеспечивает безопасность человека и защиту от помех электронных приборов. Защитное заземление служит для защиты людей от поражения электрическим током при прикосновении к нетоковедущим частям электроприборов с поврежденной изоляцией.

Защитное заземление представляет собой систему металлических заземлителей, помещенных в землю и электрически соединенных специальными проводами с металлическими частями электрооборудования, нормально не находящимися под напряжением.

Исходные данные: ширина здания 2 м, длина здания 20 м, наибольшая высота антенны $h_x = 4$ м.

При разработке молниезащиты антенны использовано методическое указание СНиП РК 2.04 – 05.

Молниеприемник — это стальной стержень, пика, укрепленная на верхушке несущей мачты или на элементе конструкции крыши (например, на трубе или фронтоне) (рисунок 2). Молниеприемник необходимо защитить от коррозии оцинковыванием, лужением или окраской.

Токоотводы служат для соединения молниеприемников с заземлителями. Токоотводы прокладываются по защищаемому зданию кратчайшими путями к заземлителям. При высоте сооружения до 50 м от молниеприемника пролагается один токоотвод. Соединение молниеприемников с токоотводами выполняется сваркой, а при невозможности применения сварки допускается болтовое.

Стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h является круговой конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода. Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0.

По степени надежности защиты различают два типа зон:

А – степень надежности защиты превышает 99,5%;

Б – степень надежности защиты составляет 95-99,5%.

Связи между параметрами молниеотвода в зависимости от типа зон защиты определены формулами:

– для зоны А

$$h_0 = 0{,}85h, \tag{3.1}$$

$$r_0 = (1{,}1 - 2 \cdot 10^{-3} h) h, \quad (3.2)$$

$$r_X = (1{,}1 - 2 \cdot 10^{-3} h)(h - 1{,}2 h_X); \quad (3.3)$$

– для зоны Б

$$h_0 = 0{,}92 h, \quad (3.4)$$

$$r_0 = 1{,}5 h, \quad (3.5)$$

$$r_X = 1{,}5(h - 1{,}1 h_X), \quad (3.6)$$

$$h_A = \mathrm{h} - \mathrm{h_x}, \quad (3.7)$$

$$h_м = \mathrm{h} - \mathrm{h_o}, \quad (3.8)$$

где r_X – радиус горизонтального сечения на высоте защищаемого объекта, м;

h_X – наибольшая высота антенны, м;

$h_м$ – высота молниеприемника, м;

h_A – наибольшая высота защищаемого здания, м.

Расчетные формулы (3.1)-(3.8) пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. При более высоких молниеотводах следует пользоваться специальной методикой расчета.

Ожидаемое количество поражений N молнией в год производится по формулам: для зданий и сооружений прямоугольной формы:

$$N = \left[(B + 6h_X)(A + 6h_X) - 7{,}7 h_X^2\right] \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (3.9)$$

где n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности в месте нахождения здания или сооружения, 1/(км^2·год);

где А – длина объекта, м; В – ширина объекта, м.

По формуле (3.9) получаем ожидаемое количество поражений молнией в год $N = \left[(2 + 6 \cdot 4)(20 + 6 \cdot 4) - 7{,}7 \cdot 4^2\right] \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0.002$ шт/год.

В зависимости от N и t_{CP} определяем требуемый тип зоны молниезащиты (зона А).

К зоне А относятся: здания и сооружения или их части, наружные установки и открытые склады, здания и сооружения III, IIIа, IIIб, IV, V степеней огнестойкости, в которых отсутствуют помещения, относимые к зонам взрыво- и пожароопасных классов, здания и сооружения из легких металлических конструкций со сгораемым утеплителем (IVа степени

огнестойкости), в которых отсутствуют помещения, относимые к зонам взрыво- и пожароопасных классов.

Расчетная высота молниеотвода 30 метров в соответствии с (3.1)-(3.3), получается:

$$h_0 = 0{,}85 \cdot 30 = 25{,}5\,м,$$

$$r_0 = \left(1{,}1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 30\right) \cdot 30 = 31{,}2\,м,$$

$$r_X = \left(1{,}1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 30\right)\left(30 - 1{,}2 \cdot 4\right) = 26{,}21\,м.$$

При проверке защищенности объекта проверяется соблюдение условия:

$$\sqrt{A^2 + B^2}/2 < r_X \qquad (3.10)$$

$\sqrt{20^2 + 2^2}/2 = 10{,}05 < 26{,}21$ - условие соблюдено.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода с указанием размеров приведена на рисунке 3.1

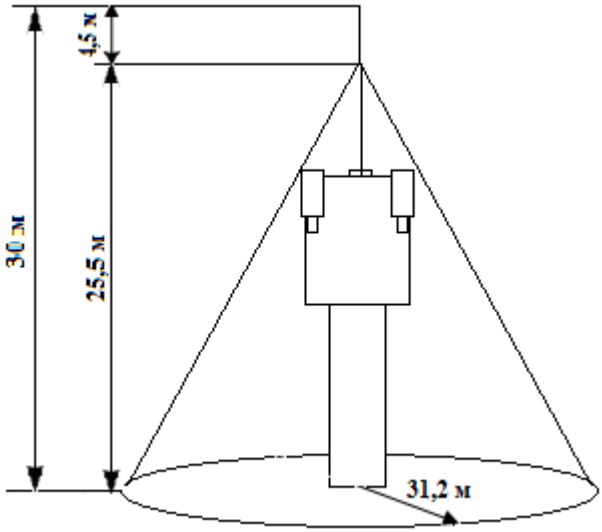


Рисунок 3.1 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода с размерами

Из расчетов видно, что молниезащита выполнена правильно, и антенна вписывается в конус, для высоты молниеотвода h_o равного 25,5 м, выходит конус радиус r_o = 31,2 м и высотой h_x = 4 м. А также из расчетов видно, что высота молниеприемника равна 4,5 м.

3.3 Расчет защитного заземления базовой станции стандарта TETRA

Исходные данные: длина здания 20 м и ширина здания 2 м.

Заземлители располагаются по контуру заземляемого оборудования на небольшом (несколько метров) расстоянии друг от друга. В данном случае

поля растекания заземлителей накладываются, и любая точка поверхности земли внутри контура имеет значительный потенциал. Напряжение прикосновения будет меньше, чем при выносном заземлении.

Тип заземления – контурный, при котором заземлители располагаются по контуру вокруг здания. Заземлители, или заземляющие электроды, — это устройства, обеспечивающие надежный контакт токоотвода с почвой. Не следует укладывать заземлитель слишком близко (ближе 5 м) к крыльцу и пешеходным дорожкам. Требуемое сопротивление защитного устройства должно быть не более 4 Ом, т.е. $R_T < 4\ Ом$.

В качестве заземлителя выбираем стальную трубу диаметром $d = 55\ мм$, а в качестве соединительного элемента – стальную полосу шириной $b = 50\ мм$.

Выбираем значение удельного сопротивления грунта соответствующее или близкое по значению удельному сопротивлению грунта в заданном районе размещения проектируемой установки ρ=150 Ом·м (суглинок для Алматинской области).

Определяем значение электрического сопротивления растеканию тока в землю с одиночного заземлителя:

$$R_з = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\lg\frac{2\cdot l}{d} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right) = \frac{150}{16.9}\left(\lg\frac{2\cdot 2{,}7}{0{,}055} + \frac{1}{2}\lg\frac{4\cdot 2+2{,}7}{4\cdot 2-2{,}7}\right) = 43{,}5\ Ом, \qquad (3.11)$$

где $\rho = 150 Ом$ - удельное сопротивление грунта (суглинок),

$l = 2{,}7\ м$ – длина заземлителя,

$d = 55\ мм$ – диаметр заземлителя,

$t = h + 0{,}5l = 0{,}65 + 0{,}5\cdot 2{,}7 = 2\ м$ - расстояние от поверхности грунта до середины заземлителя.

