МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Автоматической электросвязи

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой АЭС
Чежимбаева К.С., к.т.н., доцент
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ «_____»_____**20__ г.**
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Организация сети сотовой связи стандарта WCDMA в г. Усть-Каменогорск

Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) Исатай А.К. СТК-10-05
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Матаева З.Т., к.т.н, ст. преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:
по экономической части:
Бабич А.А., ст. преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «06» июня 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Санатова Т.С., к.т.н, доцент
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «23» мая 2014 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
Туманбаева К.Х., к.т.н., профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «06» 06 2014 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Абиров Д.А., ст. преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___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 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра Автоматической электросвязи

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студент Исатай Адилжан Кадыржанулы
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Организация сети сотовой связи стандарта WCDMA в г. Усть-Каменогорск

утверждена приказом ректора № 115 от «24» сентября 2013 г.
Срок сдачи законченной работы « ___ » _____ 20___ г.
Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

1. Построена сеть сотовой связи стандарта WCDMA в г. Усть-Каменогорск
2. Базовая станция, усилитель, шкаф электропитания, приемно-передающие антенны, антенна радиорелейной связи
3. Программное обеспечение Google Earth

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

1. Раскрытие преимущества новой сети на базе технологии WCDMA и показать работоспособность проектируемой сети
2. Описание функционирования технологии WCDMA
3. Произведение подбора оборудования для организации рабочих мест
4. Определение зоны покрытия
5. Анализ условий труда
6. Бизнес план

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Архитектура сети WCDMA
2. Асинхронные операции мягкого хэндовера
3. Изображение базовой станции сотовой связи
4. Местность в трех направлениях (юго-восток, юго-запад, север)
5. График для определения поправки, учитывающей рельеф местности
6. Профиль проекта РРЛ
7. Процесс планирования радиосети WCDMA
8. Калькулятор модели Эрлангa B
9. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода с размерами
10. Схема расположения заземлителей по контуру
11. Состав эксплуатационных расходов составляют фонд оплаты труда и накладные расходы

Рекомендуемая основная литература

1. Вологдина Е.Е., Тихвинский В.О. Управление качеством услуг подвижной связи третьего поколения: Мобильные системы, 2006г
2. "Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения. Сер. "Связь и бизнес" - М. МЦНТИ - 2000.
3. Величко В.В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения - М. Радио и связь, Горячая линия - Телеком, 2005
4. Иванов П. QoS в глобальном измерении, 2003

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Безопасность жизнедеятельности	Санатова Т.С.	1.04-23.05.14	
Применение ВТ	Тумонбаева К.У	20.04-06.06.14	
Экономич. часть	Бабич А.А	01.05-06.06	
Техническая часть	Камиева С.А.	24.09.13-25.05.14	
Нормо контроль	Абиров Д.А		

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Основные параметры WCDMA	24.04.14-26.04.14	выполнено
2.	Преимущества и недостатки стандарта WCDMA	10.04.14.-12.04.14	выполнено
3.	Обзор существующей сети в городе Усть-Каменогорск	12.04.14.-14.04.14	выполнено
4.	Базовая станция RBS 3206	14.04.14-16.04.14	выполнено
5.	Антенна радиорелейной связи Pasolink	17.04.14-18.04.14	выполнено
6.	Определение зоны покрытия трехсекторной БС	18.04.14-19.04.14	выполнено
7.	Расчет зоны радиуса покрытия по модели COST 231-Хата	20.04.14-25.04.14	выполнено
8.	Оценка емкости проектируемой сети	26.04.14-2.05.14	выполнено
9.	Безопасность жизнедеятельности	1.04.14-25.05.14	выполнено
10.	Бизнес-план	2.04.14-27.05.14	выполнено

Дата выдачи задания «24» сентября 2013 г.

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

Руководитель _____ Матаева З.П.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

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

Аңдатпа

Осы дипломдық жобада 3G сымсызбайланыс және транспорттық желіні Өскемен қаласында ұйымдастыру қарастырылған.

Желі құру үшін абоненттер саны, бір базалық станцияға келіп түсетін жүктеме, жүйенің қосынды жүктемесі (дыбыстық және дестелік трафик), энергетикалық сипаттамасы мен базалық станцияның әрекет ету радиусы анықталды. Байланысты ұйымдастыру схемасы құрастырылды және қаланың картасында базалық станцияның орналасуы келтірілген. Жобаланатын желінің жабдықтары таңдалып алынды және оның бір торапқа орналасуы жасалынды

Экономикалық-ұйымдастыру бөлімінде капиталдық салымдар, өзін-өзін ақтау мерзімі анықталды.

Аннотация

В данном дипломном проекте рассматривается организация сети беспроводной связи 3G и транспортная сеть для нее в г. Усть-Каменогорск.

Для построения сети определяется количество абонентов, производится расчет нагрузки на одну базовую станцию (голосового и пакетного трафика), определяется суммарная нагрузка системы, рассчитываются энергетические характеристики и радиус действия БС. Разрабатывается схема организации связи и ситуационный план расположения БС на карте города. Производится выбор оборудования проектируемой сети и ее размещение на одном из узлов.

В организационно-экономическом разделе определяется размер капитальных вложений, срок окупаемости.

Содержание

Введение……..... 7
1 Теоретическая часть..... 8
1.1 Тенденции развития WCDMA. Сети третьего поколения..... 8
1.2 Основные параметры WCDMA 11
1.3 Основные принципы стандарта WCDMA 13
1.4 Архитектура и состав оборудования сетей связи стандарта WCDMA 14
1.5 Преимущества и недостатки стандарта WCDMA 19
1.6 Характеристики технологии WCDMA 20
1.7 Обеспечение хэндовера 24
1.8 Методы борьбы с замираниями..... 25
2 Выбор оборудования..... 29
2.1 Обзор существующей сети в городе Усть-Каменогорск 29
2.2 Базовая станция RBS 3206 (Базовая станция сотовой связи стандарта UMTS)……. 30
2.3 Усилитель Remotek W35 UMTS 31
2.4 Шкаф электропитания 32
2.5 Приемно-передающие антенны напрвленного действия KATHREIN 742236……..... 32
2.6 Антенна радиорелейной связи Pasolink..... 33
3 Расчетная часть..... 35
3.1 Определение зоны покрытия трехсекторной БС 35
3.2 Расчет зоны радиуса покрытия по модели COST231-Хата 39
3.3 Расчет пролета радиорелейной линии (РРЛ) 40
3.4 Выбор оптимальных высот подвеса антенн..... 41
3.5 Расчет времени ухудшения связи, вызванного субрефракцией радиоволн..... 44
3.6 Исходный ресурс радиолинии для передачи данных ……. 48
3.7 Анализ емкости базовой станции..... 53
3.8 Оценка емкости проектируемой сети 55
4 Безопасность жизнедеятельности..... 58
5 Бизнес-план..... 68
Заключение 85
Список литературы 86
Приложение А 88
Приложение Б..... 89
Приложение В..... 90
Приложение Г 91
Приложение Д..... 92
Приложение Е..... 93
Приложение Ж..... 94
Приложение З 95

Введение

Усть-Каменогорск – один из городов суверенного Казахстана, расположенный на слиянии рек Иртыш и Ульба и занимает площадь 54,4 тысяч гектар. Население города 304,6 тысяч человек. В настоящее время в Усть-Каменогорске проживает 55,9 тысяч пенсионеров (18,35% от общей численности), в том числе 1537 участников Великой Отечественной Войны. Это прогрессивно растущий город (наличие достаточного количества предприятий и учреждений, банков, студенческого городка). Поэтому использование обычной телефонии уже недостаточно, имеется потребность в передаче по каналам связи не только голосовых сообщений, но и видео и данных.

WCDMA (англ. Wideband Code Division Multiple Access – широкополосный множественный доступ с кодовым разделением) – технология радиоинтерфейса, использующая широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов, использующий две широкие полосы радиочастот по 5 МГц. Термин W-CDMA (3GPP Release 4) также используется для описания самостоятельного стандарта сотовой сети, проектировался как надстройка над GSM и работает в диапазоне 1900—2100 МГц.

WCDMA выбрана большинством операторов сотовой связи для обеспечения широкополосного радиодоступа с целью поддержки услуг 3G.

Технология оптимизирована для предоставления высокоскоростных мультимедийных услуг типа видео, доступа в Интернет и видеоконференций; обеспечивает скорости доступа вплоть до 2 Мбит/с на коротких расстояниях и 384 Кбит/с на больших с полной мобильностью. Такие величины скорости передачи данных требуют широкую полосу частот, поэтому ширина полосы WCDMA составляет 5 МГц.

Системы третьего поколения предназначаются для мультимедийной связи: при их использовании системы персональной связи получают возможность обеспечивать высококачественную передачу изображений и видеоданных, а доступ к информации и услугам по сетям общего пользования и частным сетям будет существенно расширен за счет более высоких скоростей передачи и новых возможностей в отношении гибкости связи, которыми обладают системы третьего поколения. Все это вместе с продолжающимся развитием систем второго поколения будет создавать новые возможности в сфере бизнеса не только для изготовителей аппаратуры и операторов, но также и для использующих эти сети провайдеров информационного наполнения и прикладных программ.

1 Теоретическая часть

1.1 Тенденции развития WCDMA. Сети третьего поколения

Системы связи второго поколения, например, GSM, позволили передавать по радио речевой трафик: число радиотелефонов, составляющее 70% от всего телефонного парка, превышает число телефонов в обычных линиях связи в странах с наиболее продвинутыми рынками средств радиосвязи. Возможности по передаче данных у систем второго поколения ограничены, благодаря чему и требуются системы третьего поколения для обеспечения услуг с большой скоростью передачи, позволяющие передавать и принимать высококачественное изображение и видеоинформацию и обеспечивать доступ к сети с большой скоростью передачи данных. В данной дипломной работе системы подвижной связи третьего поколения называются UMTS (универсальной системой подвижной связи). WCDMA (широкополосный доступ с кодовым разделением каналов) является основным воздушным интерфейсом третьего поколения в мире и широко применяется в Европе, Азии, в согласованной полосе частот в диапазоне около 2 ГГц. Благоприятный прогноз рынка для технологии WCDMA и ее гибкие мультимедийные возможности создали новые деловые перспективы для изготовителей аппаратуры, операторов и провайдеров информационного наполнения и прикладных программ.

Системы третьего поколения предназначаются для мультимедийной связи: при их использовании системы персональной связи получают возможность обеспечивать высококачественную передачу изображений и видеоданных, а доступ к информации и услугам по сетям общего пользования и частным сетям будет существенно расширен за счет более высоких скоростей передачи и новых возможностей в отношении гибкости связи, которыми обладают системы третьего поколения. Все это вместе с продолжающимся развитием систем второго поколения будет создавать новые возможности в сфере бизнеса не только для изготовителей аппаратуры и операторов, но также и для использующих эти сети провайдеров информационного наполнения и прикладных программ.

На форумах по стандартизации технология WCDMA получила признание в качестве наиболее широко распространенного воздушного интерфейса третьего поколения. Его спецификация была разработана в рамках Партнерство по проекту в области технологий 3 поколения (3GPP), который является совместным проектом органов стандартизации Европы, Японии, Кореи, США и Китая. В проекте 3GPP технология WCDMA называется UTRA (Универсальным наземным радиодоступом) с режимами FDD (частотное дуплексное разделение каналов) и TDD (временное дуплексное разделение

каналов), при этом название WCDMA используется для охвата обоих режимов - и FDD и TDD.

Далее опишем основные различия между воздушными интерфейсами второго и третьего поколений. Рассматриваемые здесь системы GSM и IS-95 (стандарт для систем cdmaOne) представляются воздушными интерфейсами второго поколения. Воздушными интерфейсами второго поколения являются интерфейсы PDS в Японии и US-TDMA в Америке; они основаны на технологии TDMA (множественного доступа с временным разделением каналов) и имеют большую схожесть с GSM, чем с IS-95.Системы второго поколения были рассчитаны в основном для обеспечения передачи речи в макроячейках. Чтобы уяснить предпосылки, повлекшие за собой различия у систем второго и третьего поколения, нам необходимо посмотреть на новые требования, предъявляемые к системам третьего поколения, которые приводятся ниже:

– скорости передачи до 2 Мбит/с;

– изменяемая скорость передачи, позволяющая предоставлять ширину полосы частот по требованию;

– мультиплексирование услуг с различными требованиями к качеству обслуживания для одного соединения, например, передача речи, видеоинформации и пакетированных данных;

– требования по задержке, начиная от уязвимого в отношении задержек трафика, передаваемого в реальном масштабе времени, и кончая гибкой передачей пакетированных данных с наилучшим сервисом;

– требования к качеству передачи от 10% вероятности появления ошибок в кадре, до вероятности ошибок по битам, равной 10^6;

– совместимость систем второго и третьего поколения в части межсистемной эстафетной передачи управления для увеличения зон охвата и балансирования нагрузки;

– поддержка асимметричного трафика по восходящим и нисходящим каналам передачи, например, просмотр информации Web приводит к большей нагрузке в нисходящем канале, чем в восходящем;

– высокая эффективность использования спектра;

– наличие режимов FDD и TDD.

В таблице 1.1 приводятся основные различия между WCDMA и GSM, а в таблице 1.2 – различия между WCDMA и IS-95. При этом сравнении рассматривается только воздушный интерфейс.

Т а б л и ц а 1.1 – Основные различия между воздушными интерфейсами WCDMA и GSM

Характеристика	WCDMA	GSM
Разнесение несущих	5 МГц	200 КГц
Коэффициент повторного использования частоты	1	1-18

Продолжение таблицы 1.1

Характеристика	WCDMA	GSM
Частота управления мощностью	1500 Гц	2 Гц или ниже
Управление качеством	Алгоритмы управления радиоресурсами	Частотно-территориальное
Разнесение частот	Ширина полосы 5 МГц обеспечивает борьбу с многолучевостью	Скачкообразная перестройка частоты
Пакетированные данные	Планирование передачи пакетов в зависимости от нагрузки	
Разнесение (асимметрия) при передаче для нисходящего канала	Обеспечивается для повышения пропускной способности нисходящего канала	Стандартом не предусматривается, но может применяться

Таблица 1.2 – Основные различия между воздушными интерфейсами WCDMA и воздушными интерфейсами IS-95

Характеристика	WCDMA	IS-95
Разнесение несущих	5 МГц	1,25 МГц
Скорость передачи элемента сигнала	3,84 Мбит/с	1,2288 Мбит/с
Частота управления мощностью	1500 Гц, в восходящем и нисходящем каналах	В восходящем канале: 800Гц, в нисходящем: медленное управление мощностью
Синхронизация базовой станции	Не требуется	Да, обычно получают через GPS
Эстафетные передачи управления с изменением частоты	Да, измерения с разделенными временными интервалами	Возможны, но метод измерений в спецификации не определен
Алгоритмы эффективного управления радиоресурсами	Да, обеспечивает требуемое качество обслуживания	Не требуется для сетей передачи только речи
Пакетирование данных	Изменения интенсивности передачи пакетов в зависимости от нагрузки	Пакетированные данные передаются как отдельные сообщения при коммутации каналов
Разнесение передачи по нисходящему каналу	Поддерживается для повышения пропускной способности в нисходящем канале	Стандартом не поддерживается

Различия в воздушном интерфейсе отражают новые требования систем третьего поколения. Например, для поддержки более высоких скоростей передачи требуется более широкая полоса частот - 5 МГц.

Разнесение при передаче включается в WCDMA для повышения пропускной способности нисходящего канала для поддержки требований асимметричной пропускной способности для нисходящего и восходящего каналов. Такое разнесение при передаче не поддерживается стандартами систем второго поколения. Комбинированное использование различных скоростей передачи, услуг и требований к качеству в системах третьего поколения требует усовершенствованных алгоритмов управления радиоресурсами для гарантирования качества обслуживания и максимизации пропускной способности системы. Кроме того, эффективная поддержка пакетированных данных не в реальном времени имеет большое значение для новых видов услуг.

Как WCDMA, так и IS-95 используют CDMA в режиме прямого расширения спектра. Более высокая скорость передачи элементов данных, составляющая 3,84 Мбит/с в WCDMA, дает больший выигрыш в канале с многолучевостью, чем при скорости передачи 1,2288 Мбит/с, особенно в небольших городских сотовых ячейках. Наиболее значимым обстоятельством является то, что многолучевое разнесение улучшает возможность доступа. Более высокая скорость передачи элементов сигнала также дает выигрыш при транкинге в режиме группового использования канала, особенно при больших скоростях передачи, по сравнению с узкополосными системами второго поколения.

WCDMA предполагает быстрое управление мощностью по замкнутому контуру управления как в восходящем канале, так и в нисходящем, тогда как IS-95 использует быстрое управление мощностью только в восходящем канале. Быстрое управление мощностью в нисходящем канале повышает качество работы канала и его пропускную способность. Оно требует новых функциональных возможностей подвижной связи, например, оценки SIR (отношения сигнал-помеха) и управления мощностью по внешнему контуру, что не требуется подвижным абонентам системы IS-95.

Система IS-95 была предназначена в основном для применения в макроячейках. Базовые станции макроячеек располагаются на мачтах или на крышах домов, где может легко приниматься сигнал GPS (Глобальной системы местоположения). Базовым станциям IS-95 необходима синхронизация, и эту синхронизацию они обычно получают через систему GPS. Необходимость в сигнале GPS делает развертывание ячеек внутри помещений и микроячеек делом более сложным, поскольку прием сигналов GPS затруднен без доступа к спутниковым системам GPS по линии прямой видимости. Поэтому технология WCDMA предусматривается для работы с асинхронными базовыми станциями, где не требуется синхронизации от GPS. Применение асинхронных базовых станций делает эстафетную передачу управления в системе WCDMA несколько отличной от системы IS-95.

В WCDMA считается важным иметь межчастотную передачу управления для максимизации использования нескольких несущих на базовой станции. В системе IS-95 межчастотные измерения не предусмотрены, что делает межчастотные передачи управления более сложными.

1.2 Основные параметры WCDMA

В данном разделе представлены основные параметры системного проектирования WCDMA.

Основные параметры, относящиеся к воздушному интерфейсу WCDMA, приводятся в таблице 1.3.

Т а б л и ц а 1.3 – Основные параметры WCDMA

Метод множественного доступа	DS-CDMA
Дуплексный разнос	Дуплекс с частотным разделением/ дуплекс с временным разделением
Синхронизация базовой станции	Асинхронная работа
Скорость передачи	3,84 Мбит/с
Длительность фрейма	10 мс
Мультиплексирование при обслуживании	Множество услуг с различными требованиями по качеству обслуживания
Концепция многоскоростной передачи	Переменный коэффициент расширения и мультикоды
Прием	Когерентный с использованием пилот-символов и общего пилот-сигнала
Многопользовательский прием, интеллектуальные антенны	Поддерживается стандартом, необязательным в реализации

WCDMA представляет собой систему множественного доступа с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра (DS - CDMA), т.е. биты информации пользователя передаются в широкой полосе частот путем умножения исходного потока данных пользователя на последовательности квазислучайных битов, являющиеся кодами расширения CDMA. Для обеспечения очень высоких скоростей передачи (до 2 Мбит/с) поддерживается использование переменного коэффициента расширения и мультикодовых комбинаций.

Скорость передачи, равная 3,84 Мбит/с, приводит к занятию полосы приблизительно в 5 МГц. Системы DS-CDMA с шириной полосы около 1 МГц, например, IS-95, обычно называют узкополосными системами CDMA. Присущая системам WCDMA большая ширина полосы на несущей обеспечивает высокие скорости передачи данных пользователя, а также создает определенные преимущества в работе, например в каналах с повышенной многолучевостью. Не нарушая полученной лицензии на работу системы, оператор может иметь несколько таких несущих с полосой 5 МГц для увеличения пропускной способности, возможно, в виде ячеек иерархической структуры. Фактически такое разнесение несущих может быть реализовано и на 200 килогерцовой сетке приблизительно в полосе 4,4 и 5 МГц в зависимости от уровня интерференции несущих.

WCDMA поддерживает самые разные скорости передачи данных пользователя, другими словами, концепция получения ширины полосы по требованию (BoD) достаточно хорошо поддерживается. Каждому пользователю выделяются фреймы длительностью 10 мс, в течение каждого из которых скорость передачи данных пользователя остается постоянной. Однако пропускная способность для передачи данных у пользователя может меняться от фрейма к фрейму. Быстрое выделение пропускной способности для радиосвязи будет обычно управляться сетью для достижения максимальной пропускной способности при передаче пакетированных данных.

WCDMA поддерживает два основных режима работы: частотное разделение дуплексных каналов (FDD) и временное разделение дуплексных каналов (TDD). В режиме FDD для восходящего и нисходящего каналов используются раздельные несущие с частотой 5 МГц, тогда как в режиме TDD

только одна несущая 5 МГц используется для восходящего и нисходящего каналов с разделением прием-передача во времени. Восходящий канал - это канал от подвижной станции к базовой, а нисходящий - от базовой станции к подвижной. Режим TDD в значительной мере основан на концепциях режима FDD и был дополнительно введен, чтобы использовать базовую систему WCDMA также и для непарного (несимметричного) распределения спектра, выделенного ITU для систем IMT-2000.

WCDMA использует когерентный прием для систем WCDMA в восходящем и нисходящем каналах на основе применения пилот-символов или общих пилот-сигналов. Хотя когерентный прием уже используется в нисходящем канале в IS-95, его применение в восходящем канале является новым для систем CDMA общего пользования и приведет к увеличению общей зоны охвата и пропускной способности восходящего канала.

Воздушный интерфейс WCDMA задуман таким образом, что оператор сети может использовать перспективные концепции построения приемников CDMA, например многопользовательский прием и применение интеллектуальных адаптивных антенн как способ повышения пропускной способности и/или зоны охвата. В большинстве систем второго поколения отсутствуют возможности использования таких концепций построения приемника, и в результате они либо не могут применяться, либо могут применяться лишь с большими ограничениями и дают лишь незначительное улучшение эксплуатационных показателей.

WCDMA предназначена для использования вместе с GSM. Поэтому поддерживаются эстафетные передачи управления (хэндоверы) между GSM и WCDMA для того, чтобы иметь возможность использовать зону охвата GSM для внедрения WCDMA.

1.3 Основные принципы стандарта WCDMA

В основу WCDMA положен метод расширения спектра прямой последовательностью (DS-CDMA), принцип которого иллюстрируют рисунок 1.1.

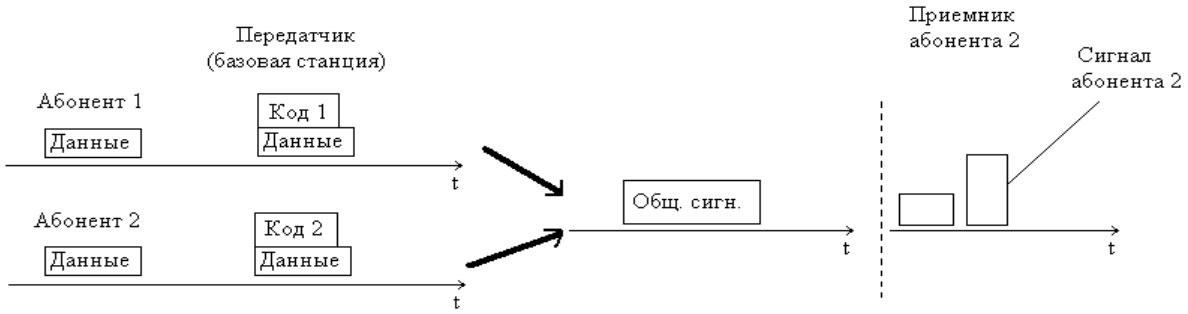


Рисунок 1.1 – Принцип расширения спектра прямой последовательностью

WCDMA представляет собой систему множественного доступа с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра, т.е. биты информации пользователя передаются в широкой полосе частот путем умножения исходного потока данных пользователя на последовательности квазислучайных битов (называемых чипами), являющиеся кодами расширения WCDMA. Для обеспечения очень высоких скоростей передачи (до 2 Мбит/с) поддерживается использование переменного коэффициента расширения и мультикодовых комбинаций.

