МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»

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

_____ «____» _____ 201__ г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Анализ теоретических возможностей стандарта 3GPP Release 8 и проектирование сети на его основе в сельском районе Казахстана

Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) Молдаханов Алмаз Алтайулы (Ф.И.О.) Группа МТС-12-6

Научный руководитель к.т.н. ст.пр. Данько Е.Т
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «____» _____ 201____ г.
(подпись)

Консультанты:

по экономической части:

доц. Боканова Г.Ш.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «31» мая 2016 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

ст.пр. Бегимбетова А.С.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «30» мая 2016 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:

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

_____ «01» июня 2016 г.
(подпись)

Нормоконтролер: ст.пр. Демидова Т.Д.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «7» июня 2016 г.
(подпись)

Рецензент: к.т.н. доц. Липская М.А
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «8» июня 2016 г.
(подпись)

Алматы 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет радиотехники и связи

Кафедра телекоммуникационных систем

Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студенту Молдаханову Алмазу Алтайулы
(Ф.И.О.)

Тема проекта Анализ теоретических возможностей стандарта 3GPP Release 8 и проектирование сети на его основе в сельском районе Казахстана

Утверждена приказом по университету № 148 от «19» октября 2015 г.

Срок сдачи законченного проекта «25» 05 2016 г.

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

Населенные пункты - станция Чемолган
Численность населения станции Чемолган составляет 17341 человек
Частотный диапазон: 728 - 746 МГц
Множественный доступ в нисходящем канале - OFDM
В восходящем канале - SC-OFDMA, модуляция QAM64

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

Изучение технологии LTE. Произвести теоретический расчет пропускной способности в нисходящем канале сети LTE Release 8. Расчет основных параметров - средняя пропускная способность, число каналов, необходимое количество базовых станций, среднее затухание и площадь покрытия трехсекторной антены базовой станции. Анализ и выбор оборудования. Расчет искусственного освещения и системы кондиционирования. Разработка бизнес-плана, оценка экономической эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Рисунки - Структура кадра FDD, TDD, структурная схема прямого формирования OFDM-сигналов, структурная схема формирования OFDM-сигнала методом использования дискретного преобразования Фурье, система MIMO 2×2, структура кадра LTE в режиме FDD, затраты частотно-временных ресурсов нисходящего канала LTE на передачу информации каналов управления, приемопередатчик RRU3908, диаграммы направленности антенны, габариты антенны Kathrein, оптический сервисный маршрутизатор BBU3900, план проектируемой сети LTE, план рабочего кабинета, схема размещения светильников, окно программы MathCAD 14", схема организации связи

Графики: зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности отказа

Основная рекомендуемая литература: Попов Е.А., Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных - СПб., 2011г.
Ерохин С. Мобильные телекоммуникации - М, 2012г.
Дроздова В.Г., Белов М.А Оценка пропускной способности сетей LTE, 2012г.
Вишневский В., Красилов А, Махнович И. Технология сотовой связи LTE - М., 2009г.
Самкова Е. Виды модуляции сигналов, 2009г.
Абдимуратов Ж.С., Мантбаева С.Е Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению дипломного проекта - Алматы, 2009г., Багилов К.Б., Алибаева С.А., Бобич А.А. Методические указания к выполнению экономического раздела выпускной работы - Алматы, 2009г.

Консультации по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
БЖД	Бегимбетова А.С.	01.04 - 30.05.16г.	
Экономика	Боканова Г.Ш.	01.04 - 31.05.16	
Выч. тех	Ефремова Ю.И.	01.03.16 - 01.06.16	
Техническая часть	Данько Е.Т	10.05.2016	

График
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Описание стандарта LTE	30.11.15	
Архитектура сети LTE	22.02.16	
Физический уровень сетей LTE	22.02.16	
Технология OFDM и SC-OFDMA в сетях LTE	16.03.16	
Поддержка технологии MIMO в сетях LTE	11.04.16	
Расчет нисходящего канала системы	13.04.16	
связи LTE (Release 8)	13.04.16	
Выбор оборудования	14.04.16	
Расчет пропускной способности	15.04.16	
сети. Расчет количества потенциаль-		
ных абонентов		
Расчет зоны радиопокрытия для	16.04.16	
сети LTE на станции Чемолган		
Анализ радиопокрытия	11.05.16	
Частотно-территориальное деление	11.05.16	
и ситуационное расположение		
Node-B на местности станция Чемолган		
Алматинской области		
Безопасность жизнедеятельности	18.04.16	
Анализ условий труда обслуживающего	18.04.16	
персонала		
Анализ системы кондиционирования рабочего	20.04.16	
помещения		
Анализ искусственного освещения и ме-	25.04.16	
тодом коэффициента использования свет. пот.		
Бизнес план	30.05.16	

Дата выдачи задания «____»_____201___ г.

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

Научный руководитель проекта _____ (Данько Е.Т.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению студент _____ (Молдоханов А.А.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Дипломдық жоба барысында 3GPP Release 8 стандартының каналдың өткізгіштік қабілеті әр түрлі факторларға байланысты зерттелуі жасалды. Қазақстанның ауыл аймағы Шемолған бекетінде LTE технология базасында кең жолақты сымсыз қолжетімділік қызмет көрсетуін қамтамасыз етуімен байланыс жүйесі жобаланып отыр.Жабдықтаудың талдауы мен таңдауы жасалды. Дипломдық жобаның түсініктемесінде орташа өткізгіштік қабілетінің, каналдардың санының, радиодабылдың орташа басылуының, базалық станцияның қажетті саны мен базалық станция антеннасының үшсекторлық жабынуы аумағының есептелуі жасалды.

Аннотация

В ходе дипломного проекта был произведен анализ пропускной способности нисходящего канала стандарта 3GPP Release 8 в зависимости от различных факторов. Была спроектирована система связи с предоставлением услуг широкополосного беспроводного доступа в сельском районе Казахстана на станции Чемолган на базе технологии LTE. Произведен анализ и выбор оборудования. В пояснительной записке к дипломному проекту произведены расчеты средней пропускной способности, численности каналов, среднего затухания радиосигнала, необходимого количества БС и площадь покрытия трехсекторной антенны БС.

Annotation

During degree project analysis was carried downstream channel bandwidth standard 3GPP Release 8 depending on various factors. It was designed in a communication system providing broadband wireless access in the rural area of Kazakhstan at the station Chemolgan on based LTE technology. It was done the analysis and selection of equipment. The explanatory note to the project of diploma are produced calculations average bandwidth, the number of channels, the average attenuation of the radio signal, the needed amounts of BS and the coverage area of a three sectored BS antennas.

Содержание

Введение……....7
1 Теоретическая часть…….....9
1.1 Описание стандарта LTE……...9
1.2 Архитектура сети LTE……..10
1.3 Физический уровень сетей LTE……...11
1.4 Технология OFDM и SC-OFDMA в сетях LTE……..13
1.5 Поддержка технологии MIMO в сетях LTE……...14
2 Расчет нисходящего канала системы связи LTE (Release 8)……...……15
2.1 Теоретические скоростные возможности технологии LTE……..15
2.2 Расчет пропускной способности нисходящего канала сети LTE (Release 8)……...……....17
3 Выбор оборудования……...……....24
3.1 Критерии выбора оборудования……..24
3.2 Выбор оборудования базовой станции……...26
4 Расчетная часть……...……..32
4.1 Краткие сведения о станции Чемолган……...32
4.2 Расчет пропускной способности сети. Расчет количества потенциальных абонентов……33
4.3 Расчет зоны радиопокрытия для сети LTE на станции Чемолган……36
4.4 Анализ радиопокрытия……36
4.5 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение Node-B на местности станция Чемолган, Алматинской области……..40
5 Безопасность жизнедеятельности……...41
5.1 Анализ условий труда обслуживающего персонала……...…..42
5.2 Анализ системы кондиционирования рабочего помещения……...43
5.3 Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока……...45
5.4 Вывод по разделу безопасность жизнедеятельности ……...48
6 Технико-экономическое обоснование проектирование сети LTE на станции Чемолган, Алматинской области……...48
6.1 Резюме……48
6.2 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE……48
6.3 Маркетинговый план……49
6.4 Производственный план……...49
6.5 Анализ рынка сбыта……...……..50
6.6 Финансовый план……..51
6.7 Вывод по разделу экономика……...60
Заключение……..61
Список литературы……62
Приложение А Диапазоны частот……63
Приложение Б Расчеты в программе «MathCAD 14»……..65
Приложение В Расчеты в программе «MathCAD 14»……66

Введение

В январе 2008-го года, проектом 3GPP (3-rd Generation Partnership Project) разрабатывающим перспективные стандарты мобильной связи, было объявлено, что технология беспроводного широкополосного доступа LTE является следующим этапом в развитии мобильной связи после UMTS.

Технология LTE, соответствует критериям стандарта четвертого поколения (4G). Под стандарт 4G попадают те технологии, которым по силу развивать скорость передачи данных не менее 10 Мбит/с. Технология LTE – это огромный шаг вперед для развития сотовой связи. Переход на данную технологию, знаменует полный переход на пакетную передачу данных.

Для пользователей, LTE – это высокоскоростная сетевая технология. Для сетевых операторов по всему миру, это способ упростить свои инфраструктуры для снижения затрат при одновременном повышении качества своих предложений для абонентов. Сетевые операторы называют LTE самой передовой сетевой технологии. 65 крупнейших сетевых операторов планируют развиваться именно в направлении LTE. В конце концов, это долгосрочная эволюция универсальной системы мобильной связи.

Одним из достоинств технологии LTE является то, что в отличие от технологии WiMAX которая так же относится к технологии четверного поколения, сеть LTE может поддерживать существующие 2G и 3G устройства.

Но, не смотря на все преимущества данной технологии, быстрый переход на LTE не может быть осуществлен из-за ряда факторов. Во-первых, чтобы получить все преимущества от данной технологии нужно необходимое оборудование и модернизация уже имеющихся систем. Во-вторых, абонентам технологии LTE необходимо будет приобрести устройства, которые будут поддерживать работу с технологией. Данные факторы объясняются тем, что эта технология относительно новая и только начала внедряться и не покрывает удаленную от густонаселенной части страны территорию.

Так же стоит отметить тот факт что, на данный момент стоимость услуг технологии LTE значительно выше стоимости услуг технологий предыдущих поколений. Потому каждый абонент сам решает, что для него приоритетней – высокая скорость или же экономия. Но, по прогнозам в ближайшее время планируется снижение цен на предоставление услуг по мере распространения технологии и в скором будущем технология будет доступна абсолютно каждому.

Тем не менее в настоящее время имеется большой опыт построения сетей сотовой связи четвертого поколения в Казахстане. Мы знаем о улучшенных технических характеристиках стандарта LTE, а именно пропускной способности нисходящего канала 326,4 Мбит/с. Однако на практике абоненты зачастую имеют значения скорости передачи гораздо ниже предполагаемых стандартом.

Поэтому, целью данного дипломного проекта является теоретический анализ пропускной способности нисходящего канала стандарта LTE (Rel 8) и

проектирование сети связи на его основе на станции Чемолган (Алматинская область).

Задачами дипломного проектирования является:

- Изучение технических особенностей стандарта LTE Release 8;
- Анализ влияния технических параметров на пропускную способность в нисходящем канале;
- Проектирование сети сотовой связи на основе технологии LTE на станции Чемолган;
- Изучение вопроса безопасности жизнедеятельности;
- Бизнес планирование.

Ежегодно в Послании Президента народу Казахстана говорится о развитии телекоммуникационных систем связи в отдаленных и горных и сельских районах Республики. В настоящее время повсеместно, в том числе и в сельских районах Алматинской области доступны сети третьего поколения мобильной связи. Но современной задачей стоящей перед операторами мобильной связи является предоставление услуг с использованием новейших технологий. Поэтому, вопросы рассматриваемые в данном дипломном проекте являются актуальнымы.

1 Теоретическая часть

1.1 Описание стандарта LTE

LTE (Long Term Evolution - эволюция в долгосрочной перспективе) – технология для построения сетей беспроводной связи, разработанная в рамках плана партнерства в формировании сетей третьего поколения 3GPP (3G Partnership Project). Главными целями создания технологии LTE являются: уменьшение цены за передачу данных, увеличение скорости передачи данных, возможность предоставления наибольшего диапазона услуг по более доступной цене, увеличение гибкости сети и использование уже существующих систем мобильной связи. LTE является следующим этапом развития высокоскоростной мобильной связи после технологии 3G и обеспечивает значительно более высокие пиковые скорости. Заявленная скорость в сетях LTE составляет: 326,4 Мбит в секунду в нисходящем канале (на приём) и 172,8 Мбит в секунду в восходящем канале (на отдачу данных). В качестве примера, в сетях 2G теоретическая пропускная способность при использовании технологии GPRS составляет 56-114 Кбит в секунду, а при использовании технологии EDGE примерно 473 Кбит в секунду. В сетях 3G обеспечивается скорость 3,6 Мбит в секунду [1]. По мировым стандартам технологически доступная максимальная скорость сети LTE может достигать 100 Мбит/с – downlink (скорость получения) и 50 Мб/с – uplink (скорость передачи данных). Средняя скорость зависит от таких факторов, как близость к базовой станции и загрузка канала.

Радиус действия установленной базовой станции LTE может варьироваться в зависимости от используемых частот, мощности сигнала и радиоусловий в каждом отдельном случае. Как правило, этот показатель колеблется в пределах 5 километров но, при достаточном поднятии антенны и мощности сигнала может достигать 30 и даже 100 километров.

Важным отличием сетей четвертого поколения от предыдущего, третьего, считается то, что технология 4G полностью построена на протоколах пакетной передачи данных, в то время как 3G объединяет в себе передачу, как голосового трафика, так и пакетов данных. Пакетная передача дает возможность обеспечить все виды услуг, включая так же передачу пользовательского голосового трафика. Реализация пакетной передачи речи основывается на технологиях VoIP (Voice over IP) или PoC (Push-to-talkover Cellular).

Наряду с пакетной передачей речи основными услугами являются следующие:

- передача интернет файлов (web-browsing);
- доставка электронной почты;
- мультимедийные сообщения (MMS, Multimedia Messaging Service), в том числе, мультимедийное вещание;
- потоковое видео (streaming);

- интерактивные игры в реальном времени.

1.2 Архитектура сети LTE

Основными критериями при разработке архитектуры сети широкополосного беспроводного доступа LTE были, обеспечение поддержки пакетного трафика с бесшовной мобильностью, минимальные задержки при доставке пакетов данных и высокой показатель качества обслуживания.

В качестве функции сети, мобильность бывает двух видов: дискретная мобильность (роуминг) и непрерывная мобильность (хэндовер). Так как, для сетей LTE поддержка процедуры роуминга и хэндовера со всеми существующими сетями является преоритетной целью, то для абонентов LTE должно выполняться условие повсеместного покрытия услуг беспроводного широкополосного доступа.

Отличием архитектуры сети LTE от сетей предыдущих поколений в которых наблюдается так называемое явление распределенной ответственности, является то, что практически все сетевое взаимодействие протекает между двумя узлами: базовой станцией (БС) в последующем Node-B и блоком управления мобильностью (БУМ) в последующем MME (Mobility Management Entity) в состав которого входит сетевой шлюз (Ш) в последующем GW (Gateway).

Стоит отметить тот факт, что основные функции игравшего весьма значительную роль в сетях предыдущих поколений контроллера радиосети, в которые входит: управление радиоресурсами; шифрование; сжатие заголовков и надежная доставка пакетов данных, в сетях LTE выполняет непосредственно Node-B.

IP – пакеты в которых содержится пользовательская информация не проходят через MME, так как MME работает исключительно со служебной информацией (также называемой сетевой сигнализацией). Основным плюсом наличия подобного отдельного блока сигнализации является, возможность независимого наращивания пропускной способности сети, как для нужд пользовательского трафика, так и для нужд служебной информации. Основной задачей MME является управление пользовательскими терминалами (ПТ), которые находятся в режиме ожидания, а так же перенаправление и осуществление вызовов, авторизация и аутентификация, роуминг и хэндовер, установка служебных и пользовательских каналов и тому подобное.

Из всех сетевых шлюзов стоит выделить два основных: обслуживающий шлюз (ОШ) в последующем S – GW (Serving Gateway) и пакетный шлюз (ПШ) в дальнейшем P – GW (Packet Data Network Gateway). S – GW выполняет те же функции, что и блок управления локальной мобильностью, а именно прием и пересылка пакетов данных, относящихся к Node-B и обслуживаемым им ПТ. P – GW является интерфейсом между набором Node-b и различными внешними сетями, в том числе осуществляет некоторые функции IP-сетей, а именно

обеспечение пользовательских политик, распределение адресов, маршрутизация, фильтрация пакетов и тому подобное [2].