Рассчитываем число заземлителей без учета взаимных помех, оказываемых заземлителями друг на друга:

$$n^{/} = \frac{R_з}{R_{зн}} = \frac{43{,}5}{4} = 10{,}8 \approx 10. \qquad (3.12)$$

Рассчитываем число заземлителей с учетом коэффициента экранирования

$$n = \frac{n^{/}}{\eta_з} = \frac{10}{0{,}53} = 18{,}8 \approx 20. \qquad (3.13)$$

где $\eta_з = 0{,}53$ - коэффициент экранирования для заземлителей по контуру (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Значения коэффициента экранирования для заземлителей

Выносное заземление				Контурное заземление			
Число заземлителей, шт	Отношение a/l			Число заземлителей,шт	Отношение a/l		
	1	2	3		1	2	3
5	0,70	0,81	0,87	10	0,53	0,67	0,76
10	0,58	0,74	0,81	20	0,47	0,62	0,71
15	0,53	0,69	0,78	30	0,43	0,59	0,69
20	0,49	0,66	0,76	40	0,41	0,58	0,67
30	0,45	0,63	0,73	50	0,40	0,56	0,66
40	0,42	0,61	0,72	60	0,37	0,54	0,65
50	0,41	0,60	0,71	80	0,34	0,52	0,63

Расстояние между заземлителями $a = l = 2{,}7$ *м.*

Определяем длину соединительной полосы:

$l_П = 1{,}05 \cdot n \cdot a = 1{,}05 \cdot 20 \cdot 2{,}7 = 56{,}7$ *м.*

Рассчитываем полное значение сопротивления растеканию тока с соединительной полосы:

$$R_П = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_П} \lg \frac{2 \cdot l_П^2}{b \cdot h} = \frac{150}{356} \lg \frac{2 \cdot 56{,}7^2}{0{,}05 \cdot 0{,}65} = 5{,}13\ Ом. \qquad (3.14)$$

Рассчитываем полное значение сопротивления системы заземления:

$$R_{зу} = \frac{R_з \cdot R_п}{R_з \cdot \eta_п + R_п \cdot \eta_з \cdot n} = \frac{43{,}5 \cdot 5{,}13}{43{,}5 \cdot 0{,}33 + 5{,}13 \cdot 0{,}53 \cdot 20} = 3{,}24 Ом, \qquad (3.15)$$

где $\eta_п$ =0.33 - коэффициент экранирования полосы (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Значения коэффициента экранирования для соединительной полосы

Выносное заземление				Контурное заземление			
Число заземлителей	Отношение a/l			Число заземлителей	Отношение a/l		
	1	2	3		1	2	3
5	0,70	0,83	0,88	10	0,33	0,39	0,55
10	0,60	0,70	0,78	20	0,27	0,32	0,44
20	0,41	0,55	0,66	30	0,24	0,30	0,40
30	0,31	0,45	0,58	40	0,22	0,28	0,38
40	0,26	0,39	0,52	50	0,21	0,27	0,37
50	0,21	0,36	0,49	60	0,20	0,26	0,36
60	0,20	0,34	0,47	70	0,19	0,25	0,35

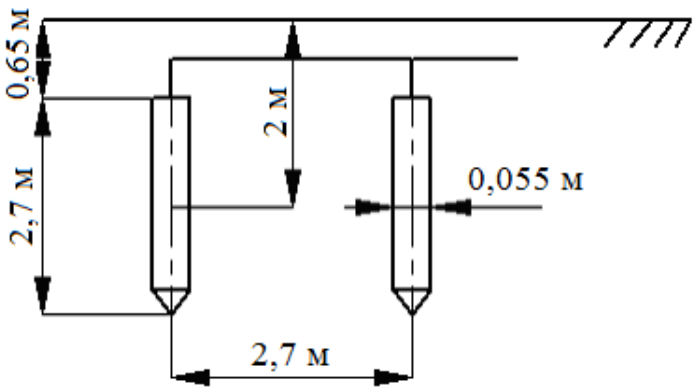


Рисунок 3.2 – Схема расположения заземлителей по контуру

Сопротивление $R_{зу}$ = 3,24 Ом меньше допускаемого сопротивления, равного 4 Ом. Следовательно, диаметр заземлителя d = 55 мм при числе заземлителей n=20 является достаточным для обеспечения защиты при контурной схеме расположения заземлителей.

3.4 Выводы по проведенным расчетам

В результате проведенного анализа были определены возможные причины и источники возникновения опасных и вредных факторов при эксплуатации и производстве антенного устройства.

Из расчетов видно, что молниезащита выполнена правильно, и антенна вписывается в конус, для высоты молниеотвода h_o равного 25,5 м, выходит конус радиус r_o = 31,2 м и высотой h_x = 4 м. А также из расчетов видно, что высота молниеприемника равна 2,4 м. При проверке защищенности объекта проверяется соблюдение условия $\sqrt{20^2+2^2}/2=10{,}05<$ 26,21 - условие соблюдено.

Сопротивление $R_{зу}$ = 3,24 Ом в расчете заземления меньше допускаемого сопротивления, равного 4 Ом. Следовательно, диаметр заземлителя d = 55 мм при числе заземлителей n = 20 является достаточным для обеспечения защиты при контурной схеме расположения заземлителей.

Соблюдение всех вышеизложенных рекомендаций по организации рабочего места сборщика антенного устройства, уменьшению влияния вредных веществ выделяемых на этапах производства, увеличат безопасность на рабочем месте, а также исключат возможность возникновения профессиональных заболеваний. Таким образом, при соблюдении всех норм безопасности, можно сделать вывод о том, что снизятся травматизм и смертность на рабочих местах. В результате расчета были созданы все необходимые и комфортные условия труда персонала при обслуживании технического оборудования.

4 Экономическая часть

4.1 Компания и отрасль

Можно с уверенностью сказать, что на сегодняшний день, стандарт цифровой транкинговой связи TETRA является наиболее динамично развивающимся среди технологий профессиональной мобильной радиосвязи (ПМР), становясь действительно мировым стандартом.

По сравнению с сетями сотовой связи транкинговые системы TETRA гораздо более эффективны при создании однозоновых сетей связи или сетей с локальным покрытием территории.

Картина современного состояния описывется следующим образом: транкинговые системы TETRA широко используются в сфере деятельности таких официальных структур, как аварийно-спасательные службы, полицейские силы, пожарные и скорая помощь, общественный транспорт и армия. Кроме того, для нужд Алматинского метрополитена также построена цифровая профессиональная радиосвязь стандарта TETRA.

Основным потребителем услуг в моем дипломном проекте является ТОО «ЖерСу». ТОО «ЖерСу» - это предприятие, основной деятельностью которого является бурение водяных скважин. Бурение осуществляется бригадами, которые рассредоточены по территории республики, и которым необходима качественная мобильная связь, учитывая их постоянную мобильность и работу в местностях, где, зачастую, нет покрытия сотовой связи. Следовательно, развитие сети стандарта TETRA имеет актуальность. Кроме того, благодаря уплотнению каналов доступа с временным разделением существенно увеличивается емкость сети, что позволяет пользоваться проектируемой сетью предприятиям, работающим в зоне охвата базовой станции, например, дорожным рабочим, строителям крупных объектов инфраструктуры и т.п. Это может увеличить доход предприятия.

4.2 Описание продукции (услуги)

К преимуществам TETRA следует отнести большую зону охвата базовой станции, высокую скорость установления связи, повышенную безопасность каналов связи, групповой вызов, относительно небольшую стоимость оборудования и длительность его использования. В частности стандарт TETRA применяется на предприятиях, где необходимо быстро развернуть корпоративную сеть для коммуникации определенной, географически рассредоточенной группы лиц.

Сеть связи стандарта Tetra предусматривает следующие элементы:

1) комплект базовой станции;
2) комплект РРЛ;
3) стационарная радиостанция;
4) мобильная радиостанция.