Предположим, что сигнал передается от базовой станции Node B к мобильной станции UE. На базовой станции передаваемый сигнал со скоростью перемножается с широкополосным сигналом, расширяет свой спектр, образуя сигнал с полосой частот. В мобильной станции принимаемый сигнал перемножается с таким же широкополосным сигналом. Теперь, если широкополосный сигнал, генерируемый в МС, синхронизирован с кодом расширяющего сигнала, то в результате будет получен исходный сигнал плюс некоторые высокочастотные составляющие. Высокочастотные составляющие, которые не составляют часть исходного сигнала, могут быть легко отфильтрованы. Однако, если на входе мобильной станции появится какой-либо нежелательный сигнал, то расширяющий сигнал будет подавлять его. При этом будут выполняться те же действия, что и с исходным сигналом на БС, т. е. расширение до полосы частот расширяющего сигнала.

Принцип действия метода WCDMA более устойчив, гибок и хорошо помехозащищен, надежен в отношении радиоподавления и перехвата. Однако, чтобы реализовать свои преимущества, WCDMA занимает более широкую по сравнению с обычной CDMA полосу частот. Благодаря этому WCDMA может использовать на радиоинтерфейсе Uu несколько каналов. Эффективная полоса частот на радиоинтерфейсе WCDMA равна 3,84 МГц, а вместе с защитными полосами составляет 5 МГц.

1.4 Архитектура и состав оборудования сетей связи стандарта WCDMA

Система WCDMA состоит из ряда логических элементов сети, каждый из которых выполняет определенные функции. По своим функциям элементы сети группируются в сеть радиодоступа (UTRAN – UMTS территориального уровня), которая оперирует всеми функциями, относящимися к радиосвязи, и в базовую сеть (CN), которая обеспечивает коммутацию и маршрутизацию вызовов и каналы передачи данных во внешние сети. На рисунке 1.2 изображена упрощенная схема архитектуры сети WCDMA, а также изображены все основные компоненты.

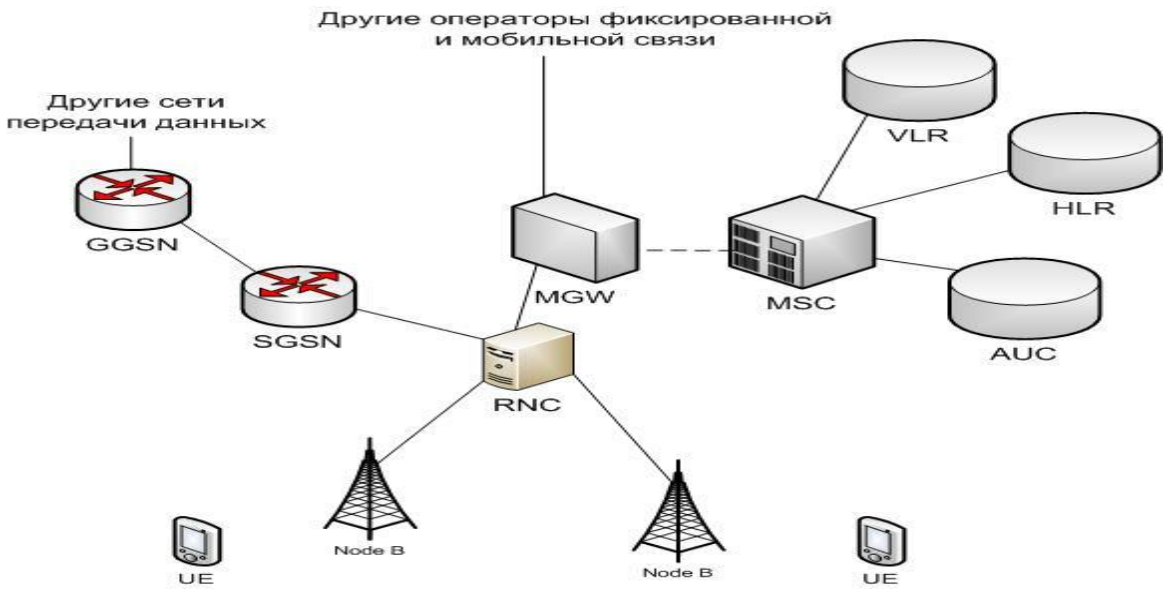


Рисунок 1.2 – Архитектура сети WCDMA

Описание основных элементов сети. Пользовательское оборудование(UE) состоит из двух частей:

– ME (Mobile Equipment) подвижное оборудование – мобильная станция, используемая для радиосвязи через интерфейс Uu.

– USIM (UMTS Subscriber Identification Module) – модуль идентификации абонента, представляющий собой интеллектуальную плату, которая аналогично SIM-карте, служит идентификатором абонента, выполняет алгоритмы аутентификации и шифрования, а также предоставляет некоторые данные об услугах.

Сеть радиодоступа (UTRAN) – более общее название RNS (Radio Network System), также состоит из двух элементов:

– Node B (Node Base) – базовая станция по терминологии 3GPP. Node B осуществляет организацию радиоканалов по вызовам мобильных абонентов или по своей инициативе при поступлении внешнего вызова.

– RNC (Radio Network Controller) - контроллер радиосети. RNC осуществляет управление базовыми станциями, с которыми он образует подсистему RNS (в терминологии 3GPP - UTRAN), и взаимодействует с центром коммутации сети MSC/VLR. Владеет и управляет радиоресурсами в своей области. RNC представляет собой точку доступа к сервису для всех услуг, которые UTRAN предоставляет CN, например, управление соединениями с UE.

Элементы базовой сети CN можно разделить на три основные группы (домены):

а) Домен коммутации каналов (CS) - включен в архитектуру сети стандарта 3GPP для поддержки услуг с коммутацией каналов и совместимости со старым оборудованием. Домен CS включает в себя три основных элемента.

– MSC/VLR – является центральным элементом сети. Он может обслуживать большую группу Node B и обеспечивает все виды соединений, в

которых нуждается в процессе работы подвижная абонентская станция. Фактически – это специализированный коммутатор MSC, обеспечивающий возможность связи с коммутацией каналов, управления мобильностью и предоставления сервисов для мобильных телефонов внутри зоны своего обслуживания. VLR - это временная база данных абонентов, которые находятся в зоне действия определённого MSC/VLR.

– GMSC (шлюзовой MSC) – это коммутатор в точке, где WCDMA соединяются с внешними сетями с коммутацией пакетов CS. Все входящие и исходящие соединения CS проходят через GMSC.

– CS-MGW – медиашлюз области коммутации каналов. Использование в области CS отдельного медиашлюза области коммутации каналов позволило разделить абонентскую плоскость и плоскость управления. Это решило вопрос с масштабируемостью системы, поскольку один сервер MSC может управлять несколькими медиашлюзами CS-MGW.

б) Домен коммутации пакетов (PS) – используется в системе WCDMA для обработки потоков данных пользователя. Состоит из двух элементов.

– SGSN – управляющий узел поддержки GPRS, основной компонент GPRS-системы по реализации всех функций обработки пакетной информации. SGSN можно назвать аналогом коммутатора MSC, его функции подобны функциям MSC/VLR, но обычно используются для услуг с коммутацией пакетов (PS). Часть сети, к которой обеспечивается доступ через SGSN, называется областью обслуживания PS.

– GGSN – шлюзовой узел поддержки GPRS. Представляет собой шлюз между сотовой сетью (её частью для передачи данных GPRS) и внешними информационными магистралями пакетной передачи данных. Основной функцией GGSN является маршрутизация данных, идущих к абоненту и от него через SGSN. Функционально он близок к GMSC, но связан с предоставлением услуг PS.

в) Домен общих элементов базовой сети. Базовая сеть поддерживает ряд функций, общих для всех ее областей и подсистем. Таким образом, можно выделить элементы общие для двух предыдущих доменов.

– HSS (Home Subscriber Server) – сервер домашних абонентов, является базой пользовательских данных и обеспечивает доступ к индивидуальным данным пользователя, связанными с услугами. Включает в себя два элемента, которые ранее существовали отдельно – HLR и AuC. Архитектура 3GPP рассматривает HLR и AuC как подмножества сервера HSS, но при этом они выполняют все те же функции что и ранее.

– HLR (Home Location Register) – регистр домашнего местонахождения, база данных, которая содержит административную информацию об абонентах сети.

– AuC (Authentication Centre) – центр аутентификации предназначен для аутентификации каждой USIM карты, которая пытается присоединиться к сети WCDMA при включении мобильной станции. Как только аутентификация

успешно завершается, HLR может управлять сервисами, на которые подписался абонент.

– EIR (Equipment Identity Register) – регистр идентификации оборудования, в котором хранится информация об оборудовании конечных пользователей и его статусе.

– CS (Channel Switching) – сети с коммутацией каналов, обеспечивающие соединения в существующей в настоящее время сети телефонной связи.

– PS (Packet Switching) – сети с коммутацией пакетов. Они обеспечивают соединения с коммутацией пакетов; одним из примеров сети PS служит Интернет.

Функции элементов сети WCDMA. Мобильная станция должна быть рассчитана на поддержку всех видов услуг сети третьего поколения, в частности, она должна обеспечивать:

– передачу речи с принятым для системы набором скоростей;

– услуги служб видеоконференции и приложений видеотелефонии, основанные как на коммутации каналов (ISDN), так и использующие передачу пакетов (TCP/IP);

– услуги сети Интернет со скоростями до 473,6 кбит/с при работе в обычном режиме;

– удаленный доступ к корпоративным локальным сетям для работы с файловыми серверами, базами данных и другими приложениями;

– приложения электронной почты.

Базовая станция (Node B) преобразует поток данных. Она также участвует в управлении радиоресурсами. Базовая станция должна обеспечить пропускную способность базовых и управляющих каналов для поддержания перечисленных служб. Каждая из этих станций имеет традиционную архитектуру, но с учетом новых сервисов и технологий.

Основной функцией Node B является реализация радиоинтерфейса (обработка радиосигнала, модуляция/демодуляция с расширением/сжатием спектра сигнала, кодирование/декодирование и др.), в том числе, выполнение некоторых операций по распределению радиоресурсов сети (управление мощностью излучения, осуществление хэндовера).

Дополнительные функции, возложенные на Node B:

– планирование сообщений вещания, пейджинга и уведомления;

– разрешение конфликтных ситуаций в канале доступа - для уменьшения неконструктивного трафика через интерфейс lub и уменьшения задержек в обоих направлениях;

– мультиплексирование (демультиплексирование) протокольных модулей. (PDU) более высокого уровня в транспортные блоки (из них), доставленные на физический уровень (с него) общих транспортных каналов;

– реализация процедуры регулирования мощности излучений.

Контролер радиосети (RNC), обеспечивает следующие функции:

– управление радиоресурсом, обработку принятых сигналов;

– кодирование и декодирование сигналов (если кодеры и декодеры установлены в контроллере);

– прием и передачу информации от мобильных станций по интерфейсу Iub, обеспечивающему взаимодействие с системой ATM со скоростью 1,5/2 Мбит/с;

– передачу информации к центру коммутации мобильной связи по каналам ATM со скоростью 155 Мбит/с по интерфейсу Iub;

– передачу неструктурированных данных;

– отсчет времени и синхронизацию;

– определение множества комбинаций транспортных форматов (функция централизованной базы данных);

– мультиплексирование (демультиплексирование) протокольных модулей (PDU) более высокого уровня в транспортные блоки (из них), доставленные на физический уровень (с него) совместно используемых выделенных транспортных каналов (используемых для мягкого перехода).

К одному контроллеру радиосети могут быть подключены как минимум три базовые станции.

Центр коммутации мобильной связи (MSC) обеспечивает:

– подключение к фиксированным сетям (таким, например, как ТфОП и ISDN);

– передачу сигналов между функциональными объектами в подсистеме сети с использованием ОКС-7;

– обслуживание подвижных абонентов, расположенных в пределах определенной географической зоны;

– обслуживание группы сот и все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция; MSC аналогичен коммутационной станции ISDN и реализует интерфейс между фиксированными сетями (PSTN, Интернет, ISDN и т.д.);

– взаимодействие с RNC через интерфейс Iub, а с сетями ISDN и локальными компьютерными ATM-сетями через интерфейсы фиксированных сетей;

– маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами, выполнение процедур управления, все функциональные возможности мобильного абонента, такие как регистрация, аутентификация, обновление местоположения, хэндовер.

Основной задачей MSC является установление и сброс соединений от мобильных станций. Так как MSC может в одном и том же узле обрабатывать голос, осуществлять передачу пакетных данных и данных с коммутацией каналов, то становится возможными обслуживание мультимедийных приложений.

1.5 Преимущества и недостатки технологии WCDMA

Технология W-CDMA имеет следующие достоинства:

1. Эффективное использование радиоспектра (эффективная модуляция, статистическое уплотнение каналов с учетом пауз в речи, динамическое распределение каналов;

2. Отказ от частотного планирования за счет использования одной полосы частот;

3. Низкая мощность передатчика мобильной станции по сравнению с TDMA;

4. Для линий "вверх" и "вниз" используются независимые ресурсы, кроме того реализуется ассиметричная передача, что повышает эффективность использования ресурса;

5. В одной полосе можно образовать несколько подканалов - низкоскоростных для речи и факсов, высокоскоростных для видеосвязи и Internet;

6. Эффект статистического мультиплексирования позволяет увеличить число подканалов на одной несущей;

7. Снижено энергопотребление мобильной станции за счет эффективного режима sleep-mode;

8. Конфиденциальность и защищенность от несанкционированного доступа в W-CDMA - системах достаточно высоки, поскольку каждому абоненту присваивается своя, индивидуальная, кодовая последовательность.

Под развёртывание системы W-CDMA выделены частоты выше PCS1900 (1900 МГц) – 1900-2100 МГц, причём под приёмный и передающие каналы выделены полосы 60 МГц (три подполосы по 20 МГц).

Недостатков у стандарта WCDMA немного, но, тем не менее, они существуют.

Первый - это сложность оборудования.

Второй - возникновение взаимных помех, ухудшающих условия приема при возрастании числа активных абонентов, что сказывается на связи периферийных удаленных абонентских станций. Так, по мере увеличения загрузки системы могут уменьшаться размеры зоны обслуживания и ухудшаться помеховая обстановка.

Для повышения качества связи одной абонентской станции с помощью мягкого переключения каналов нужно одновременно выделять для нее два или более каналов, что снижает пропускную способность общего канала радиосвязи.

На высоких частотах (для WCDMA это 1900-2100 МГц) сигнал претерпевает большее затухание, соответственно снижается площадь покрытия и проникновения. Таким образом, величина потерь в антенно-фидерном тракте становится еще более критичной.

1.6 Характеристики технологии WCDMA

Спектральная эффективность WCDMA. Растущее число пользователей и необходимость увеличения ширины полосы частот является одними из основных факторов, влияющих на развитие технологий мобильной связи и широкополосного беспроводного доступа в ближайшем будущем. Необходимо заметить, что при прочих равных условиях (диапазон, ширина полосы частот, разнос сот и т.д.) именно спектральная эффективность технологии является тем параметром, от которого зависит обеспечение наибольшего количества пользователей услугами сетей мобильной и беспроводной связи.

Спектральная эффективность системы мобильной связи представляет собой показатель, вычисляемый как отношение скорости (в бит/с) передаваемых данных на 1 Гц используемой полосы частот (бит/с/Гц). Эта величина характеризует скорость передачи информации в заданной полосе частот. Спектральная эффективность оказывает огромное влияние на эффективность использования частотного ресурса, выделенного сети и качество услуг (QoS).

Спектральную эффективность WCDMA можно определить либо по числу одновременных вызовов при заданных битовых скоростях, либо, что более подходит к системам 3-го поколения, с помощью агрегированной полной пропускной способности на физическом уровне, поддерживаемой в каждой ячейке на несущую 5 МГц, которая измеряется в Кбит/с/ячейка/несущая.

Спектральная эффективность – это функция среды радиосвязи, мобильности и расположения пользователей, услуг и качества обслуживания, а также условий распространения. Колебания эффективности могут быть очень большими (например, 50 – 100 %). Спектральная эффективность, технологии W-CDMA составила 0,4 (бит/с/Гц).

Спектральная эффективность этой же технологии, при использовании другого показателя - отношения возможной скорости передаваемых данных (в бит/с) для всех абонентов в определенной географической зоне на 1 Гц полосы частот составляет 0,5 бит/с/Гц/зону обслуживания и приведена в таблице 1.4.

Т а б л и ц а 1.4 – Спектральная эффективность системы W-CDMA

Стандарт	Ширина полосы частот, МГц	Спектральная эффективность системы, бит/с/сота
W-CDMA	5	0,4

Мягкая пропускная способность. Пропускная способность - один из важнейших с точки зрения пользователей факторов. Она оценивается количеством данных, которые сеть может передать в единицу времени от одного подсоединенного к ней устройства к другому. Скорость передачи информации зависит в значительной степени от скорости её создания, способов кодирования и декодирования. Наибольшая возможная в данном канале

скорость передачи информации называется его пропускной способностью. Пропускная способность канала, по определению, есть скорость передачи информации при использовании «наилучших» для данного канала источника, кодера и декодера, поэтому она характеризует только канал.

Обладая повышенной пропускной способностью, система WCDMA предотвращает блокировку вызовов, позволяет удовлетворить растущий спрос на обслуживание и поддерживает новые виды цифровых услуг, такие как опознавание вызывающего абонента, передача данных и мобильная факсимильная связь. Уникальная для каждого отдельного соединения схема кодирования в системе WCDMA практически полностью устраняет перекрестные помехи и значительно снижает влияние помех от других источников. Этот подход также устраняет необходимость сдвига несущих частот между соседними сотами, обеспечивая надежную "мягкую" эстафетную передачу абонента, которая предотвращает прерывание вызова.

Мягкую пропускную способность можно пояснить следующим образом. Чем меньше помех поступает от соседних ячеек, тем больше каналов оказывается в средней ячейке.

При небольшом числе каналов на ячейку, т.е. для пользователей передачи данных в реальном времени с высокой скоростью передачи, средняя нагрузка должна быть очень низкой для того, чтобы гарантировать низкую вероятность блокировки. Так как средняя нагрузка низкая, то в соседних ячейках обычно образуется дополнительная пропускная способность. Эту пропускную способность можно занять из соседних ячеек, поэтому разделение помех дает мягкую пропускную способность. Мягкая пропускная способность важна для пользователей передачи данных в реальном времени с высокой скоростью передачи, например, для видеосоединений. Для мягкой пропускной способности предполагают, что число абонентов одно и тоже во всех ячейках, но соединения начинаются и кончаются независимо. Кроме того, интервал поступления вызовов следует распределению Пуассона. Этот подход можно использовать при определении общей площади обслуживания, когда вычисляются пропускные способности в эрлангах. В WCDMA имеется дополнительная мягкая пропускная способность, кроме того, число пользователей в соседних ячейках меньше.

Скорость передачи. На величину зоны обслуживания при различных скоростях передачи оказывают влияние два фактора:

1. Для высоких скоростей передачи выигрыш в отношении сигнал-шум при обработке меньше, и зона обслуживания меньше.

2. Для высоких скоростей передачи требующееся отношение Eb/N_0, имеет тенденцию к снижению, компенсируя уменьшение зоны охвата при высоких скоростях. Чем ниже требование к Eb/N_0, тем требуется меньшая мощность для обеспечения тех же рабочих характеристик и тем больше может быть радиус ячейки.

Основная причина того, что E_b/N_0 зависит от скорости передачи, заключается в том, что необходимо, чтобы DPCCH (выделенный канал

управления на физическом уровне) поддерживал соединение на физическом уровне, и он содержит опорные символы для оценки канала и биты сигнализации для управления мощностью. Параметр E_b/N_0 зависит от точности канала и алгоритмов оценки SIR. Эти оценки основываются на опорных символах в DPCCH. Чем большая мощность может быть выделена для DPCCH, тем оценка канала выше. С другой стороны, DPCCH – это издержки, так как по нему не передаются данные пользователей, и поэтому его мощность должна быть минимальной. Разница мощностей в DPCCH и DPDCH (выделенный канал передачи данных на физическом уровне) может регулироваться и управляться сетью. Мощность DPCCH ниже, чем мощность DPDCH, когда в DPDCH идет передача данных. Типичные значения для разницы по мощности приведены в таблице 1.5.

Издержки для различных скоростей передачи приведены на рисунке 1.3.

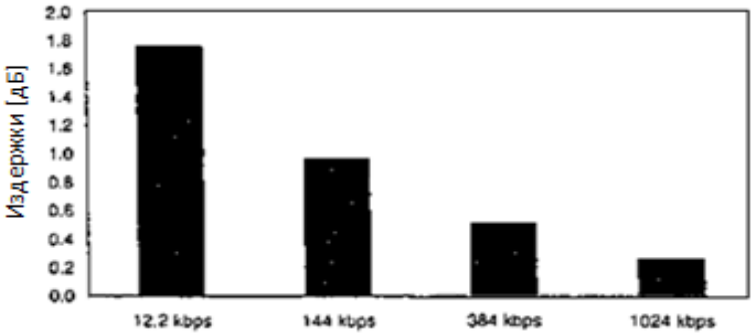


Рисунок 1.3 – Издержки на DPCCH

Например, при скорости передачи данных 144 кбит/с 20% мощности передачи расходуется на передачу управляющей информации на физическом уровне и 80% – для передачи данных. Издержки на DPCCH в данной книге включены во все значения E_b/N_0.

Таблица 1.5 – Типичные значения разности мощностей DPCCH и DPDCH

Скорость передачи	Типичные значения разности мощностей DPCCH и DPDCH
12,2 Кбит/с, речь	–3,0 дБ
144 Кбит/с, данные	–6, 0 дБ
384 Кбит/с, данные	–9, 0дБ
1024 Кбит/с, данные	–12,0 дБ

Было показано, что для более высоких скоростей передачи мощность DPCCH выше, что позволяет произвести более точную оценку канала, а издержки на DPCCH все еще остаются небольшими. Оба эти фактора улучшают параметр E_b/N_0.

Учитывая уменьшенный выигрыш при обработке и улучшение характеристики E_b/N_0 можно оценить зону обслуживания при различных скоростях передачи, рисунок 1.4. Предполагается, что для всех скоростей передачи максимальная мощность подвижной станции остается постоянной, для высоких скоростей передачи используется улучшенная характеристика E_b/N_0 и берется модель распространения в пригородной зоне. В этом примере дальность действия восходящего канала при скорости 2 Мбит/с составляет 50% от дальности действия при скорости 144 Кбит/с и 40% при скорости передачи 64 Кбит/с. Если для ячейки планируется передача со скоростью 2 Мбит/с для обеспечения полной зоны охвата по восходящему каналу вместо передачи со скоростью 144 Кбит/с, то плотность сайтов базовых станций должна быть увеличена на коэффициент $(1/0,5)^2=4,0$.

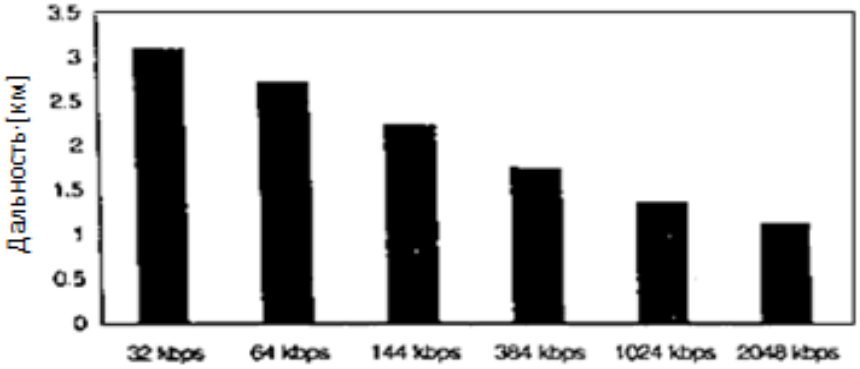


Рисунок 1.4 - Дальность действия восходящего канала при различных скоростях передачи данных в пригородной зоне.

И, наконец, следует отметить, что скорости передачи в восходящем канале могут уменьшаться во время соединения для увеличения дальности связи, когда подвижная станция выходит на максимальный уровень мощности передачи. Уменьшение скорости передачи возможно для услуг по передаче данных в нереальном времени, когда допускаются задержки, и для передачи речи с использованием AMR, который поддерживает различные скорости передачи от 4,75 кбит/с до 12,2 кбит/с. При использовании адаптивного многоскоростного речевого кодека (AMR) оказывается возможным переходить на более низкую скорость, если подвижная станция выходит из зоны обслуживания ячейки.