1.3 Физический уровень сетей LTE

Организация сетей LTE может осуществляться с различной шириной частотных диапазонов. В зависимости от количества активных ресурсных блоков сигналы в нисходящем и восходящем направлении могут занимать частотные полосы от 1.4 до 20 МГц. Занимаемые сигналом границы частотного диапазона, определяются строго симметрично относительно несущей частоты f_c:

$$f_{min} = f_c + BW_{ch} / 2, \quad (1.1)$$

$$f_{max} = f_c - BW_{ch} / 2. \quad (1.2)$$

Для любого частотного диапазона вводится частотная сетка с шагом 100 кГц, так называемым канальным растром. Несущие (центральные) частоты должны быть кратны 100 кГц.

Все временные значения выражаются в единицах элементарного временного интервала, равного:

$$T_s = 1/(15000 \cdot 2048) \text{ с} \quad (1.3)$$

Информация в нисходящем и восходящем направлении передается в кадрах (radio frames). Длительность такого кадра определяется следующим образом:

$$T_f = 307200 \cdot T_s = 10 \text{ мс} \quad (1.4)$$

Эти кадры в свою очередь разбиваются на более мелкие временные структуры – слоты. Структура кадра разделяется на два типа: 1) применяемый в режиме FDD (Frequency Division Duplex - Дуплексный режим с частотным разделением); 2) применяемый в режиме TDD (Time Division Duplex - Дуплексный режим с временным разделением) [2].

1.3.1 Режим дуплексирования FDD

Структура кадра в режиме FDD применяется как в полнодуплексном, так и в полудуплексном режимах. В FDD-режиме кадр делится на 20 слотов (нумерация начинается с нулевого до девятнадцатого). Каждый слот имеет длительность. Длительность слота определяется следующим образом:

$$T_{slot} = 15360 T_s = 0.5 \text{ мс} \quad (1.5)$$

Пара из двух смежных слотов образует подкадр; *i*-й подкадр содержит слоты с номерами 2*i* и 2*i*+1 [2].

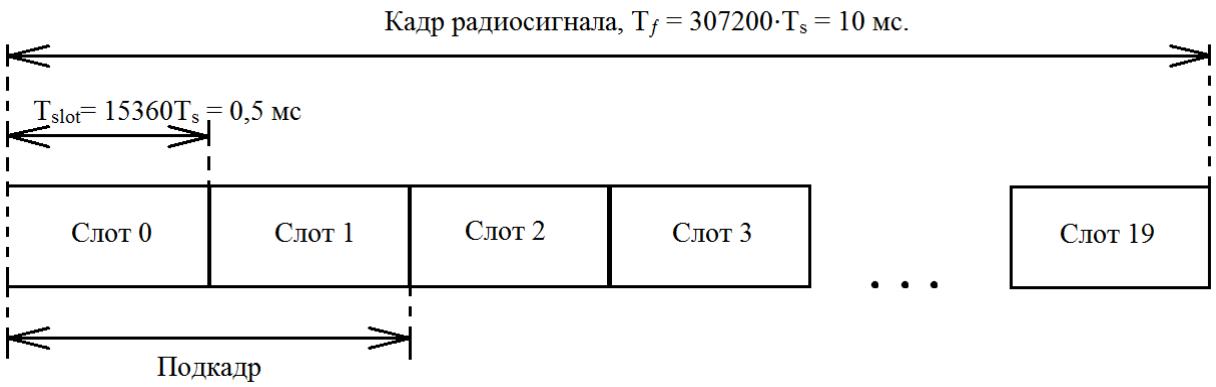

Рисунок 1.1 – Структура кадра FDD

1.3.2 Режим дуплексирования TDD

В режиме TDD кадры используются при временном разнесении каналов. В данном режиме каждый кадр поделен на два полукадра (hf – half – frame). Полукадр имеет свою длительность, которая определяется следующим образом:

$$T_{hf}= 153600T_s = 5 \text{ мс} \tag{1.6}$$

В свою очередь каждый полукадр состоит из пяти последовательных подкадров (sf – sub – frame), длительность которых определяется следующим образом:

$$T_{sf}= 30720T_s = 1\text{мс} \tag{1.7}$$

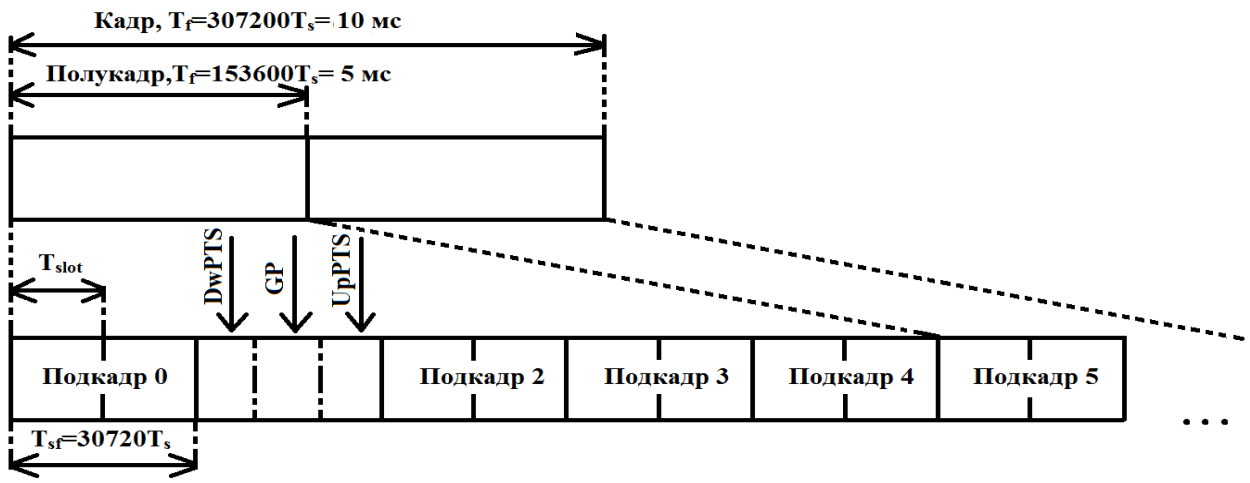

Рисунок 1.2 – Структура кадра TDD

1.3 Технология OFDM и SC-FDMA в сетях LTE

При многолучевом распространении сигнала, практически неизбежно взаимодействие сигналов с препятствиями, что вызывает отражение сигналов. Что в свою очередь приводит к тому, что на приемное устройство сигналы приходят с некоторым запаздыванием, а в некоторых случаях разница в задержке соизмерима с длительностью манипуляционного символа. Подобного рода задержки приводят к росту числа ошибок или даже к полной потере сигнала, если 2 луча приходят в противофазе. Такое явление принято называть межсимвольной интерференцией (МСИ). Для борьбы с МСИ технология LTE в нисходящем канале использует принцип мультиплексирования с ортогональным частотным разделением символов, в дальнейшем OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). В технологии OFDM передача данных происходит параллельно по поднесущим, которые образуются в результате деления всего доступного частотного диапазона. За счет ортогональности частот достигается отсутствие МСИ [3].

OFDM – сигнал рассматривается не как один быстро модулируемый широкополосный сигнал, а как множество медленно модулируемых узкополосных сигналов. В процессе формирования OFDM-сигнала поток последовательных информационных символов длительностью Ти/N разделяется на блоки, содержащие N символов; Ти – длительность одного символа. Блок последовательных информационных символов преобразуется в блок параллельных символов, где каждый информационный символ соответствует определенной частоте многочастотного сигнала.

Практическая реализация ансамбля ортогональных многочастотных сигналов (с целью удовлетворения условий компенсации перекрывающихся спектров) прямым способом формирования показана на рисунке.

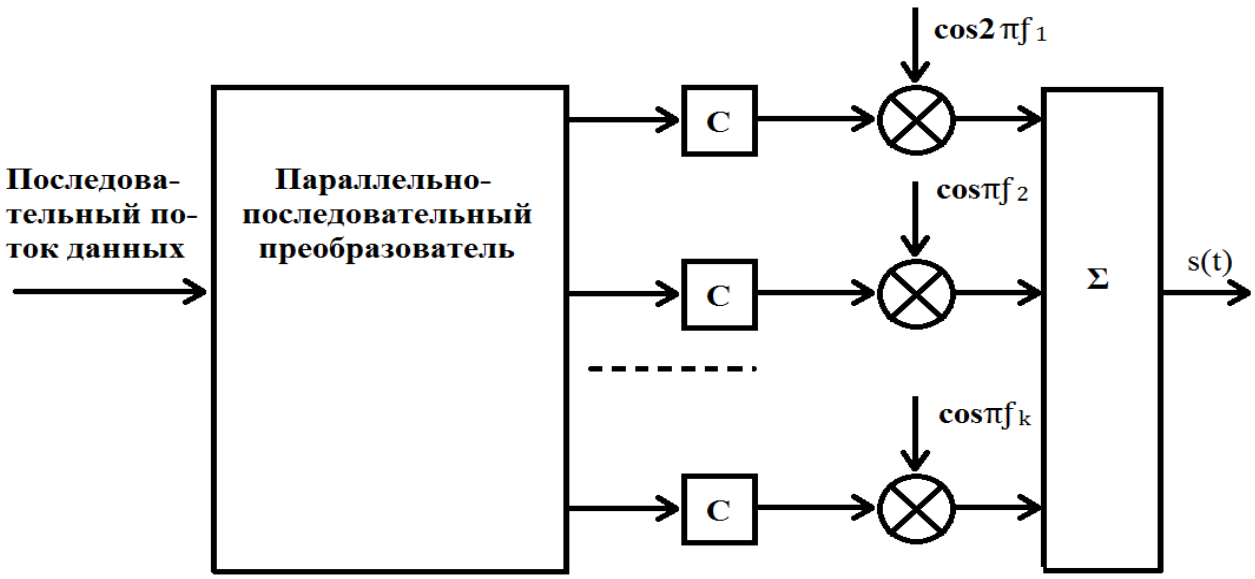

Рисунок 1.3 – Структурная схема прямого формирования OFDM-сигналов

Схема формирования OFDM-сигналов состоит из преобразователя последовательного потока данных в параллельный поток, синтезаторов С формы сигналов, которые обеспечивают огибающей заданный вид, из умножителей (преобразователей частоты), которые позволяют переносить спектр сигналов на заданные частоты f_1, …, f_K, а так же сумматора Σ, на выходе которого и формируется многочастотный сигнал s(t) [2].

Альтернативный метод, формирования и приема сигналов, базируется на применении специальной операции цифровой обработки сигналов – дискретного преобразования Фурье (ДПФ, DFT – Discrete Fourier Transform)

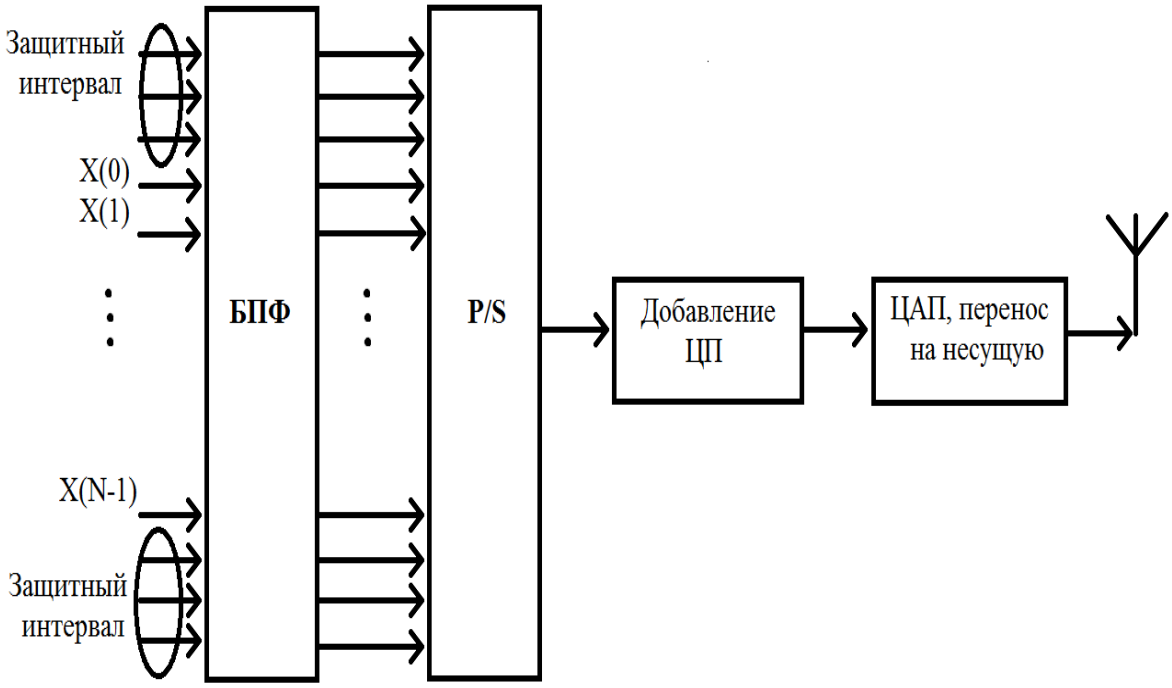

Рисунок 1.4 – Структурная схема формирования OFDM-сигнала методом использования дискретного преобразования Фурье

1.4 Поддержка технологии MIMO в сетях LTE

Для обеспечения высоких скоростей передачи данных в сетях LTE одну из важнейших ролей играет технология MIMO (Multiple Input Multiple Output – множественный вход, множественный выход). MIMO – технология беспроводного доступа, предусматривающая работу с несколькими передающими и принимающими антеннами для одновременной передачи большего объема данных. В технологии MIMO используется эффект передачи радиоволн, называемый многолучевым распространением, когда предаваемые сигналы отражаются от различных препятствий и объектов и принимающая антенна получает сигналы в разное время и под разными углами. Применение технологии MIMO позволяет увеличить помехоустойчивость каналов связи, уменьшить относительное число битов, принятых с ошибкой. Работа систем

MIMO организуется по двум принципам: по принципу пространственно – временного кодирования и по принципу пространственного уплотнения.

При использовании принципа пространственно – временного кодирования, для обеспечения лучшего качества приема со всех передающих антенн происходит передача одного и того же потока данных с использованием схем предварительного кодирования.

В системах, построенных по принципу пространственного уплотнения, различные передающие антенны предают различные части блока информационных символов или различные информационные блоки. Данные передаются параллельно с двух или четырех антенн. На приеме производится разделение сигналов различных антенн, и появляется возможность увеличить максимальные скорости передачи данных в 2 или 4 раза. [9].