4.3 Анализ рынка сбыта. Изучение рынка услуг

Потенциальным рынком сбыта продукции является само предприятие [13]. В процессе эксплуатации будет возможность перепродажи оборудования. Как уже отмечалось выше, основными конкурентами применяемой технологии являются операторы сотовой связи. Благодаря тому, что все инсталлируемое оснащение является портативным и мобильным, то нет необходимости оснащать всю территорию потенциальных мест работ бригад. Достаточно рационально развернуть сеть в местах, где будут располагаться бригады, причем таким образом, чтобы одна базовая станция обслуживала одновременно несколько бригад. Это и является самым главным приоритетом – не подстраиваться под существующую сеть, а создать условия, удобные для вас. Так же в качестве сегмента рынка могут выступать те отрасли, где осуществляется коллективная деятельность определенной группы лиц, возможно в удаленных районах. Это могут быть службы внутренних дел (спасатели, пожарная служба, служба скорой помощи, дорожная полиция), служба такси, охранные службы и т.п.

Срок эксплуатации оборудования составляет 5-6 лет, с учетом единовременных затрат на покупку и установку [14], это существенно сказывается на экономии денежных средств, по сравнению с использованием сотовых систем связи, где предоставляется фиксированный трафик, и где, зачастую, нет покрытия сети.

4.4 Менеджмент

Организационная структура предприятия выглядит следующим образом: комплект оборудования будет прикреплен к бригадам, в каждой из которой есть бригадир, осуществляющий контроль за его работой и сохранностью. Это объясняет отсутствие затрат на содержание специализированного штата сотрудников – диспетчеров.

4.5 Финансовый план

4.5.1 Расчет капитальных затрат

Проектируемая сеть будет включать в себя 3 базовых станций, соединенные между собой антенной РРЛ и существующим оптическим соединением. Две базовые станции из трех будут обслуживать каждая по три бригады бурильщиков. Третья базовая станция будет обслуживать непосредственно офис предприятия. На каждую бригаду приходится по одной портативной радиостанции по три мобильные радиостанции. В офисе будет располагаться только стационарная радиостанция. Исходя из информации о стоимоти оборудования (см. Приложение Д), а также используя ресурсы Интернет и личную переписку с предприятиями по поставке оборудования, имеем прайс лист в Приложении Д, где отображены следующие затраты на разработку сети:

Таблица 4.1 – Затраты на оборудование

Наименование затрат	Количество, штук	Норматив инвестиций, тенге	Общая сумма, тенге
Комплект базовой станции DAMM Tetra Flex	3	15077679	45233037
Стационарная радиостанция Motorola MTM800 Enh	7	250628	1754396
Мобильная радиостанция Motorola MTP3200	18	263703	4746654
Комплект РРЛ NERA NL188	1	150000	150000
Прочие расходы:			180000
Итого:			52064087

Рассчитаем капитальные затраты:

$$K_{КАП} = K_0 + K_{МОН} + K_{ТР} + K_{ДОП} + K_{ПЛ}, \quad (4.1)$$

где K_O – затраты на оборудование;

$K_{МОН}$ затраты на монтаж оборудования на месте эксплуатации (5 % от стоимости оборудования):

$$K_{МОН} = 52064087 \cdot 0{,}05 = 2603204 \text{ тенге;}$$

$K_{ТР}$ – транспортные расходы (3% от стоимости оборудования):

$$K_{ТР} = 52064087 \cdot 0{,}03 = 1561923 \text{ тенге;}$$

$K_{ДОП}$ – стоимость дополнительных средств (5% от стоимости оборудования):

$$K_{ДОП} = 52064087 \cdot 0{,}05 = 2603204 \text{ тенге;}$$

$K_{ПЛ}$ – стоимость арендной платы занимаемой площади (6% от стоимости оборудования):

$$K_{ПЛ} = 52064087 \cdot 0{,}06 = 3123845 \text{ тенге;}$$

$$K_{КАП} = 52064087 + 2603204 + 1561923 + 2603204 + 3123845 = 61956264 \text{ тенге}$$

4.5.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат

Как уже было отмечено выше, в годовые эксплуатационные не входят фонд оплаты труда. Вместе с этим появляется такой вид затрат, как аренда частотного диапазона и аренда существующего оптического соединения.

4.5.3 Затраты на аренду частотного диапазона

Используя информацию из Интернет-ресурсов, рассчитаем расходы на аренду частотного диапазона:

$$P_{ЧД} = P_{КВ} \cdot 4, \quad (4.2)$$

где $P_{чд}$ – расходы на аренду частотного диапазона для одной БС;

$Р_{кв}$ – расходы на аренду частотного диапазона за квартал для одной БС.
$Р_{чд}$=10200·4=40800 (тг)

Соответственно расходы на аренду частотного диапазона для всей сети будут равняться:

$$P_{ОБЩ} = P_{ЧД} \cdot M, \quad (4.3)$$

где $Р_{общ}$ – расходы на аренду частотного диапазона для всей сети;
М – количество БС.

$$P_{ОБЩ} = 40800 \cdot 3 = 122400 \text{ тенге}$$

4.5.4 Амортизационные отчисления

Амортизационные отчисления (А) на полное восстановление производственных фондов определяются по формуле:

$$A = K_{осн.i} \cdot H_{a.i} \quad (4.4)$$

где $К_{осн.i}$ – первоначальная стоимость основных фондов ($К_{осн.i}$ приравнивается к капитальным вложениям);

$Н_{а.i}$ – норма амортизационных отчислений основных фондов, $Н_{а.i}$ = 20%.

$$A = 61956264 \cdot 0{,}20 = 12391253 \text{ тенге}$$

4.5.5 Расчет материальных затрат

Величина материальных затрат ($М_з$) включает в себя оплату электроэнергии для производственных нужд, затраты на материалы и запасные части. Составляющие материальных затрат определяются по формуле:

$$M_з = З_{эн} + З_м, \quad (4.5)$$

где $З_{эн}$ – затраты на оплату электроэнергии;

$З_м$ – затраты на материалы и запасные части.

Затраты на оплату электроэнергии определяются в зависимости от мощности оборудования по формуле:

$$З_{эн} = T \cdot 24 \cdot 365 \cdot P, \quad (4.6)$$

где T – тариф на электроэнергию, Т = 19,44 тг./кВт/час [3];

P – мощность оборудования, для eNB P = 1,075 кВт.

$$З_{эн} = 19{,}44 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1{,}075 = 183067 \text{ тенге}$$

Затраты на материалы и запасные части составляют 3,5% от капитальных вложений *К* и определяется по формуле:

$$З_м = К \cdot 0{,}035 \qquad (4.7)$$

$$З_м = 61956264 \cdot 0{,}035 = 2168469 \text{ тенге}$$

Величина общих материальных затрат составит:

$$М_з = 183067 + 2168469 = 2351536 \text{ тенге} \qquad (4.8)$$

Результат годовых эксплуатационных расходов:

$$\sum Э = Р_{общ} + А + М_з \qquad (4.9)$$

$$\sum Э = 122400 + 12391253 + 2351536 = 14865189$$

Годовые эксплуатационные расходы сведены в таблице 6.3.

Таблица 4.2 – Годовые эксплуатационные расходы

Виды расходов	Сумма расходов, тенге
Расходы на аренду частотного диапазона *($Р_{общ}$)*	122400
Амортизационные отчисления (*А*)	12391253
Материальные затраты ($М_з$)	2351536
Итого	14865189

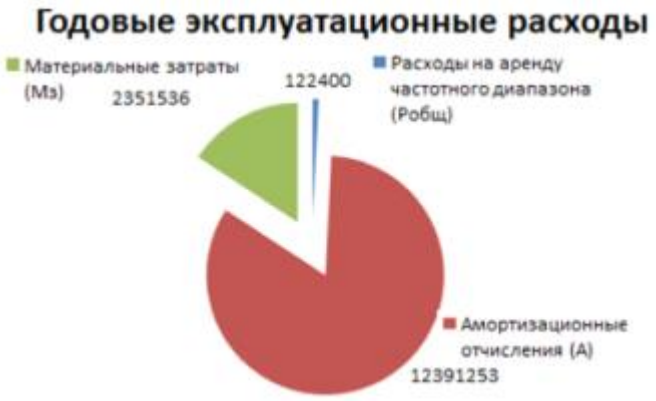


Рисунок 4.1 - Диаграмма эксплуатационных затрат

4.5.6 Расчет условной прибыли

Рассчитаем условную прибыль от использования проектируемой сетью, по сравнению с использованием услуг сотовой связи. Необходимо заметить, что, по сути, использование сотовых систем связи не всегда является возможным из-за расположения бригад в местах, где, зачастую, нет покрытия сотовой связи. Это необходимо учесть при расчете прибыли (экономии) от проектируемой сети стандарта TETRA. Также следует отметить, что планируется длительное использование комплекта оборудования, как минимум сроком 5 лет. Т.е. проект рассматривается как долгосрочный. Еще возможно предоставление в аренду ресурсов проектируемой сети посторонним лицам. Это также будет являться одним из видов дохода.