Чувствительность приемника базовой станции. Чувствительностью называется способность приемного устройства обеспечивать нормальный прием слабых сигналов. Она оценивается минимальной величиной сигнала в антенне, которая необходима для получения нормальной выходной мощности приемника при заданном превышении сигнала над собственными шумами или внешними помехами. Высокая чувствительность приемника может быть реализована в случае, если уровень сигнала будет превышать уровень помех на входе приемного устройства.

1.7 Обеспечение хэндовера

В WCDMA предложена гибкая схема обеспечения автоматического переключения вызова на другой канал, основанная на использовании одночастотного, межчастотного и межсистемного хэндовера.

Различают хэндовер без смены частоты, когда связь осуществляется в пределах одной соты на одной несущей частоте, и хэндовер со сменой частоты несущей, когда речь идет о переключении на соседнюю базовую станцию.

На рисунке 1.5 показана типичная ситуация, возникающая при организации хэндовера. Мобильная станция постоянно контролирует уровень принимаемого сигнала от соседних базовых станций и сравнивает его с заданными порогами. Отчет о полученных оценках регулярно высылается на базовую станцию. В нем указывается активный набор базовых станций, уровень которых превышает установленные пороги. Измеренные данные передаются через «старую» БС (А) в контроллер радиосети RNC, который устанавливает в новой БС (В) синхронизацию режима передачи от станции В к терминалу абонента. Синхронизация производится с шагом 256 битов, что обеспечивает ортогональность между кодами в линии «вниз» и дает возможность использовать когерентный RAKE-приемник в мобильном терминале.

Интересное решение предложено в WCDMA для осуществления межчастотного хэндовера. Скорость передачи по физическому каналу увеличивается в два раза, так что все данные одного кадра оказываются переданными за время, равное T/2, где T - длина кадра. В освободившемся временном интервале мобильная станция может осуществлять поиск сигнала на других частотах, перестроив свой радиоканал. Таким образом, технология WCDMA принципиально допускает выполнение межчастотного хэндовера мобильной станцией с единственным радиоканалом.

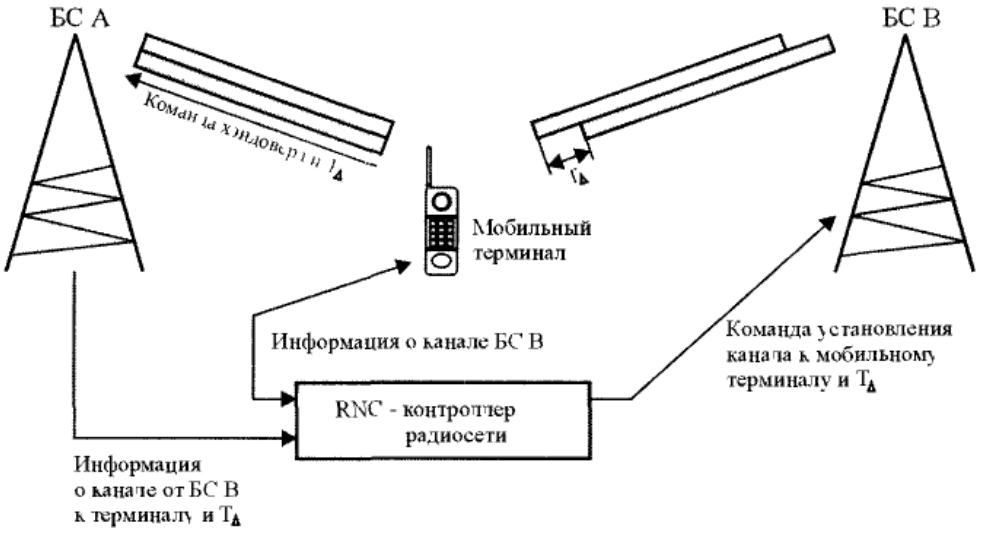


Рисунок 1.5 – Асинхронные операции мягкого хэндовера

Переключение канала связи между сетями WCDMA и GSM - принципиальное требование при разработке систем нового поколения. Предлагаемое решение заключается в использовании мультикадровой структуры, в которой суперкадр или последовательность кадров по 120 мс обеспечивают эквивалентные временные сегменты, что и в сети GSM

Межсистемный хэндовер менее критичен, чем внутрисистемный, к помеховой обстановке. Поэтому оценки отношения сигнал/шум у терминалов WCDMA не обязательно должны совпадать с теми измерениями уровня сигнала, которые получены в терминале GSM.

Терминал WCDMA FDD может проводить параллельные измерения уровня сигнала на других частотах и в других режимах работы FDD, TDD или на несущих GSM. Чтобы обеспечить плавный хэндовер между различными системами (UTRA и GSM), обе технологии должны обменяться информацией об используемых частотах в зоне обслуживания и обеспечить синхронизацию терминала, что может быть реализовано на совмещенной базовой станции WCDMA/GSM. Терминал, работающий в режиме GSM, должен получать от совмещенной базовой станции по общему каналу дополнительную информацию о параметрах сигналов WCDMA.

Процедура хэндовера в режимах FDD/TDD может быть реализована при использовании двухрежимного терминала. Длина кадра в обоих режимах одинакова и равна 10 мс, что упрощает процедуру автоматического переключения вызова на другой канал, когда терминал переходит из соты WCDMA FDD в соту WCDMA TDD или наоборот.

В режиме FDD это достигается за счет того, что в кадре имеются свободные интервалы, которые могли бы быть использованы для приема сигнала на другой частоте. Еще проще провести измерения сигналов на другой частоте в режиме TDD, где передаваемая информация уже сжата во времени. Таким образом, можно не прерывая передачу FDD, осуществить прием на несущей частоте TDD или наоборот.

Задача межрежимного FDD/TDD хэндовера может быть значительно упрощена, если базовые станции в своих широковещательных сообщениях будут указывать номера сот, работающих в том или ином режиме (FDD или TDD), а также используемые расширяющие скремблирующие коды.

1.8 Методы борьбы с замираниями

Одна из основных проблем, которая успешно решена в системах 3-го поколения - это обеспечение устойчивой работы абонентского терминала (мобильной станции) без использования традиционных методов разнесенного приема, которые требуют введения дополнительных каналов разнесенного приема. Классификация методов разнесенной обработки сигналов, используемых в мобильной связи, приведена в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Методы разнесенной обработки сигналов, используемые в WCDMA

Тип разнесения	Методы борьбы с замираниями
Временное разнесение	Обеспечение перемежения символов в линиях «вверх» и «вниз»
Многолучевое разнесение	Использование RAKE приемника и введение режима совместного детектирования (joint detection)
Пространственное разнесение	Разнесение передающих (линия «вниз») и приемных (линия «вверх») антенн со сложением сигналов по максимуму отношения сигнал/помеха
Частотное разнесение	Использование сигналов с расширением спектра, что эквивалентно многолучевому разнесению
Макроразнесение	Мягкий хэндовер со сложением сигналов в линии «вниз» и прием с автовыбором в линии «вверх»

Среди методов, приведенных в таблице 1.6, не все в одинаковой степени эффективны при их использовании в WCDMA. Так, наиболее простой способ разнесенной передачи, связанный с введением задержки, практически непригоден, так как вызовет увеличение уровня взаимных помех и потребует введения дополнительного RAKE приемника в мобильной станции. Основное отличие нижеприведенных технических решений основано на обеспечение ортогональности между сигналами различных передающих антенн за счет использования кодового или временного разделения.

Рассмотрим принцип ортогонального разнесения на передаче OTD (Orthogonal Transmit Diversity), который для случая двух антенн реализуется следующим образом. Кодированные биты разделяются на два потока, каждый из которых передается через одну из антенн. Для расширения спектра используются различные каналообразующие коды, что обеспечивает ортогональность между передаваемыми потоками разных антенн и подавление взаимных помех в каналах с гладкими замираниями. Схема обработки разнесенных сигналов в RAKE приемнике с OTD иллюстрируется на рисунке 1.6.

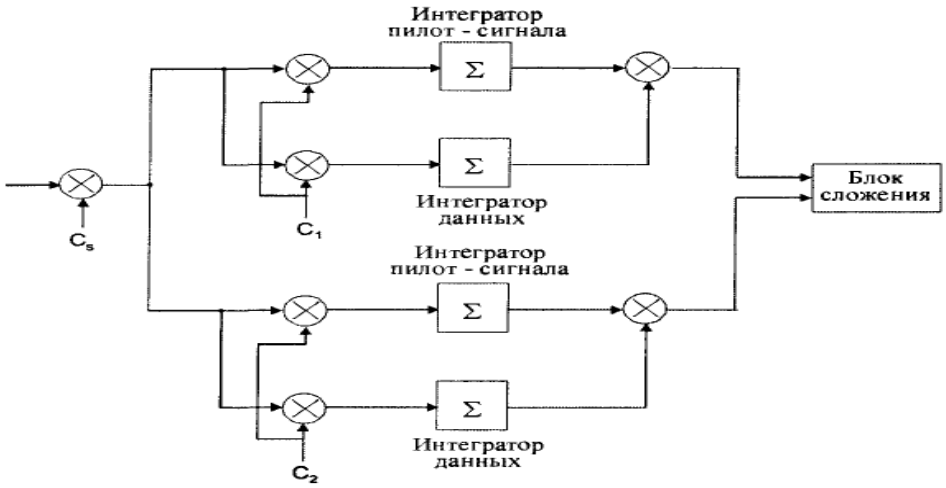


Рисунок 1.6 – Схема RAKE приемника в режиме OTD

Следует отметить, что пилот-сигнал также расщепляется и передается через две антенны, что обеспечивает возможность его когерентного детектирования на приеме. Данные обрабатываются в двух параллельных каналах RAKE приемника. Поскольку сигналы принимаются одновременно с одной и той же задержкой (в каждом луче), то никакой дополнительной буферизации или временного сдвига данных не требуется. Этот значительно упрощает реализацию и снижает стоимость приемника мобильной станции.

Предлагаемая структура является достаточно гибкой и может быть легко расширена на большее число антенн. Что же касается реализации режима OTD на базовой станции, то в ней обеспечивается групповая обработка и используются те же методы модуляции, кодирования и мультикодовой передачи. Таким образом, все усложнения в основном связаны лишь с введением дополнительной антенны и приемопередающей аппаратуры.

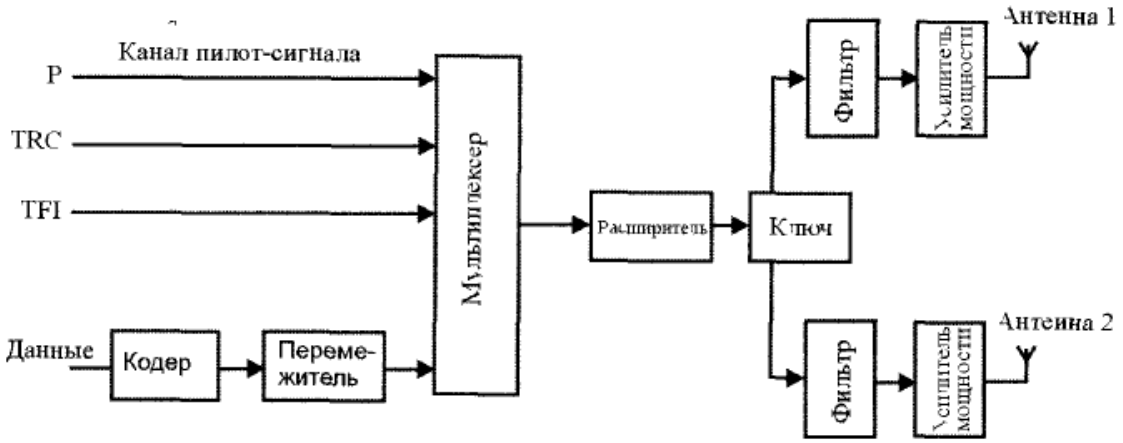


Рисунок 1.7 – Структурная схема передатчика базовой станции с коммутацией каналов

Упрощенная схема разнесения на передаче с коммутацией каналов для WCDMA в режиме FDD приведена на рисунке 1.7. Канал пилот-сигнала, биты управления мощностью TPC и указатель формата TFI вместе с потоком данных объединяются в групповой сигнал, который после расширения спектра коммутируется и передается через одну из антенн. Закон коммутации задается на базовой станции или определяется на мобильной станции, которая по каналу сигнализации связана с базовой.

В системе с коммутацией каналов не требуется вносить никаких изменений в канальную структуру. В этом варианте используются те же методы канального кодирования, перемежения и согласования скоростей, которые обычно применяются в выделенных каналах связи. Что же касается общих транспортных каналов и канала синхронизации SCH, то они передаются в режиме FDD без разнесения (только через одну из антенн).

Диаграмма формирования коммутируемых потоков данных (для двух антенн) приведена на рисунке 1.8. Кадр состоит из 15 временных интервалов,

которые расщепляются на 2 потока в одном из них собраны только четные, а другом - нечетные временные интервалы. Каждый из потоков передается через свою антенну. В этом варианте структура передаваемых пакетов и их содержание сохраняется без изменения, однако пропускная способность снижается.

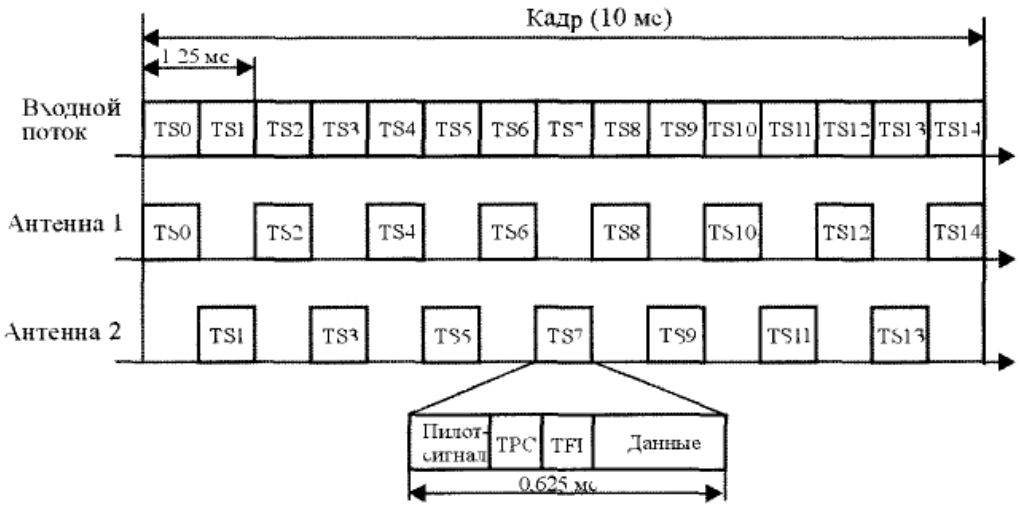


Рисунок 1.8 – Временная диаграмма расщепления потоков данных

Еще один вариант разнесения на передаче STD (Selection Transmit Diversity) основан на использовании информации об уровне пилот-сигнала и введении быстродействующего замкнутого контура управления мощностью.

Вариант разнесения реализуется следующим образом. В случае отсутствия мягкого хэндовера антенна базовой станции динамически переключается на основании данных анализа условий распространения, передаваемых с мобильной станции. Сигнал управления антенной AS (antenna selection) формируется и передается аналогичным способом, что и биты управления мощностью TPC, однако с более низкой скоростью (ориентировочно 400 Гц). Упрощенная схема передающей части базовой станции для этого варианта приведена на рисунке 1.9.

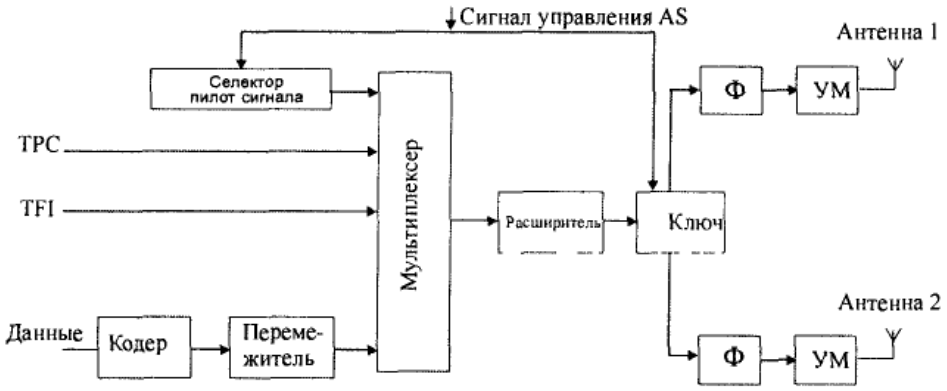


Рисунок 1.9 – Схема разнесения с автовыбором антенн

2 Выбор оборудования

2.1 Обзор существующей сети в городе Усть-Каменогорск

Население в городе Усть-Каменогорск составляет примерно 306 400 человек. Город представляет собой прогрессивно растущий город (наличие достаточного количества предприятий и учреждений, банков, студенческого городка). Поэтому использование обычной телефонии уже недостаточно, имеется потребность в передаче по каналам связи не только голосовых сообщений, но и видео и данных. Усть-Каменогорск - город в восточном Казахстане, административный центр Восточно-Казахстанской области, расположенный на месте слияния рек Иртыш и Ульба. Город является центром областного уровня, в котором размещаются административные, научные, учебные, медицинские, зрелищные, спортивные, развлекательные и другие объекты эпизодического пользования, обслуживающие население, как самого города, так и области. Имеются сети второго поколения (2G), на основе которых будет строиться сеть стандарта WCDMA. С внедрением данной технологии у людей появится возможность выходить в глобальные сети с помощью 3G модемов, использовать для разговоров услугу видеосвязи.

Почти в центре города находится вышка с базовой станцией высотой 20 м (рисунок 2.1), на которой и будут непосредственно устанавливаться антенны, а рядом будет устанавливаться аппаратная базовой станции.

Рисунок 2.1 – Изображение вышки

С помощью радиорелейной антенны будет осуществляться связь с другой базовой станцией (рисунок 2.2), которая находится на расстоянии 15,7 км от

нашей базовой станции. Это делается для связи базовой станции с центром коммутации.

Рисунок 2.2 – Изображение базовой станции сотовой связи

Схема организации связи находится в приложении А.

Т а б л и ц а 2.1 – Инфраструктура базовой станции

Наименование	Количество штук
Стационарное оборудование:	
Шкаф БС Ericsson RBS 3206	1
Усилитель Remotek W35 UMTS	1
Шкаф электропитания DELTA Energy Systems	1
Антенно-фидерное оборудование:	
Приемо-передающие антенны направленного действия KATHREIN 742236	3
Антенна радиорелейной связи Pasolink	1
Радиочастотные фидеры из коаксиального кабеля LCF 1/2	30 м
Радиочастотные фидеры из коаксиального кабеля LCF 7/8	30 м

2.2 Базовая станция RBS 3206 (Базовая станция сотовой связи стандарта UMTS)

Основной элемент сотовой сети любого стандарта - это базовая станция (BSS, Base Station System), которая занимается приемом звонков абонентов и передачей данных по радиоканалу. В зависимости от стандарта связи, базовые станции (БС) работают в диапазоне частот от 450 до 2100 МГц. БС составляют основу макроячеек, так называемых сот. Поскольку радиус работы таких

станций составляет порядка 10-12 км за городом и около 3-5 км в городе, их строят много и располагают относительно недалеко друг от друга. В обязательном порядке имеется беспроводной или кабельный канал связи с центром управления сетью, куда передается огромный поток данных - входящие и исходящие вызовы от абонентов [3].

Т а б л и ц а 2.2 – Технические характеристики БС RBS 3206

Характеристики радиопередатчика	
Мин. значение полосы частот	2110 МГц
Макс. значение полосы частот	2170 МГц
Тип перестройки частоты	Дискретный, программный
Тип выходного прибора	Полупроводниковый прибор
Мощность излучения	20 Вт
Значение уровня	(-3 дБ) – (-30 дБ)
Ширина полосы излучения	3,84 – 4,7
Скорость манипуляции	3,84 Мчип/с
Коэффициент расширения спектра	4 – 512
Вид модуляции несущей	4QPSK
Характеристики радиоприемника	
Мин. значение полосы частот	1920 МГц
Макс. значение полосы частот	1980 МГц
Тип приемника	Супергетеродинный
Избирательность приемника, по:	соседнему каналу – 52 дБ
	зеркальному каналу – 55 дБ
	другим ПКП – 60 дБ
Чувствительность	Пороговая: -132,5 дБм
	Реальная: -127,5 дБм
Защитное отношение к помехе	3,9 дБ
Тип помехи	Шумовая
Значение уровня	(-3 дБ) – (-30 дБ)
Полоса пропускания УВЧ	4 – 5 МГц
Промежуточная частота	201 МГц
Полоса пропускания УПЧ	3,9 -7 МГц

2.3 Усилитель Remotek W35 UMTS

Данный усилитель предназначен для работы в условиях значительного удаления от базовой станции оператора, в особенности в тех случаях, когда одной антенны W-CDMA недостаточно для получения нормального сигнала.

Т а б л и ц а 3.3 – Технические характеристики усилителя WCDMA,3G сигнала Remotek R35 UMTS

Диапазон частот	1920-1980MHZ, 2110-2170MHZ
Усиление	14±0,5 bB
Побочное излучение	<= -40dBm
Коэффициент шума	< 1,6 дБ
Полное сопротивление	50 Ом
Электропитание	AC 220V / AC 110V
Температура	от - 250 до + 550

2.4 Шкаф электропитания

Модульные системы питания постоянного тока состоят из нескольких системных узлов: системного шкафа или 19" «рэка», установленных в специальную "корзину" выпрямителей, аккумуляторных (батарейных) вводов с реле защиты от глубокого разряда, распределительных узлов переменного тока, распределительных узлов постоянного тока с установленными в них реле отключения приоритетной нагрузки, и блока управления и контроля (контроллера системы).

Центральное системное устройство (SCU-system central unit) состоит из: распределительного узла переменного тока, узла подключения аккумуляторных батарей, распределительного узла постоянного тока, кабелей и шин для подключения всех узлов между собой и к контроллеру системы. Модульная конструкция ЭПУ позволяет довольно простым способом реализовать широко применяемую схему резервирования выпрямителей N+1 и модернизировать систему питания в будущем путем увеличения мощности системы за счет простой установки дополнительных выпрямителей на заранее зарезервированные в системном шкафу места или путем подключения дополнительного шкафа с выпрямителями.

2.5 Приемо-передающие антенны направленного действия KATHREIN 742236

Антенны Kathrein характеризуются высокой надежностью, механической прочностью, долговечностью (реальный срок эксплуатации не менее 15 лет), а также постоянством электрических характеристик в течение всего срока службы. Антенны успешно работают в условиях повышенной влажности, перепада температур (от -55 до +60°С), обледенения, сильных ветровых нагрузок. Правильный выбор материалов конструкции и оптимальное число внутренних соединений позволили снизить уровень интермодуляционных искажений до 150 дБ. Диапазон изменения коэффициентов усиления антенн составляет 2…11 дБ, а подводимой мощности 60...500 Вт. Как правило, вибраторы в антенне запитываются синфазно, но в ряде случаев с запаздыванием по фазе, что обеспечивает наклон луча в вертикальной плоскости для оптимизации зоны покрытия. Панельные антенны представляют собой совокупность вибраторов, расположенных над металлическим экраном и объединенных с помощью системы миниатюрных коаксиальных кабелей, размещенной по другую сторону экрана. Прочный фиберглассовый кожух герметично укрывает антенну от воздействий внешней среды. В зависимости от типа антенна имеет один, два, четыре или шесть внешних разъемов, что фактически указывает на число независимых антенн, размещенных в одном

корпусе. Такое конструктивное решение позволяет экономить место на антенной мачте, а также финансовые ресурсы компаний операторов. В ряде моделей предусмотрен электрический наклон луча (фиксированный или регулируемый), который обеспечивается соответствующей схемой питания. В панельных антеннах наклон луча можно обеспечить и механическим путем , используя специальный узел наклона. Однако электрический наклон луча более предпочтителен, поскольку при этом не искажается изначальная форма диаграммы направленности в горизонтальной плоскости. Кроме того, отпадает необходимость в приобретении механических узлов наклона [17].