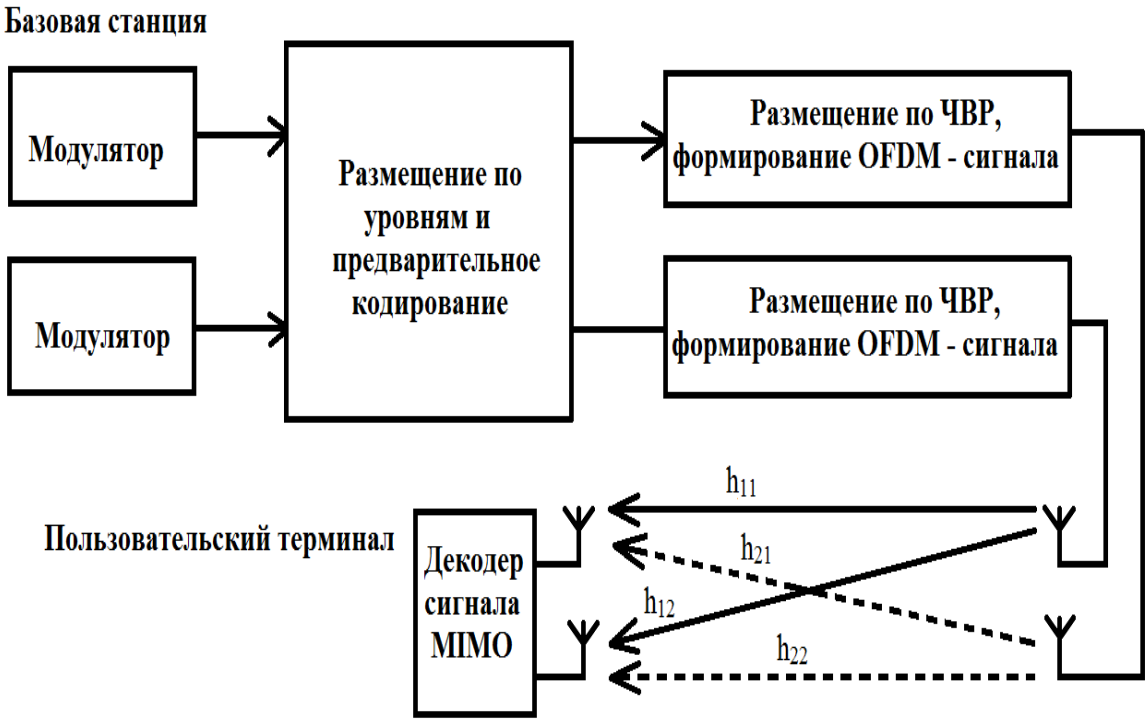

Рисунок 1.5 – Система MIMO 2x2

2 Расчет нисходящего канала системы связи LTE (Release 8)

2.1 Теоретические скоростные возможности технологии LTE

LTE – относится к технологии мобильной связи четвертого поколения. Радиус действия базовой станции стандарта LTE, зависит от используемых частот и мощности, но в оптимальном случае составляет порядка 5-6 километров. Максимальная теоретически возможная скорость передачи данных, составляет 326,4 Мбит/с, а скорость отдачи - 173 Мбит/с, хотя на практике реальные значения оказываются в несколько раз меньше. По

большому счету, технология LTE похожа на технологию HSPA, так как обе технологии используют одинаковые способы модуляции, таким образом до уровня LTE – Advanced (Release 10 и более поздние версии технологии LTE), скорости у обоих стандартов, в принципе, сопоставимы. Но, стандарт четвертого поколения допускает гораздо меньшие задержки. Если для HSPA характерны значения в 20-35 мс, то для LTE эта цифра составляет уже 10-20 мс, что почти в два раза меньше. Кроме этого, LTE обладает более современными и эффективными механизмами управления и распределения трафика. В процессе разработки новой технологии, учитывался тот факт, что у современных мегаполисов частотные спектры весьма загружены из-за телевидения, мобильной связи, переговорных устройств городских служб, цифровых радиотелефонов и других современных гаджетов. Поэтому технология LTE может работать на самых разных частотах. Выбор частот дает возможность обеспечить широкий канал передачи данных, при этом, если происходит передача трафика или осуществляется звонок, есть возможность передачи "без разрыва" в сеть другого стандарта, например, WCDMA, GSM и др. Еще одна особенность сети LTE заключается в том, что она позволяет работать в режимах TDD (Time Division Duplex - Дуплексный режим с временным разделением) и FDD (Frequency Division Duplex - Дуплексный режим с частотным разделением), которые на практике обычно обозначают TDD-LTE и FDD-LTE, соответственно. В настоящее время, большая часть производителей оборудования ориентируется на последний вариант. Это связано с тем, что частотное распределение каналов связи дает возможность распределять ресурсы сети между потоками данных от абонента и к абоненту с наибольшей производительность и эффективностью. Помимо этого, применяются и другие варианты, например FDD с половинной скоростью или OFDM (ортогональное частотное разделение каналов). Упомянутая технология мультиплексирования - OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) разделяет рабочую полосу частот на отдельные поднесущие, таким образом базовая станция, может выбирать для каждого соединения свой набор составляющих, для которых будет предоставляться должное качество радиоканала, с необходимыми для этого скоростями передачи. Ортогональное частотное разделение каналов, дает возможность с наибольшей эффективностью использовать частотный спектр, в отличии, например, от того же 3G, где все пользователи работают в одном широком канале, создавая этим друг другу помехи. Кроме этого, обеспечивается высокая спектральная эффективность, что дает возможность намного эффективнее справляться с межсимвольными искажениями сигналов, увеличивая, тем самым, скорость работы сети [10]. Еще одной технологией, обеспечивающей такие высокие скорости в сети LTE, является MIMO (Multiple Input Multiple Output). По сути, это технология передачи данных, в которой применяется несколько антенн на прием и передачу сигнала. Вместо одной радиоточки, получают несколько, которые между собой относительно независимы. Это позволяет повысить либо скорость соединения, либо помехоустойчивость, передавая через разные

антенны одну и ту же информацию, позволяя, тем самым, однозначно восстановить исходную последовательность отправленных данных. При построении сети по принципу MIMO, приемные и передающие антенны разносятся на такую дистанцию, при которой достигается наименьшая корреляции между соседними антеннами.

2.2 Расчет пропускной способности нисходящего канала LTE (Release 8)

Говоря о тех скоростях, которые может обеспечить технология LTE в нисходящем и восходящем каналах (от базовой станции к мобильному устройству и обратно), необходимо учитывать несколько важных параметров. Таких как: режим дуплексирования каналов, полосу частот, вид модуляции поднесущих, метод помехоустойчивого кодирования данных, применение технологии MIMO, затраты ресурсов на управление, длительность циклических префиксов и прочее. Рассмотрим влияние каждого из этих параметров на скорость передачи данных в нисходящем канале LTE в отдельности [6].

2.2.1 Применение OFDMA и SC-FDMA

Использование новых методов множественного доступа – OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) в нисходящем канале и SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) в восходящем канале стало принципиально новым решением для радиоинтерфейса LTE.

Важно отметить, что весь имеющийся спектр разделяется на ортогональные поднесущие по 15 кГц (в нисходящем канале), в свою очередь каждая поднесущая модулируется определенным видом модуляции (от QPSK до QAM64). Минимальная полоса, выделяемая для одного абонента составляет 12-поднесущих. Очевидно, что использование многопозиционных методов модуляции требует каналов с высоким уровнем отношения сигнал/шум, ухудшение же радиоусловий приведет к понижению порядка модуляции, а, следовательно, и скорости передачи данных. Таким образом, при плохих радиоусловиях максимальные скорости передачи данных в нисходящем канале можно смело разделить на 3 (при QPSK одновременно передаются 2 бита информации, при QAM64 – 6 бит). Кроме порядка модуляции так же необходимо принимать во внимание и схему помехоустойчивого кодирования. Так, кодирование со скоростью ½ снижает скорости передачи данных в 2 раза [6].

2.2.2 Расчет с использованием масштабируемости

Важной особенностью сетей LTE считается масштабируемость занимаемого ими частотного спектра от 1.4 МГц до 20 МГц (диапазон частот - 1.4, 3, 5, 10, 15 и 20 МГц), она приводит к быстрому внедрению технологии в условиях ограниченности радиоресурсов. В зависимости от ширины полосы меняются скорости передачи данных, чем больше ширина полосы, тем больше скорость.

Ниже в таблице 1 показано соотношение между шириной полосы, количеством поднесущих и ресурсных блоков (ресурсный блок – это 12 поднесущих в частотной области и один тайм-слот или 7 OFDM-символов во временной области).

Таблица 2.1 – Соотношение между шириной полосы частот и количеством ресурсных блоков

Полоса частот, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Количество поднесущих	72	180	300	600	900	1200
Количество ресурсных блоков	6	15	25	50	75	100

Поднесущие по краям спектра, как правило, используются в качестве защитных интервалов.

2.2.3 Расчет с использованием различных комплектаций MIMO

Немаловажным фактором при оценке скоростных возможностей LTE является использование технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output). Технология MIMO применяется в нескольких случаях – в первом случае для того, чтобы увеличить абонентскую емкость, при этом с разных антенн передается различная информация, во втором случае для улучшения покрытия. В последнем случае с нескольких антенн передается одна и та же информация, это позволяет абонентскому устройству комбинировать сигнал с разных антенн, улучшая его качество. Как правило, для того, чтобы увеличить абонентскую емкость, операторы используют первую опцию технологии MIMO. В данном случае применение MIMO 2x2 (N_{MIMO}=2– порядок MIMO) ведет к увеличению скорости передачи данных в нисходящем канале в два раза. Однако реализация такой схемы требует дополнительных частотно-временных ресурсов для передачи опорных пилот – сигналов антенн.

2.2.4 Расчет на основе каналов управления

Информация, передаваемая на радиоинтерфейсе, разделяется на служебную информацию, что транслируется по разным каналам управления, и на пользовательские данные канала PDSCH (Physical Downlink Shared Channel).

Радиоинтерфейс LTE поддерживает равно как частотное, так и временное дуплексирование восходящего и нисходящего каналов (FDD и TDD), что и дает возможность разворачивать сети, в том числе и при отсутствии спаренных диапазонов. Операторы, запустившие LTE, в большинстве своем имеют спаренные полосы частот, в таком случае в рамках данной статьи рассмотрим особенности именно FDD режима, его структуру кадра и соотношение между пользовательскими и служебными ресурсами.

FDD-кадр LTE состоит из десяти субкадров по 1 мс (N_{SFR}=10). Все субкадры состоят из 2-х слотов, внутри которых исходя из времени распространения (радиуса соты) может быть либо 6 либо 7 OFDM-символов или же ресурсных элементов. На рис.3 показан вариант с малым временем распространения (кратким циклическим префиксом, занимающим 1 OFDM-символ) и соответственно 7 символов в слоте [4].

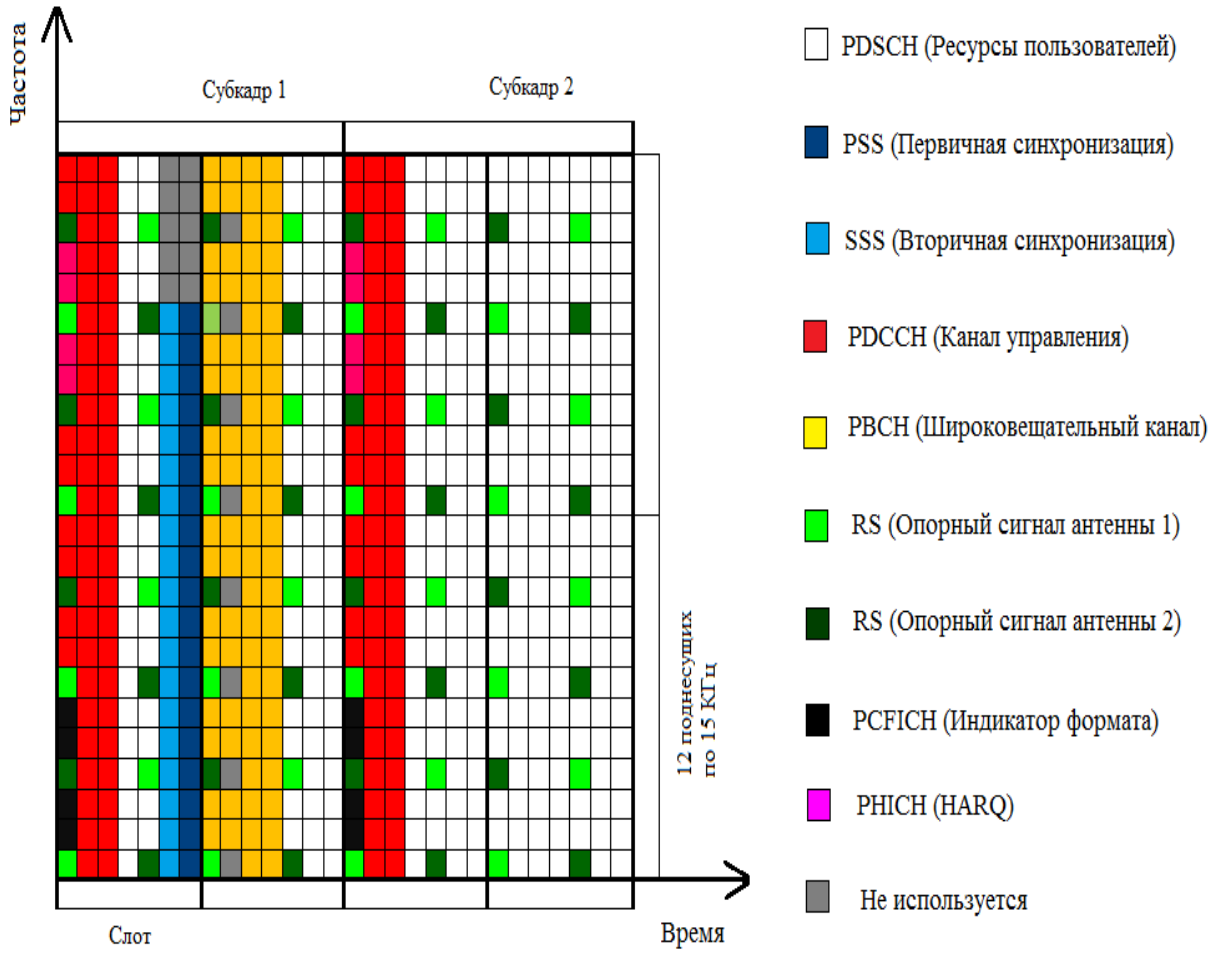

Рисунок 2.1 – Структура кадра LTE в режиме FDD. Физические каналы LTE

С целью синхронизации абонентов с сетью в первоначальных субкадрах всех кадров по каналам первичной и вторичной синхронизации (PSS и SSS) передаются особые очередности. Они захватывают 72 поднесущих (с учетом неприменяемых ресурсных компонентов по краям диапазона) – 72 OFDM-символа.

В таблице 2.2 приводится описание физических каналов управления, с указанием размера затрачиваемых на них частотно-временных ресурсов. N_{RB}– количество ресурсных блоков (смотреть таблицу 2.1).

Таблица 2.2 – Назначение основных каналов управления и объем затрачиваемых на них ресурсов

Каналы управления в нисходящем направлении	Функции	Объем затрачиваемых частотно-временных ресурсов, РЭ/кадр (ресурсный элемент)
PSS – Primary Synchronization Channel	Определяет физический идентификатор соты	72
SSS – Primary Synchronization Channel	Определяет номер группы идентификатора соты	72
PBCH – Physical Broadcast Channel	Данный канал служит для передачи информации о номере кадра, ширине занимаемой полосы, и конфигурации PHICH	72·4=288
PDCCH – Physical Downlink Control Channel	Данный канал является основным каналом служебной информации. По нему передается большая часть системной информации, данные о распределении ресурсов нисходящего и восходящего каналов между абонентами и т.д.	От $N_{SFR}\cdot N_{RB}\cdot 12$ (min)-N_{PCFICH}-N_{PHICH} до ($N_{SFR}\cdot N_{RB}\cdot 12\cdot 3$ (max))-N_{PCFICH}-N_{PHICH}
RS – Reference Signal	Пилот сигнал. При использовании MIMO каждая антенна передает свои пилот-сигналы	$N_{SFR}\cdot N_{RB}\cdot 4\cdot$NMIMO

Продолжение таблицы 2.2

Каналы управления в нисходящем направлении	Функции	Объем затрачиваемых частотно-временных ресурсов, РЭ/кадр (ресурсный элемент)
PCFICH – Physical Control Format Indicator Channel	Данный канал показывает, сколько OFDM-символов занимает PDCCH (от 1 до 3)	12
PHICH – Physical HARQ Indicator Channel	Передает информацию HARQ	12

Имея понятие об объеме частотно – временных ресурсах, занимаемых служебными каналами, определим, какие в действительности скорости операторы имеют возможность дать собственным абонентам.

2.2.5 Суммарный расчет пропускной способности нисходящего канала

Исходные данные:
Режим дуплексирования: FDD-режим;
Полоса частот: 20 МГц;
Модуляция: QAM 64;
MIMO: 4x4.

$$\vartheta_{DL} = \left(N_{OFDM} - N_{\text{к.уп}} - N_{\text{ц.пр}}\right) \cdot N_{\text{бит}} \cdot D_{\text{п.код}}, \quad (2.1)$$

где N_{OFDM} – число OFDM символов в кадре;

$N_{\text{к.уп}}$ – число символов на каналы управления;

$N_{\text{ц.пр}}$ – число символов на циклический префикс;

$N_{\text{бит}}$ – число бит в символе для QAM 64 = 6 бит;

$D_{\text{п.код}}$ – влияние помехоустойчивого кодирования ½ часть выражения $\left(N_{OFDM} - N_{\text{к.уп}} - N_{\text{ц.пр}}\right) \cdot N_{\text{бит}}$

Для расчета теоретически возможных скоростей передачи данных в нисходящем канале (downlink), сначала высчитываем, число ресурсных элементов (или OFDM-символов) передаваемых в миллисекундном кадре в зависимости от имеющейся полосы частот. В том случае, если время распространения невелико (используется короткий циклический префикс), тогда в одном субкадре на одной поднесущей передается 14OFDM-символов.