Теперь займемся сравнительным анализом затрат при использовании внедряемой технологии и существующей сети сотовой связи. Предположим, что сотрудники компании являются абонентами АО «Kcell» и подключены на тариф «Курмет» [4], где предусмотрена удобная тарификация, и стоимость абонентской платы составляет 15000 тенге в месяц.

Рассчитаем затраты на пользование услуг оператора сотовой связи в год:

$$\Delta З_{мс} = N \cdot 12 \cdot 15000 \qquad (4.9)$$

где N – количество абонентов (сотрудников).

15000 – ежемесячная стоимость тарифа

$$\Delta З_{мс} = 35 \cdot 12 \cdot 15000 = 6300000$$

В свою очередь, при использовании проектируемой сетью ежегодно мы платим только лишь за аренду частотного диапазона $\Delta З_{пр} = Р_{общ.}$

$$П_{усл} = \Delta З_{мс} - \Delta З_{пр} \qquad (4.10)$$

$$П_{усл} = 6300000 - 122400 = 6177600 \text{ тенге}$$

Как один из видов прибыли могут выступать различные коммерческие организации, попадающие под зону охвата сетью. Ими могут быть дорожные рабочие, службы такси, строители и служба охраны крупных индустриальных объектов. В нашем случае – это дорожные рабочие, рабочие по уборке улиц ТОО «Алматы таза кала», ТОО «Промс Транс Менежмент», ТОО «Такси Экипаж», ТОО «Берекелі жол», «Алматы жол курылыс», АО «ТАТЭК».

На каждого арендующее лицо стоимость арендного пользования услугами проектируемой сетью на каждую базовую станцию составляет 5% от годовых эксплуатационных расходов, т.к. задействуются и частотный диапазон, и оборудование.

$$\Delta Д_{ар} = 0{,}5 \cdot \sum Э \cdot \sum П \,, \qquad (4.11)$$

где ΣП – сумма, получаемая от предприятий, арендующих каналы связи.

$$\sum П = M \cdot \sum_{i=1}^{M} Ч_i \cdot T_i \;\;, \qquad (4.12)$$

где Ч – количество каналов;

Т – количество базовых станций, ресурсы которых используют арендующие лица.

М – количество арендующих лиц

Таблица 4.3 – Информация об арендующих лицах

Название предприятия	Количество арендуемых каналов	Количество использованных базовых станций
ТОО «Алматы таза кала»	1	1
ТОО «Промс Транс Менежмент»	1	1
ТОО «Такси Экипаж»	1	1
ТОО «Берекелі жол»	1	1
«Алматы жол курылыс»	1	1
ТОО «Такси Лидер»	1	1
АО «ТАТЭК»	1	1

$$\sum П = 7 \cdot \sum_{i=1}^{7} 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 42$$

$$\Delta Д_{ар} = 0{,}5 \cdot 14865189 \cdot 42 = 31216897 \text{ тенге}$$

Также необходимо учесть, что без услуг сети невозможна деятельность организации. Следовательно, доход от пользования сетью $\Delta Д_{пп}$ предприятием может составлять 5 % от чистой прибыли. Годовая прибыль ТОО «ЖерСу» в среднем составляет 200000000-220000000 тг.

$$\Delta Д_{пп} = 0{,}05 \cdot 220000000 = 11000000 \text{ тенге} \qquad (4.13)$$

Рассчитаем прибыль предприятия:

$$П = П_{усл} + \Delta Д_{ар} + \Delta Д_{пп} - \sum Э \qquad (4.14)$$

$$П = 6177600 + 31216897 + 11000000 - 14865189 = 33529308 \text{ тенге}$$

Коэффициент общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений:

$$E = \frac{П}{К_{КАП}} \tag{4.15}$$

$$E = \frac{П}{К_{КАП}} = \frac{33529308}{61956264} = 0{,}54$$

Срок окупаемости проекта рассчитывается как:

$$T = \frac{К_{КАП}}{П} \tag{4.16}$$

$$T = \frac{К_{КАП}}{П} = \frac{61956264}{33529308} = 1{,}85 \text{ год.}$$

Экономические показатели проекта приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.4 - Экономические показатели проекта до дисконтирования

Наименование показателя	Величина
Капитальные затраты, тенге	61956264
Эксплуатационные расходы, тенге	14865189
Годовая сумма доходов, тенге	70516897
Прибыль, тенге	33529308
Коэффициент экономической эффективности	0,54
Срок окупаемости, лет	1,85

4.5.7 Расчет показателей эффективности инвестиций

При анализе инвестиционных проектов используются следующие показатели эффективности инвестиций:

– чистая текущая стоимость проекта (NPV);
– внутренняя норма рентабельности (IRR);
– дисконтированный период окупаемости (DPP).

4.5.7.1 Чистая текущая стоимость проекта (net present value, NPV**)**

NPV - это разность между текущей стоимостью денежных поступлений по проекту или инвестиций и текущей стоимостью денежных выплат на получение инвестиций, либо на финансирование проекта, рассчитанная по фиксированной ставке дисконтирования. Значение NPV можно представить

как результат, получаемый немедленно после принятия решения об осуществлении данного проекта, так как при расчете NPV исключается воздействие фактора времени, то есть если значение показателя:

- NPV > 0 – проект принесет прибыль инвесторам;
- NPV = 0 – увеличение объемов производства не повлияет на получение прибыли инвесторами;
- NPV < 0 – проект принесет убытки инвесторам.

NPV рассчитывается по формуле:

$$NPV = \sum_i \frac{PV_i}{(1+E)^i} - I_o \qquad (4.17)$$

где PVi – современная стоимость денежного потока на протяжении экономической жизни проекта;

E – норма дисконта, равная 20%;

Io – сумма первоначальных затрат, т.е. сумма инвестиций на начало проекта – 87,257млн.тг.;

i – количество периодов - 2.

$$NPV = \frac{33529308}{(1+0{,}2)^1} + \frac{33529308}{(1+0{,}2)^2} - 61956264 = -10730932 \text{ тенге}$$

При E – норма дисконта, равная 71%,

$$NPV = \frac{33529308}{(1+0{,}71)^1} + \frac{33529308}{(1+0{,}71)^2} - 61956264 = -30881943 \text{ тенге}$$

4.5.7.2 Внутренняя норма рентабельности (IRR)

IRR или внутренняя норма прибыли рассчитывается на базе показателя NPV: NPV проекта равен нулю: IRR = E, при котором NPV = 0, данный коэффициент показывает максимальную стоимость инвестиций, указывает на максимально допустимый относительный уровень расходов, которые могут быть ассоциированы с данным проектом.

Именно с ним сравнивается показатель IRR, рассчитанный для конкретного проекта, при этом связь между ними такова:

- если IRR > Io, то проект следует принять;
- если IRR < Io, то проект следует отвергнуть;
- если IRR = Io, то проект ни прибыльный, ни убыточный.

$$IRR = \sum_i \frac{PV_i}{(1+E)^i} - I_o = 0 \qquad (4.18)$$

$$IRR = 20 + \frac{(78-20)\cdot(-10730932)}{(-10730932)-(-30881943)} = 56{,}965\%$$

4.5.7.3 Дисконтированный период окупаемости (DPP)

DPP является одним из наиболее распространенных и понятных показателей оценки эффективности инвестиционного проекта.

Дисконтирование, по сути, характеризует изменение покупательной способности денег, то есть их стоимости, с течением времени. На его основе производят сопоставление текущих цен и цен будущих лет.