Т а б л и ц а 2.4 – Характеристика антенны

Диапазон частот	1920-2180 МГц
Положение луча в пространстве	фиксированное
Частота	1950 МГц
Коэффициент усиления, дБ	14
Ширина ДНА на уровне -3 дБ в горизонтальном положении	90^0
Ширина ДНА на уровне -3 дБ в вертикальном положении	20^0
Уровень боковых лепестков ДНА, (дБ)	-3

2.6 Антенна радиорелейной связи Pasolink

Аппаратура выступает в качестве линии связи между базовыми станциями BTS/Node-B в мобильной сети, а также обеспечивает каналы связи между магистральной сетью и BTS/Node-B через центр коммутации мобильной связи и BSC/RNC.

Простота установки:

– компактная и легкая конструкция для раздельного монтажа с одним ПЧ-кабелем;

– гетеродин (синтезатор частоты), перестраиваемый в выбранном поддиапазоне на месте установки;

– регулировка мощности передатчика;

– благодаря автоматической регулировке мощности передатчика (ATPC) снижается уровень помех, уменьшается коэффициент остаточных ошибок и облегчается решение проблемы замираний.

Интерфейс 10/100BASE-T(X): в дополнение к существующим интерфейсам E1, предусмотрены два интерфейсных порта 10/100 BASE-T(X). Они позволяют обеспечить гибкую настройку выделяемой ширины полосы для трафика между E1 и 10BASE-Tc. Каждый из каналов 10/100BASE-T(X) может быть настроен на любую из следующих скорость передачи данных: 2/8/17/34 Мбит/с, при этом оставшаяся емкость может быть предоставлена для использования потоком E1.

Автоматическое управление мощностью передатчика (ATPC): ATPC снижает помехи, воздействующие на расположенные рядом систему, улучшает показатели по остаточному BER и облегчает решение проблему фединга при росте сигнала.

Мониторинг уровня принимаемого сигнала (RSL): предусмотрен режим постоянного мониторинга с помощью местного пульта управления.

Т а б л и ц а 2.5 – Технические характеристики

Рабочие диапазоны частот	7, 8, 13, 15, 18, 23, 26, 38 ГГЦ
Конфигурация	1+0, 1+1 (HS — гибридное разнесение), 1+1 (HS/SD пространственное разнесение), 1+1 FD (частотное разнесение)
Вид модуляции	4PSK
Пропускная способность по трафику	2x2Мбит/с (2E1), 4x2Мбит/с (4E1), 8x2Мбит/с (8E1), 16x2Мбит/с (16E1)
Разнос каналов (МГц)	3.5 (2E1), 7 (4E1),14 (8E1), 28 (16E1)
Интерфейс данных	75/120 Ом, D-SUB (МСЭ G.703), 10Base-T/100Base-T (по заказу)
Диапазон автоматической / ручной регулировки мощности передатчика	-30 до 0 дБ (с шагом 1дБ)
Боковой канал	2,048Мбит/с для 16E1 (по заказу)
	Интерфейс 10Base-T
Служебные каналы	Стандарт: 2x9.6Кбит/с По заказу: 2xVF (тональная частота), 1x64кбит/с, 2xAUX ALM, 1x10Base-T (Скорость передачи данных: 64 кбит/с)
Служебная аварийная сигнализация	Входы: 6 оптопар Выходы: 4 герконовых реле Form-C
Управление сетью	PNMS / PNMT
Напряжение питания	+20В…+60В

Фидеры радиочастотные. Радиочастотные фидеры из коаксиального кабеля LCF 1/2 : 50 Ом кабель, внешний диаметр 15,7 мм, затухание на частоте 450МГц – 4.75дБ/100м, КСВН<1.15, ПЭ-оболочка.

Радиочастотные фидеры из коаксиального кабеля LCF 7/8: 50-Ом кабель, внешний диаметр 27,5 мм, затухание на частоте 450МГц – 2.65дБ/100м, КСВН<1.15, ПЭ-оболочка.

3 Расчетная часть

3.1 Определение зоны покрытия трехсекторной БС с помощью моделей предсказания, учет потерь при распространении радиоволн

Основу территориального планирования составляет энергетический расчет, в процессе которого определяется архитектура сети и ее пространственные координаты с учетом качества обслуживания и информационной нагрузки. Заданное качество принятого сигнала определяется чувствительностью приемника. В общем виде уравнение передачи может быть представлено как:

$$P_{ПРМ} = \frac{P_{ПРД} \cdot \eta_{ФПРД} \cdot G_{АПРД} \cdot \xi_{П} \cdot G_{АПРМ} \cdot \eta_{ФПРМ} \cdot \xi_{С}}{L_{\Sigma}}, \quad (3.1)$$

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 3.6. приведены стандартные значения параметров базовой и мобильной станций, необходимых в дальнейших расчетах.

Т а б л и ц а 3.1 – Стандартные значения параметров БС и МС

Обозначение	Наименование и единица измерения	Значение
$P_{ПРД\ БС}$	Мощность передатчика БС, дБВт	13
$G_{ПРД\ БС}$	Коэффициент усиления передающей антенны БС, дБ	14
$f_{ПРД\ БС}$	Полоса рабочих частот передачи БС, МГц	2110-2170
$P_{ПРМ\ БС}$	Чувствительность приемника БС, дБВт	-157
$G_{ПРМ\ БС}$	Коэффициент усиления приемной антенны БС, дБ	18
$f_{ПРМ\ БС}$	Полоса рабочих частот приема БС, МГц	1920-1980
$P_{ПРД\ МС}$	Мощность передатчика МС, дБВт	-10
$G_{ПРД\ МС}$	Коэффициент усиления передающей антенны МС, дБ	0
$f_{ПРД\ МС}$	Полоса рабочих частот передачи МС, МГц	850-1900
$P_{ПРМ\ МС}$	Чувствительность приемника МС, дБВт	-129
$G_{ПРМ\ МС}$	Коэффициент усиления приемной антенны МС, дБ	0
$f_{ПРМ\ МС}$	Полоса рабочих частот приема МС, МГц	850-2100

Мощность радиосигнала на входе приемника определяется чувствительностью приемника, для устойчивой связи чувствительность приемника принимается как 70% от максимального значения, то есть для БС = -109,9 дБВт.

Рельеф местности в зоне обслуживания $\Delta h_{БС}$ системы подвижной радиосвязи определяется по карте местности с учетом расположения трехсекторной антенны в месте расположения БС (приложения Б, В, Г).

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: $\eta_{ФПРД} = \eta_{ФПРМ} = 0{,}95$.

Значение мощности радиосигнала на входе приемника удобно выражать в децибелах относительно ватта. При этом уравнение (3.1) принимает вид:

$$P_{ПРМ} = P_{ПРД} + \eta_{ФПРД} + G_{АПРД} + \xi_П + G_{АПРМ} + \eta_{ФПРМ} + \xi_С - L_\Sigma \qquad (3.2)$$

По этой формуле несложно определить суммарные энергетические потери, возникающие на трассе распространения радиоволн:

$$L_\Sigma\,(дБ) = P_{ПРД} + \eta_{ФПРД} + G_{АПРД} + \xi_П + G_{АПРМ} + \eta_{ФПРМ} + \xi_С - P_{ПРМ}\,. \qquad (3.3)$$

Для МС суммарное затухание радиоволн на трассе равно:

$$L_{\Sigma\,МС}(дБ) = P_{ПРД\,МС} + \eta_{ФПР\,МС} + G_{АПРД\,МС} + \xi_П + G_{АПРМ\,МС} + \eta_{ФПРМ} + \xi_С - P_{ПРМ\,МС} = -10 + 0{,}95 +$$
$$+ 0 + 0{,}9 + 0 + 0{,}95 + 0{,}9 + 129 = 122{,}7\ дБ.$$

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

$$L_\Sigma = L_P + L_{РЕЛ}. \qquad (3.4)$$

Определим поправку, учитывающей рельеф местности. Для этого в районе ориентировочного местоположения БС на карте города выбираем место, которое будет удовлетворять одновременно следующим условиям:

1. для размещения антенны БС в соответствующем районе имеется подходящее по условиям задания здание или опора, на которых можно арендовать площадь для размещения антенны БС (приложение А);

2. перед антенной БС не должно быть значительных возвышенностей (экранов), желательно во всех трех направлениях, для которых производится расчет (юго-восток, юго-запад, север).

Строим в трех направлениях рельеф местности (рисунок 3.1). На рельефе указываем высоты для следующих точек местности: первая точка – точка расположения антенны БС; следующие точки выбираем через 100 м в каждом направлении.

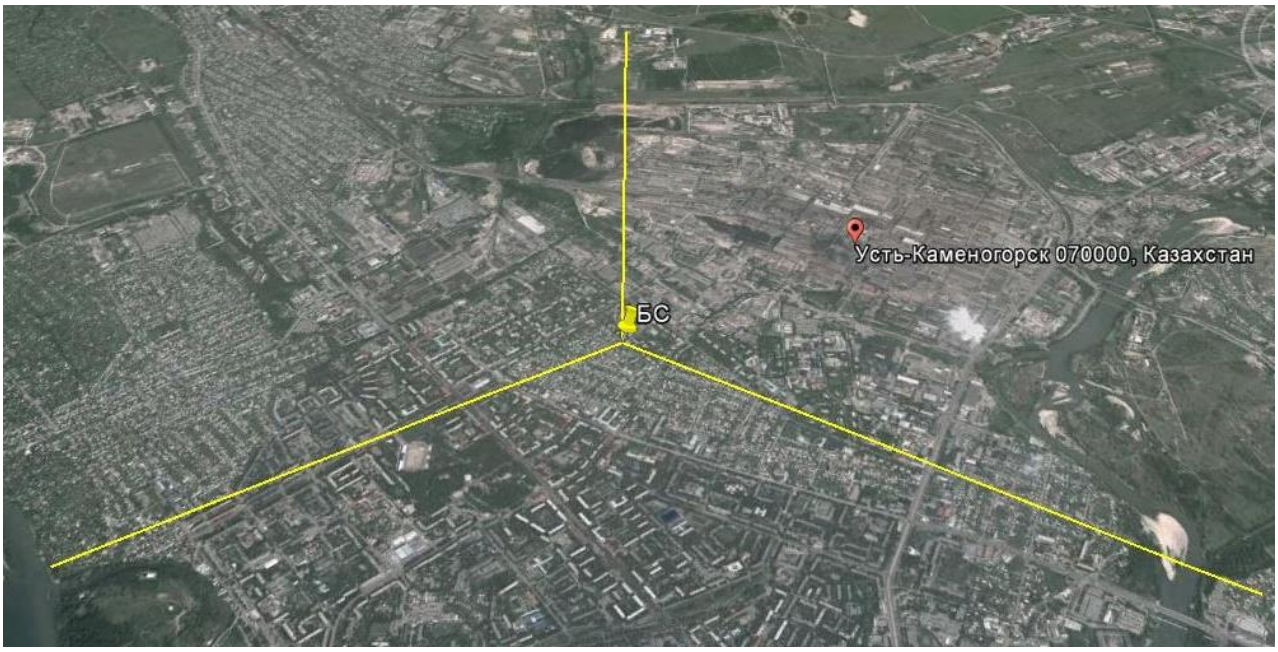


Рисунок 3.1 – Местность в трех направлениях (юго-восток, юго-запад, север)

Профиль рельефа изображен в приложениях Б, В, Г.

Т а б л и ц а 3.2 – Рельеф местности в трех направлениях

Высота над уровнем моря, м	Расстояние от БС, м									
	0	300	500	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700
Юго-восток	288	287	289	291	287	287	286	286	283	279
Юго-запад	288	290	289	292	294	291	289	288	287	285
Север	288	290	291	292	295	298	314	301	304	306

Определим поправки, учитывающие рельеф местности для всех направлений. Коэффициент $L_{рел}$ определяем, интерполируя между графиками рисунка 3.2.

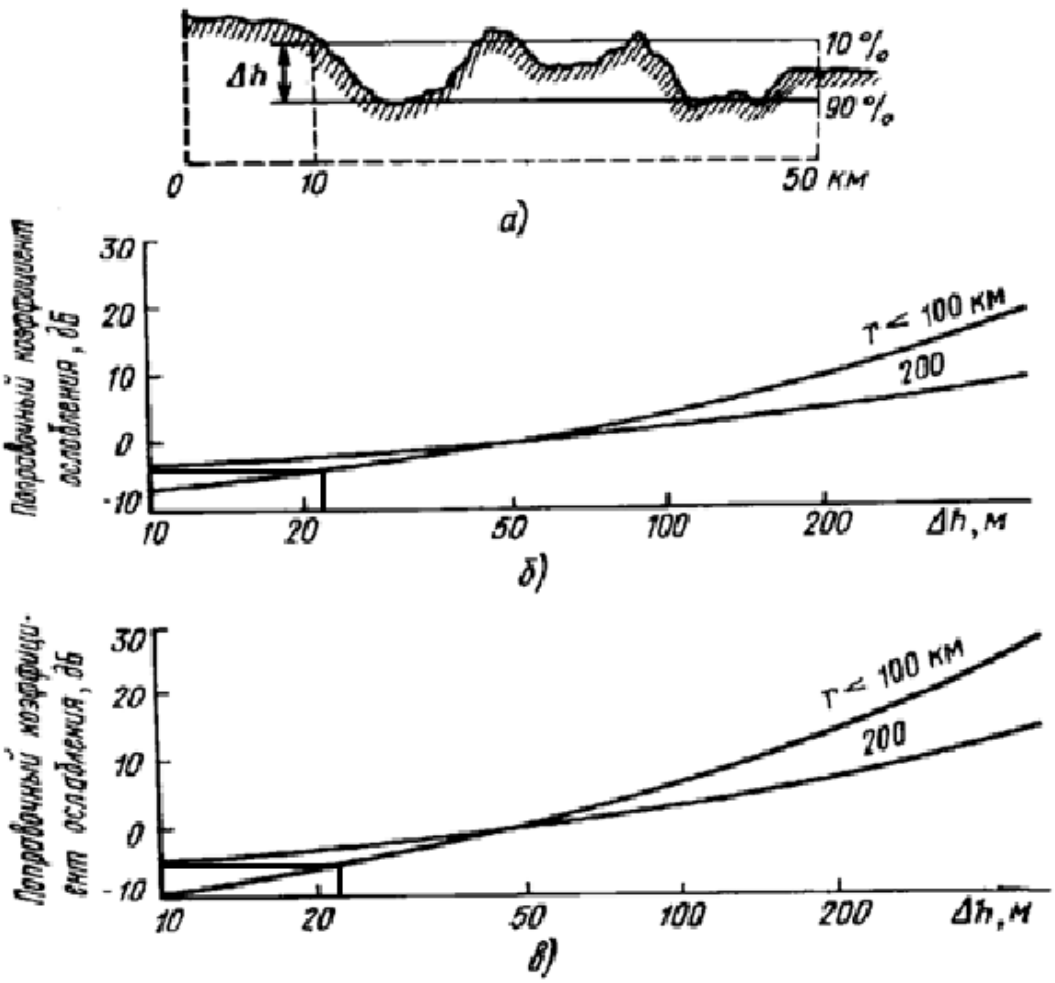


Рисунок 3.2 – График для определения поправки, учитывающей рельеф местности

При $\Delta h = 26$; $L_{РЕЛ} = \frac{-6-4}{2} = -5$ дБ - север.

При $\Delta h = 6$; $L_{РЕЛ} = 0$ дБ – юго-запад.

При $\Delta h = 8$; $L_{РЕЛ} = 0$ дБ – юго-восток.

Используя формулу (3.4), определим потери распространения для соответствующего типа местности:

Для БС:

$L_P = L_\Sigma - L_{РЕЛ} = 154{,}6 + 5 = 159{,}6$ дБ – север;

$L_P = L_\Sigma - L_{РЕЛ} = 154{,}6$ дБ – юго-запад;

$L_P = L_\Sigma - L_{РЕЛ} = 154{,}6$ дБ – юго-восток.

Определив из потери распространения для соответствующего типа местности L_P, можно приступить к определению радиуса зоны покрытия базовой станции с помощью эмпирических моделей COST231-Хата

3.2 Расчет зоны радиуса покрытия по модели COST231-Хата

Существует достаточно большое количество эмпирических моделей предсказания потерь при распространении сигналов для различных типов местности. Наиболее известными и используемыми являются модели предсказания Окомура и Хата, модель COST231-Хата и модель Вольфиша-Икегами (WIM). Модель Окомура и Хата в нашем случае не подходит, так как эта модель используется для частотного диапазона от 150 МГц до 1500 МГц, поэтому используем модель COST231-Хата.

Расчет зоны покрытия БС. Могенсен с соавторами предложил расширить модели Окомура и Хата на частотный диапазон от 1,5 до 2 ГГц. В этом диапазоне использование модели Окомура и Хата приводит к недооценке затухания сигнала. Модель COST231-Хата справедлива для несущих частот в диапазоне от 1,5 до 2 ГГц, высоте антенны базовой станции от 30 до 200 м, высоте антенны подвижной станции от 1 до 10 м и расстоянию между ними от 1 до 20 км. Модель позволяет оценивать затухание по формуле:

$$L_P = 46{,}3 + 33{,}9\lg(f_0) - 13{,}83\lg(h_b) - a(h_m) + [44{,}9 - 6{,}55\lg(h_b)]\lg(r) + C, \qquad (3.5)$$

где C – постоянная: для городов и пригородных районов C = 0, так Усть-Каменогорск является городом, то в нашем случае C=0; для средних городов $a(h_m) = 3{,}2 \cdot [\log(11{,}75 \cdot h_m)]^2 - 4{,}97$;

f_0 – частотой, на которой работает система связи (обычно средняя);

h_b – высотой подвеса антенны базовой станции;

h_m – высотой положения над землей антенны мобильной станции;

r – радиусом зоны покрытия базовой станции;

В нашем случае:

$f_0 = 2140\,МГц$;

$a(h_m) = 3{,}2 \cdot [\log(11{,}75 \cdot h_m)]^2 - 4{,}97$, при $f \rangle 400\,МГц$;

$a(h_m) = 3{,}2 \cdot [\log(11{,}75 \cdot h_m)]^2 - 4{,}97 = 3{,}2 \cdot [\log(11{,}75 \cdot 1{,}5)]^2 - 4{,}97 = -0{,}00092$.

Далее из формулы (3.5) находим радиус зоны покрытия базовой станции:

$$\lg(r) = \frac{L_p - 46{,}3 - 33{,}9\lg(f_0) + 13{,}83\lg(h_b) + a(h_m)}{44{,}9 - 6{,}55\lg(h_b)}. \qquad (3.6)$$

Высота антенны $h_b = 20\,м$.

Для направления север:

$$\lg(r) = \frac{159{,}6 - 46{,}3 - 33{,}9\lg(2140) + 13{,}831\lg(20) - 0{,}00092}{44{,}9 - 6{,}55\lg(20)} = 0{,}505$$

$r = 3{,}19\,км$;

Для направления юго-запад:

$$\lg(r) = \frac{154{,}6 - 46{,}3 - 33{,}9\lg(2140) + 13{,}83\lg(20) - 0{,}00092}{44{,}9 - 6{,}55\lg(20)} = 0{,}368$$

$r = 2{,}334\,км$;

Для направления юго-восток:

$$\lg(r) = \frac{154{,}6 - 46{,}3 - 33{,}9\lg(2140) + 13{,}83\lg(20) - 0{,}00092}{44{,}9 - 6{,}55\lg(20)} = 0{,}368$$

$r = 2{,}334\,км$.

Расчеты, выполненные выше, сделаны на программе MathCAD и приведены в приложении Ж.

Т а б л и ц а 3.2 – Радиус зоны покрытия БС

Высота подвеса антенны БС, м	Радиус зоны покрытия БС, r, км		
	Север	Юго-запад	Юго-восток
h=20	3,19	2,334	2,334

3.3 Расчет пролета радиорелейной линии (РРЛ)

Т а б л и ц а 3.3 – Технические параметры аппаратуры Pasolink

Шифр РРС	Диапазон частотf, ГГЦ	Коэффициент системы S_G, дБ	Диаметр антенныD, м	Коэффициент усиления антенны G, дБ
Pasolink 23G8M8	21,2-23,6	110,5 (E2)	1,2	46,671

Так как коэффициент усиления антенны в дБ не указан, то его вычисляем по формуле:

$$G = 10\log\left(\frac{10 \cdot g \cdot D^2}{\lambda^2}\right), \qquad (3.8)$$

где g=0,6 – коэффициент использования поверхности антенны;
D – диаметр антенны;

$\lambda = \frac{c}{f}$ - длина волны.

$$G = 10\log(\frac{10 \cdot g \cdot D^2 \cdot f^2}{c^2}) = 10\log(\frac{10 \cdot 0{,}6 \cdot (1{,}2)^2}{(\frac{3 \cdot 10^8}{22 \cdot 10^9})^2}) = 46{,}671\,дБ$$

Построение продольного профиля пролета. Продольный профиль интервала представляет собой вычерченный в определенном масштабе вертикальный разрез местности по линии, соединяющей две соседние 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.

3.4 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:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k \cdot (1-k)}\,, \qquad (3.9)$$

где $\lambda = c / f = \frac{3 \cdot 10^8}{22 \cdot 10^9} = 0{,}014$ – длина волны, м.

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

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 15{,}7 \cdot 10^3 \cdot 0{,}014 \cdot 0{,}5 \cdot (1-0{,}5)} = 4{,}28\ м.$$

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

$$\Delta H(\bar{g}+\sigma_{R_0}) = -\frac{R_0^2}{4}\cdot(\bar{g}+\sigma_{R_0})\cdot k\cdot(1-k), \qquad (3.10)$$

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:

$$\sigma_{R_-} = (10\cdot 10^{-8} + \frac{\bar{g}}{3{,}1})\cdot(\frac{1}{y}-1) + \frac{\sigma}{y} = (10\cdot 10^{-8} + \frac{-7\cdot 10^{-8}}{3{,}1})\cdot(\frac{1}{0{,}7}-1) + \frac{9\cdot 10^{-8}}{0{,}7} = 16{,}18\cdot 10^{-8}\ м^{-1}, \qquad (3.11)$$

где σ – значение стандартного отклонения, $м^{-1}$;
y = 0,5 при R_0 = 9,61 км (выбор y см.в приложении Д).

$$\Delta H(\bar{g}+\sigma_{R_0}) = -\frac{R_0^2}{4}\cdot(\bar{g}+\sigma_{R_0})\cdot k\cdot(1-k) = -\frac{(15{,}7\cdot 10^3)^2}{4}\cdot(-7+16{,}18)\cdot 10^{-8}\cdot 0{,}5\cdot(1-0{,}5) = -1{,}41\,м$$

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

$$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g}+\sigma_{R_0}) = 4{,}28-(-1{,}41) = 5{,}69\,м. \qquad (3.12)$$

Высоты подвеса антенн определим из рисунка 3.5. Для этого от критической точки профиля откладывается расстояние H(0) и через данную точку проводится луч, соединяющий антенны.

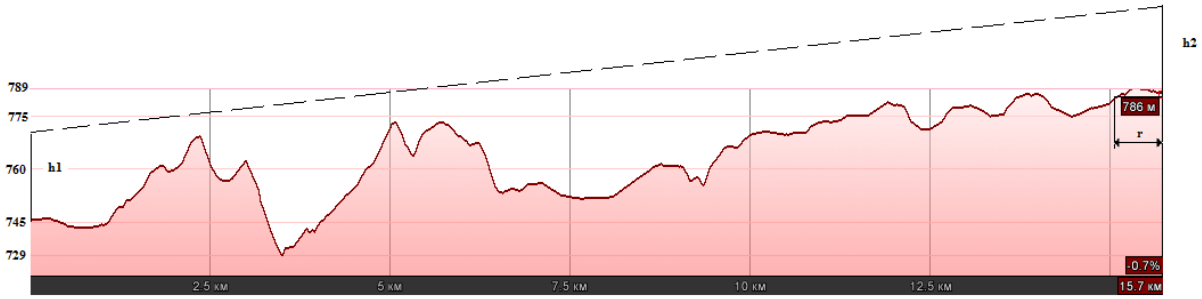


Рисунок 3.3 – Профиль пролета РРЛ

По профилю пролета получаем, h_1=20 м, h_2=30 м.
Расчет запаса на замирание производится по формуле:

$$F_t = S_G + G_{ПРД} + G_{ПРМ} - 2\eta - L_0, \quad (3.13)$$

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

$$L_0 = 20 \cdot (\lg(f) + \lg(d)) + 32{,}45 = 20 \cdot (\lg(22 \cdot 10^3) + \lg 15{,}7) + 32{,}45 = 143{,}22\, дБ, \quad (3.14)$$

где f – частота передачи, ГГц;

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

$$F_t = 110{,}5 + 46{,}671 + 46{,}671 - 5 - 143{,}22 = 55{,}62\, дБ.$$

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. 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 Д1 Приложения Д.