Итак, число OFDM-символов в кадре будет вычисляться следующим образом:

$$N_{OFDM} = 10 \cdot 14 \cdot 12 \cdot N_{RB}, \quad (2.2)$$

где 10 – число субкадров в кадре;
14 – число OFDM-символов на одной поднесущей;
12 – число поднесущих в ресурсном блоке;
N_{RB} – число ресурсных блоков (смотреть таблицу 2.1).

$$N_{OFDM} = 10 \cdot 14 \cdot 12 \cdot 100 = 168000.$$

Затем вычисляем число символов, выделенных под каналы управления (смотреть таблицу 2.2).

$$N_{\text{к.уп}} = N_{PSS} + N_{SSS} + N_{PBCH} + N_{PDCCH} + N_{PCFICH} + N_{PHICH} + N_{RS}, \quad (2.3)$$

где N_{PSS} (Primary Synchronization Channel) = 72;
N_{SSS} (Primary Synchronization Channel) = 72;
N_{PBCH} (Physical Broadcast Channel) = 288;
N_{PCFICH} (Physical Control Format Indicator Channel) = 12;
N_{PHICH} (Physical HARQ Indicator Channel) = 12;
N_{PDCCH} (Physical Downlink Control Channel):

$$N_{PDCCH} = (N_{SFR} \cdot N_{RB} \cdot 12 \cdot 3) - N_{PCFICH} - N_{PHICH}, \quad (2.4)$$

$$N_{PDCCH} = (10 \cdot 100 \cdot 12 \cdot 3) - 12 - 12 = 35976.$$

N_{RS}(Reference Signal):

$$N_{RS} = N_{SFR} \cdot N_{RB} \cdot 4 \cdot N_{MIMO}, \quad (2.5)$$

$$N_{RS} = 10 \cdot 100 \cdot 4 \cdot 4 = 16000,$$

$$N_{\text{к.уп}} = 72 + 72 + 288 + 35976 + 12 + 12 + 16000 = 52432.$$

Итого мы имеем 168000 OFDM-символов, 5243 из которых, что составляет 31% частотно – временного ресурса от общего числа символов, заняты служебными каналами (смотреть таблицу 2.2). Если не брать в расчет технологию MIMO с разнесением антенн 4x4, число OFDM-символов занятых служебными каналами составит 40432 символа из 168000 (смотреть таблицу 2.2), что составляет 24% частотно – временного ресурса.

На рисунке 2.2 приводятся зависимости затрат ресурсов на служебные каналы от ширины диапазона частот.

Сравнив полученные данные с допустимыми нормами, приведенными в графике, выяснилось, что наши 24% частотно – временного ресурса, удовлетворяют условию не превышению затрат ресурсов на управление более чем на 25,1% (при использовании ширины диапазона частот 20 МГц).

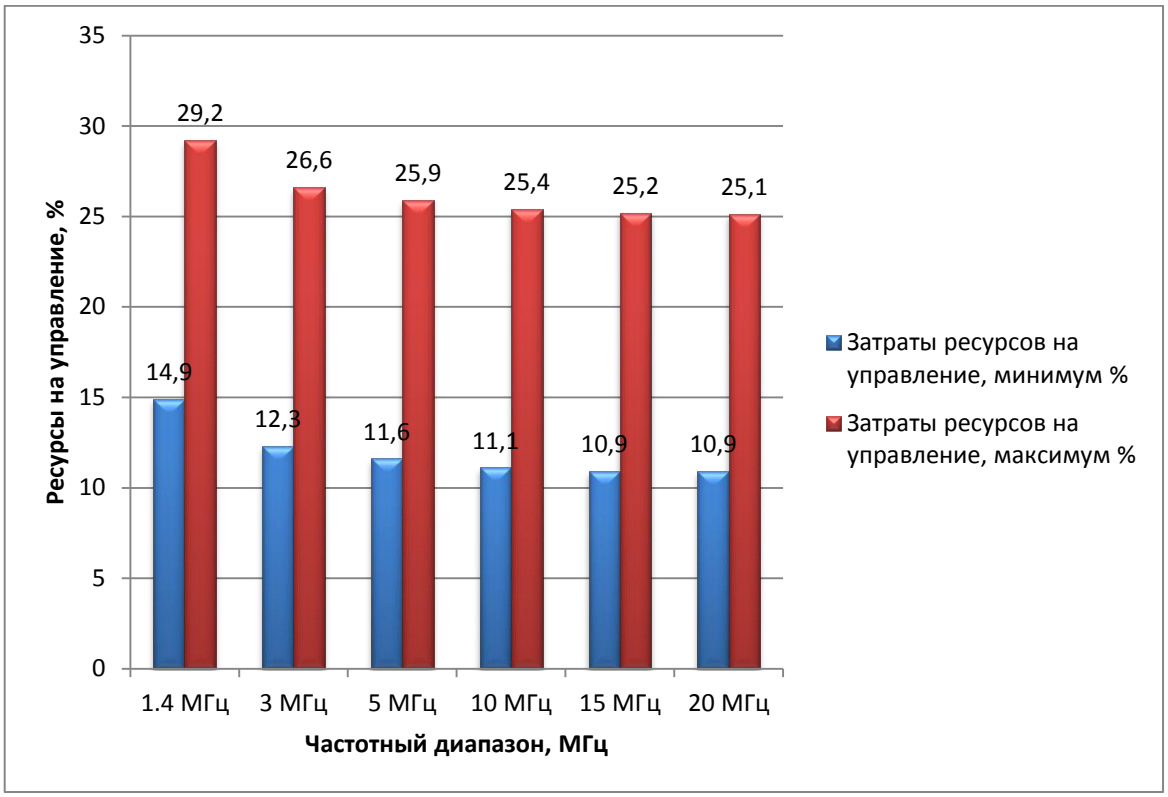

Рисунок 2.2 – Затраты частотно-временных ресурсов нисходящего канала LTE на передачу информации каналов управления (без MIMO)

Далее – определим число символов на циклический префикс, данный префикс не несет в себе полезной информации (смотреть рисунок 2.1).

$$N_{\text{ц.пр}} = \left(N_{OFDM} - N_{\text{к.уп}}\right) : 14, \tag{2.6}$$

$$N_{\text{ц.пр}} = (168000 - 52432) : 14 = 8255,$$

$$\vartheta_{DL} = (168000 - 52432 - 8255) \cdot 6 \cdot 0{,}5 = 322 \text{ Мбит}/c.$$

Эти особенности являются самыми необходимыми при оценке скорости. Сделав данные расчеты, можно получить скорости передачи данных в нисходящем канале (downlink), показанные ниже в таблицах 3 и 4.

Таблица 2.3 – Скорости передачи данных в нисходящем канале LTE при низкой нагрузке на сеть [5]

Схема модуляции и кодирования	1,4 МГц	3 МГц	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц
QPSK 1/2	0,8	2,1	3,5	6,9	10,4	13,9
QPSK 3/4	1,2	3,1	5,2	10,4	15,6	20,9
QPSK	1,6	4,1	7,0	13,9	20,8	27,8
QAM16 1/2	1,6	4,1	7,0	13,9	20,8	27,8
QAM16 3/4	2,6	6,2	10,5	20,8	31,3	41,7
QAM16	3,2	8,2	13,9	27,7	41,7	55,6
QAM64 3/4	3,6	9,2	15,7	28,7	46,9	62,6
QAM64	4,8	12,3	20,1	41,6	62,5	83,4
QAM 64 MIMO 2x2	9,2	23,7	39,7	79,9	120,2	160,4

Таблица 2.4 – Скорости передачи данных в нисходящем канале LTE при высокой нагрузке на сеть [5]

Схема модуляции и кодирования	1,4 МГц	3 МГц	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц
QPSK 1/2	0,7	1,7	2,9	5,8	8,7	11,7
QPSK 3/4	1,0	2,6	4,3	8,7	13,1	17,5
QPSK	1,3	3,4	5,8	11,6	17,5	23,4
QAM16	1,3	3,4	5,8	11,6	17,5	23,4
QAM16 3/4	1,8	5,2	8,7	17,5	26,2	35,0
QAM16	2,7	6,7	11,6	23,3	35,0	46,7
QAM64 3/4	3,0	7,7	13,0	26,2	39,4	52,6
QAM64	4,0	10,3	17,3	34,9	52,5	70,1
QAM 64 MIMO 2x2	7,6	19,6	33,1	66,6	100,1	133,7

Вывод по теоретическому расчету: Первая часть дипломного проекта была посвящена расчету пропускной способности нисходящего канала стандарта LTE (Release 8). В ходе расчета было оценено влияние различных параметров канала связи на пропускную способность канала в целом. Согласно выше приведенным расчетам максимальная пропускная способность канала равна 322 Мбит/с (теоретический расчет по Release 8 326,4 Мбит/с). На практике получение такой скорости маловероятно, так как происходит преломление сигнала, за счет вышеописанных факторов.

3 Выбор оборудования

3.1 Критерии выбора оборудования

На сегодняшний день рынок оборудований предназначенных для развертывания сетей LTE очень разнообразен. Фирмы, предоставляющие оборудование для технологии LTE:

- Ericsson;
- Alcatel-Lucent;
- Nokia Siemens Networks;
- Fujitsu;
- Huawei Technologies;
- Motorola;
- Cisco Systems

При выборе высокотехнологического оборудования для организации сети LTE нужно руководствоваться такими критериями как: цена; качество; гарантийные обязательства; функциональность оборудования и возможности по ее расширению; возможность интеграции в существующие сети; диапазон частот и тому подобное.

Таблица 3.1 – Анализ оборудования базовой станции различных производителей [16]

Коммутационное оборудование транспортной сети LTE	Производитель	
	«Huawei Technologies»	«Cisco Systems»
1.Коммутационное оборудование сети радиодоступа E – UTRAN	«RRU 3908»:обеспечивает связь интерфейса CPRIc BBU 3900;выходная мощность 900 МГц (GMSK/8PSK) тип антенны Kathrein 730691, коэффициент усиления 17 дБи; мощность 34,05 Вт; протоколы передачи – OSPF, RIPv2, EIGPR, BGP,AISG1.1	«ME 3600 CX24C» : универсальный, имеет возможность подключить до 3 Node-B; протоколы передачи – OSPF, RIPv2, EIGPR, BGP; срок безотказной работы – семь лет; протокол управления – SNMP; IPмаршрутизация
2.Коммутационное оборудование сети интеллектуальной агрегации	Оптический сервисный маршрутизатор «BBU 3900»: поддерживает 72 приемопередатчика; Abis поверх IP; адаптируемость – GSMи UMTSмогут использовать BBU 3900; система может работать непрерывно семь дней; поддержка Flex Abis; высокая производительность	Оптический сервисный маршрутизатор «7603 OSR»: производительность до 240 Гбит/с; GBASE – LX портов – 48; 10GBASE – ER портов – 4; высокая цена; масштабируемость; протоколы передачи данных – OSPF, RIPv2, BGP; срок безотказной работы семь лет; протокол управления – SNMP.

Продолжение таблицы 3.1

Коммутационное оборудование транспортной сети LTE	Производитель	
	«Huawei Technologies»	«Cisco Systems»
3.Оборудования для реализации EPCLTE, управление услугами	Мультисервисная оптическая платформа «BTS 3900»:поддерживает эволюцию от GERAN к LTE; высокая производительность; высокая мощность передачи – 60 Вт для частотного диапазона R или 80 Вт для частотного диапазона E; предоставляемые услуги: GSM-R, eLTE; система может работать непрерывно семь дней	Мультисервисная оптическая платформа «ASR 5000»: производительность до 320 Гбит/с; интерфейсы GE и 10GE; высокая цена; масштабируемость; протоколы передачи данных – OSPF, RIPv2, EIGRP, BGP; срок безотказной работы семь лет; протокол управления – SNMP; IP маршрутизация

3.2 Выбор оборудования базовой станции

Базовая станция компании «Huawei Technologies» модели «DBS3900» гарантирует быстрое развертывание и простоту структуры сети. В DBS3900 затраты на запасные части и обслуживание сводятся к минимуму, так как в данной модели имеется только два типа основных функциональных модулей (BBU и RRU). DBS3900 имеет высокую приспособляемость к условиям окружающей среды, поэтому основные функциональные модули достаточно легко адаптируются к условиям площадки, для достижения более эффективного развертывания сети. Другими словами отсутствуют дополнительные затраты на строительство помещения для размещения оборудования.

Удаленный радио-модуль предоставляет следующие преимущества:

- значительно уменьшается длина питающей линии и затраты на подводящие линии, потому как радиочастотный модуль DBS3900 может монтироваться на башне;

- благодаря сокращению потерь на питающих линиях увеличивается коэффициент усиления мощности от трех до пяти дБ и увеличивается радиус покрытия более чем на 20 %;

- технология удаленного радио-модуля позволяет DBS3900 поддерживать распределенную установку радио-модулей, что приводит к значительному повышению гибкости при проектировании сети с покрытием

вдоль железнодорожных путей.

В целом DBS, как и соединенные с ней BBU и все RRU, практически представляют из себя одну соту. Одно из главных преимуществ данной схемы заключается в том, что снижается число хендоверов между сотами. В отличие от репитеров, каждый RRU может производить радиосигналы и управлять ими независимо, пассивные помехи в промежуточных узлах не скапливаются, и DBS может управляться целиком (BBU и все RRU) единым интерфейсом обслуживания.

Метод избыточного покрытия с использованием одной частоты дает возможность двум BTS, работающим в активном и резервном режимах, покрывать одну и ту же зону. В активном режиме работает только одна из BTS. Обе BTS используют одни и те же частоты. При нормальных условиях «активная» BTS работает в штатном режиме, в то время как «резервная» BTS работает, но не передает мощность. Если BTS работающая в «активном» режиме выходит из строя, BSC запускает переключение с BTS работающей в «активном» режиме на BTS работающую в «резервном» режиме. В результате чего, ранее «активная» BTS становиться «резервной», а «резервная» наоборот становиться «активной». Преимущество данного метода в том, что применение избыточного покрытия не требует использования дополнительных частот, что приводит к повышению эксплуатационной готовности сети и обеспечению непрерывного функционирования сети даже в случае выхода из строя одной из BTS.

Рисунок 3.1 – Приемопередатчик «RRU3908»

RRU соединяются с «активным» и «резервным» BBU. То есть каждый RRU подключен к двум BBU. Но при этом, RRU обменивается данными только с «активным» BBU. Благодаря функции избыточности BBU, RRU поддерживает автоматическое переключение CPRI-портов при отказе BBU. В случае отказа «активного» BBU, BSC производит переключение с «активных» на «резервные» BBU; последние становятся «активными». RRU же в свою очередь запускают переключения CPRI-порта. После переключения CPRI-порта, RRU обмениваются данными с новыми «активными» BBU.

Потребление энергии DBS3900 сведено к минимуму, благодаря усовершенствованной конструкции аппаратной части и комплексу функций энергосбережения программного обеспечения, таких как управление PA. А так же, работа радиочастотного модуля без использования вентиляторов, благодаря конструкции естественной отдачи тепла, еще больше снижает потребление энергии, исключая шум и отказы, связанные с вентиляторами. Благодаря вышеописанным факторам операторами могут быть созданы экологичные сети.

Максимальная пропускная способность одной соты (20 МГц):

- пропускная способность нисходящего канала на уровне управления доступом к среде (MAC) составляет 150 Мбит/с (2x2 MIMO);
- пропускная способность восходящего канала на уровне MAC составляет 70 Мбит/с (2x2 MU-MIMO или 2x4 MU-MIMO).

Пропускная способность восходящего и нисходящего канала на уровне MAC равна 1500 Мбит/с.

Максимальное количество UE в режиме RRC_CONNECTED на Node-B:

- на 1,4 МГц – 3024 UE;
- на 3 МГц – 6480 UE;
- на 5 МГц/10 МГц/15 МГц/20 МГц – до 10800 UE.

Максимальное количество одновременных радионесущих частот для передачи пользовательских данных (DRB) на UE –8.