Рассматривая механизм формирования показателя периода окупаемости, следует обратить внимание на ряд его особенностей, снижающих потенциал его использования в системе оценки эффективности инвестиционных проектов.

Дисконтированный период окупаемости определяется по формуле:

DPP=t, при котором Pt>I;

где Pt – чистый денежный поток доходов.

Коэффициент дисконтирования или барьерная ставка это показатель, используемый для приведения величины денежного потока в n-периоде оценки эффективности инвестиционного проекта, другими словами ставка дисконтирования это процентная ставка, используемая для перерасчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости.

Дисконтированный период окупаемости для проекта:

$$T = 1 + \frac{61956264 - 33529308}{18105826} = 2{,}57 \text{ года}$$

Таблица 4.5 - Экономические показатели проекта после дисконтирования

Наименование показателя	Величина
Капитальные затраты, тг	61956264
Эксплуатационные расходы, тг	14865189
Годовая сумма доходов, тг	70516897
Прибыль, тг	33529308
Срок окупаемости, год	2,57

4.5.8 Оценка результата

Изначально проектируемая сеть планировалась приносить практическую пользу, нежели экономическую выгоду. Но, исходя из расчетных данных, можно сделать вывод о том, что с точки зрения экономического эффекта проект является прибыльным, что не предполагалось при его разработке. Возможно присутствие таких негативных факторов, как отказ лиц, арендующих ресурсы сети, от ее услуг. Но в условиях развитых рыночных отношений Алматинского региона, наличие множества видов предпринимательства, это не нанесет серьезного ущерба предприятию.

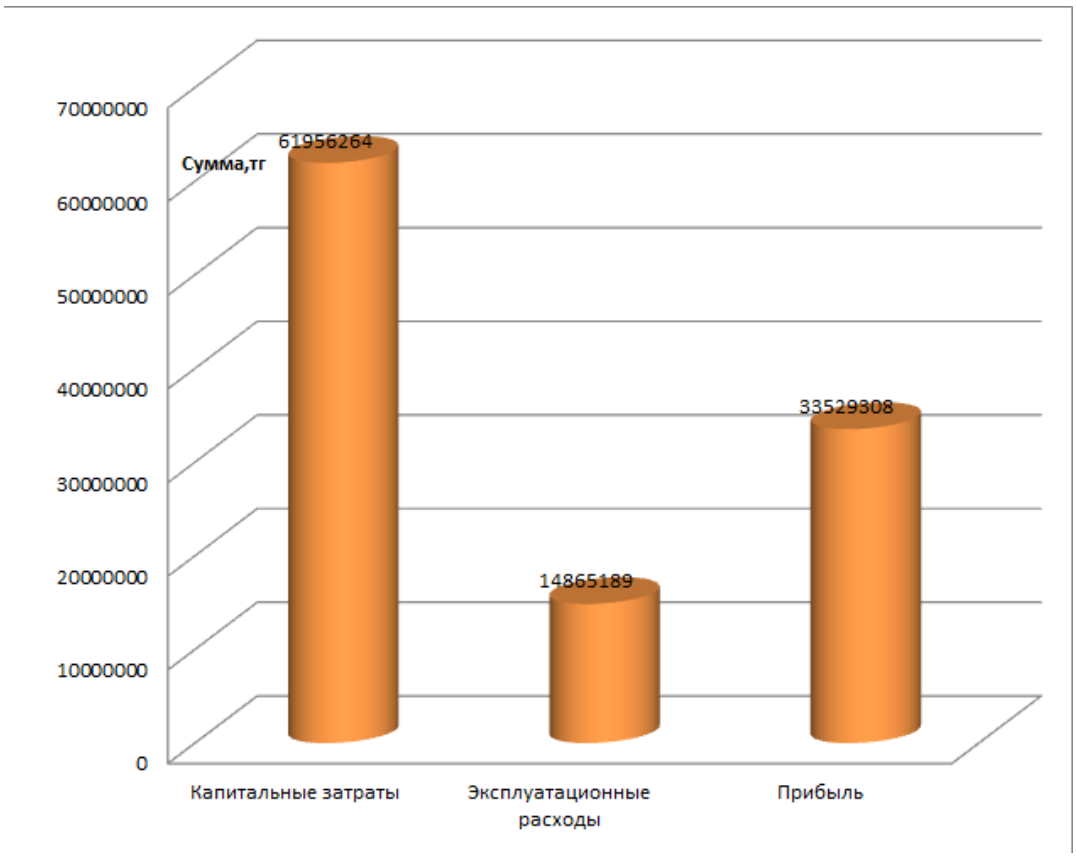


Рисунок 4.2 – Диаграмма экономических показателей проекта

Анализируя расчеты срока окупаемости, хочется отметить, что предполагаемый срок эксплуатации оборудования составляет минимум 5 лет. Срок окупаемости составил 1,85 года. Можно смело сказать о том, что внедряемая технология принесет существенную прибыль предприятию.

Заключение

В результате работы над дипломом был произведен расчет трех базовых станций системы связи стандарта TETRA – БС «Суюнбай», БС «Каскелен», БС «База». Расчеты дальности связи БС произведены для работы в режиме транкинговой связи. Дальность связи БС «Каскелен» в направлении бригады Ашекеев составила 29,9 км. Дальность связи БС «Каскелен» в направлении бригады Касымбек составила 20,4 км. Дальность связи БС «Каскелен» в направлении бригады Иргели составила 19,0 км. Дальность связи БС «Суюнбай» в направлении бригады Туймебаев составила 32,8 км. Дальность связи БС «Суюнбай» в направлении бригады Туймебаев составила 25,9 км. Дальность связи БС «Суюнбай» в направлении бригады Панфилово составила 39,7 км. Дальность связи БС «База» в направлении города Талдыкорган составила 41,8 км. Также была рассчитана дальность связи МС в режиме прямой связи, которая составила 2,03 км.Также произведен расчет ЦРРЛ, связывающей БС «Суюнбай» и БС «Каскелен». Минимальный радиус зоны Френеля составил 9,989 км, и как следствие выбраны высоты подвеса антенн h1=25 м и h2=20 м. В разделе «Безопасность жизнедеятельности» рассчитана молниезащита антенной системы и заземление базовой станции стандарта TETRA. Также был составлен бизнес-план, произведена оценка экономической эффективности проекта. Анализ срока окупаемости показал, т.к. предполагаемый срок эксплуатации оборудования составляет минимум 5 лет, то внедряемая сеть связи принесет существенную прибыль предприятию за счет большой емкости проектируемой сети связи и возможности сдачи каналов сети связи в арендное пользование. Все необходмые графичекие материалы приведены в приложении. В ходе работы над дипломным проектом использованы различные прикладные программы, такие так Google Earth, Exell, Prof Edit, Radio Mobile.

На основе приведенных расчетов можно сделать вывод о том, что проектируемая сеть связи полностью отвечает нуждам предприятия, обеспечивает покрытием связью требуемой территории, представляет собой сеть с большой емкость, высоким качеством речи и низкой стоимостью обслуживания. Проект является перспективным и окупаемым.

Список использованной литературы

1 Громаков Ю.А Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: «Эко – Трендз». 2000.
2 А.М.Овчинников, С.В.Воробьев, С.И.Сергеев Открытые стандарты цифровой транкинговой связи. – М.: «Связь и бизнес». 2000.
3 http://citforum.ru/nets/articles/tetra/
4 http://www.infotest.ru/
5 http://www.sagatelecom.ru/
6 http://writer5.ru/
7 Печаткин А.В. Сети мобильной связи; – Рыбинск, 2008.
8 В. Кшиштов Системы подвижной радиосвязи – Телеком, 2005.
9 Карташевский В.Г. Сети подвижной связи. - М.: Эко-Трендз,2001 .
10 Головин О.В. Радиосвязь – Телеком, 2001.
11 Кантор Л.Я. Спутниковая связь и вещание: справочник – Радио и связь,1998.
12 Мордухович Л.Г., Степанов А.П. Системы радиосвязи – Радио и связь,1987.
13 Голубицкая Е.А.,Жигульская Г.М. Экономика связи М.:- Радио и связь, 1999.
14 Резникова Н.П. Маркетинг в телекоммуникациях.-М.:ЭКО-ТРЭНДЗ, 1998.
15 http://www.motorola.ru – Раздел программного обеспечения.