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

$$d_э = r \cdot R_0, \quad (3.15)$$

где R_0 – длина пролета (15,7 км);

$$r = \frac{1}{1 + R_0 / d_0} = \frac{1}{1 + \frac{15{,}7}{25{,}16}} = 0{,}616$$ – коэффициент уменьшения;

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

$$d_э = 0{,}616 \cdot 15{,}7 = 9{,}67\, км$$

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

$$\gamma = k \cdot R_{0,01}^{\alpha} \quad (3.16)$$

Определяется для горизонтальной и вертикальной поляризации и выбирается наибольшее из них:

$$\gamma_Г = k_Г \cdot R_{0,01}^{\alpha_н} = 0{,}0751 \cdot 22^{1{,}099} = 2{,}244 \text{ дБ/км}, \qquad (3.18)$$

$$\gamma_V = k_V \cdot R_{0,01}^{\alpha_V} = 0{,}0691 \cdot 22^{1{,}065} = 1{,}858 \text{ дБ/км}, \qquad (3.19)$$

где $k_г$, k_v, $\alpha_г$, α_v – коэффициенты регрессии.

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

$$A_{0,01} = \gamma \cdot d_э . \qquad (3.20)$$

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

$$T_g = 10^{11{,}628\left[-0{,}546+\sqrt{0{,}29812+0{,}172\lg\left(0{,}12\cdot\frac{A_{0,01}}{F_t}\right)}\right]}, \qquad (3.21)$$

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

$$A_{0,01} = 2{,}244 \cdot 9{,}65 = 21{,}66 \text{ дБ}, \quad \frac{A_{0,01}}{F_t} = \frac{21{,}66}{55{,}62} = 0{,}39,$$

$A_{0,01}/F_t > 0{,}155$, тогда $T_g = 10^{11{,}628\left[-0{,}546+\sqrt{0{,}29812+0{,}172\lg(0{,}12\cdot 0{,}39)}\right]} = 3{,}9 \cdot 10^{-4}$ %.

3.5 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:

$$H(\bar{g}) = H(0) + \Delta H(\bar{g}) = H(0) - \frac{R_0^2}{4} \cdot (\bar{g}) \cdot k \cdot (1-k). \qquad (3.22)$$

$$\Delta H(\bar{g}) = -\frac{(15{,}7\cdot 10^3)^2}{4}\cdot(-7\cdot 10^{-8})\cdot 0{,}5\cdot(1-0{,}5) = 1{,}08\,м,$$

$$H(\bar{g}) = 5{,}69 + 1{,}08 = 6{,}77\,м.$$

Относительный просвет:

$$p(\bar{g}) = \frac{H(\bar{g})}{H_0} = \frac{6{,}77}{4{,}28} = 1{,}58. \qquad (3.23)$$

На чертеже профиля пролета проводим прямую параллельно радиолучу на расстоянии $\Delta y = H_0$ от вершины препятствия и находим ширину препятствия r=0,6 км.

Относительная длина препятствия:

$$l = \frac{r}{R_0} = \frac{0.6}{15.7} = 0.04. \qquad (3.24)$$

Параметр μ, характеризующий аппроксимирующую среду:

$$\mu = \sqrt[3]{\frac{k^2(1-k)^2}{l^2}}\cdot\sqrt[6]{\frac{64\pi\cdot\alpha}{3}}, \qquad (3.25)$$

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

Принимаем $\alpha = 0{,}5$, тогда $\mu = \sqrt[3]{\frac{0{,}5^2(1-0{,}5)^2}{0{,}04^2}}\cdot\sqrt[6]{\frac{64\cdot 3{,}14\cdot 0{,}5^2}{3}} = 5{,}43$

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

$$p(g_0) = \frac{V_0 - V_{min}}{V_0}, \qquad (3.26)$$

где V_0 – множитель ослабления при H(0)=0, определяемый из рисунка Е1 приложения Е по значению μ, V_0=-7 дБ.

V_{min} – минимальный допустимый множитель ослабления

$$V_{min}^2 = -F_t \Rightarrow V_{min} \approx -\frac{F_t}{2} = -\frac{55{,}62}{2} = -27{,}81. \qquad (3.27)$$

Отсюда $p(g_0) = \frac{-7+27{,}81}{-7} = -2{,}97.$

Параметр ψ определяется по формуле:

$$\psi = 2{,}31 \cdot A \cdot \left[p(\bar{g}) - p(g_0)\right], \qquad (3.28)$$

$$A = \frac{1}{\sigma}\sqrt{\frac{\lambda}{R_0^3 \cdot k(1-k)}} = \frac{1}{9 \cdot 10^{-8}} \cdot \sqrt{\frac{0{,}014}{(15{,}7 \cdot 10^3)^3 \cdot 0{,}5 \cdot (1-0{,}5)}} = 1{,}34.$$

$$\psi = 2{,}31 \cdot 1{,}34 \cdot \left[1{,}58 - (-2{,}97)\right] = 14{,}08.$$

Процент времени ухудшения связи, вызванного субрефракцией радиоволн, $T_0(V_{min})$ определяется по рисунку Е2 Приложения Е: $T_0(V_{MIN}) \approx 0$.

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.

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:

$$UR_{ДОП} = \frac{0{,}3 \cdot R_0}{2500} > T_0 + T_g, \qquad (3.29)$$

где R_0 – длина пролета, км;

2500 – длина эталонной гипотетической линии.

Для нашего случая:

$$UR_{ДОП} = \frac{0{,}3 \cdot 15{,}7}{2500} = 0{,}002\,\%.$$

$$T_0 + T_g = 3{,}9 \cdot 10^{-4}\ \%.$$

$2 \cdot 10^{-3} > 1{,}037 \cdot 10^{-5}$, условие (3.21) выполняется.

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:

$$T_{инт} = K \cdot Q \cdot f^{B} \cdot d^{C} \cdot 10^{-A/10}, \qquad (3.30)$$

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:

$$K = P_L^{1,5} \cdot 10^{(-6,5-C_{LAT}-C_{LON})}, \qquad (3.31)$$

где P_L=5%=0,05 – процент времени с вертикальным градиентом рефракции;
$C_{LAT}=C_{LON}=0$ для Казахстана.

Коэффициент, учитывающий другие параметры трассы:

$$Q = (1 + |E_P|)^{-1,4}, \qquad (3.32)$$

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

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

$$E_P = \frac{30-20}{15{,}7} = 0{,}64\,мрад,$$

$$Q = (1+0{,}64)^{-1,4} = 0{,}5,$$

$$T_{инт} = 3 \cdot 10^{-9} \cdot 0{,}5 \cdot 22^{0,89} \cdot 15{,}7^{3,6} \cdot 10^{-55,62/10} = 1{,}3 \cdot 10^{-9}\ \%.$$

Проверка норм на допустимое время ухудшения связи из-за многолучевого распространения радиоволн. Норма на допустимое время ухудшения связи для высшего качества связи:

$$SES = \frac{0{,}054 \cdot R_0}{2500} > T_{инт}. \qquad (3.33)$$

$$SES = \frac{0{,}054 \cdot 15{,}7}{2500} = 3{,}39 \cdot 10^{-4}\ \%.$$

$3{,}39 \cdot 10^{-4} > 1{,}3 \cdot 10^{-9}$, условие выполняется.

3.6 Исходный ресурс радиолинии для передачи данных в реальном времени со скоростью 144 Кбит/с для пользователей, находящихся внутри здания

На этапе определения размаха системы оцениваются приблизительное число зон (сайтов) размещения базовых станций, возможности базовых станций и их конфигурация и другие элементы сети с учетом требований оператора и распространения радиоволн в этой зоне. При определении размаха сети следует выполнять требования оператора к зоне обслуживания, емкости и качеству обслуживания. Емкость и качество обслуживания тесно связаны в сетях WCDMA , и поэтому оба параметра должны учитываться одновременно при выборе размеров таких сетей.

На рисунке 3.4 показан процесс планирования радиосети WCDMA .

Рисунок 3.4 – Процесс планирования радиосети WCDMA

Существует несколько специальных параметров WCDMA в ресурсе канала радиосвязи, которые не используются в системе радиодоступа, основанном на TDMA, как, например, GSM. Самыми важными являются следующие:

1. Запас помехозащищенности

Этот параметр необходим в ресурсе радиолинии, потому что нагрузка ячейки, коэффициент нагрузки, влияет на зону обслуживания. Чем большая нагрузка допустима в системе, тем больший запас помехозащищенности необходим в восходящем канале и тем меньше зона обслуживания. Для случаев с ограниченной зоной обслуживания допускается меньший запас помехозащищенности, тогда как в случаях с ограниченной емкостью размер ячейки ограничивается допустимыми потерями на трассе в ресурсе радиолинии, и максимальная емкость воздушного интерфейса сайта базовой станции не используется. Типичными значениями запаса помехозащищенности в случаях с ограниченной зоной обслуживания являются 1,0 - 3,0 дБ, которые соответствуют 20 - 50 %-ной нагрузке.

2. Запас на быстрые замирания (= резерв на управление мощностью)

Для обеспечения адекватного быстрого управления мощностью в замкнутом контуре необходим какой-то резерв мощности передачи МС. Это особенно относится к медленно перемещающимся подвижным пользователям, где быстрое управление мощностью помогает эффективно компенсировать быстрые замирания. Типичными значениями для запаса на быстрые замирания являются 2,0 - 5,0 дБ для медленно перемещающихся подвижных пользователей.

3. Выигрыш при мягком хэндовере

Хэндоверы - мягкий или жесткий – дают выигрыш при медленных замираниях (= логнормальных замираниях) за счет уменьшения требуемого запаса на логнормальные замирания. Это объясняется тем, что медленные

замирания для разных базовых станций слабо коррелированны, и с помощью хэндовера MS может выбрать лучшую базовую станцию. Мягкий хэндовер дает дополнительный выигрыш при использовании макроразнесения в борьбе с быстрыми замираниями за счет уменьшения требуемого отношения E_b/N_0 по сравнению с отдельной линией радиосвязи благодаря единению макроразнесений. Полный выигрыш от мягкого хэндовера предположительно находится в интервале между 2,0 и 3,0 дБ в нижеприведенных примерах, включая выигрыш от медленных и быстрых замираний.

Особенностью стандарта является то, что ресурс радиолинии зависит от скорости передачи данных в реальном времени, местоположения абонента и скорости перемещения абонента. Поэтому произведем анализ ресурса линии для обслуживания передачи данных в реальном времени со скоростью передачи 144 Кбит/с, при 80% вероятности обеспечения нахождения абонента внутри здания. К тому же, запас 4,0 дБ резервируется для быстрого управления мощностью, чтобы можно было компенсировать замирания при скорости движения 3 км/час. Здесь допускаются средние потери на проникновение в здание, равные 15 дБ.

Задавшись значениями параметров МС и БС – см. таблицу 3.4, определим параметры, которые также поместим в эту таблицу.

Эквивалентная изотропная излучаемая мощность $P_{МС\ ЭКВ}$:

$$P_{МС\ ЭКВ} = P_{МС\ ПРД} + G_{МС} - L_T . \qquad (3.34)$$

$P_{МС\ ЭКВ} = 24 + 2 - 0 = 26\ дБ$.

Интенсивность шума в приемнике БС $I_{Ш\ БС}$:

$$I_{Ш\ БС} = I_{ТШ} + K_{Ш\ БС} . \qquad (3.35)$$

$I_{Ш\ БС} = -174 + 5 = -169\ дБ$.

Мощность шума в приемнике БС $P_{Ш\ ПРМ\ БС}$:

$$P_{Ш\ ПРМ\ БС} = I_{Ш\ БС} + 10 * \lg(3840000) . \qquad (3.36)$$

$P_{Ш\ ПРМ\ БС} = -169 + 65{,}84 = -103{,}16\ дБм$.

Мощность помех в приемнике БС $P_{П\ ПРМ\ БС}$:

$$P_{П\ ПРМ\ БС} = 10 * \lg\left(10^{\frac{P_{Ш\ ПРМ\ БС} + Z_{ПЗ\ БС}}{10}} - 10^{\frac{P_{Ш\ ПРМ\ БС}}{10}}\right). \qquad (3.37)$$

$$P_{П\ ПРМ\ БС} = 10 * \lg\left(10^{\frac{-103{,}16+3}{10}} - 10^{\frac{-103{,}16}{10}}\right) = -103{,}2\ дБм.$$

Полная мощность: эффективный шум+помехи $P_{ПОЛ\ ПРМ\ БС}$:

$$P_{ПОЛ\ ПРМ\ БС} = 10\lg\left(10^{\frac{P_{Ш\ ПРМ\ БС}}{10}} + 10^{\frac{P_{П\ ПРМ\ БС}}{10}}\right). \quad (3.38)$$

$$P_{ПОЛ\ ПРМ\ БС} = 10\lg\left(10^{\frac{-103{,}16}{10}} + 10^{\frac{-103{,}2}{10}}\right) = -100{,}2\ дБм.$$

Выигрыш в отношении сигнал/шум при обработке сигналов $V_{S/N}$:

$$V_{S/N} = 10 * \lg(3840/144). \quad (3.39)$$

$V_{S/N} = 14{,}25 \approx 14{,}3\ дБ$.

Чувствительность приемника $Q_{ПРМ\ БС}$:

$$Q_{ПРМ\ БС} = E_b / N_0 - V_{S/N} + P_{ПОЛ\ ПРМ\ БС}. \quad (3.40)$$

$Q_{ПРМ\ БС} = 1{,}5 - 14{,}3 - 100{,}2 = -113\ дБ$.

Максимальные потери на трассе распространения $L_{P\max}$:

$$L_{P\max} = P_{МС\ ЭКВ} - Q_{ПРМ\ БС} + G_{БС} - L_{КАБ} - Z_{БЗ}. \quad (3.41)$$

$L_{P\max} = 26 + 157 + 18 - 2 - 4 = 195\ дБ$.

Допускаемые потери на распространение до границ ячейки $L_{ДОП}$:

$$L_{ДОП} = L_{P\max} - Z_{\lg n} + V_{МХ} - L_{МАШ}. \quad (3.42)$$

$L_{ДОП} = 195 - 4{,}2 + 2 - 15 = 177{,}8\ дБ$.

Определив радиус соты, можно определить размеры участка (сайта). Для ячейки гексагональной формы зона обслуживания может быть определена по формуле:

$$S_{ОБСЛ} = \frac{3\sqrt{3}}{2} r^2 = 2{,}6r^2 . \qquad (3.43)$$

Определим зону обслуживания уверенного приема $S_{УВ\ ОБСЛ}$:

$$S_{УВ\ ОБСЛ} = 2{,}6 \cdot 2{,}334^2 = 14{,}16\ км^2 .$$

Таблица 3.4 – Исходный ресурс радиолинии для передачи данных в реальном времени со скоростью 144 Кбит/с (пользователь внутри здания при мягком хэндовере)

Параметры	Значения
Передатчик МС	
Максимальная мощность передачи $P_{МС\ ПРД}$, дБм	24
Коэффициент усиления антенны МС $G_{МС}$,дБн	2,0
Потери влияния тела человека, дБ	0
Эквивалентная изотропная излучаемая мощность (EIRP) $P_{МС\ ЭКВ}$, дБм	26,0
Приемник БС	
Интенсивность теплового шума $I_{ТШ}$, дБм/Гц	-174
Коэффициент шума приемника БС $K_{Ш\ БС}$, дБ	5,0
Интенсивность шума в приемнике $I_{Ш\ БС}$, дБм/Гц	-169
Мощность шума в приемнике $P_{Ш\ ПРМ\ БС}$, дБм	-103,2
Запас по помехозащищенности $Z_{ПЗ\ БС}$, дБ	3,0
Мощность помех в приемнике $P_{П\ ПРМ\ БС}$, дБм	-103,2
Полная мощность: эффективный шум+помехи $P_{ПОЛ\ ПРМ\ БС}$, дБм	-100,2
Выигрыш в отношении сигнал/шум при обработке сигналов $V_{S/N}$, дБ	14,3
Требуемое E_b/N_0, дБ	1,5
Чувствительность приемника $Q_{ПРМ\ БС}$, дБ	-157
Коэффициент усиления антенны $G_{БС}$, дБн	18,0
Потери в кабеле на БС $L_{КАБ}$, дБ	2,0
Запас на быстрое замирание $Z_{БЗ}$, дБ	4,0
Максимальные потери на трассе распространения $L_{P\ \max}$, дБ	195,0
Вероятность попадания в зону обслуживания, %	80
Постоянная логарифмически нормальных замираний $C_{\lg n}$, дБ	7,0
Коэффициент экспоненты модели распространения	3,52
Запас на логарифмически нормальные замирания $Z_{\lg n}$, дБ	4,2
Выигрыш при мягком хэндовере $V_{МХ}$, дБ (мультиячейка)	2,0
Потери в машине $L_{МАШ}$, дБ	15,0
Допускаемые потери на распространение до границ ячейки $L_{ДОП}$, дБ	177,8
Дальность связи для оптимального приема $r_{опт\ пр}$, км	2,334
Зона обслуживания уверенного приема $S_{УВ\ ОБСЛ}$, км^2	14,16

3.7 Анализ емкости базовой станции

Емкость сети WCDMA будем считать по аналогии сети CDMA. В WCDMA увеличение емкости станции зависит от:

1. Активности речи. Обычная средняя активность речи абонента составляет 35% (статистически) от полного времени его разговора. Остальное время занимают паузы, в течение которых абонент слушает собеседника. В WCDMA все абоненты занимают один радиоканал. Поэтому когда кто–то из них не разговаривает, то создается меньше помех. Таким образом, сокращение активности речи уменьшает взаимные помехи, что позволяет увеличить емкость канала до трех раз. WCDMA – единственная технология, использующая преимущества этого явления.

2. Увеличение канальной емкости за счет использования секторных антенн (секторизация). В FDMA и TDMA каждая сота делится на секторы для того, чтобы влияние интерференционных помех уменьшилось. В результате транкинговая эффективность разделенных каналов в каждой соте ухудшается. В WCDMA секторизация применяется для увеличения емкости путем организации трех радиоканалов в трех секторах и таким образом, емкость увеличивается в три раза по сравнению с теоретической емкостью при использовании одного радиоканала в соте. Поэтому имеется возможность подключить дополнительного абонента, при этом качество воспроизведения речи ухудшается незначительно по сравнению с обычным режимом. Например если в соте 40 каналов и добавляется еще один, то разница в отношении несущая/интерференция E_b/N_0 составляет всего 10log(40+1)/40=0,24 дБ;

Большим преимуществом WCDMA перед остальными системами является то, что WCDMA может многократно использовать полный спектр всех сот.

В случае когда количество абонентов равно N, базовая станция принимает сигнал состоящий из необходимого нам сигнала с мощностью C и (N–1) интерферирующих сигналов также с мощностью C.

Отсюда отношение несущая к интерференции может быть выражено как:

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{(N-1)C} = \frac{1}{N-1}, \qquad (3.44)$$

где C – уровень мощности требуемого сигнала;
I – уровень мощности интерференции.

Из (3.44) можно определить:

$$N = \frac{1}{C/I} + 1 \ . \qquad (3.45)$$

В отличие от систем FDMA и TDMA, в системе WCDMA нас больше интересует отношение E_b/N_0 чем отношение C/I.

Допустим, что R – скорость передачи речи (в нашем случае 384000 бит/с), W – ширина канала (5 МГц).

Отношение между C/I и E_b/N_0 может быть выражено как:

$$\frac{C}{I} = \frac{R \cdot E_b}{W \cdot (N_0 + I_{tr})}. \tag{3.46}$$

Определим N:

$$N = \frac{W / R}{\left(E_b / N_0 + I_{tr}\right)} + 1. \tag{3.47}$$

Выражение (3.47) определяет максимальное число абонентов в системе WCDMA в зависимости от минимальной величины E_b/N_0 необходимой для нормальной работы системы, которая для передачи цифрового голоса подразумевает BER (Коэффициент Битовой Ошибки) равным 10^{-3} или меньше.

$$N = \frac{W / R}{\left(E_b / N_0 + I_{tr}\right)} \cdot \frac{1}{C_A} + 1 \ . \tag{3.48}$$

С учетом повторного использования частоты:

$$N = \frac{W / R}{\left(E_b / N_0 + I_{tr}\right)} \cdot \frac{A_l}{C_A} + 1. \tag{3.49}$$

С учетом секторизации:

$$N = \left(\frac{W / R}{\left(E_b / N_0 + I_{tr}\right)} \cdot \frac{A_l}{C_A} + 1 \right) K_C \ . \tag{3.50}$$

Формула (3.50) является конечной формулой для расчета емкости одной соты (3 секторов),

где A_l =0.65 – эффективность многократного использования частоты;

C_A =0.35 – средняя активность речи абонента;

K_C – коэффициент секторизации, для 120° секторизации равен 2,6.

$$N = \left[\frac{5 \cdot 10^6 / 144000}{1{,}75} \cdot \frac{0{,}65}{0{,}35} + 1 \right] \cdot 2{,}6 = 98{,}41 = 98 \ \textit{абонентов}$$

3.8 Оценка емкости проектируемой сети

При планировании телетрафика в пределах зоны обслуживания проводится предварительная оценка качества обслуживания абонентов. Под качеством обслуживания понимается своевременное предоставление каналов абонентам при обеспечении достоверности приема информации не ниже заданной. Анализ работы систем мобильной связи показывает, что только небольшая их часть одновременно пользуется услугами сети. При этом интенсивность ее использования может изменяться во времени и быть различной в зависимости от потребности индивидуальных абонентов. Сеть обычно разрабатывается с учетом ожидаемой интенсивности ее использования. Поэтому применяется транкинг, который означает, что определенное количество каналов находится в распоряжении намного большего количества пользователей.

При оценках емкости систем сотовой связи обычно используют модель системы с отказами (модель Эрланга *B*), в то время как модель системы с ожиданием (модель Эрланга *C*) применяют гораздо реже.

В модели Эрланга В вероятность отказа в обслуживании, т. е. вероятность того, что все каналы при поступлении вызова от абонента будут заняты, определяется следующим выражением:

$$GOS_B = P_B(Z,N,T) = \frac{A^N / N!}{\sum_{Z=0}^{N}(A^Z / Z!)} = \frac{(\lambda T)^N / N!}{\sum_{Z=0}^{N}((\lambda T)^Z / Z!)} \qquad (3.51)$$

где λ – количество вызовов, поступающих в единицу времени (интенсивность вызовов или средняя частота поступления вызовов);
Т – время обслуживания одного вызова (средняя продолжительность обслуживания вызова);
А = λ·Т – средний трафик (интенсивность трафика, интенсивность нагрузки, поток нагрузки), Эрл.

Выражение (3.51) показывает, что отказы появляются, когда число одновременно поступающих вызовов *Z* будет превосходить количество каналов *N*.

Рассмотрим пример использования системы с отказами (модель Эрланга *B*). В ее состав входят три основных параметра: число каналов *N*, трафик *A* и вероятность отказа P_B. Если известны любые два параметра, то можно однозначно определить третий.

Город Усть-Каменогорск занимает площадь S = 330 км^2. В системе используется кластер из трех сот *N*кл = *3*. Каждая сота имеет радиус *r* = 4 км. Полоса шириной 5 МГц выделена системе. Ширина одного канала составляет 25 кГц. Предположим, что средняя продолжительность соединения в час пик *T*ср= 12 мин, средняя частота поступления вызовов λср= 2 вызова в час и

вероятность отказа (блокировки) в сотовой системе составляет GOS_B = 0,02 (т. е. не более, чем два из ста абонентов в час получат отказ при первом обращении к сети).

Вычислим количество сот, охватывающих всю область[14].

Рассчитаем площадь одной гексагональной соты:

$$S_r = \frac{3}{2}\sqrt{3 \cdot r^2}; \qquad (3.52)$$

$S_r = \frac{3}{2}\sqrt{3 \cdot 16} = 10{,}39$ км^2.