Характеристики BBU3900:

- на плате UMPT – один электрический порт FE/GE, один оптический порт FE/GE;
- входная мощность 48 В DC (диапазон напряжений: от минус 38,4 до минус 57 В DC);
- размеры (высота x ширина x глубина) – 86x442x310 мм;
- вес составляет 12 кг при полной конфигурации;
- рабочая температура от -20 °C до плюс +50 °C при длительной эксплуатации и от +50 до +55 °C при кратковременной эксплуатации;
- относительная влажность от 5 до 95 %;
- класс защиты от внешних воздействий (IP) - IP20;
- атмосферное давление от 70 до 106 кПа.

Характеристики удаленного радиоблока RRU:

- входная мощность -48 В DC; диапазон напряжения от -57 до -36 В DC;
- температура эксплуатации от -40 до +50 °C (с учетом солнечного

излучения 1120 Вт/м^2), от -40 до +55 °С (без учета солнечного излучения);

- относительная влажность от 5 до 100%;
- атмосферное давление от 70 до 106 кПа;
- класс защиты от внешних воздействий (IP) – IP65.

В состав оборудования базовой станции сети подвижной связи стандарта LTE входят:

- три антенны 80010674 («Kathrein» Германия);
- базовый блок BBU 3900 LTE («Huawei Technologies Co., Ltd», Китай);
- три радиомодуля RRU 3268 (2600) («Huawei Technologies Co., Ltd», Китай);
- панель распределения питания DCDU-03 («Huawei Technologies Co., Ltd», Китай);
- три радиомодуля RRU 3268 (800) («Huawei Technologies Co., Ltd», Китай).

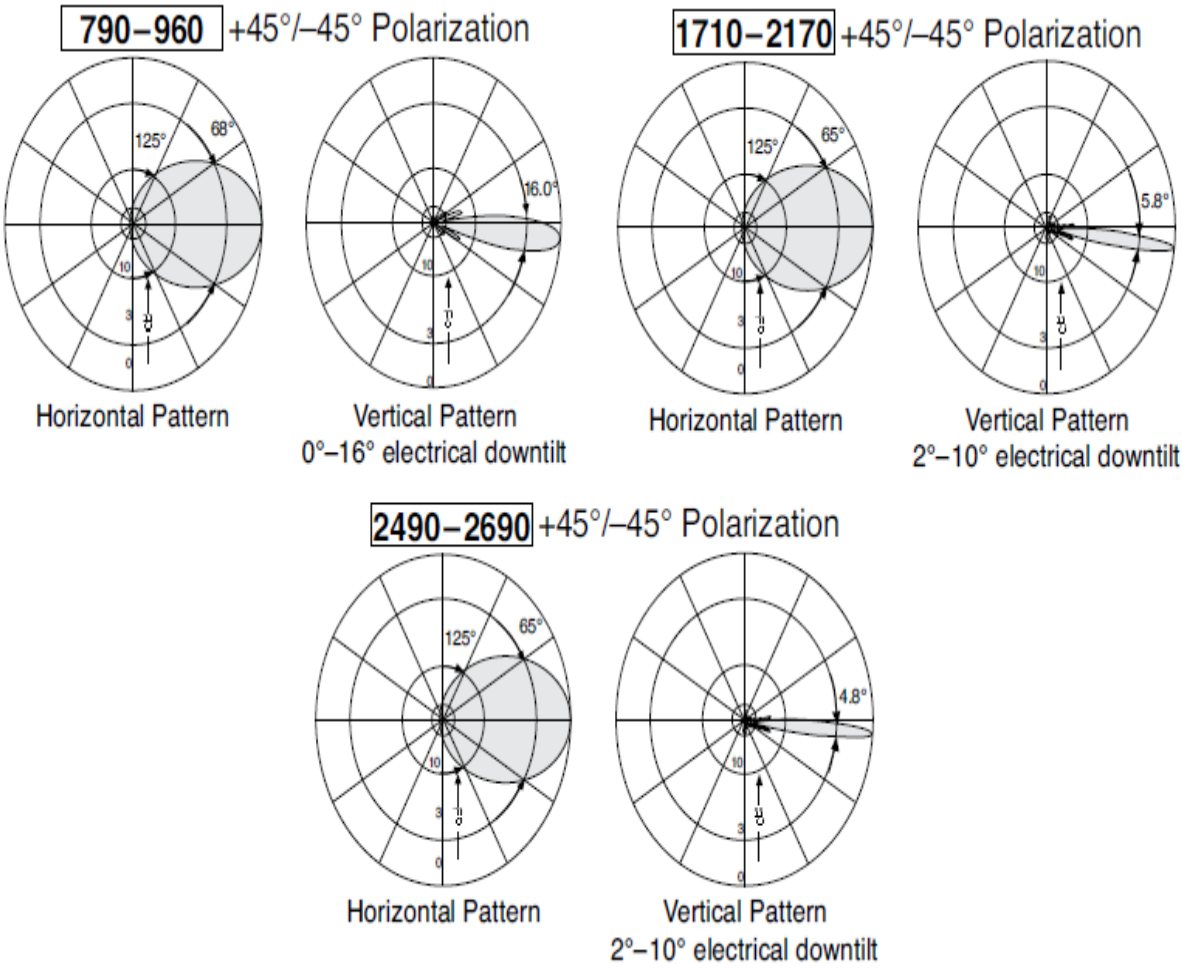

Рисунок 3.2 - Диаграммы направленности антенны 80010674 «Kathrein»

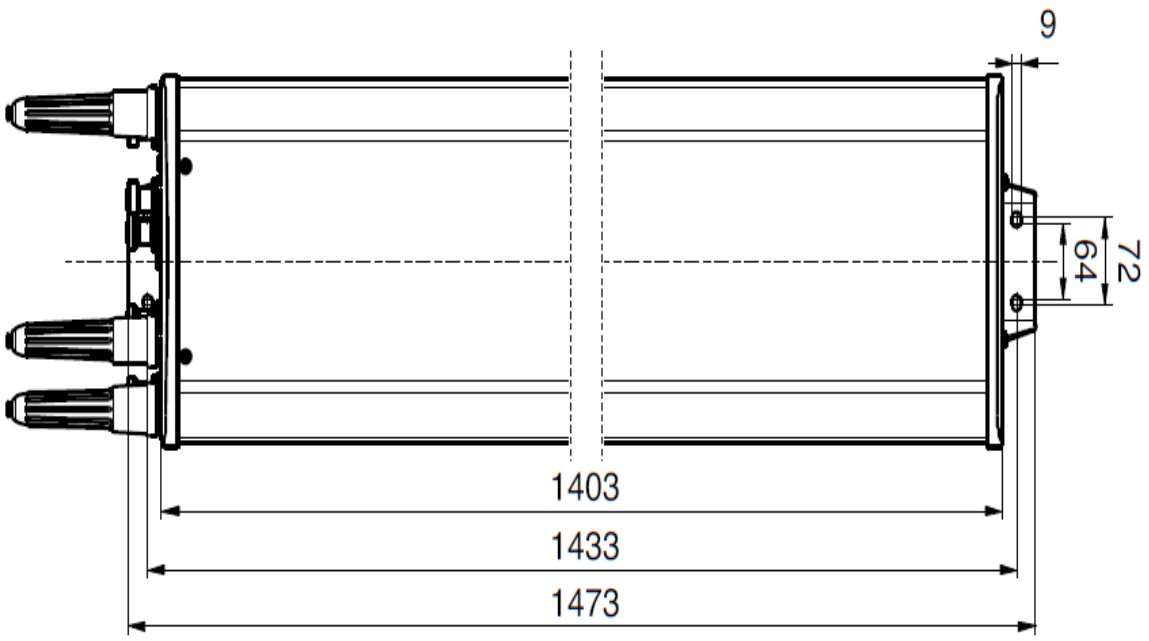

Рисунок 3.3 – Габариты антенны 80010674 «Kathrein»

BBU3900 – это блок, устанавливаемый внутри помещений, предназначенный для обработки базовых частот, он обеспечивает централизованное управление эксплуатацией и обслуживанием, а также обработку сигнализации всей системы базовой станции и обеспечивает опорный сигнал синхронизации. А также блок BBU3900 имеет физические интерфейсы предназначенные для соединения с BSC и RRU3004. BBU3900 устанавливают в статив высотой – 2 U, шириной – 47,5 см. Он может быть установлен в статив 19 “, либо вмонтирован на стене.

Рисунок 3.4 – Оптический сервисный маршрутизатор «BBU3900»

В блок BBU3900 устанавливаются дополнительные платы, которые служат для обеспечения мониторинга окружающих условий, мониторинга интерфейса Abis и сигналов синхронизации GPRS. BBU3900 – это компактное оборудование, простое при установке, потребляющее малый объём мощности и обеспечивающий полный спектр услуг широкополосного беспроводного доступа.

Ёмкость:

- BBU3900 поддерживает 72 приёмопередатчика;
- Abis поверх IP.

Возможности организации сети:

- E1/T1, оптический FE, поддержка радиорелейной и спутниковой передачи.
- поддержка топологий: звезда, дерево, цепь, кольцо и смешанных топологий, поддержка Flex Abis;
- GSM и UMTS могут использовать BBU3900;
- оптимизирована передача с использованием интерфейса Abis;
- поддержка обнаружения и восстановления свободных пакетов BTS и BSC.

Синхронизация:

- при работе системы синхронизации в режиме только внутренней колебаний, система может работать непрерывно в течение 7 дней;
- поддержка различных режимов синхронизации: поддержка синхронизации с сигналом синхронизации выделенного из интерфейса Abis, поддержка синхронизации с системой GPS, синхронизация с внешним источником 2 МГц BITS.

BBU3900 характеризуется высокой адаптируемостью к условиям окружающей среды:

- диапазон рабочих температур: от -20 до +55 ºC;
- BBU может работать при широком диапазоне рабочих напряжений: от -38.4 до -57 V DC (номинальное напряжение -48 V DC);
- используемый блок питания преобразует 220 V AC в -48 V DC для работы BBU.

RRU3268 – выносной радиочастотный блок. Обеспечивает обработку сигналов основных частот и радиочастотных сигналов. Один RRU 3268 выполняет функцию двух приёмопередатчиков. Если два модуля RRU 3268 установлены в подстативе RRU3268, они выполняют функцию четырёх приемопередатчиков.

Один модуль RRU3268 обеспечивает два приёмопередатчика. Два модуля RRU3268 установленные в подстативе RRU3268, выполняют функцию четырёх приемопередатчиков.

RRU3268 имеет небольшой вес и характеризуется простотой установки. Подстатив RRU3268 можно установить на стальной мачте, стене или бетонном основании.

RRU – это оборудование, которое может работать при разных условиях окружающей среды. Модуль характеризуется адаптируемостью к условиям окружающей среды:

- RRU имеет закрытый интегрированный дизайн, по водонепроницаемости отвечает стандарту (IP65), меры защиты от воздействия влаги, плесени и соляного тумана соответствуют спецификациям класса 1;
- диапазон рабочих температур RRU: от -40 до +50 ºC;
- RRU может работать при широком диапазоне рабочих напряжений: от -36 до -57 V DC (номинальное напряжение -48 V DC);
- используемый блок питания преобразует 220 V AC в -48 V DC для работы RRU.

4 Расчетная часть

Задачами дипломного проектирования явилось: расчет необходимого оборудования исходя из пропускной способности сети и расчет радиопокрытия, исходя из радиуса действия базовой станции. Первая часть была выполнена исходя из числа потенциальных абонентов. Вторая часть исходя из площади радиопокрытия.

4.1 Краткие сведения о станции Чемолган

Станция Чемолган входит в Карасайский район расположенный в юго-западной части Алматинской области. Станция Чемолган с населением – 17341 человек является центром Новошамалганского сельского округа. Помимо станции Чемолган в сельском округе есть еще четыре населенных пункта. Это – Колащы, Турар, Куркудук, Жынгылды. В населенных пунктах округа насчитывается двадцать один представитель различных национальностей.

Во всем округе имеются пять среднеобразовательных школ, две из которых расположены на станции Чемолган. Это школы имени Ыбрая Алтынсарина с количеством учащихся – 1905 человек и Казахская средняя школа с количеством учащихся – 1478 человек.

Уровень жизни населения сельского округа расценивается как средний. Большая часть населения имеет стабильный заработок, достаточный для оплаты услуг внедряемого нами широкополосного беспроводного доступа. Среднемесячная заработная плата в округе на 2015 год составила – 95403 тенге. Основной род деятельности представителей округа, это сельское хозяйство, насчитывается около 675-и крестьянских хозяйств. Общая площадь сельского округа составляет – 18504,2 гектар, из них под крестьянское хозяйство выделено – 13001 гектар, под посевы – 6457 гектар, под поливные – 2042 гектар. На станции Чемолган действуют и оказывают свои услуги филиал центра обслуживания населения Карасайского района и нотариус.

4.2 Расчет пропускной способности сети. Расчет количества потенциальных абонентов

Пропускную способность, или емкость, сети оценивают, базируясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях.

Спектральная эффективность систем мобильной связи представляет собой показатель, вычисляемый как отношение скорости передачи данных на 1 Гц используемой полосы частот (бит/с/Гц). Спектральная эффективность является показателем эффективности использования частотного ресурса, а также характеризует скорость передачи информации в заданной полосе частот.

Спектральная эффективность может рассчитываться как отношение скорости передачи данных всех абонентов сети в определенной географической области (соте, зоне) на 1 Гц полосы частот (бит/с/Гц/сота), а также как отношение максимальной пропускной способности сети к ширине полосы одного частотного канала.

Средняя спектральная эффективность для сети LTE, ширина полосы частот которой равна 20 МГц, для частотного типа дуплекса FDD на основании 3GPP Release 8 для разных конфигураций MIMO, представлена в таблице.

Таблица 4.2 – Средняя спектральная эффективность для сети LTE

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)
UL	1×2 1×4	1,254 1,829
DL	2×2 4×2 4×4	2,93 3,43 4,48

Для системы FDD средняя пропускная способность 1 сектора Node-B может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность канала:

$$R = S \cdot W, \tag{4.1}$$

где S – средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц);

W – ширина канала (МГц); W = 10 МГц.

Для линии DL:

$$R_{DL} = 4{,}48 \cdot 10 = 44{,}8 \text{ Мбит/с}.$$

Для линии UL:

$$R_{UL} = 1{,}829 \cdot 10 = 18{,}29 \text{ Мбит/с}.$$

Средняя пропускная способность базовой станции $R_{Node\text{-}B}$ вычисляется путем умножения пропускной способности одного сектора на количество секторов базовой станции; число секторов Node-B примем равное 3, тогда:

$$R_{Node-B} = R_{DL/UL} \cdot 3. \tag{4.2}$$

Для линии DL:

$$R_{Node\text{-}B.DL} = 44{,}8 \cdot 3 = 134{,}4 \text{ Мбит/с}.$$

Для линии UL:

$$R_{Node\text{-}B.UL} = 18{,}29 \cdot 3 = 54{,}87 \text{ Мбит/с}.$$

Следующим этапом будет определение количества сот в планируемой сети LTE.

Для расчета числа сот в сети необходимо определить общее число каналов, выделяемых для развертывания проектируемой сети LTE. Общее число каналов $N_к$ рассчитывается по формуле:

$$N_k = \left[\frac{\Delta f_{\sum}}{\Delta f_к}\right], \tag{4.3}$$

где $\Delta f_{\sum}$ - полоса частот, выделенная для работы сети. Для расчетов был выбран 12 канал с диапазонами частот 698 МГц-716 МГц в линии «Вверх» и 728 МГц-746 МГц в линии «Вниз». Исходя из этого, разнос несущих приема и передачи для 12-го канала составит 30 МГц, что соответствует нашей полосе частот выделенной для работы сети $\Delta f_{\sum}$ =30 МГц (смотреть Приложение А);

$\Delta f_к$ – полоса частот одного радиоканала; под радиоканалом в сетях LTE определяется такое понятие как ресурсный блок РБ, который имеет ширину 180 кГц, $\Delta f_к$ = 180 кГц.

$$N_к = \frac{30000}{180} \approx 166 \text{ каналов}.$$

Далее определим число каналов $N_{к.сек}$, которое необходимо использовать для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты:

$$N_{к.сек} = \left[\frac{N_к}{(N_{кл} \cdot M_{сек})}\right], \tag{4.4}$$

где $N_к$ – общее число каналов;

$N_{кл}$ – размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов Node-B, примем равным 3;

$M_{сек}$ – количество секторов Node-B, принятое 3.

$$N_{\text{к.сек}} = \left[\frac{166}{(3 \cdot 3)}\right] \approx 18 \text{ каналов.}$$

Далее определим число каналов трафика в одном секторе одной соты $N_{кт.сек}$. Число каналов трафика рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{кт.сек}} = N_{\text{кт1}} \cdot N_{\text{к.сек}}, \tag{4.5}$$

где $N_{кт1}$ – число каналов трафика в одном радиоканале, определяемое стандартом радиодоступа (для OFDMA $N_{кт1}$ = 1...3); для сети LTE выберем $N_{кт1}$ = 3.

$$N_{\text{кт.сек}} = 3 \cdot 18 = 54 \text{ канала.}$$

В соответствии с моделью Эрланга, и требуемым качеством передачи представленной в виде графика на рисунке, определим допустимую нагрузку в секторе одной соты $A_{сек}$ при допустимом значении вероятности блокировки равной 3% и рассчитанным выше значении $N_{кт.сек}$. Определим, что $A_{сек}$ = 44 Эрл.