Приложение А

Изображение профилей пролетов

Рисунок А.1 – Профиль рельефа местности в направлении БС Каскелен - Бригада Касымбек

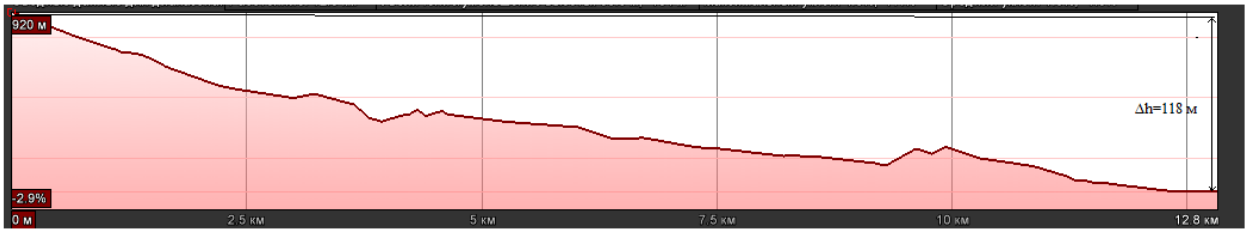


Рисунок А.2 – Профиль рельефа местности в направлении БС Каскелен - Бригада Иргели

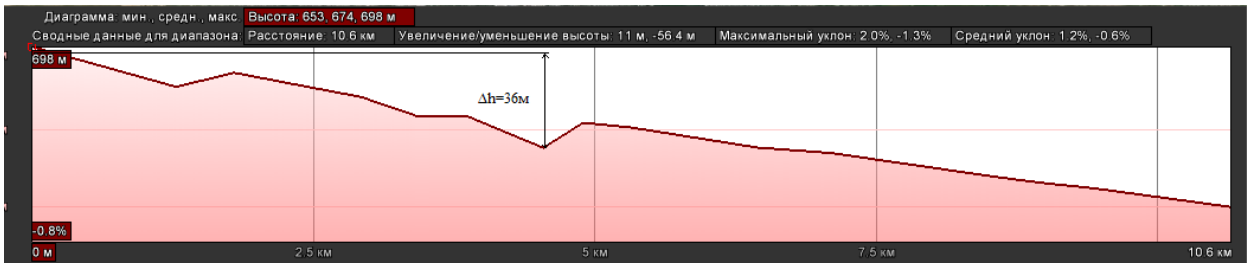


Рисунок А.3 – Профиль рельефа местности в направлении БС Суюнбай – Бригада Туймебаев

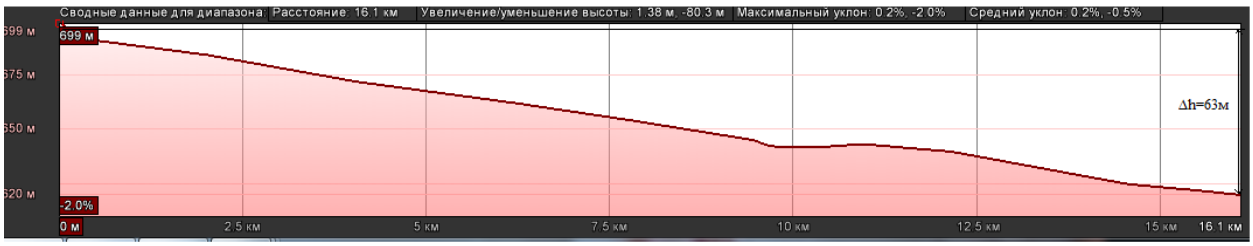


Рисунок А.4 – Профиль рельефа местности в направлении БС Суюнбай – Бригада Коктал

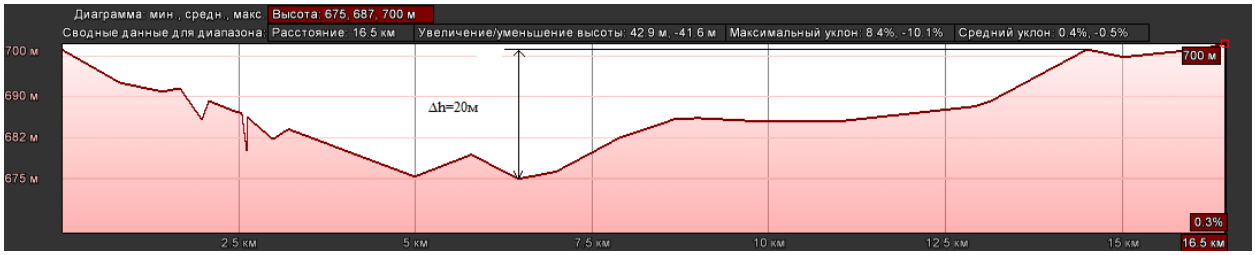


Рисунок А.5 – Профиль рельефа местности в направлении БС Суюнбай – Бригада Панфилово

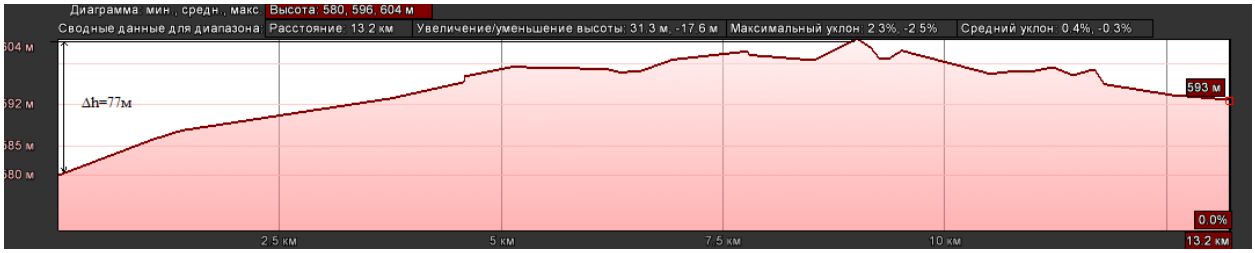
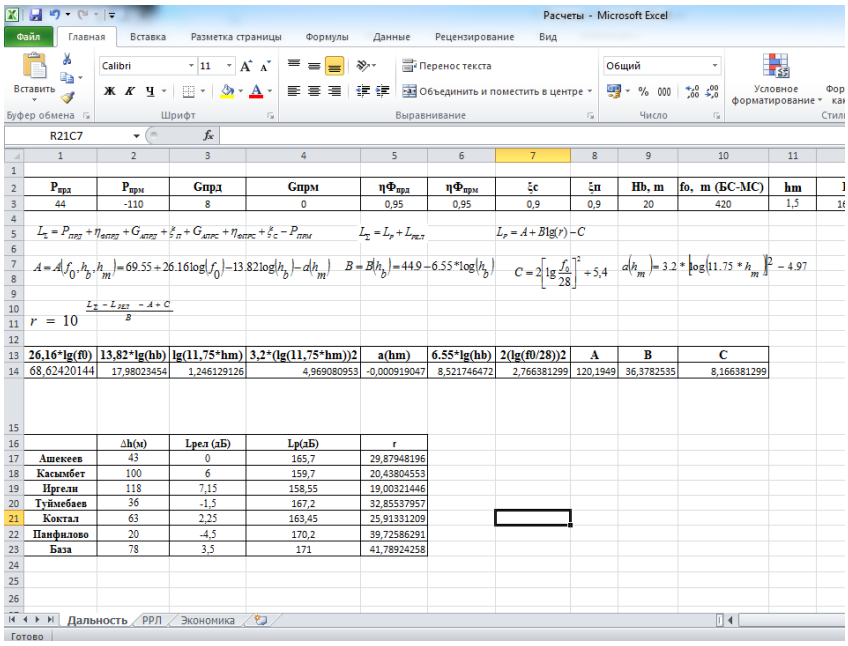