Таким образом, для того, чтобы охватить весь город, требуется:

N_C = 330/10,39 = 31,8 ≈ 32 сот.

Затем вычислим количество каналов, выделенных каждой соте.

Поскольку в распоряжении системы находится полоса частот шириной 5 МГц, а одно соединение требует двух каналов (прямого и обратного) по 25 кГц каждый, то для шести сотового кластера количество дуплексных каналов в соте будет равно:

$C = 2 \cdot 5 \cdot 10^6 / (32 \cdot 2 \cdot 25 \cdot 10^3) \approx 7$ канала.

Для C = 7 каналов на соту и вероятности блокировки GOS_B = 0,02 интенсивность трафика в одной соте составит $A_{ТЯ}$ = 2,9 Эрл.

Для этого воспользуемся калькулятором модели Эрланга B[18]:

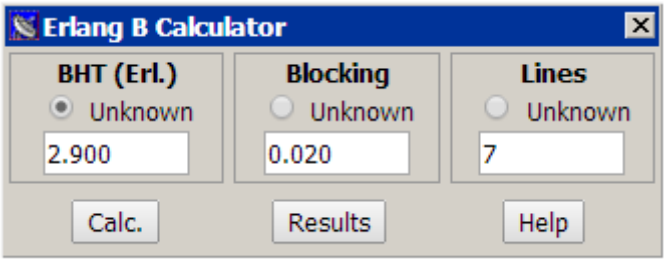


Рисунок 3.5– Калькулятор модели Эрланга B

Поэтому суммарный трафик всей системы будет равен:

$A_{ТЯ} \cdot N_C$ = 2,9·32 = 92 Эрл.

Трафик на одного абонента составит:

$$A_{АБ} = \lambda\ ср \cdot Tср; \qquad (3.53)$$

$A_{АБ} = \lambda$ ср$\cdot T$ср = 2·12/60=0,4 Эрл.

На основе этих значений определяется количество пользователей, которых может обслужить система. Это количество равно:

$$N_A = A_{ТЯ} / A_{АБ}; \qquad (3.54)$$

N_A = 92/0,4 ≈ 225 пользователей.

Количество каналов системы мобильной связи можно определить делением ширины выделенного системе спектра на ширину пары каналов.

В данном случае:

5 МГц/(2·25 кГц) = 100 каналов.

Тогда количество пользователей, приходящихся на один канал, равно:

225/100 ≈ 22,5 пользователей.

Максимальное количество пользователей, которые могут быть одновременно обслужены, определяется количеством каналов в соте и количеством сот в системе и будет равно:

$C \cdot N_C$ = 7·32 = 224 пользователя.

Следовательно, если все каналы во всех сотах будут одновременно заняты, то система сможет обслужить 224/225 = 99,6 % пользователей.

Это очень хороший показатель, почти все пользователи сети будут обслужены, если все каналы во всех сотах будут одновременно заняты.

4 Безопасность жизнедеятельности

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

Цель дипломного проекта состоит в проектировании сети стандарта WCDMA с применением антенного усилителя, трехсекторных 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;
- подключение к токопроводящим цепям и контурам, расстраивающих высокочастотных контуров или элементов;
- экранировку оборудования и конструкций [19].

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.

Состояние условий труда работников и его безопасности, на сегодняшний день, еще не удовлетворяют современным требованиям. Работники

сталкиваются с воздействием таких физически опасных и вредных производственных факторов, как повышенный уровень шума, повышенная температура внешней среды, отсутствие или недостаточная освещенность рабочей зоны, электрический ток, статическое электричество и другие.

Многие сотрудники связаны с воздействием таких психофизиологических факторов, как умственное перенапряжение, перенапряжение зрительных и слуховых анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки. Воздействие указанных неблагоприятных факторов приводит к снижению работоспособности, вызванное развивающимся утомлением. Появление и развитие утомления связано с изменениями, возникающими во время работы в центральной нервной системе, с тормозными процессами в коре головного мозга. Медицинские обследования показали, что помимо снижения производительности труда высокие уровни шума приводят к ухудшению слуха. Длительное нахождение человека в зоне комбинированного воздействия различных неблагоприятных факторов может привести к профессиональному заболеванию. Анализ травматизма среди работников показывает, что в основном несчастные случаи происходят от воздействия физически опасных производственных факторов при выполнении сотрудниками несвойственных им работ. На втором месте случаи, связанные с воздействием электрического тока.

Распространение широкополосного Интернета обеспечивает развитая сеть базовых станций с фиксированными антеннами, передающими информацию коммутационным центрам с помощью радиочастотных сигналов. С целью обеспечения повышения скорости мобильного интернета операторы увеличивают количество базовых станций и осуществляют их постоянное переоснащение в соответствии с самыми новыми технологическими разработками отрасли. Факт наличия значительного количества радиотехнических объектов время от времени вызывает беспокойство по поводу возможного влияния радиосигналов на здоровье пользователей.

На сегодня достоверно подтвержден только непрямой вред излучения радиосвязи в населенных пунктах. Так, немецкие ученые протестировали работу 231 модели кардиостимуляторов при влиянии на них микроволнового излучения радиоволн. В соответствии с результатами их исследования, более 30% кардиологических аппаратов подвержены влиянию радиоволн.

Микроволновый диапазон электромагнитного поля, в котором работает современная радиосвязь, находится в пределах 450 МГц—2 ГГц. Такие поля, в отличие от ионизирующего излучения (гамма-, рентгеновские лучи, коротковолновый ультрафиолет), независимо от их мощности, не могут вызывать ионизацию или вторичную радиоактивность в организме.

Доказано, что волны диапазона с частотой выше 1 МГц приводят к нагреванию тканей (вследствие поглощения ими энергии электромагнитного поля). Поля высокой интенсивности способны локально повышать температуру тканей на 10° и больше. Даже менее важное изменение температуры живых

тканей может приводить к таким последствиям, как нарушение развития плода, снижение мужской фертильности, изменение гормонального фона.

Можно выделить четыре системы организма, более всего поддающиеся вредному влиянию электромагнитного излучения:

1. Центральная нервная система. Она наиболее чувствительна к электромагнитным полям. Наблюдается ухудшение памяти, внимания, нарушение сна, возможно возникновение нейроциркуляторной дистонии.

2. Иммунитет. Происходит угнетение иммуногенеза, что приводит к ухудшению устойчивости организма к различным инфекциям.

3. Эндокринная система. Увеличивается содержание адреналина в крови (нет потребности рассказывать о вреде повышенного давления и хронического пребывания организма в состоянии стресса).

4. Половая система. Именно молодые люди репродуктивного возраста особенно часто пользуются источниками электромагнитных волн. Наблюдается угнетение сперматогенеза, повышение количества врожденных недостатков развития и увечий. Яичники более чувствительны к влиянию электромагнитного излучения.

Из изложенного очевидно, что при равномерном расположении базовых станций в зоне покрытия широкоплосным мобильным интернетом с соблюдением санитарных норм наибольшую опасность для здоровья абонента несет непосредственно его мобильный телефон и телефоны людей, его окружающих. Причем от работающего рядом мобильника можно получить значительно выше уровень облучения, чем от собственного телефона. Это связано с тем, что при разговоре антенна мобильника ориентирована таким образом, чтобы ее основный поток излучения направлялся в сторону от головы того, кто разговаривает. К сожалению, такое облучение мы очень часто можем получить в общественном транспорте.

При установлении антенны базовой станции вокруг нее фиксируется санитарная зона, за границей которой суммарная мощность излучения не превышает предельно допустимых уровней, установленных санитарными нормами. Место установления антенны базовой станции, которая не попадает в санитарную зону, является вполне безопасным. При этом, чтобы отвести санитарную зону от сооружения, на котором устанавливается антенная система (до трех антенн), последнюю закрепляют на башню, возвышающуюся на 10—20 м над уровнем крыши сооружения, или же на край стены сооружения (только одну отдельную антенну). А вот все места и сооружения, расположенные в направлениях, куда нацелены антенны, попадают под облучение микроволновой энергии, которая с увеличением расстояния от установленной антенны спадает. Следовательно, сооружение или здание, на котором устанавливается базовая станция, имеют самую низкую величину облучения. А те здания, где нет антенн базовых станций, но расположенные в зоне облучения антенн с соседних зданий, имеют наивысший уровень облучения. Причем, чтобы «пробить» стены зданий и тем самым обеспечить достаточный уровень мощности для работы мобильных телефонов, мощность

облучения от базовой станции нужно увеличивать. Повышение мощности излучения антенны базовой станции требуется также и в случае, когда базовая станция расположена на значительном расстоянии от зоны, которую она должна обслуживать, чтобы компенсировать потери энергии на большое расстояние распространения. Следовательно, чтобы излучение антенн базовых станций было как можно ниже, они должны равномерно располагаться в зоне обслуживания. Если же зона обслуживается отдаленными базовыми станциями, то уровень радиочастотной энергии существенным образом повышается и может на отдельных направлениях наносить ущерб.

Необходимые мероприятия по защите от воздействия электромагнитных полей

1. Уменьшение составляющих напряженностей электрического и магнитного полей в зоне индукции, в зоне излучения — уменьшение плотности потока энергии, если позволяет данный технологический процесс или оборудование.

2. Защита временем (ограничение время пребывания в зоне источника электромагнитного поля).

3. Защита расстоянием (60-80 мм от экрана).

4. Метод экранирования рабочего места или источника излучения электромагнитного поля.

5. Рациональная планировка рабочего места относительно истинного излучения электромагнитного поля.

6. Применение средств предупредительной сигнализации.

7. Применение средств индивидуальной защиты.

4.2 Расчет молниезащиты антенной системы

С целью обеспечения безопасности людей, оборудования и материальных ценностей, сохранности здания телефонной 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

$$h_0 = 0{,}85h, \tag{4.1}$$

$$r_0 = \left(1{,}1 - 2 \cdot 10^{-3} h\right)h, \tag{4.2}$$

$$r_X = \left(1{,}1 - 2 \cdot 10^{-3} h\right)\left(h - 1{,}2h_X\right); \tag{4.3}$$

– для зоны Б

$$h_0 = 0{,}92h, \tag{4.4}$$

$$r_0 = 1{,}5h, \tag{4.5}$$

$$r_X = 1{,}5(h - 1{,}1h_X), \tag{4.6}$$

$$h_A = \mathrm{h} - \mathrm{h_x}, \tag{4.7}$$

$$h_м = \mathrm{h} - \mathrm{h_o}, \tag{4.8}$$

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 (4.1)-(4.8) 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:

$$N = \left[(B + 6h_X)(A + 6h_X) - 7{,}7h_X^2\right] \cdot n \cdot 10^{-6}, \tag{4.9}$$

где n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности в месте нахождения здания или сооружения, 1/(км^2·год);
где A – длина объекта, м; B – ширина объекта, м.

По формуле (4.9) получаем ожидаемое количество поражений молнией в год:

$$N = \left[(2 + 6 \cdot 4)(20 + 6 \cdot 4) - 7{,}7 \cdot 4^2\right] \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0.002 \text{ шт/год.}$$

Выбор типа зоны защиты осуществляется в соответствии с нормами в зависимости от назначения, географического местоположения, классов взрыво- и пожароопасности защищаемого объекта, а также с учетом средней продолжительности гроз в 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 (4.1)-(4.3), 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:

$$\sqrt{A^2 + B^2}\,/2 < r_X\,. \qquad (4.10)$$

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

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода с указанием размеров приведена на рисунке 4.2.

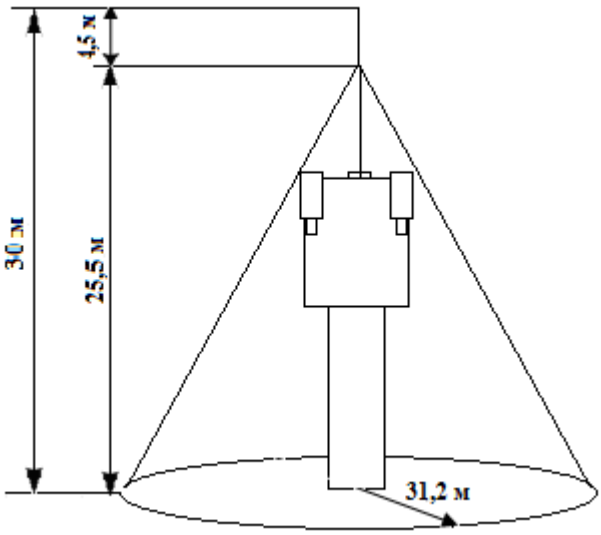


Рисунок 4.2 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода с размерами

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.

4.3 Расчет защитного заземления базовой станции стандарта WCDMA

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. $R_T < 4\ Ом$ [12].

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:

$$R_з = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\lg\frac{2\cdot l}{d} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right) = \frac{150}{16.9}\left(\lg\frac{2\cdot 2{,}7}{0{,}055} + \frac{1}{2}\lg\frac{4\cdot 2+2{,}7}{4\cdot 2-2{,}7}\right) = 43{,}5\ Ом, \qquad (4.11)$$

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:

$$n' = \frac{R_з}{R_{зн}} = \frac{43{,}5}{4} = 10{,}8 \approx 10. \qquad (4.12)$$

Рассчитываем число заземлителей с учетом коэффициента экранирования

$$n = \frac{n^{/}}{\eta_з} = \frac{10}{0{,}53} = 18{,}8 \approx 20. \qquad (4.13)$$

где $\eta_з = 0{,}53$ - коэффициент экранирования для заземлителей по контуру (таблица 4.1).

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

Определяем длину соединительной полосы:

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

Таблица 4.1 – Значения коэффициента экранирования для заземлителей

Выносное заземление				Контурное заземление			
Число заземлителей	Отношение а/l			Число заземлителей	Отношение а/l		
	1	2	3		1	2	
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

Рассчитываем полное значение сопротивления растеканию тока с соединительной полосы:

$$R_П = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_П} \lg \frac{2 \cdot l_П^2}{b \cdot h} = \frac{150}{356} \lg \frac{2 \cdot 56{,}7^2}{0{,}05 \cdot 0{,}65} = 5{,}13 \text{ Ом.} \qquad (4.14)$$

Рассчитываем полное значение сопротивления системы заземления:

$$R_{зу} = \frac{R_з \cdot R_п}{R_з \cdot \eta_п + R_п \cdot \eta_з \cdot n} = \frac{43{,}5 \cdot 5{,}13}{43{,}5 \cdot 0{,}33 + 5{,}13 \cdot 0{,}53 \cdot 20} = 3{,}24 \text{Ом,} \qquad (4.15)$$

где $\eta_п$ =0.33 - коэффициент экранирования полосы (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – 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

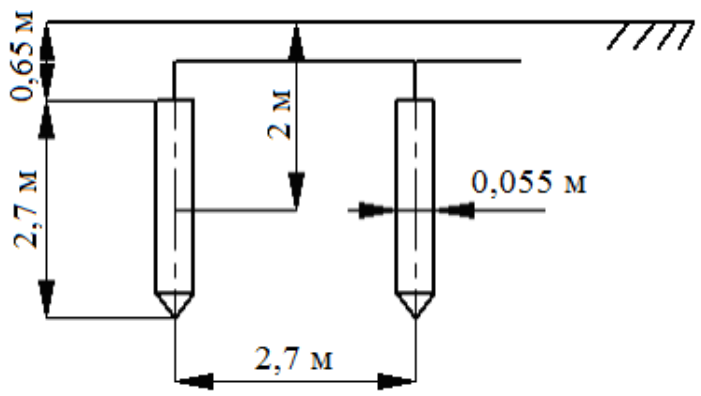


Рисунок 4.3 – Схема расположения заземлителей по контуру

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.

В разделе БЖД был совершен анализ потенциально опасных и вредных факторов, воздействующих на обслуживающий персонал при монтаже и эксплуатации проектируемой базовой станции

Для нормальной работы персонала в операторской, при расчете устранения недостаточной освещенности рабочей зоны было решено размещение в один ряд по длине трех светильников.

В итоге рабочее место было оснащено необходимыми устройствами и были достигнуты стабильные условия освещения и микроклимата, для работы сотрудников.

5 Бизнес план

5.1 Цели проекта

Основной целью данного проекта является организация сети сотовой связи стандарта WCDMA в городе Усть-Каменогорск.

Проектируемая сеть передачи данных будет использоваться для оказания дополнительных услуг сервиса – услуги передачи голоса по сетям данных, передача унифицированных сообщений и голосовые соединения с операторами Web – узлов, кроме того, для создания различных служб предоставления доступа к мировым информационным ресурсам и службам Интернет, обмена деловой информацией между различными компаниями и подразделениями.

Другими целями реализации данного проекта являются: получение максимально возможной прибыли от предоставления услуг мобильной связи и передачи данных по сетям, а также развитие инфраструктуры сети связи.

5.2 Характеристика проекта

Целью данного бизнес–плана является экономическое обоснование внедрения базовой станции стандарта WCDMA с возможностью оперативной голосовой связи и доступом к Интернету для связи абонентов друг с другом.

Предоставление услуг мобильной связи третьего поколения ориентирована на передачу голосовых данных и возможность использовать глобальную сеть. В виду этого можно сказать, что услуги 3G имеют следующие характеристики:

– это отрасль нематериального производства;

– продукция имеет невещественный характер;

– при передаче сообщений участвует несколько предприятий;

– процессы производства и потребления продукции отрасли неразрывны;

– поступление нагрузки неравномерно по часам суток, дням недели, месяцам года.

Без средств телекоммуникации, современных систем управления невозможно и нормальное функционирование материального производства, которое является основой жизни общества. В этих условиях управления производством использование средств и сетей телекоммуникаций становится важнейшим элементом всей системы общественных отношений. Поэтому внимание к этой отрасли не случайно.

Цель развития отрасли – наиболее полное удовлетворение потребностей населения и народного хозяйства в передаче различных видов информации на высоком качественном уровне.

5.3 Продукция

Пользователь получает необходимую ему услугу там, где она потребуется, в тот момент, когда она ему необходима. Поэтому быстрота и эффективность предоставления услуги позволяет обеспечить ее экономичность, а, следовательно, принципиальное отличие услуг третьего поколения.

В настоящее время появилась потребность насытить рынок качественными условиями связи, при этом, продолжая получать традиционные и новые услуги. Кроме того, в настоящее время растет и увеличивается необходимость в других сферах телекоммуникации. Невероятно возросшие потоки информации в форме телефонных разговоров, факсимильной информации, электронный почты и массивов данных указывает все большую зависимость от средств электросвязи меняющих бизнес, стиль жизни и общество в целом. Совершенствование телекоммуникации в интересах потребителей требует хорошей финансовой базы.

Движущим фактором технологии WCDMA является рост и повсеместное распространение сетей 3G, в сфере как локальных LAN, так и глобальных WAN коммуникаций. Сети данного стандарта обеспечивают ряд ключевых преимуществ, оказывающих сильное воздействие на услуги мобильной связи:

– для компаний, обладающих многочисленными филиалами и имеющих большой междугородний/международный телефонный трафик получают возможность значительной экономии на услугах связи, так как существует множество корпоративных тарифных планов;

– 3G-сети устраняют физические границы, связанные с телефонией и ее особенностями. Уже доступен весь спектр традиционных телефонных услуг – например, отвечать на звонки из любой точки мира, что обеспечивает гибкость услуги, особенно для работающих на дому или наоборот, разъездных сотрудников.

Пользователи сети получают новый вид услуг – сеть способна обеспечить поддержку различных приложений для коммуникаций реального времени.

5.4 Обоснование выбора оборудования

На сегодняшний день существует опыт построения сетей передачи данных с использованием оборудования различных производителей. Рынок оборудования сетей третьего поколения стандарта WCDMA представлен большим разнообразием производителей. Обеспечение услуг телефонии на базе сети передачи данных позволяет избавиться от необходимости эксплуатации раздельных сетей для передачи данных и телефонной связи и обеспечивает возможность более полного удовлетворения потребностей предприятий в услугах мобильной связи. Выбор того или иного производителя должен

проводится с учетом множества факторов, основные из них это: годность оборудования для реализации данного проекта, используемая технология, совместимость с другим оборудованием, стоимость оборудования. В базовой станции важную роль играют антенны и, при сравнении оборудования различных производителей, большое преимущество имеет компания Kathrein. Антенны Kathrein [10] позволят заказчику уменьшить расходы на внедрение, поддержку и расширение объединенной сети и, как следствие, повысить рентабельность телекоммуникационной сети.

5.5 Финансовый план

Рассчитаем объем капитальных вложений, необходимых для построения сети сотовой связи. При этом учтем не только расходы на приобретение оборудования, но и дополнительные средства, необходимые для полноценной работы сети. Стоимость оборудования указана в таблице 1.

Наиболее капиталоемкой частью оборудования сети является базовая станция RBS 3206 [21], которая выполняет все функции обеспечения качественной связи, предоставление услуги Интернет.

Т а б л и ц а 4.1 – Стоимость основных средств

Наименование	Количество шт.	Цена за штуку, тенге	Сумма, тенге
Базовой станции RBS 3206	32	4 600 000	142 200 000
Распределительный кабинет	1	300 000	300 000
Антенна Kathrein 742236	96	30 000	2 880 000
Антенна PPC Pasolink	2	200 000	400 000
Комплект аккумуляторов	32	60 000	1 920 000
Комплект кабелей питания и фидеров	1	70 000	70 000
Прочее			150 000
Итого	152 920 000		

$$K_{КАП} = K_0 + K_{МОН} + K_{ТР} + K_{ДОП} + K_{ПЛ}; \qquad (5.1)$$

где K_O – затраты на оборудование;

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

$K_{МОН}$ = 152920000 · 0,05 = 7646000 тенге;

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

$K_{ТР}$ = 152920000 · 0,03 = 4587600 тенге;

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

$K_{ДОП}$ = 152920000 · 0,05 = 7646000 тенге;

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

$K_{ПЛ}$ = 152920000 · 0,06 = 9175200 тенге.

$$K_{КАП} = 152920000 + 7646000 + 4587600 + 7646000 + 9175200 = 181974800\,тенге$$

5.6 Эксплуатационные расходы

В состав эксплуатационных расходов входят следующие статьи затрат:
– затраты на материалы;
– ФОТ с отчислениями в социальный налог;
– накладные расходы.

Производственные эксплуатационные расходы, необходимые для обеспечения работоспособности системы складываются из следующих составляющих:

$$Эр = Эм + Эфот + Эн.р. \quad (5.2)$$

При этом:

$$Эм = Эм + Эл + Ао + Эпр; \quad (5.3)$$

$$Эфот = ФОТ + Сн; \quad (5.4)$$

$$Эн.р. = 70\% \text{ от } Эр; \quad (5.5)$$

где ФОТ – фонд оплаты труда;
$С_Н$ – отчисления на социальные нужды;
Эм – затраты на материалы;
Ао – амортизационные отчисления;

Эл – затраты на электроэнергию, включающие в себя затраты на производственные нужды и дополнительные затраты; дополнительные затраты принимаем равными 5% от затрат на производственные нужды;
Эпр – затраты на прочие эксплуатационные расходы;
Эн.р. – накладные расходы

Расчет фонда оплаты труда. Набор рабочего персонала с окладом согласного штатному расписанию, для обеспечения эффективной реализации данного проекта, предлагается в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Необходимый штат сотрудников с соответствующим окладом по проекту

Должность	Количество, человек	Месячная заработная плата одного сотрудника, тенге	Месячная заработная плата всех работников, тенге	Годовая заработная плата, тенге
Инженер трансмиссии	10	100 000	1000000	12000000
Инженер БС	15	90 000	1350000	16200000
Оператор БС	20	60 000	1200000	14400000
Административ-ный блок, в том числе:				
Генеральный директор	1	400 000	400000	4800000
Бухгалтер	3	200 000	600000	7200000
Другие сотрудники	80	60 000	4800000	57600000
Итого:	129	910 000	9 350 000	112 200 000

Фонд оплаты труда определяется по формуле:

$$ФОТ = З_{ОСН} + З_{ДОП}, \quad (5.3)$$

где $З_{ОСН}$ – основная заработная плата;

$З_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата.

Согласно заработной плате сотрудников приведенной в таблице 5.2, основная заработная плата за год составит:

$З_{ОСН} = 112\,200\,000$ тенге.

Дополнительная заработная плата составляет 20% от основной заработной платы:

$З_{ДОП} = 112200000 \cdot 0{,}2 = 22440000$ тенге.