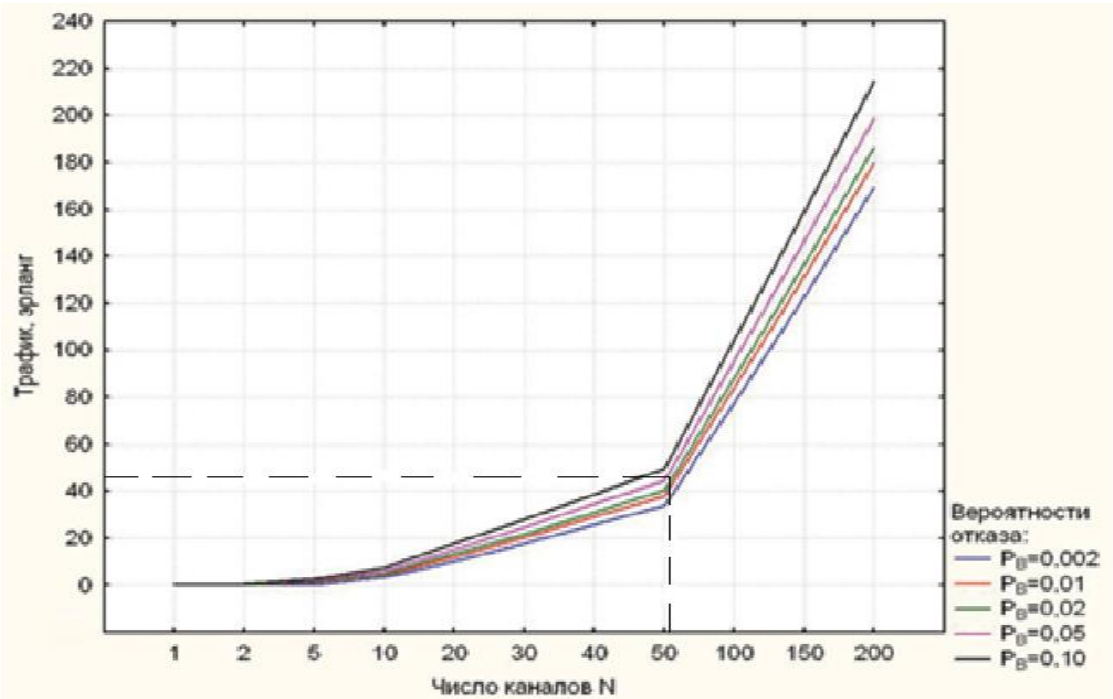

Рисунок 4.2 – Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки

Число абонентов, которое будет обслуживаться одной Node-B, определяется по формуле:

$$N_{\text{аб}.Node-B} = M_{\text{сек}} \cdot \left[\frac{A_{\text{сек}}}{A_1}\right], \quad (4.6)$$

где A_1 – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение A_1 может составлять (0,04...0,2) Эрл. A_1 примем равным 0,04 Эрл. Таким образом:

$$N_{\text{аб}.Node-B} = 3 \cdot \left[\frac{44}{0{,}04}\right] \approx 3300 \text{ абонентов.}$$

Число базовых станций Node-B в проектируемой сети LTE найдем по формуле:

$$N_{Node-B} = \left[\frac{N_{\text{аб}}}{N_{\text{аб}.eNB}}\right] + 1, \quad (4.7)$$

где $N_{аб}$ – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определим как примерно 1/3 от общего числа жителей. Общее число жителей станции Чемолган, Алматинской области составляет 17341 человек. Таким образом, количество потенциальных абонентов составит 5000 человек, тогда:

$$N_{Node-B} = \left[\frac{5000}{3300}\right] + 1 \approx 2 \text{ Node-B.}$$

4.3 Расчет зоны радиопокрытия для сети LTE на станции Чемолган

В процессе планирования радиосетей LTE имеется ряд отличий от процесса планирования других технологий беспроводного радиодоступа. Основное отличие – это использование нового типа многостанционного доступа на базе технологии OFDM, в связи с чем, появляются новые понятия и меняются алгоритмы проектирования.

Планирование радиосети LTE будет производиться в сельской местности, а это значит, что плотность абонентов будет невысока. При проектировании сети будем руководствоваться правилом, что чем ниже частота, тем дальше распространение радиосигнала. Выбранный нами диапазон частот 728 МГц - 746 МГц идеально подойдет для выполнения этой задачи. Тип дуплекса выбранного нами канала частотный – FDD.

4.4 Анализ радиопокрытия

Анализ радиопокрытия начнем с вычисления максимально допустимых потерь на линии (МДП). МДП рассчитывается как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью передатчика (ЭИИМ) и

минимально необходимой мощностью сигнала на входе приемника сопряженной стороны, при которой с учетом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике.

При расчетах будем использовать следующие параметры:

- системная полоса: 10 МГц; для FDD = 10/10 (DL/UL);
- Node-B – на каждом секторе один TRX, выходная мощность TRX = 32 Вт (45 дБм); работает на линии DL в режиме MIMO 2×2;
- UE – абонентский терминал – USB-модем, класс 4 – ЭИИМ 33 дБм;
- соотношение длительности кадров DL/UL: 100%/100%.

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

$$L_{\text{МДП}} = P_{\text{эиим.прд}} - S_{\text{ч.пр}} + G_{\text{А.пр}} - L_{\text{Ф.пр}} - M_{\text{прон}} - M_{\text{пом}} - M_{\text{затен}} + G_{\text{хо}}, \quad (4.8)$$

где $P_{эиим.прд}$ – эквивалентная излучаемая мощность передатчика;

$S_{ч.пр}$ – чувствительность приемника;

$G_{А.прд}$ - коэффициент усиления антенны передатчика, $G_{А.прд}$: DL = 18 дБи, UL = 0 дБи;

$L_{Ф.прд}$ – потери в фидерном тракте передатчика, $L_{Ф.прд}$: DL = 0,5 дБ;

$M_{прон}$ – запас на проникновение сигнала в помещение для сельской местности, $M_{прон}$ = 12 дБ;

$M_{пом}$ – запас на помехи. $M_{пом}$ определяется по результатам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах; значение $M_{пом}$ соответствует нагрузке в соседних сотах 70%.$M_{пом}$: DL = 6,3 дБ; UL = 2,9 дБ;

$G_{хо}$ – выигрыш от хэндовера. Значение выигрыша от хэндовера - результат того, что при возникновении глубоких замираний в обслуживаемой соте, абонентский терминал может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема. $G_{хо}$ = 1,7 дБ.

$P_{эиим.прд}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{эиим.прд}} = P_{\text{вых.прд}} + G_{\text{А.прд}} - L_{\text{ф.прд}}, \quad (4.8)$$

где $P_{вых.прд}$ - выходная мощность передатчика. $P_{вых.прд}$ в линии «вниз» (DL) в LTE зависит от ширины полосы частот сайта, которая может колебаться от 1,4 до 20 МГц. В пределах до 5 МГц рационально выбрать передатчикиTRX мощностью 20 Вт (43 дБм), а свыше 5 МГц – 32 Вт (45 дБм). $P_{вых.прд}$: DL = 45 дБм, UL = 33 дБм.

Для линии DL:

$$P_{эиим.прд} = 45 + 18 - 0,5 = 62,5 \text{ дБм}.$$

Для линии UL:

$$P_{эиим.прд} = 33 \text{ дБм.}$$

$S_{ч.пр}$ рассчитывается по формуле:

$$S_{ч.пр} = P_{тш.пр} + M_{осш.пр} + L_{пр}, \quad (4.9)$$

где $P_{тш.пр}$ - мощность теплового шума приемника, $P_{тш.пр}$: DL = -168,9дБм, UL = -102,6 дБм;

$M_{осш.пр}$ - требуемое отношение сигнал/шум приемника. Значение $M_{осш.пр}$ взято для модели канала «Enhanced Pedestrian A5». $M_{осш.пр}$: DL = -0,25 дБ; UL = 0,59 дБ;

$L_{пр}$ - коэффициент шума приемника, $L_{пр}$: DL = 8 дБ, UL = 2,8 дБ;

Для линии DL:

$$S_{ч.пр} = -168,9 + (-0,25) + 8 = -160,25 \text{ дБм.}$$

Для линии UL:

$$S_{ч.пр} = -102,6 + 0,59 + 2,8 = -99,21 \text{ дБм.}$$

С учетом полученных результатов по формулам, рассчитаем значение МДП:

Для линии DL:

$$L_{МДП} = 62,5 – (-160,25) – 12 – 6,3 – 8,7 – 1,7 = 194,05 \text{ дБ.}$$

Для линии UL:

$$L_{МДП} = 33 – (-99,21) + 18 – 0,5 – 12 – 2,9 – 8,7 + 1,7 = 127,81 \text{ дБ.}$$

Из двух значений МДП, полученных для линий DL и UL выбираем минимальное, чтобы вести последующие расчеты дальности связи и радиуса соты. Ограничивающей линией по дальности связи, как правило, является линия вверх.

Для расчета дальности связи воспользуемся эмпирической моделью распространения радиоволн Okumura – Hata. Данная модель является обобщением опытных фактов, в котором учтено много условий и видов сред. В модели Okumura – Hata предлагается следующее выражение для определения среднего затухания радиосигнала в городских условиях:

$$L_г = 69,5 + 26,16\, lg\, f_c - 13,82\, lg\, h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55\, lg\, h_t)\, lg\, d, \quad (4.10)$$

Для сельской местности выражение примет вид с поправкой:

$$L_{\text{с}} = L_{\text{г}} - 4{,}78(lg\, f_c)^2 + 17{,}33 \cdot lg\, f_c - 40{,}94, \qquad (4.11)$$

$$L_{\text{с}} = 127{,}81 - 4{,}78(lg\, 746)^2 + 17{,}33 \cdot lg\, 746 - 40{,}94,$$

$$L_{\text{с}} = 97{,}2.$$

где f_c – частота от 150 до 1500 МГц;

h_t – высота передающей антенны (подвеса Node-B);

h_r – высота принимающей антенны (антенны мобильного устройства) от 1 до 10 метров;

d– радиус соты от 1 до 20 км;

$A(h_r)$ – поправочный коэффициент для высоты антенны подвижного объекта, зависящий от типа местности.

Параметры для расчетов:

- f_c = 746 МГц;
- h_t = 17 метров;
- h_r = 1,5 метра.

Вычислим поправочный коэффициент $A(h_r)$ для сельской местности по следующей формуле:

$$A(h_r) = (1{,}1 \cdot lg\, f_c - 0{,}7) \cdot h_r - (1{,}56 \cdot lg\, f_c - 0{,}8), \qquad (4.12)$$

$$A(h_r) = (1{,}1 \cdot lg\, 746 - 0{,}7) \cdot 1{,}5 - (1{,}56 \cdot lg\, 746 - 0{,}8) = 0{,}01.$$

С учетом полученных результатов определим радиус соты d:

$$127{,}81 = 69{,}5 + 26{,}16\, lg746 - 13{,}82 lg17 - 0{,}01 + (44{,}9 - 6{,}55 lg17) \cdot \lg d$$

$$127{,}81 = 164{,}47 \cdot \lg d.$$

d = 5,98 км.

Вычислим площадь покрытия трехсекторного сайта $S_{Node\text{-B}}$ по следующей формуле:

$$S_{Node-B} = 9\frac{\sqrt{3}}{8} \cdot d^2, \qquad (4.13)$$

$$S_{Node-B} = 9\frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 5{,}98^2 = 68{,}7 \text{ км}^2.$$

Площадь территории станции Чемолган составляет 12 км^2. Расположение населенного пункта достаточно вытянуто, поэтому мы имеем

достаточно большое расхождение рассчитанной площади покрытия и имеющейся площади станции Чемолган.

4.5 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение Node-B на местности станция Чемолган, Алматинской области

Основным этапом проектирования сетей подвижной радиосвязи абонентского доступа является этап частотно-территориального планирования, в ходе которого выбирается структура сети, места размещения базовых станций, разрабатывается план распределения радиоканалов для базовых станций, выполняется адаптация планов к условиям территориальных и частотных ограничений планируемой зоны обслуживания.

В первую очередь, нужно составить ситуационный план размещения базовых станций Node-B на территории района планирования сети. Целью проектирования является полный радиоохват территории района. Главное в данном проекте – это обеспечение устойчивым радиосигналом густонаселенныq сельских район. Исходя их этого условия, а так же учитывая особенности рельефа местности, выполним размещение базовых станций.

Минимальное количество базовых станций Node-B, необходимых для обеспечения устойчивым радиосигналом на территории планирования составляет 1 штуку. Node-B имеет следующие характеристики:

- мощность передатчика – 32 Вт;
- высота подвеса антенны – 17 метров;
- число приемопередатчиков TRX – 3 (по одному на каждый сектор);
- системная полоса для одного сектора – 10 МГц (10 МГц для линии «вверх» и 10 МГц для линии «вниз»);
- линия «вниз» поддерживает технологию MIMO 4×2;
- пропускная способность: линия «вниз» - 134,4 Мбит/с, линия «вверх» - 54,87 Мбит/с.

Составим частотный план. Планируемой сети выделена полоса частот 728-746 МГц, ширина частотного спектра составляет 30 МГц. Каждому сектору Node-B нужно выделить 10 МГц. Таким образом, имеющаяся ширина спектра разделится на 3 части по 10 МГц, плюс защитные частотные полосы для избегания перекрытия сигналов разных секторов. После введения данной сети LTE в эксплуатацию, наступает этап оптимизации сети, в ходе которого может происходить корректирование выполненного планирования, а именно: увеличение пропускной способности сети, изменение высоты подвеса радиомодулей, понижение или повышение излучаемой мощности радиомодулей.

Передающее оборудование базовой станции устанавливается на опоре у здания «Казахтелеком» станции Чемолган.

Рисунок 4.5 – План проектируемой сети LTE на станции Чемолган

5 Безопасность жизнедеятельности

5.1 Анализ условия труда обслуживающего персонала

Главной целью данного дипломного проекта является проектирование широкополосного доступа на основе технологии LTE (Release 8) на станции Чемолган, Алматинской области.

Рабочее помещение имеет естественное освещение посредством одного бокового окна площадью $F = 3$ м^3. Рассчитаем общее равномерное освещение рабочего помещения со следующими параметрами: длина (А) =7 м., ширина (В) = 4м., высота (Н) = 2,8 м., высота рабочей поверхности $h_{раб} = 0{,}8$ м. Стены и потолок помещения белые, свежевыбеленные, пол светлый, окно не занавешено.

Рабочий коллектив состоит из четырех человек. Ведущий инженер, инженер по обслуживанию сети и два антеннщика-мачтовика работающих через день чередуясь согласно расписанию [20].

Работа персонала напрямую связана с компьютером и следовательно неизбежно воздействие целого ряда вредных факторов, которые негативно влияют как на здоровье так и на производительность труда рабочего персонала.

К таким факторам можно отнести:

1) неправильная освещенность;
2) нарушение микроклимата;
3) наличие напряжения.

Задачей данной главы дипломного проекта является организация максимально комфортных условий труда для рабочего персонала, и свести к минимуму влияние вредных факторов. Условия работы сотрудников во многом зависят от микроклимата в рабочем помещении. Ниже приведены оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха с учетом периода года и категории работ [15].

Холодный период года

- оптимальная температура 22-24 С˚, допустимая температура 18-26 С˚;
- относительная влажность 40-60 %, допустимая влажность 75%;
- скорость движение воздуха относительная и допустимая 0,1 м/с;

Тёплый период года

- оптимальная температура 23-25 С˚, допустимая температура 20-30 С˚;
- относительная влажность 40-60 %, допустимая влажность 55%;
- скорость движение воздуха относительная 0,1 м/с и допустимая 0,1-0,2 м/с.