Рисунок А.6 – Профиль рельефа местности в направлении БС База – город Талдыкорган

Приложение Б

Расчеты, выполненные в программе Exel



Pпрд	Pпрм	Gпрд	Gпрм	ηФпрд	ηФпрм	ξс	ξп	Hb, m	fo, m (БС-МС)	hm
44	-110	8	0	0,95	0,95	0,9	0,9	20	420	1,5

$L_c = P_{прд} + \eta_{вапрд} + G_{апрд} + \xi_п + G_{апрс} + \eta_{вапрс} + \xi_c - P_{прм}$ $\quad L_c = L_p + L_{рел}$ $\quad L_p = A + B\lg(r) - C$

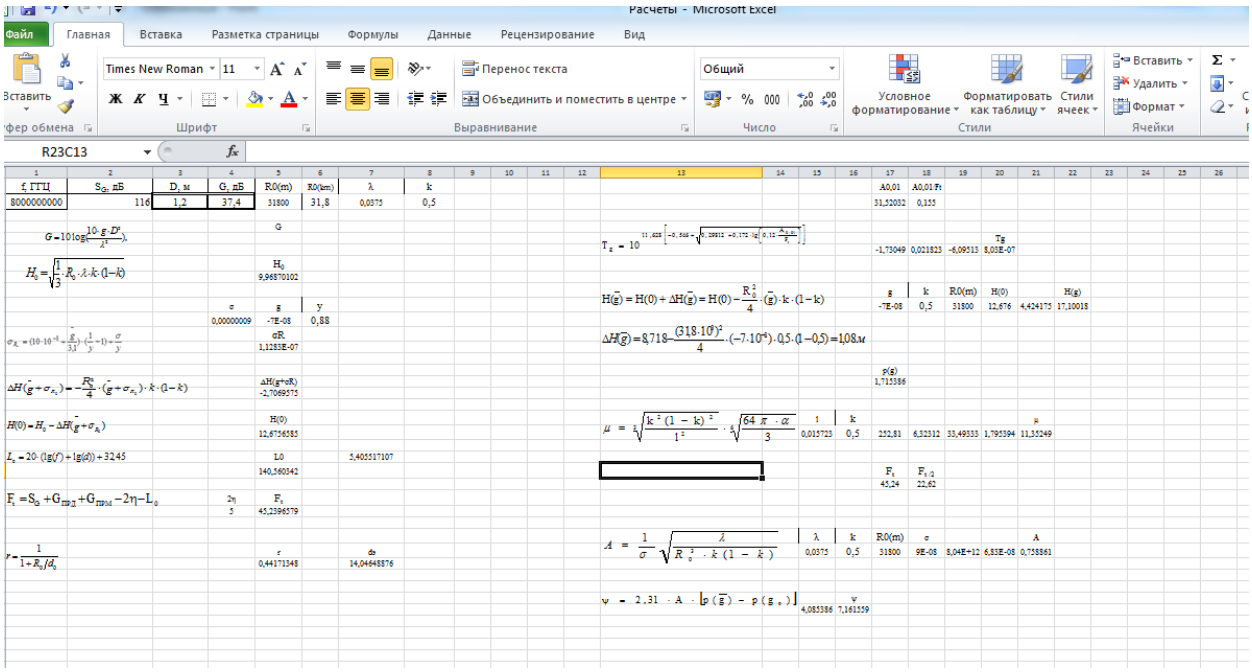
$A = A(f_0, h_b, h_m) = 69.55 + 26.16\log(f_0) - 13.82\log(h_b) - a(h_m)$ $\quad B = B(h_b) = 44.9 - 6.55 * \log(h_b)$ $\quad C = 2\left[\lg\frac{f_0}{28}\right]^2 + 5,4$ $\quad a(h_m) = 3.2 * [\log(11.75 * h_m)]^2 - 4.97$

$r = 10^{\frac{L_c - L_{рел} - A + C}{B}}$

26,16*lg(f0)	13,82*lg(hb)	lg(11,75*hm)	3,2*(lg(11,75*hm))2	a(hm)	6.55*lg(hb)	2(lg(f0/28))2	A	B	C
68,62420144	17,98023454	1,246129126	4,969080953	-0,000919047	8,521746472	2,766381299	120,1949	36,3782535	8,166381299

	Δh(м)	Lрел (дБ)	Lp(дБ)	r
Ашекеев	43	0	165,7	29,87948196
Касымбет	100	6	159,7	20,43804553
Иргели	118	7,15	158,55	19,00321446
Туймебаев	36	-1,5	167,2	32,85537957
Коктал	63	2,25	163,45	25,91331209
Панфилово	20	-4,5	170,2	39,72586291
База	78	3,5	171	41,78924258

Рисунок Б.1 – Расчет дальности связи в программе Exel



f, ГГц	S_0, дБ	D, м	G, дБ	R0(m)	R0(km)	λ	k
8000000000	116	1,2	37,4	31800	31,8	0,0375	0,5

$G = 10\log\left(\frac{10 \cdot g \cdot D^2}{\lambda^2}\right),$ $\quad G$

$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k \cdot (1-k)}$ $\quad H_0$ 9,96870102

σ 0,00000009 | g -7E-08 | y 0,88

$\sigma_{R_0} = (10 \cdot 10^{-8} + \frac{g}{3,1}) \cdot (\frac{1}{y} - 1) + \frac{\sigma}{y}$ $\quad \sigma R$ 1,1283E-07

$\Delta H(\bar{g} + \sigma_{R_0}) = -\frac{R_0^2}{4} \cdot (\bar{g} + \sigma_{R_0}) \cdot k \cdot (1-k)$ $\quad \Delta H(g+\sigma R)$ -2,7069575

$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g} + \sigma_{R_0})$ $\quad H(0)$ 12,6756585

$L_0 = 20 \cdot (\lg(f) + \lg(d)) + 32.45$ $\quad L0$ 140,560342 $\quad$ 5,405517107

$F_1 = S_0 + G_{прд} + G_{прм} - 2\eta - L_0$ $\quad 2\eta$ 5 $\quad F_1$ 45,2396579

$r = \frac{1}{1 + R_0/d_0}$ $\quad r$ 0,44171348 $\quad d_0$ 14,04648876

$T_z = 10^{11,428\left[-0,868 - \sqrt{0,28812 + 0,172 \cdot \lg\left(0,12 \cdot \frac{R_{0,km}}{k}\right)}\right]}$

A0,01	A0,01/Fr
31,52032	0,155

	Tg
-1,73049	0,021823	-6,09513	8,03E-07

$H(\bar{g}) = H(0) + \Delta H(\bar{g}) = H(0) - \frac{R_0^2}{4} \cdot (\bar{g}) \cdot k \cdot (1-k)$

g	k	R0(m)	H(0)		H(g)
-7E-08	0,5	31800	12,676	4,424175	17,10018

$\Delta H(\bar{g}) = 8,718 - \frac{(318 \cdot 10^3)^2}{4} \cdot (-7 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5) = 1,08 м$

p(g) 1,715586

$\mu = \sqrt[3]{\frac{k^2 (1-k)^2}{1^2}} \cdot \sqrt[3]{\frac{64 \cdot \pi \cdot \alpha}{3}}$ $\quad$ 1 0,015723 | k 0,5

					μ
252,81	6,32512	33,49333	1,795394		11,35249

F_1	$F_{1/2}$
45,24	22,62

$A = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{\lambda}{R_0^2 \cdot k \cdot (1-k)}}$ $\quad$ λ 0,0375 | k 0,5 | R0(m) 31800 | σ 9E-08 | 8,04E+12 | 6,83E-08 | A 0,758861