Общая сумма затрат на оплату труда составит:

$ФОТ = 112200000 + 22440000 = 134\,640\,000$ тенге.

Отчисления на социальные нужды определяются по формуле:

$$C_Н = 0{,}11 \cdot (ФОТ - ПФ), \tag{5.4}$$

где ПФ – отчисления в пенсионный фонд.

Ставка социального налога – 11%, отчисления в пенсионный фонд составляют 10 % от ФОТ и социальным налогом не облагаются.

ПФ = 0,1 · ФОТ = 0,1 · 134640000 = 13464000 тенге.

Тогда отчисления на социальные нужды составит:

$С_Н$ = 0,11 · (134640000 – 13464000) = 13329360 тенге.

Тогда $Э_{ФОТ}$ = 134 640 000+13329360 = 147 969 360 тенге.

5.7 Расчет материальных затрат

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

$Эм = \sum К \cdot 0{,}02 = 152920000 \cdot 0{,}02 = 3058400$ тенге.

Амортизационные отчисления начисляются по единым нормам, которые устанавливаются в процентах от стоимости основных фондов. Норма амортизации на оборудование связи составляет 40%. Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

$$A_0 = \frac{H_A \cdot \sum K}{100\%}, \tag{5.5}$$

где H_A – норма амортизационных отчислений;

$\sum K$ – первоначальная стоимость основных производственных фондов.

$$A = \frac{H_A \cdot Ф}{100\%} = \frac{40 \cdot 152920000}{100} = 61168000 \text{ тенге.}$$

Затраты на электроэнергию для производственных нужд, включают в себя расходы электроэнергии на производственное оборудование и дополнительные нужды. Ввиду необходимости круглосуточной работы оборудования суммарная мощность будет вычисляться по следующей формуле:

$$Эл = З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} + З_{ДОП.НУЖ.}, \quad (5.6)$$

где $З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.}$ – затраты на производственное оборудование;

$З_{ДОП.НУЖ.}$ – затраты на дополнительные нужды (5% от затрат на производственное оборудование).

Расходы электроэнергии на производственное оборудование рассчитывается по формуле:

$$З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} = W \cdot T \cdot S, \quad (5.7)$$

Где W – потребляемая мощность, 5,7 кВт;
T – время работы, T=8760 ч/год;
S – тариф, 1 кВтч=15,84 тенге.

$З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.}$ = 5,7 · 8760 · 15,84 = 790922,88 тенге.

Расходы на дополнительные нужды определяются по формуле:

$$З_{ДОП.НУЖ.} = 0{,}05 \cdot З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} \quad (5.8)$$

Определим расходы на дополнительные нужды:

$З_{ДОП.НУЖ.}$ = 0,05 · 790922,88 = 39546,144 тенге.

Расходы на электроэнергию составит:

Эл = 790922,88 + 39546,144 = 830469 тенге.

Прочие производственные и транспортные расходы определяются укрупнено в размере 35% от фонда заработной платы.

$$Эпр = 0{,}35 \cdot ФОТ$$

Эпр = 0,35 ·134 640 000 =47124000 тенге.

Тогда Эм =3058400+830469+61168000+47124000=112180869 тенге.

Накладные расходы составляют 70% от суммы материальных затрат и фонда оплаты труда:

$$Эн.р. = 0{,}7 \cdot (Эм + Эфот). \quad (5.9)$$

Эн.р. = 0,7 · (112180869+147969360) = 182105160 тенге.

Годовые эксплуатационные расходы согласно произведённым расчётам составят:

$Э_р$ = 112180869+147969360+182105160 = 442255389 тенге.

На рисунке 5.1 изображен состав эксплуатационных расходов при проектировании сети WCDMA.

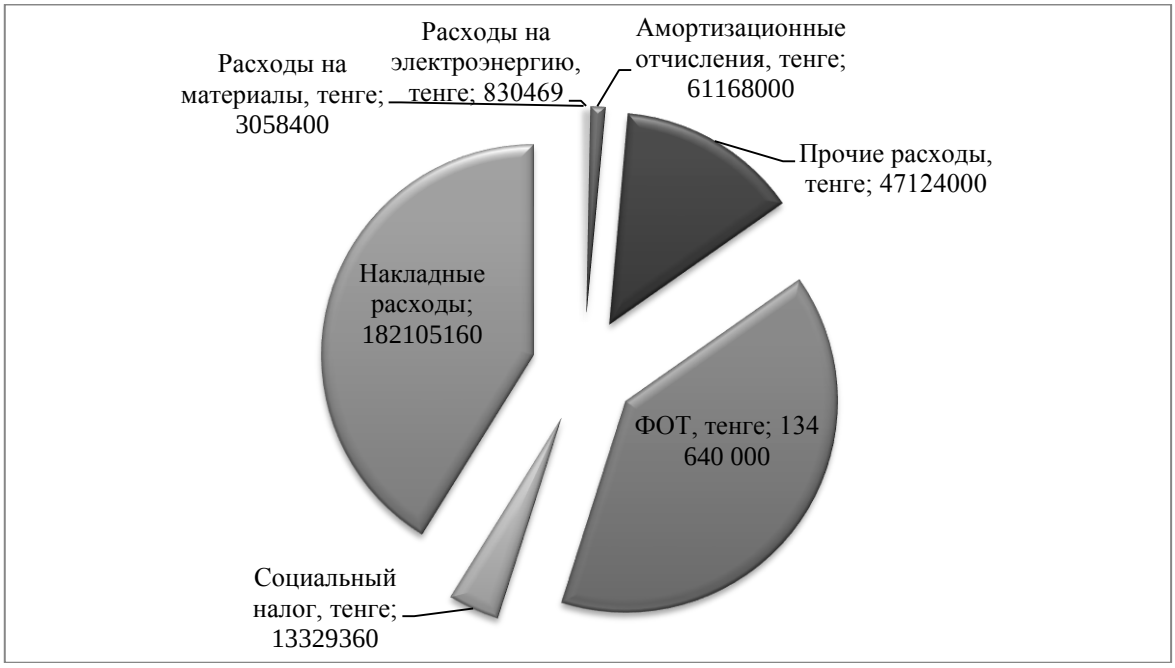


Рисунок 5.1 – Состав эксплуатационных расходов при проектировании сети WCDMA

Из рисунка видно, что основную часть эксплуатационных расходов составляют фонд оплаты труда и накладные расходы.

5.9 Расчет доходов от установления базовой станции стандарта WCDMA

Одним из основных показателей эффективности отрасли связи являются доходы. Поскольку главная цель отрасли связи состоит в предоставлении потребителям телекоммуникационных услуг, доходы (выручка) от их реализации по установленным тарифам называются доходами от реализации (платных) услуг основной деятельности (Досн).

Предположим, что по 15000 человек пользуются услугами данного сотового стандарта. В течение месяца у каждого абонента уходит на исходящий звонок внутри сети 60 минут. Тогда объем доходов от исходящих звонков внутри сети в месяц составят:

$$V_{сеть} = q_{сеть} \cdot t \cdot m, \tag{5.10}$$

где $V_{сеть}$ – объем доходов от исходящих звонков внутри сети;

$q_{сеть}$ –тариф оператора сотовой связи на исходящие звонки внутри сети;

t – время разговора за месяц;

m – численность абонентов.

Тогда $V_{сеть} = 11 \cdot 60 \cdot 15000 = 9900000$ тенге.

В течение месяца у каждого абонента уходит на звонок с другими операторами связи 20 минут. Следует также учесть и взаиморасчеты с другими операторами связи. Т.к. официальных данных по части взаиморасчетов нет, предположим, что половина стоимости тарифа уходит на счет того оператора, кому был адресован звонок. Тогда объем доходов от исходящих звонков на другие операторы с учетом взаиморасчетов в месяц составят:

$$V_{зв} = q_{зв} \cdot t \cdot m, \tag{5.11}$$

где $V_{зв}$ – объем доходов от исходящих звонков;

$q_{зв}$ – тариф оператора сотовой связи на исходящие звонки.

$V_{зв} = 17 \cdot 20 \cdot 15000 = 5100000$ тенге.

Количество отправленных сообщений каждым абонентом составит 10. Расчет объема доходов от отправки коротких сообщений SMS производится по формуле 5.12:

$$V_{SMS} = q_{SMS} \cdot t \cdot m, \tag{5.12}$$

где V_{SMS} – объем доходов от отправки сообщений;

q_{SMS} – тариф оператора сотовой связи на отправку сообщений.

Тогда, $V_{SMS} = 7 \cdot 10 \cdot 15000 = 1050000$ тенге.

Объем доходов от доступа в Интернет:

$$V_{Инт} = q_{Инт} \cdot r \cdot m, \tag{5.13}$$

где $V_{Инт}$ – объем доходов от доступа в Интернет;

$q_{Инт}$ – тариф оператора сотовой связи на доступ в Интернет;

r - количество информации (Мбайт).

Тогда $V_{Инт} = 20 \cdot 120 \cdot 15000 = 36000000$ тенге.

Т а б л и ц а 5.3 – Расчет доходов от предоставления услуг сотовой связи

Наименование услуги	Тариф «Зачетный»	Объем продаж в месяц, единицы	Доходы за месяц, тг
Исходящий звонок внутри сети	11 тг/мин	900000 минут	9900000
Исходящий звонок на другие операторы	17 тг./мин.	300000 минут	5100000
Отправка коротких сообщений SMS	7 тг/шт.	150000 штук	1050000
Доступ в Интернет	20 тг/Мбайт.	1800000 М/байт	36000000
Итого, тенге	52050000		

На рисунке 5.2 показана структура доходов за месяц.

Рисунок 5.2 – Структура доходов от реализации услуг за месяц

Сумма доходов от реализации услуг за год составит:

$$Д = Дмес \cdot Т. \quad (5.14)$$

Д = 52050000·12 = 624600000 тенге.

В рыночной экономике условием деятельности любого предприятия является превышение его доходов от реализации товаров и услуг над расходами. Прибыль выступает в качестве важнейшего показателя, который характеризует конечные результаты и эффективность деятельности предприятия. Основная прибыль (П) получается как разница между доходами от основной деятельности и расходами, связанными с производством продукции или услуг.

$$П = Д – ЭР, \quad (5.15)$$

где Д – реальный доход от внедрения услуг в год;
Э – эксплуатационные расходы.

П = 624600000–442255389 = 182 344 611 тенге.

5.10 Расчет показателей абсолютной экономической эффективности

Оценка эффективности от внедрения беспроводной сети, производится на основе следующих показателей:

- доход
- прибыль от реализации услуг;
- чистая прибыль;
- срок окупаемости без учета накладных расходов;
- срок окупаемости с учетом дисконтирования.

Норма налога в бюджет составляет 20% от дохода основной деятельности предприятия. Определим чистую прибыль по формуле:

$$П_Ч = П - 0{,}2 \cdot П. \qquad (5.16)$$

Следовательно, доход предприятия после налогообложения (прибыль после налогообложения) составит:

$$П_Ч = 182344611 - 0{,}2 \cdot 182344611 = 145875688 \text{ тенге}$$

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

$$T = \frac{K}{Д - Э_Р} = \frac{K}{П}. \qquad (5.17)$$

$$T = \frac{181974800}{145875688} = 1{,}24 \text{ года.}$$

Таким образом, средства, вложенные в организацию сети WCDMA, предприятие окупит за 1,26 года (14 месяцев) без учета дисконтирования.

Определим коэффициент экономической эффективности ($E_{Э.ЭФ.}$):

$$E_{Э.ЭФ.} = \frac{1}{T_{ОК}}. \qquad (5.18)$$

$$E_{Э.ЭФ.} = \frac{1}{1{,}24} = 0{,}8$$

Нормативный коэффициент экономической эффективности составляет 0,15, то есть 15% вложений окупается, то проект приемлем.

5.11 Расчет показателей сравнительной экономической эффективности

В рыночной экономике существует несколько методов оценки экономической эффективности.

1. Показатели экономической эффективности, основанные на учетных (статистических) данных:

– Срок окупаемости инфестиций – Payback Period (PP);

– Коэффициент эффективности инвестиций – Accounted Rate of Return (ARR).

2. Динамические методы, основанные на дисконтированных оценках:

– Чистая приведенная стоимость – Net Present Value (NPV);

– Индекс рентабельности – Profitability Index (PI);

– Внутренняя норма прибыли – Internal Rate of Return (IRR);

– Дисконтированный срок окупаемости – Discounted Payback Period (DPP).

Показатели экономической эффективности, основанные на учетных (статистических) данных.

Представим в таблице 5.4 доходы от предоставляемых услуг сроком на 5 лет, с учетом того, что количество абонентов подключившихся абонентов будет увеличиваться в среднем на 5 %, также на рисунке 5.3 изображена динамика доходов от реализации услуг за 5 лет.

Т а б л и ц а 5.4 – Доходы от предоставляемых услуг сроком на 5 лет

Наименование показателя	Годы				
	1	2	3	4	5
Капитальные вложения, тенге	181974800				
Доходы от реализации услуг,	624600000	655830000	688621500	723052757	759205203
Эксплуатационные расходы, тенге	442255389	442255389	442255389	442255389	442255389
Прибыль, тенге	182344611	213574611	246366111	280797368	316949814

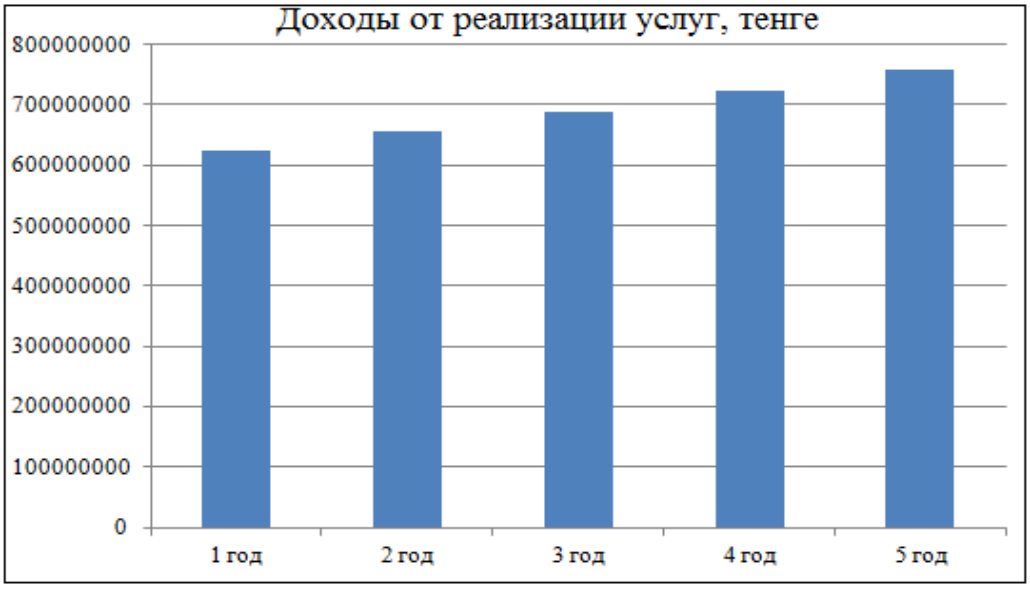


Рисунок 5.3 – Динамика доходов от реализации услуг за 5 лет

В общем, наблюдается рост доходов от реализации услуг. Для того чтобы еще более увеличить доходы необходимо установить еще одну базовую станцию, увеличив тем самым емкость сети, также можно провести снижение тарифов и большую рекламную компанию.

Срок окупаемости инфестиций – Payback Period (PP):

$$PP = t + \frac{КВ - (П_1 + ... + П_{n-1})}{П_n}, \qquad (5.19)$$

где t – год, за который капитальные вложения окупятся;
КВ – капитальные вложения;
П – прибыль по годам.

$$PP = 1 + \frac{181974800 - 182344611}{213574611} = 1{,}99 \ лет.$$

Коэффициент эффективности инвестиций – Accounted Rate of Return (ARR):

$$ARR = \frac{[(П_1 + ... + П_n) - КВ]/n}{КВ}, \qquad (5.20)$$

где КВ – капитальные вложения;
П – прибыль по годам;
n – количество лет.

$$ARR = \frac{[(182344611 + 213574611 + 246366111 + 280797368 + 316949814) - 181974800]/5}{181974800} =$$
$$= 1{,}26.$$

Динамические методы, основанные на дисконтированных оценках. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций рассчитывается также как и срок окупаемости, основанный на учетных данных (PP), только прибыль берется дисконтированная.

Коэффициент дисконтирования рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{(1+r)^t}, \qquad (5.21)$$

Сумма дисконтированной прибыли:

$$PV = dП_1 + ... + dП_n, \qquad (5.22)$$

где $dП$ – дисконтная прибыль по годам ($dП = \frac{П_n}{(1+r)^n}$);

r – коэффициент дисконты при инфляции (r=0,2%).

$$dП_1 = \frac{182344611}{(1+0,2)^1} = 151953842 \text{ тенге;}$$

$$dП_2 = \frac{213574611}{(1+0,2)^2} = 148315702 \text{ тенге;}$$

$$dП_3 = \frac{246366111}{(1+0,2)^3} = 142572980 \text{ тенге;}$$

$$dП_4 = \frac{280797368}{(1+0,2)^4} = 135415397 \text{ тенге;}$$

$$dП_5 = \frac{316949814}{(1+0,2)^5} = 127375021 \text{ тенге.}$$

$$PV = 151953842 + 148315702 + 142572980 + 135415397 + 127375021 =$$
$$= 705632942 \text{ тенге;}$$

$$DPP = 1 + \frac{181974800 - 151953842}{148315702} = 1,202.$$

Чистая приведенная стоимость – Net Present Value (NPV):

$$NPV = PV - KB. \tag{5.23}$$

$$NPV = 705632942 - 181974800 = 523658142 \text{ тенге.}$$

Индекс рентабельности – Profitability Index (PI):

$$PI = \frac{PV}{KB}. \tag{5.24}$$

$$PI = \frac{705632942}{181974800} = 2,87$$

Т а б л и ц а 5.5 – Оценка экономической эффективности

Наименование показателя	Годы				
	1	2	3	4	5
Доходы от реализации услуг, тенге	624600000	655830000	688621500	723052757	759205203
Эксплуатационные расходы, тенге	442255389	442255389	442255389	442255389	442255389
Прибыль от реализации услуг, тенге	182344611	213574611	246366111	280797368	316949814
Чистая прибыль (доходы после налогообложения), тенге	145875688	170859688	197092888	224637894	253559851
Амортизационные отчисления A_0 , тенге	61168000	61168000	61168000	61168000	61168000
Чистый доход (Прибыль после налог -я + А), тенге	207013688	231997688	258260888	285805894	314727851
Капитальные вложения, тенге	181974800				
Наименование показателя	Годы				
	1	2	3	4	5
Норма дисконта	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Коэфициент дисконтирования. α	0,833	0,694	0,579	0,482	0,402
Чистая текущая стоимость (PV). Тенге	151953842	148315702	142572980	135415397	127375021
NPV. Тенге	523658142				
Индекс доходности (PI)	2,87				
Чистая текущая стоимость с нарастающим итогом.тенге	-30020958	118294744	260867724	396283121	523658142

После проведенных расчетов представим графически точку окупаемости инвестиционного проекта. Построим график с помощью программы MS Excel.

График 5.4 – Точка окупаемости инвестиционного проекта

Из приведённого графика видно что срок окупаемости составляет 1 год и 4 месяца. Это является отличнейшим результатом и оправдывает вложенные средства.

Т а б л и ц а 5.6 – Показатели эффективности от улучшения, имеющиеся сети

Наименование показателя	Значения
Капитальные затраты, тыс.тенге.	181974800
Эксплуатационные расходы, тыс.тенге.	442255389
Доход от основной деятельности, тыс.тенге.	182 344 611
Чистый доход, тыс.тенге.	145875688
Абсолютная эконом. эффективность	0.8
Расчетный срок окупаемости, год.	1.24
NPV, тенге.	523658142
Индекс доходности (PI)	2.87

Вывод по экономической части.

Результате проведенных расчетов было выяснено, что эффективность смены технологии построения сети очень велика. Существует несколько эффектов, таких как увеличение безопасности сети, и уменьшение затрат на поддерживание данной сети. В нашем случае окупаемость проекта наступила через 1год и 4 месяца, что является отличным показателем. Зачастую люди доверяют проверенным методам и стараются держаться за них, поэтому временами нужно выходить из зоны своего комфорта. Новое не всегда плохое, и это было доказано в данном экономическом анализе.

Заключение

В дипломном проекте дан анализ внедрения технологии WCDMA в городе Усть-Каменогорск.

Рассмотрены основные технические характеристики технологии WCDMA. Изучение теоретического материала необходимо для обоснования преимуществ выбранной технологии по сравнению с другими современными и перспективными в недалеком будущем. Особенности технологии беспроводной связи WCDMA определят в дальнейшем выбор методики расчета сети связи на базе этой технологии, так как проектирование систем связи с кодовым разделением каналов имеет определенные отличия от остальных методов многостанционного доступа. Данная технология WCDMA поддерживает связь GSM – самый распространенный в настоящее время стандарт беспроводной связи.

В расчетной части выполнены

- расчет ресурсов радиолинии;
- исходный ресурс радиолинии для передачи речи со скоростью 12,2 Кбит/с; для пользователей находящихся в машине;
- исходный ресурс радиолинии для передачи данных в реальном времени со скоростью 144 Кбит/с для пользователей, находящихся внутри здании;
- анализ канала прямого соединения для передачи речи в реальном времени со скоростью 144 Кбит/с для пользователей, находящихся внутри здании;
- анализ емкости базовой станции;
- исследование радиуса соты в зависимости от загрузки сети.

На основании расчетов была спроектирована сеть, покрывающая город Усть-Каменогорск.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» определены комфортные условия труда в помещении центрального узла связи.

В экономическом разделе результаты расчета показали, что проектируемая сеть является рентабельной, даже при тарифах немного меньших, чем в сетях GSM.

Список литературы

1 Володина Е.Е., Тихвинский В.О. Управление качеством услуг подвижной связи третьего поколения: Мобильные системы. – 2005. – 107 с.

2 Величко В.В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения – М.:Радио и связь, Горячая линия – Телеком, 2005. – 332 с.

4 Невдяев Л. М. Мобильная связь 3-го поколения. Сер. «Связь и бизнес». – М.:МЦНТИ. – 2000.

5 Иванов П. QoS в глобальном измерении // 2003. – № 7

6 Крупнов А.Е. «Перспективы формирования рынка услуг нового поколения и операторы виртуальных сетей подвижной связи» // Электронная версия на http://www.3gassociation.ru/association/documents/040-publikaciy/950-publikaciy-2005/050704_mob_sys.pdf

7 Горностаев Юрий «Интеграция мобильных сетей 802.11 и 3G»// Электронная версия на сайте http://www.nestor.minsk.by/sr/2003/06/30601.html

8 Антенны для базовых станций 3G - какими им быть // Электронная версия на сайте http://www.3gnews.ru/articles/679/

9 Солонин Виталий «Сети третьего поколения: состояние и перспективы»// Электронная версия на сайте http://www.3gnews.ru/articles/1659/

10 Громаков Ю.А. Цифровые сотовые системы подвижной радиосвязи с кодовым разделением каналов. – М., 1996. – 49с.

11 CDMA: прошлое, настоящее и будущее / Под ред. проф. Л.Е. Варакина и проф. Ю.С. Шинакова. – М.: МАС, 2003.

12 Азимов В. Стандарт CDMA - связь без границ // Электронная версия на сайте http:// www.interstar.ua/mobile/articles/cdma_less.htm.

13 Артюхин В.В, Лановенко М.В. Сети и системы мобильной связи 3 – го поколения. Программа, методические указания и задания к выполнению курсовой работы. – Алматы: АИЭС, 2006. – 28 с.

14 Скрынников В.Г. О распределении радиочастотного спектра в диапазоне 2 ГГц между сетями UMTS // Мобильные системы. – 2004. – №3

15 Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991.

16 Безопасность жизнедеятельности: Учебник для студентов средних проф.учеб. заведений/С. В. Белов, В. А. Девисилов, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ.ред. С.В. Белова. – узд., испр. и доп. – М.;Высш. Шк.,2006.

17 Охрана труда на предприятиях святи и охрана окружающей среды: Учебник для вузов/ Н.И. Баклашев, Н.Ж. Китаева, Б.Д. Терехов. – М.; Радио и связь, 1989.