Своевременное кондиционирование воздуха обеспечивает автоматическое поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течении всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание небольшого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха.

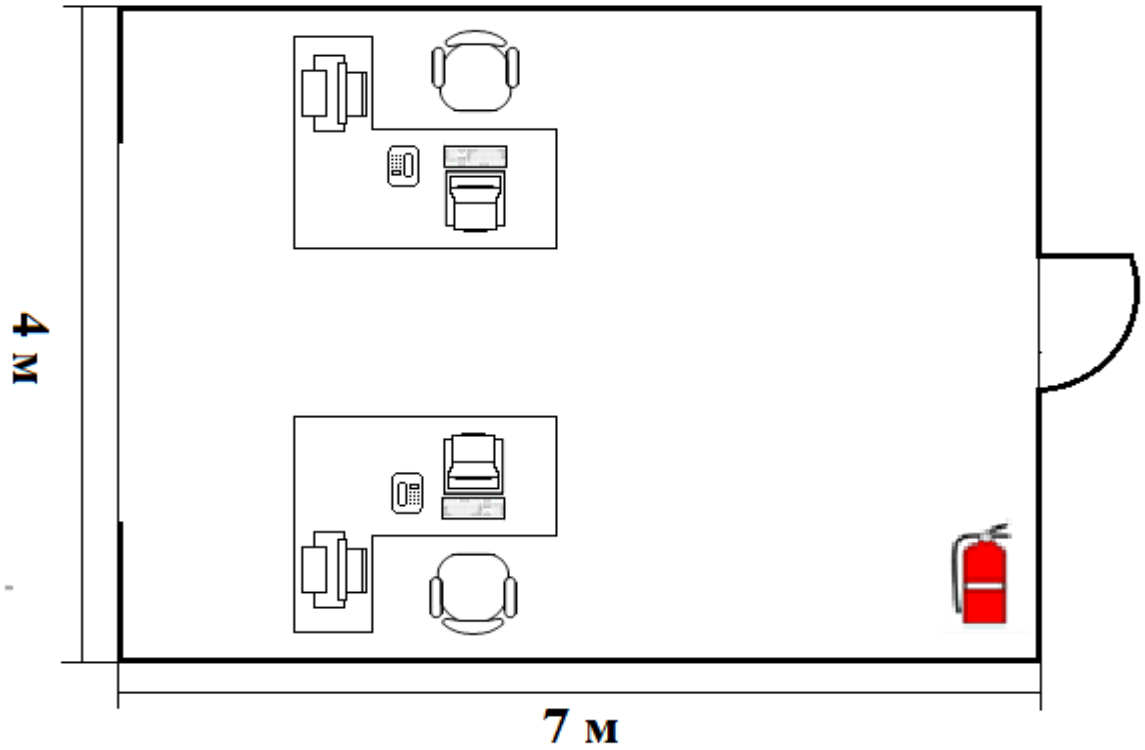

Рисунок 5.1 – План рабочего кабинета

5.2 Анализ системы кондиционирования рабочего помещения

Для получения хороших результатов труда инженера необходимо грамотно организовать естественные условия труда и комфортность расположения средств управления. Микроклимат помещения ни в коем случае не должен содержать отвлекающие внимание и раздражающие воздействия факторов, которые могут вызывать утомление и напряжение у инженера.

Обеспечение оптимальных для жизнедеятельности человека параметров микроклимата и воздушной среды достигается с помощью обширного комплекса методов и средств. Одним из таких методов обеспечения нормального климата и чистоты, является кондиционирование, то есть организация искусственного микроклимата на рабочем месте благодаря кондиционеру.

Оптимальный объем воздуха L ($м^3/ч$), который необходимо выветрить из рабочего кабинета в течении часа, для того чтобы вместе с ним удалился избыток тепла $Q_{изб}$, вычисляется по следующей формуле:

$$L = \frac{Q_{изб}}{C_в \cdot \Delta t \cdot y_в}, \tag{5.7}$$

где $C_в$ – теплоемкость сухого воздуха, $C_в = 0{,}24$ ккал/кг·град;

$\Delta t = t_{ух} - t_{вх}, C^0$ (при расчетах принимаем $t = 30C^0$);

$y_в$ – плотность выветриваемого воздуха, определяется в зависимости от температуры, кг/м^3 (при расчетах принимаем $y_в = 1{,}20$ кг/м^3).

Избыточное тепло – это разность тепловыделений в помещении и теплоотдачи через наружные ограждения в окружающую среду. Вычисляется по следующей формуле:

$$Q_{изб} = Q_п - Q_{от}, \tag{5.8}$$

где $Q_п$ – количество тепла, поступающего в воздух помещения, ккал/ч;

$Q_{от}$ – теплоотдача в окружающую среду через наружные ограждения (при расчетах можно взять $Q_{от} = 0$ ккал/ч).

Тепловыделение $Q_п$ вычисляется в зависимости от мощности кондиционера, числа людей в помещении и тепла, которое образуется в помещении из-за солнечной радиацией через световые проемы:

$$Q_п = Q_{об} + Q_л + Q_р, \tag{5.9}$$

где $Q_{об}$ – тепло выделяемое производственным оборудованием, ккал/ч;

$Q_л$ – тепло выделяемое людьми, ккал/ч;

$Q_р$ – тепло, образуемое в результате солнечной радиации, ккал/ч.

Тепло выделяемое производственным оборудованием, вычисляется по следующей формуле:

$$Q_{об} = 860 \cdot P_{об} \cdot n, \quad (5.10)$$

где 860 – это тепловой эквивалент 1 кВт·ч, то есть тепло, эквивалентное 1 кВт·ч электрической энергии;

$P_{об}$ –мощность потребляемая оборудованием, $P_{об} = 1{,}98$ кВт;

n – коэффициент перехода тепла в помещение, $n = 0{,}75$.

$$Q_{об} = 860 \cdot 1{,}98 \cdot 0{,}75 = 1277{,}1 \text{ ккал/ч}.$$

В связи с тем, что число работников в кабинете очень мало (два человека), соответственно тепло выделяемое людьми будет незначительное, то значением $Q_л$ можно пренебречь.

Тепло, образующееся в помещении в результате солнечной радиации, вычисляется по следующей формуле:

$$Q_р = m \cdot F \cdot g_{ост}, \quad (5.11)$$

где m – число окон в помещении;

F – площадь одного окна;

$g_{ост}$ – солнечная радиация через остекленную поверхность, те есть количество тепла, вносимое за один час через остекленную площадь в один квадратный метр (для центра управления $g_{ост} = 145$).

$$Q_р = 1 \cdot 3 \cdot 145 = 435 \text{ ккал/ч},$$

$$Q_{изб} = 1277{,}1 + 435 = 1712{,}1 \text{ ккал/ч}.$$

Вставив найденные значения в формулу (5.7) определяем необходимый воздухообмен:

$$L = \frac{1712{,}1}{0{,}24 \cdot 30 \cdot 1{,}20} = 198{,}2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Отношение количества воздуха, поступающего в помещение за один час, к объему помещения называется кратностью воздухообмена. Формула для расчета выглядит следующим образом:

$$K = \frac{L}{V_п}, \quad (5.12)$$

где $V_п$ – объем помещения, м^3.

$$K = \frac{198{,}2}{28} = 7.$$

Кондиционер фирмы Samsung модели AW09F09E Корейского производства, установленный в данном помещении, удовлетворяет данным параметрам.

Таблица 5.1 – Технические характеристики кондиционера Samsung AW05F05EA

Параметр	Значение
Производительность в режиме охлаждения, BTU/ч	5000
Мощность, Вт	1465
Мощность, Ккал/ч	1260
Циркуляция воздуха, $м^3/ч$	250
Уровень шума внутренний, дБ	55
Уровень шума наружный, дБ	58
Рабочий ток в режиме охлаждения, А	7
Потребляемая мощность в режиме охлаждения, Вт	625

5.3 Расчет искусственного освещения методом коэффициента использования светового потока

Главной задачей расчета искусственного освещения является вычисление количества светильников или мощности ламп, с целью обеспечения нормированного значения освещенности рабочего помещения.

В качестве метода расчета искусственного освещения выбираем метод по коэффициенту использования светового потока, создаваемого источником света, и с учетом отражения от пола, стен, потолка. Данный метод является основным при расчете общего равномерного освещения.

Разряд выполняемой зрительной работы III – высокой точности. Нормируемая освещенность – 300 лк. [13]. В качестве светильника выберем люминесцентную лампу ЛБ: цвет – белый, мощность 40 Вт., световой поток 3120 лм., диаметр 40 мм., длина со штырьками 1213,6 мм. [13].

Индекс помещения рассчитывается по следующей формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (\mathrm{A} + \mathrm{B})}, \tag{5.1}$$

где А – длина помещения, 7 м;

В – ширина помещения, 4 м;

S – площадь помещения, 28 $м^2$;

h – высота светильника над освещаемой поверхностью, м.

$$h = H - h_{раб} - h_{св}, \quad (5.2)$$

где Н – высота помещения, 2,8 м;

$h_{раб}$ – высота рабочей поверхности, 0,8 м;

$h_{св}$ – высота свеса светильника, 0 м так как Н = 2,8 м.

$$h = 2{,}8 - 0{,}8 - 0 = 2 \text{ м}.$$

Следовательно:

$$i = \frac{28}{2 \cdot (7 + 4)} = 1{,}27.$$

Согласно СНиП РК 2.04.-05.2002 в нашем помещении коэффициент отражения пола и потолка $\rho_{ср} = 70\%$, учитывая это и то что индекс помещения $i = 1{,}27$, коэффициент использования светового потока будет равен $\eta = 0{,}53$.

Число ламп в помещении рассчитывается следующим образом:

$$N = \frac{E_{min} \cdot S \cdot z \cdot K_З}{Ф_л \cdot \eta \cdot n}, \quad (5.3)$$

где E_{min} – минимальная освещенность,$E_{min} = 300$ лк;

S – площадь освещения, $S = 28$ м^2;

z – коэффициент неравномерности освещения $(1{,}1 \div 1{,}2)$, $z = 1{,}1$;

$K_З$ – коффициент запаса,$K_З = 1{,}5$ согласно СНиП РК 2.04-05-2002;

$Ф_л$ – световой поток выбранной лампы, $Ф_л = 3120$ лм;

η – коэффициент использования светового потока, $\eta = 0{,}53$;

n – количество ламп в светильнике, $n = 2$.

$$N = \frac{300 \cdot 28 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}5}{3120 \cdot 0{,}53 \cdot 2} = 4 \text{ штук}.$$

Определим расстояние между светильниками следующим образом:

$$Z = \lambda \cdot h, \quad (5.4)$$

λ (1,2÷1,4), примем λ=1,2, следовательно:

$$Z = 1{,}2 \cdot 2 = 2{,}4 \text{ м}.$$

Определим количество рядов светильников по ширине следующим образом:

$$n_{ш} = \frac{B}{Z}, \tag{5.5}$$

где B – ширина помещения, B=4 м;

Z – расстояние между светильниками по ширине, Z=2,4 м.

$$n_{ш} = \frac{4}{2,4} = 2 \text{ряда}.$$

Определим расстояние от светильника до стены следующим образом:

$$l = (0,3 \div 0,5) \cdot L, \tag{5.6}$$

$$l = 0,5 \cdot 2,4 = 1,2 \text{ м}.$$

Оптимальное расстояние от крайнего ряда светильников вдоль до стены рекомендуется принимать равным $\frac{Z}{3} = 0,8$м.

Таким образом, нам необходимо четыре светильника расположенных в два ряда, в каждом ряду по два светильника, в каждом светильнике по две лампы.

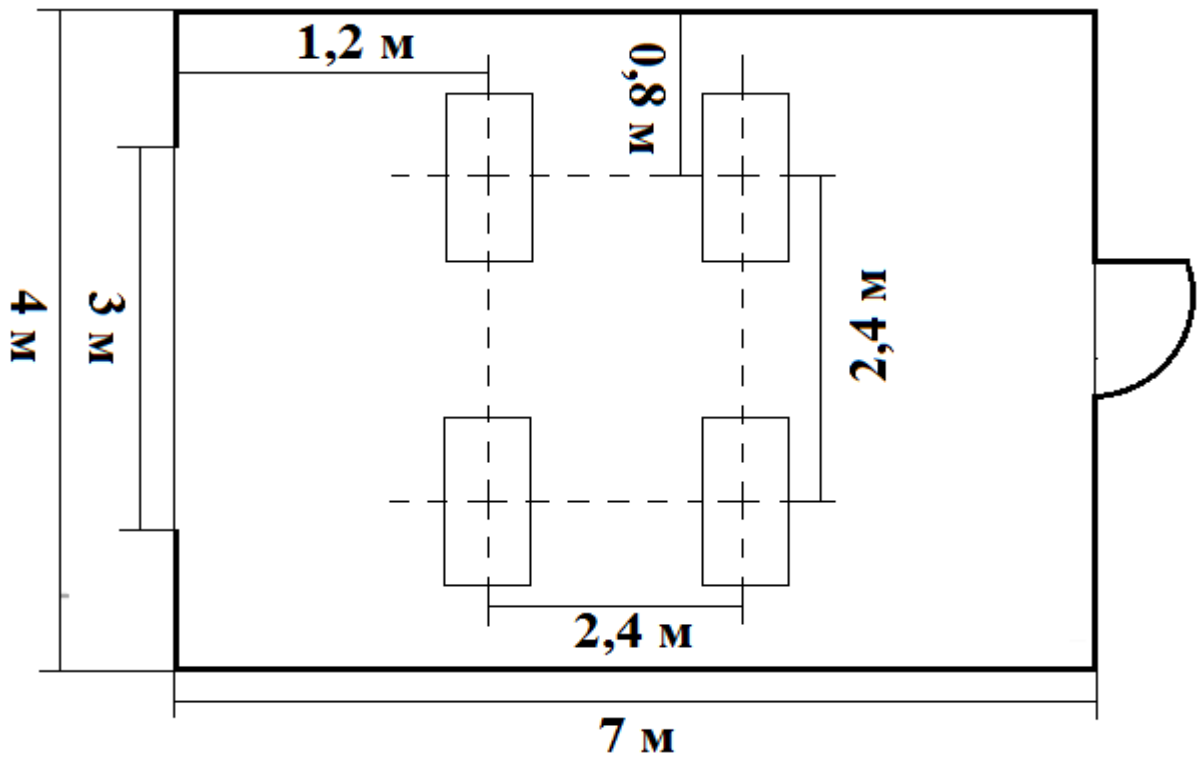

Рисунок 5.1 – Схема размещения светильников в помещении

5.4 Вывод по разделу безопасность жизнедеятельности

В данном разделе был произведен анализ условий труда в рабочем помещении. Уровень условий труда признана приемлемым, и данные, полученные в результате расчетов полностью удовлетворяют требованиям стандартов безопасности жизнедеятельность на рабочем месте.

Естественно, что одного окна не достаточно для обеспечения допустимых норм естественного освещения в рабочем помещении. Поэтому для создания нормированной освещенности был произведен расчет искусственного освещения в результате которого выяснилось, что в нашем помещении необходимо 8 ламп мощностью 40 Вт., световым потоком 3120 лм., диаметром 40 мм. И длиной со штырьками 1213,6 мм в 4-х светильниках, располагающихся в два ряда, в каждом ряду по два светильника, в каждом светильнике по две лампы.

В результате расчетов основных параметров микроклимата, было решено установить в помещении кондиционер фирмы Samsung модели AW09F09E который удовлетворяет рассчитанных параметрам.

6 Бизнес план проектирования сети LTE на станции Чемолган, Алматинской области

6.1 Резюме

В данной главе дипломного проекта проводится технико-экономическое обоснование организации беспроводного доступа на станции Чемолган, Алматинской области с использованием технологии LTE.

При разработке проектной документации и расчете экономических и финансовых показателей развития связи рассчитываются следующие основные технико-экономические показатели:

- капитальные вложения;
- эксплуатационные расходы;
- тарифные доходы;
- прибыль и срок окупаемости проекта.

6.2 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE

В данном проекте рассматривается линейка оборудований для развертывания покрытия компании «Huawei Technologies».