$\psi = 2,31 \cdot A \cdot |p(\bar{g}) - p(g_0)|$ $\quad$ 4,085386 | ψ 7,161559

Рисунок Б.2 – Расчет пролета РРЛ в программе Exel

Приложение В

Графические и табличные данные для расчета параметров ЦРРЛ

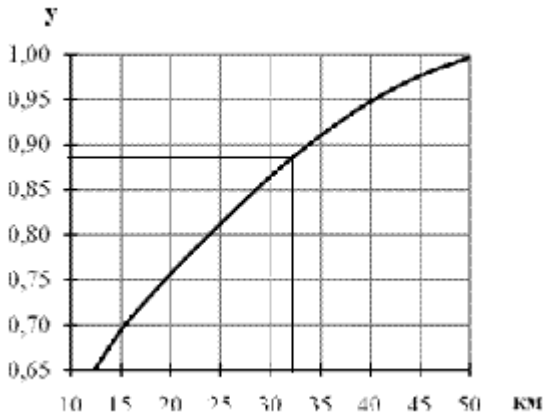


Рисунок В.1 – График определения параметра y

Таблица В.1 – Коэффициенты регрессии для оценки затухания

Частота f, ГГц	Горизонтальная поляризация		Вертикальная поляризация	
	$k_{í}$	$\alpha_{í}$	k_{v}	α_{v}
1	0,0000387	0,912	0,0000352	0,880
2	0,0001540	0,963	0,000138	0,923
4	0,00065	1,121	0,000591	1,075
6	0,00175	1,308	0,00155	1,265
7	0,00301	1,332	0,00265	1,312
8	0,00454	1,327	0,00395	1,31
10	0,101	1,276	0,00887	1,264
12	0,0188	1,217	0,0168	1,2
15	0,0367	1,154	0,0335	1,128
20	0,0751	1,099	0,0691	1,065
25	0,124	1,061	0,113	1,03
30	0,187	1,021	0,167	1
35	0,283	0,979	0,233	0,963
40	0,35	0,939	0,51	0,929

Приложение Г

Справочные данные для расчета времени ухудшения связи, вызванного субрефракцией волн

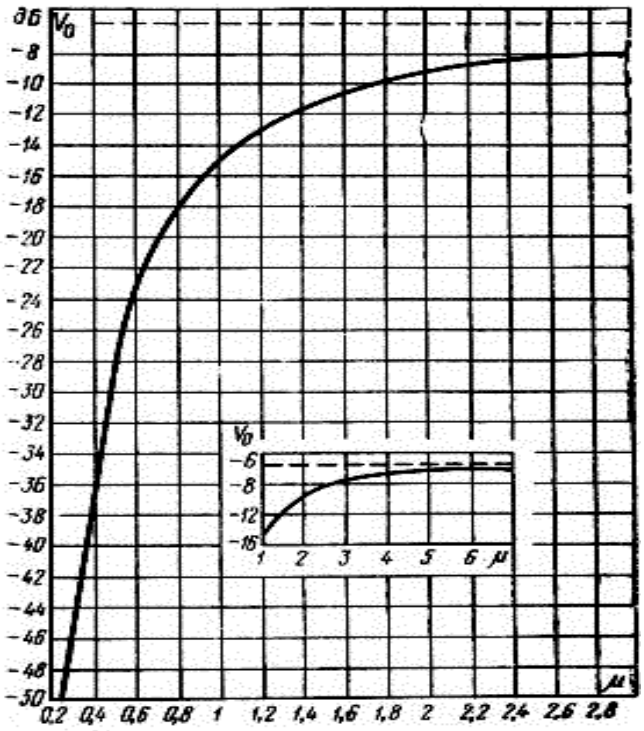


Рисунок Г.1 – Зависимость множителя ослабления от аппроксимирующего параметра μ

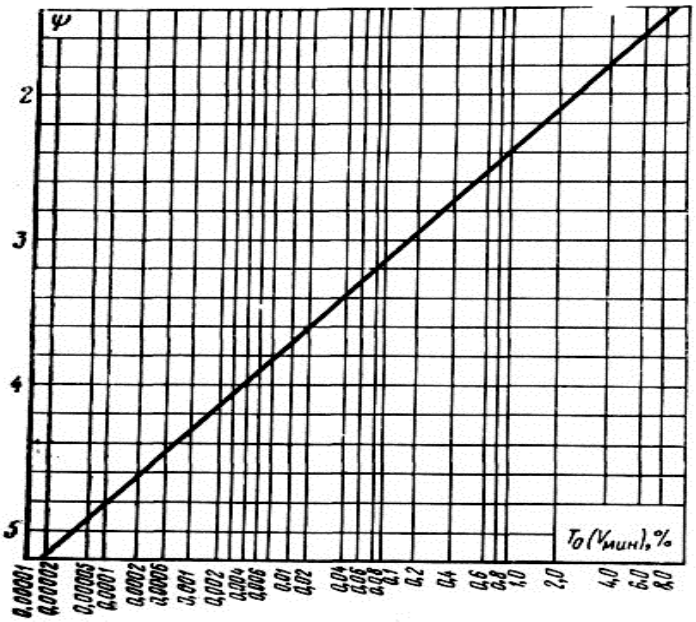


Рисунок Г.2 – К расчету времени ухудшения связи, вызванного субрефракцией радиоволн.

Приложение Д

Данные о стоимости оборудования

Таблица Д 1 – Стоимость оборудования

					Валюта		USD
DESCRIPTION			**QTY**		**PRICE**		**AMOUNT**
			15		1 277,90		19 168,50
Штыревая антенна UHF/GPS			15		20,80		312,00
Индивидуальное ЗУ - EU			15		31,20		468,00
Battery: Li-Ion 2150mAh			15		98,80		1 482,00
Поясная клипса 2,5"			15		13,00		195,00
MTH800 380-430MHz Total					**1 441,70**		**21 625,50**
							21 625,50
			1		1 287,00		1 287,00
Громкоговоритель: 5 Вт			1		24,05		24,05
Установка терминала: кронштейн крепления низкопрофильный			1		6,50		6,50
Ручной микрофон			1		52,00		52,00
ACUHB антенна автомобильная, 7dBi, на усиленном магните с кабелем 5м, BNC			1		38,00		38,00
MTM800 Enh Dash Mount 380-430MHz Total					**1 369,55**		**1 407,55**
			1		1 287,00		1 287,00
Mounting: desktop tray with speaker			1		115,70		115,70
Блок питания			1		322,40		322,40
Кабель питания 220В: EURO			1		13,00		13,00
Настольный микрофон			1		158,60		158,60
CXL70-1LW/L базовая антенна 380-430 МГц, 0дБ			1		175,50		175,50
8D-FB коаксиальный кабель 50Ом с разъемами, 80м			1		4,55		4,55
CS-400R Грозоразрядник, до 500 МГц, 500 Вт80 г, 50 Ом			1		45,50		45,50
MTM800 Enh Desk Mount 440-470MHz Total					**2 122,25**		**2 122,25**
							3 529,80
Accessories for MTP3200:							

Продолжение таблицы Д 1

Кабель программирования USB			1		39,33		27,23
Кабель программирования USB для панели управления			1		84,50		58,50
							25 241,03
					Валюта		EURO
DESCRIPTION			**QTY**		**PRICE**		**AMOUNT**
Базовая радиостанция диапазона 410 - 430 МГц, 10 Вт			1		21 250,00		21 250,00
SB421 сервисный блок 1,4 GHz, Pentium M с жестким диском, с ИБП (с блоком встроенных аккумуляторов, IP-коммутатор, кроссовая панель, устройство грозозащиты и заземления). Стандартный уровень программного обеспечения DAMM TetraFlex			1		28 888,00		28 888,00
Комплект АКБ встраиваемых в SB421, 4 шт. по 7 Ач			1		330,00		330,00
Установочный комплект для базовой станции и контроллера сайта			1		500,00		500,00
Стационарная антенна GLONASS/GPS			1		250,00		250,00
Удаленный менеджер управления системой (платформа DELL,. Монитор, клавиатура, мышь, ПО NMS)			1		5 875,00		5 875,00
VoIP-E1, Медиашлюз VoIP, SIP, PR ISDN, EDSS1, 30 разговорных каналов			1		3 062,50		3 062,50
PROCOM CXL 70-5C/f Антенна базовая всенаправленная, 5dBd, 406-430 МГц			1		345,80		345,80
Single node, Total							**60 553,30**