18 Калькулятор модели Ерланга В http://www.erlang.com/calculator/erlb/

19 Производственное освещение: Кошулько Л.П. Методическое указание к разделу «Охрана труда» в дипломном проекте.- Алматы: РУМК,1989. – 39 с

20 СНиП РК 2.04-05-2002. Естественное и искусственное освещение. Общие требования. Комитет по делам строительства и жилищно-

коммунального хозяйства. Министерство индустрии и торговли РК. Астана, 2002.

21 СНиП 2.09.04-87 Общие строительные нормы и правила устройства систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Административные и быовые здания. Москва. Стройиздат,1990.

22 Хакимжанова Т. Е. Рсчет аспирационных систем. Методические указания к выполнению раздела в дипломних проектах. Алматы.-АИЭС, 2002.

23 Голубицкая Е. А., Жигульская Г. М. Экономика связи: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 2000.

24 Экономика связи: Учебник для вузов. Под ред. О. С. Срапионова. – М.: Радио и связь, 1992. -320 с.

25 Колосков А.А., Добронравов А.С., Стрельчук Е.Н. Организация и планирование радиосвязи и вещания. - М.: Радио и связь, 1985.

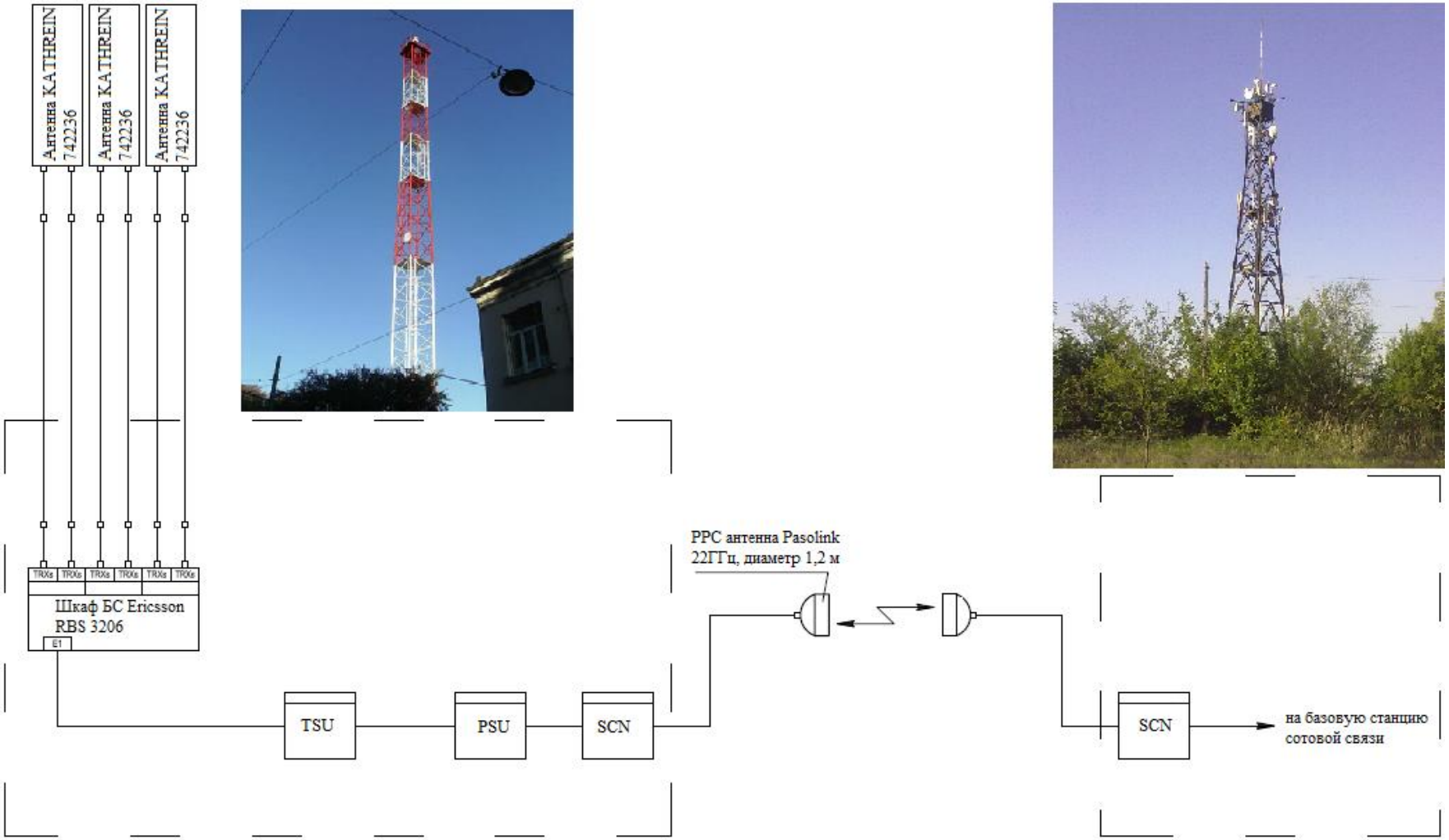
26 Демина Е.В., Иодко Е.К., Майофис Л.И., Резникова Н.П. Организация, планирование и управление предприятиями связи: Учебник для вузов, - М.: Радио и связь, 1990.

27 Основы экономики и телекоммуникаций (связи) /Под ред. Горелик М.А. и Голубинкой Е.А. -М.: Радио и связь, 1997.

28 Аманжолова К.Б. Экономика отрасли. Методические указания к выполнению курсовой работы. – Алматы: АИЭС, 2001 – 37 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рисунок А1 – Схема организации связи

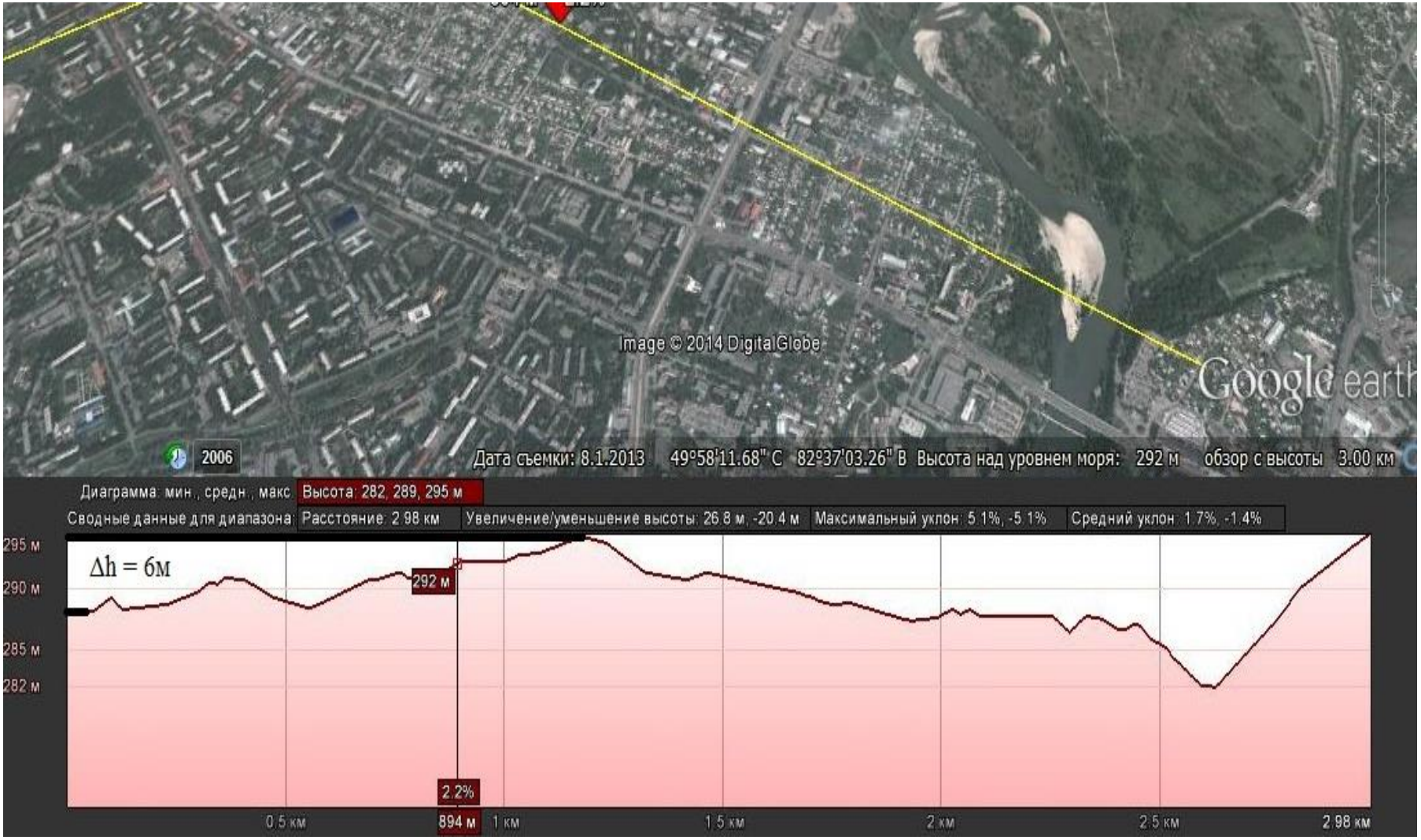


ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Рисунок Б1 – Изображение профиля рельефа в направлении север

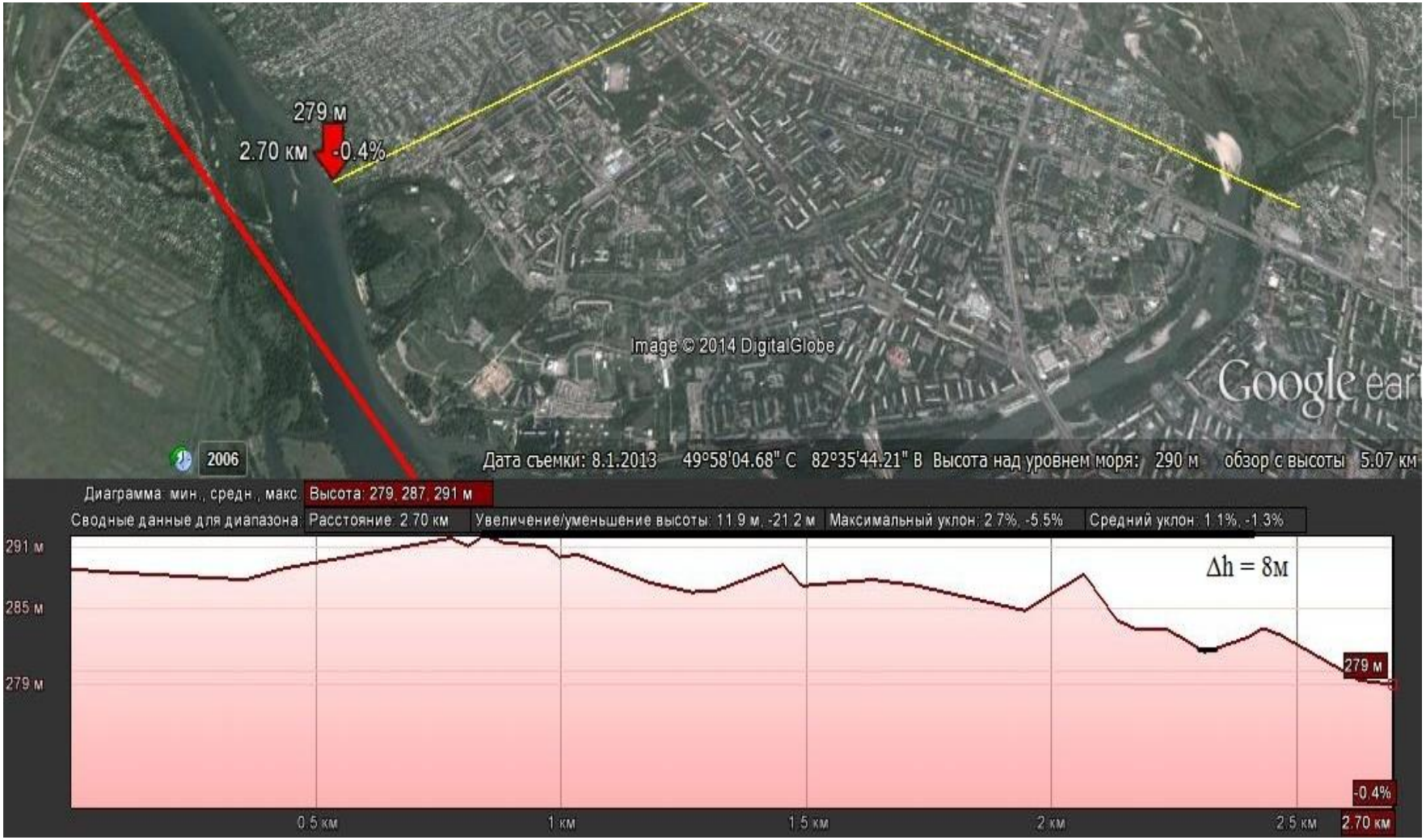
ПРИЛОЖЕНИЕ В

Рисунок В1 – Изображение профиля рельефа в направлении юго-запад



ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Рисунок Г1 – Изображение профиля рельефа в направлении юго-восток



Приложение Д

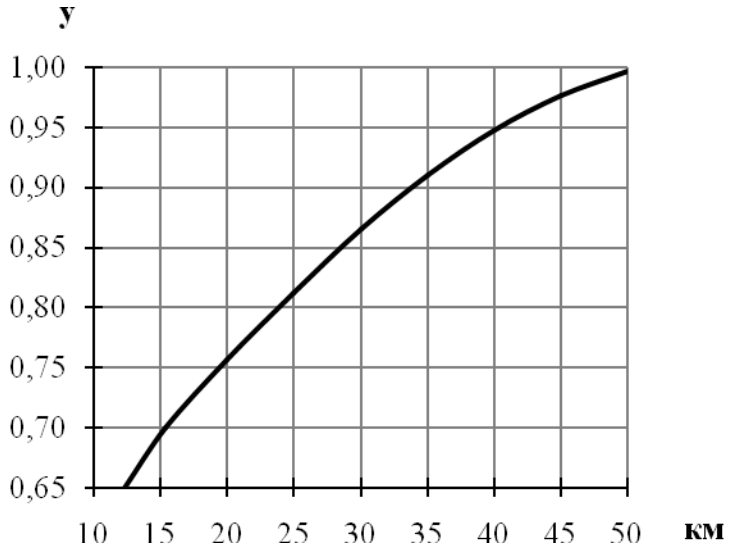


Рисунок Д1 – К определению параметра y

Т а б л и ц а Д1 – Коэффициенты регрессии для оценки затухания

Частота f, ГГц	Горизонтальная поляризация		Вертикальная поляризация	
	k_f	α_f	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 Е

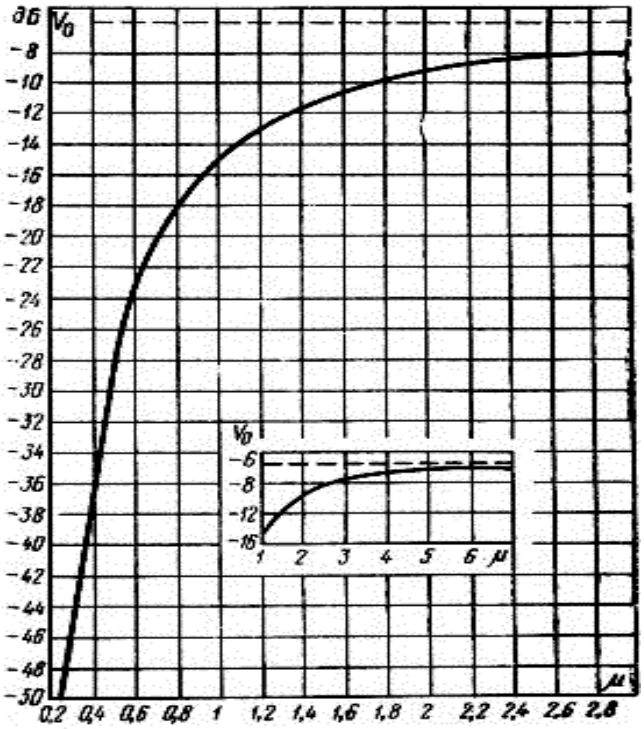


Рисунок Е1 – Зависимость множителя ослабления от аппроксимирующего параметра μ

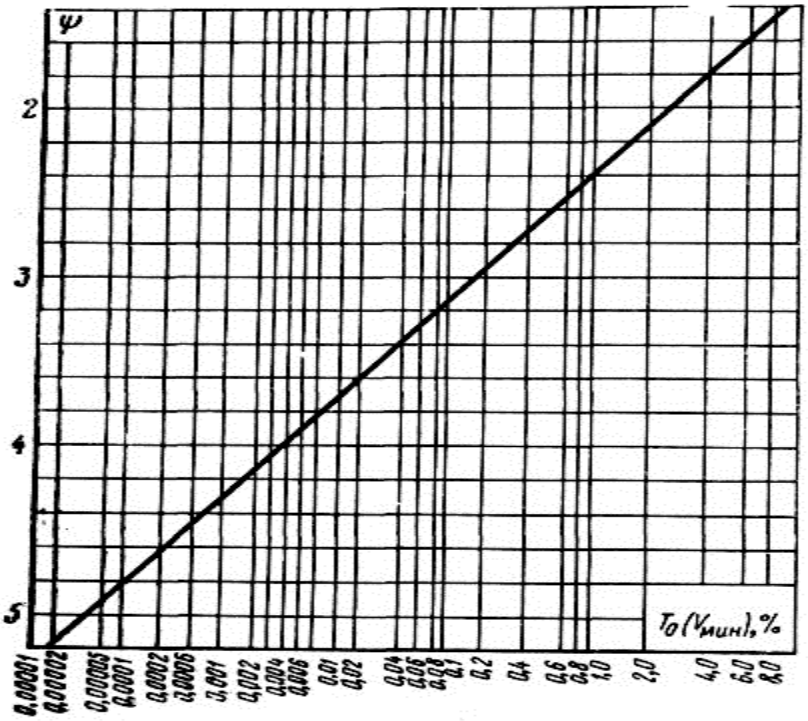


Рисунок Е2 – К расчету времени ухудшения связи, вызванного субрефракцией радиоволн

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
Расчеты, выполненные с помощью программы MathCAD

Mathcad - [Диплом]

Файл Правка Вид Добавить Формат Инструменты Символика Окно Справка

$Pпрд_бс := 13$ $\quad$ $Lрел1 := -5$

$Gпрд_бс := 14$ $\quad$ $Lрел2 := 0$

$fпрд_бс := 2140$ $\quad$ $Lрел3 := 0$

$Pпрм_бс := -109.9$

$Gпрм_бс := 14$

$fпрм_бс := 1950$

$\varepsilon п := 0.9$

$\varepsilon с := 0.9$

$\eta фпрд := 0.95$

$\eta фпрм := 0.95$

$Lсум := Pпрд_бс + \eta фпрд + Gпрд_бс + \varepsilon п + Gпрм_бс + \eta фпрм + \varepsilon с - Pпрм_бс$

$Lсум = 122.7$

$Lp1 := Lсум - Lрел1$

$Lp2 := Lсум - Lрел2$

$Lp3 := Lсум - Lрел3$

$Lp1 = 159.6$ $\quad$ $Lp2 = 154.6$ $\quad$ $Lp3 = 154.6$

Mathcad - [Диплом]

Файл Правка Вид Добавить Формат Инструменты Символика Окно Справка

$f0 := 2140$

$hb1 := 20$

$hm := 1.5$

$C := 0$

$a(hm) := 3.2\cdot(\log(11.75\cdot hm))^2 - 4.97$

$a(hm) = -9.19 \times 10^{-4}$

$r1 := 10^{\frac{Lp1-46.3-33.9\cdot\log(f0)+13.83\cdot\log(hb1)+a(hm)}{44.9-6.55\cdot\log(hb1)}}$

$r1 = 3.19$

$r2 := 10^{\frac{Lp2-46.3-33.9\cdot\log(f0)+13.83\cdot\log(hb1)+a(hm)}{44.9-6.55\cdot\log(hb1)}}$

$r2 = 2.334$

$r3 := 10^{\frac{Lp3-46.3-33.9\cdot\log(f0)+13.83\cdot\log(hb1)+a(hm)}{44.9-6.55\cdot\log(hb1)}}$

$r3 = 2.334$

Приложение 3
Расположение базовых станций в г.Усть-Каменогорск

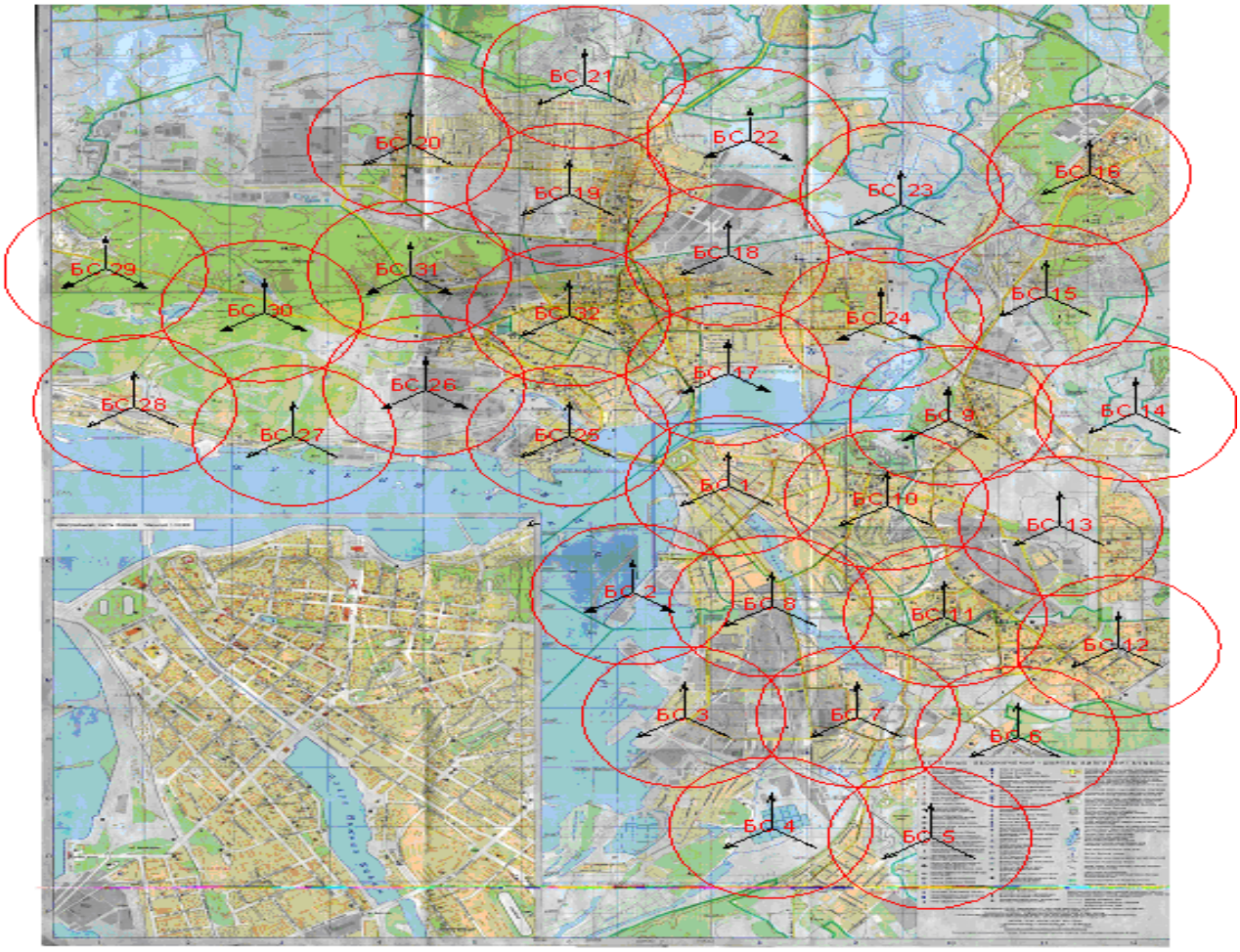


Рисунок 3 - Расположение базовых станций в г. Усть-Каменогорск