Услуги, предоставляемые сетями LTE, имеют более широкий спектр по сравнению с сетями 2G/3G. В первую очередь это связано с высокой пропускной способностью сети и повышенной скоростью передачи данных, а так же с переходом на концепцию «все через IP». Основными услугами, предоставляемых сетью LTE являются следующие:

- пакетная передача речи;
- передача Интернет-файлов;
- доставка электронной почты;
- передача мультимедийных сообщений;

- мультимедийное вещание, включающее в себя потоковые услуги, услуги по загрузке файлов, телевизионные услуги;
- потоковое видео;
- VoIP и высококачественные видеоконференции;
- онлайн игры через мобильные и фиксированные терминалы различных типов;
- мобильные платежи с высокой передачей реквизитов и идентификационной информации.

6.3 Маркетинговый план

В настоящий момент огромными темпами развивается отрасль мобильной связи в Казахстане. Новые технологии, а так же услуги мобильной связи должны соответствовать потребностям абонентов по качеству и приемлемой цене. Главной целью маркетинга компании является создание репутации надежного оператора связи в Республике Казахстан. Стоит выделить, что стабильный рост развития инфраструктуры телекоммуникаций, ведет к развитию общества и укреплению государственной безопасности, и является немаловажным фактором роста экономики всей страны. В данном проекте рассматривается оператор «Алтел».

Конкуренцию в борьбе за клиентов компания будет выигрывать благодаря следующим причинам:

- ценовая политика компании заключается в стремлении сделать международную и междугороднюю связь еще более доступной для абонентов Республики Казахстан;
- предоставление быстрого доступа в Интернет с пропускной способностью. Компания «Алтел» является единственным в Казахстане оператором, предоставляющим услуги связи технологии LTE;
- компанией предоставляется высококачественное сервисное обслуживание специалистами по подключению, ремонту и настройке аппаратуры;
- размещение рекламы на телевидении и в других средствах массовой информации.

Данные причины и постоянная PR акция привлекут большое количество абонентов.

6.4 Производственный план

В данной главе дипломного проекта будут сделаны расчеты затрат на приобретение, транспортировку, установку, а также развертывание деятельности LTE, производства компании «Huawei Technologies Co. Ltd.». Приемлемая стоимость, отличные технические характеристики и совместимость с другим оборудованием производимым для данной технологии были основными критериями для выбора оборудования данной марки.

Стоимость и наименование оборудования фирмы «Huawei Technologies» необходимого для организации сети LTE приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Наименование и стоимость оборудования [16]

Наименование оборудования	Стоимость 1-го оборудования, тг/шт	Количество оборудования, шт	Сумма, тг
Комплект приемопередатчик «Huawei RRU 3908» с антенной RET	8850000	2	17700000
Оптический сервисный маршрутизатор «Huawei BBU 3900»	2325000	1	2325000
Мультисервисная оптическая платформа «Huawei BTS 3900»	82500000	1	82500000
19’’ стойка	28400	1	28400
Источник бесперебойного питания UPS	902000	1	902000
Кабель и металл для монтажа	500000	1	500000
Итого			103955400

6.5 Анализ рынка сбыта

Рынок сбыта представляет собой абонентов, которые проживают на станции Чемолган, Алматинской области.По данным TNS Web Index, интернет — единственный растущий медиаканал в Казахстане, охват которого почти в 2 раза превышает охват прессы. В июле 2015 количество интернет-пользователей в РК достигло 3,47 млн.Как и на любом растущем интернет-рынке, 67,5% пользователей в Казахстане — жители крупных городов. Но и региональным компаниям в ближайшие пару лет следует учитывать бурный рост потенциала рекламы, так как прирост проникновения интернета в малых населенных пунктах составляет около 40% в год [17].

В настоящий момент сотовую связь в Казахстане обеспечивают четыре оператора: АО «Кселл», ТОО «КаР-Тел» с торговой маркой Beeline, ТОО «Мобайл Телеком-Сервис» с торговой маркой Tele2 и АО «Алтел», принадлежащий АО «Казактелеком».В данном проекте рассматривается оператор «Алтел», с планируемыми тарифными планами и дополнительными

услугами, единственный в Казахстане оператор предоставляющий услуги связи технологии LTE.

6.6 Финансовый план

6.6.1 Расчет капитальных затрат

Совместные финансовые вложения по существу содержат финансовые вложения на оборудование, финансовые вложения на монтаж и финансовые вложения на транспортные затраты.

$$\Sigma K = K_{\text{О}} + K_{\text{П}} + K_{\text{М}} + K_{\text{ТР}}, \tag{6.1}$$

где $K_{\text{О}}$ – основной вклад на покупку оборудования;

$K_{\text{П}}$ – затрачиваемая сумма на проект составляет 5% [18];

$$K_{\text{П}} = 103955400 \cdot 0{,}05 = 5197770 \text{ тенге;}$$

$K_{\text{М}}$ – расходы на монтажные работы (5% от стоимости оборудования) [18];

$$K_{\text{М}} = 103955400 \cdot 0{,}05 = 5197770 \text{ тенге;}$$

$K_{\text{ТР}}$ – расходы на транспорт (8% от стоимости оборудования) [18];

$$K_{\text{ТР}} = 103955400 \cdot 0{,}08 = 8316432 \text{ тенге,}$$

$$\Sigma K = 103955400 + 5197770 + 5197770 + 8316432 = 122667372 \text{ тенге.}$$

6.6.2 Расчет доходов

Доходы от реализации услуг, получаемые предприятием связи за весь объем реализационных потребителем связи по действующим тарифам.

Расчет доходов производится следующим образом:

$$D_{\text{О}} = \sum_{i=1}^{n} qi \cdot Ui, \tag{6.2}$$

где qi – объем 1-го вида услуг в натуральном выражении;

Ui – тариф на 1-й вид услуг, в тенге;

n – номенклатура услуг.

Данная сеть LTE проектируется исходя из принципа, что к ней подключится максимально возможное количество абонентов. Проектируемая сеть LTE будет предоставлять абонентам услуги голосовой связи, видеосвязи, передачу SMS, MMS, услуги доступа в сеть Интернет.

По статистическим данным проникновение сети Интернет в сельской местности Казахстана с каждым годом растет. В зимний период 2011 – 2013 гг. суточная аудитория пользователей сети Интернет в сельской местности составила 56% от числа населения. Однако кроме проектируемой нами сети 4G LTEна станции Чемолган, Алматинской области уже имеются операторы предоставляющие подобные услуги 3G. Население станции Чемолган, Алматинской области составляет 15000 человек. Учитывая это, возьмем для расчета только 56% населения на четыре оператора. Рассчитаем количество подключившихся абонентов к проектируемой сети для доступа к сети Интернет через USB-LTEмодем ($N_{\text{аб.инт}}$):

$$N_{\text{аб.инт}} = 15000 \cdot 0{,}56 = 8400 \text{ абонентов.}$$

Так как USB-LTEмодем обычно приобретается один на семью, а семья в среднем состоит из четырех человек, то $N_{\text{аб.инт}}$ принимает следующее значение:

$$N_{\text{аб.инт}} = \frac{8400}{34} = 2100 \text{ абонентов.}$$

Таблица 6.2 –Тарифные планы и их стоимость [19]

Тарифный план	Стоимость тарифа, тг/мес	Порог	Доля абонентов от $N_{\text{аб.инт}}$, %	Примерное число подключившихся пользователей
Web	2650	15 GB	30	500
Web Super	4200	25 BG	35	600
Web Pro	5800	35 BG	35	1000

Суммарный тарифный доход от предоставления услуги доступа в сеть Интернет с помощью USB-LTE модема (D_1) определяется следующим образом:

$$\Sigma D = \Sigma N_i \cdot T_i \cdot 12, \tag{6.3}$$

где T_i – стоимость тарифного плана, тг/мес.;

N_i – предполагаемое количество абонентов, подключенных к определенному тарифному плану.

$$D_1 = [2650 \cdot 500 + 4200 \cdot 600 + 5800 \cdot 1000] \cdot 12 = 115740000 \text{ тенге.}$$

Далее рассчитаем доход от предоставления услуг голосовой связи, передачи SMS, MMS и доступа к сети Интернет с помощью мобильного терминала.

По статистическим данным сотовой связью в сельской местности Казахстана на начало 2014 года пользуются 88% населения [17]. В соответствии с этими данными, на станции Чемолган, Алматинской области число абонентов сотовой связи составляет 13200 человек. В Казахстане четыре компании оператора связи предоставляют услуги мобильной связи. Оператором связи, осуществляющим работу на станции Чемолган, Алматинской области будет компания «Алтел». Поделим абонентов сотовой связи между компаниями операторами связи. Тогда количество абонентов мобильной связи в проектируемой сети LTE составит: $N_{\text{аб.моб}} = \frac{13200}{4} = 3300$ человек.

Цены на предоставление услуг мобильной связи приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Цены на предоставление услуг мобильной связи [19]

Услуга	Размер оплаты, тенге
1 минута на входящий звонок	0
1 минута на исходящий звонок по номерам других операторов сотовой связи	$K_1 = 11$
1 минута исходящего звонка внутри сети «Алтел»	$K_2 = 11$
1 минута исходящего звонка на телефонные номера фиксированной связи	$K_3 = 11$
1 SMS, MMS	$K_4 = 8$
1 Мб трафика	$K_5 = 25$

По статистическим данным, среднестатистический абонент мобильной связи использует 25 SMS, MMS, 20 Мб трафика и 250 минут разговора в месяц. Соотношение Исходящего разговорного времени абонента в процентах составляет: 45% (112,5 минут) на мобильные номера «Алтел», 45% (112,5 минут) на номера других мобильных операторов, 10% (25 минут) на телефонные номера фиксированной связи [17].

Суммарный тарифный доход от предоставления услуг мобильной связи (D_2) определяется следующим образом:

$$D_2 = [K_1 \cdot 112{,}5 + K_2 \cdot 112{,}5 + K_3 \cdot 25 + K_4 \cdot 25 + K_5 \cdot 20] \cdot N_{\text{аб.моб}} \cdot 12, \quad (6.4)$$

$$D_2 = [11 \cdot 112{,}5 + 11 \cdot 112{,}5 + 11 \cdot 25 + 8 \cdot 25 + 25 \cdot 20] \cdot 3300 \cdot 12 = 136620000 \text{ тенге.}$$

Общий тарифный доход от услуг связи сети LTEна станции Чемолган, Алматинской области рассчитывается следующим образом:

$$D_{общ} = D_1 + D_2, \quad (6.5)$$

$$D_{общ} = 115740000 + 136620000 = 252360000 \text{ тенге.}$$

6.6.3 Эксплуатационные расходы

В процессе обслуживания и предоставления услуг связи осуществляется деятельность, требующая расходов предприятия. Сумма затрат за год и составит фактическую себестоимость или величину эксплуатационных расходов за год.

$$ΣЭ = ФОТ + О_С + М + Э + А + П_{ДОК} + Н + А_П, \quad (6.6)$$

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

$О_С$ – социальный налог, тенге;

М – материальные затраты и запасные части, тенге;

Э – затраты на электроэнергию, тенге;

А – Амортизационные отчисления, тенге;

$П_{ДОК}$ – платежи за использование частот, тенге;

Н – накладные расходы, тенге;

$А_П$ – аренда помещения, тенге.

Таблица 6.4 – Штат сотрудников необходимых для полного функционирования системы [20]

Должность	Количество человек	Оклад тг/мес	Сумма тг/мес	Сумма тг/год
Ведущий инженер	1	125000	125000	1500000
Инженер по обслуживанию сети	1	110000	110000	1320000
Электромеханик	1	100000	100000	1200000
Антеннщик-мачтовик	2	90000	180000	2160000
Итого	5	-	515000	6180000

При определении количества работников, обслуживающих данное оборудование, были использованы средние заработных платы специалистов.

Заработная плата рабочего персонала будет производиться за счет вырученных средств за предоставление услуг связи.

$$ФЗП = 6180000 \text{ тенге.}$$

Заработная плата с учетом премиальных составит:

$$З_{доп} = 0{,}15 \cdot 6180000 = 927000 \text{ тенге},$$

$$ФОТ = ФЗП + З_{доп} = 7107000 \text{ тенге},$$

$$Ос = (ФОТ - 0{,}1 \cdot ФОТ) \cdot 0{,}13 \text{ тенге}, \quad (6.7)$$

$$Ос = (7107000 - 0{,}1 \cdot 7107000) \cdot 0{,}13 = 831519 \text{ тенге},$$

$$М = Квл \cdot 0{,}005,$$

$$М = 122667372 \cdot 0{,}005 = 613337 \text{ тенге}.$$

Расчеты на электроэнергию для производственных нужд, включают в себя расходы электроэнергии на оборудование и дополнительные.

$$Зэл.эн = Зэл.эн.обр + Здоп.нуж,$$

$$Зэл.эн.обр = W \cdot T \cdot S,$$

где W = 8 кВт – потребляемая мощность;
T = 8760 ч – время работы;
S – тариф (1 кВтч = 19,39 тенге).

$$Зэл.эн.обр = 8 \cdot 8670 \cdot 19{,}39 = 1344890 \text{ тенге в год}.$$

Величина амортизационных отчислений (А) рассчитывается следующим образом:

$$А = \sum_{i=1}^{n} H_{ai} Ф_a, \quad (6.8)$$

где H_{ai} – норма амортизационных отчислений от среднегодовой стоимости основных производственных фондов, в процентах:

$Ф_a$ – среднегодовая стоимость основных фондов (капитальных вложений).

Нормы амортизационных отчислений для отрасли связи (до 25% в год), кроме компьютерной техники (до 40% в год) [3].

H_{ai} = 25%;
$Ф_a = 146296872$ тенге.

$$A = 122667372 \cdot 0.25 = 30666843 \text{ тенге}.$$

Накладные расходы – косвенные расходы, которые составляют 75% от себестоимости [18]:

$$H = 0{,}75 \cdot 122667372 = 92000529 \text{ тенге.} \quad (6.9)$$

Платеж за получение разрешительных документов на использование радиочастот составляет $П_{ДОК}$ = 820000 тенге [18].

Расходы на аренду помещений, включает в себя расходы на аренду офисов, крыш зданий и помещение АО «Казактелеком» представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Годовой расход за аренду помещения

Помещение	Количество	Стоимость	Сумма тг/мес	Сумма тг/год
Офис	2	100000	200000	2400000
Крыша зданий	8	50000	400000	4800000
Помещение в АО «Казактелеком»	1	150000	150000	1800000
Итого	-	-	750000	9000000

Таким образом, годовые эксплуатационные расходы составляют:

$$ΣЭ = 7107000 + 831519 + 613337 + 1344890 + 30666843 + \\ + 820000 + 92000529 + 9000000 = 142384118 \text{ тенге.}$$

Таблица 6.6 – Годовые эксплуатационные расходы

Показатель	Сумма, тенге
ФОТ, тенге	7107000
Отчисления на социальные нужды, тенге	831519
Амортизационные отчисления, тенге	30666843
Затраты на электроэнергию, тенге	1344890
Материальные затраты на запасные части	613337
Накладные расходы	92000529
Затраты на аренду помещений	9000000
Платеж за получение разрешительных документов на использование радиочастот	820000
Итого	142384118

6.6.4 Расчет показателей экономической эффективности

Прибыль от основной деятельности:

$$П_{осн.} = D_{общ} - ΣЭ, \quad (6.10)$$

$$П_{осн.} = 252360000 - 142384118 = 109975882 \text{ тенге.}$$

Корпоративный подоходный налог:

$$КПН = Н_{ст} \cdot П, \quad (6.11)$$

где $Н_{ст}$ = 0,2 – налоговая ставка [3].

Налогооблагаемая прибыль:

$$КПН = 0{,}2 \cdot 109975882 = 21995176 \text{ тенге,}$$

$$П_{ч} = П_{осн} - КПН, \quad (6.12)$$

$$П_{ч} = 109975882 - 21995176 = 87980706 \text{ тенге.}$$

Коэффициент экономической эффективности рассчитываем следующим образом:

$$Е = \frac{П_{ч}}{К}, \quad (6.13)$$

$$Е = \frac{87980706}{122667372} = 0{,}72.$$

Период окупаемости - это минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта). Данный показатель считается одним из наиболее распространенных показателей оценки эффективности инвестиций.

$$T_{ок} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0{,}72} = 1{,}4.$$

6.6.5 Учет фактора времени при оценке экономической эффективности инвестиционных проектов

Проведем сопоставление затрат, которые необходимо осуществить в настоящее время, и тех денежных поступлений которые можно получить в будущем.

Для этого рассчитаем следующие показатели:

– NPV (Net Present Value) - чистая приведенная стоимость;

– PI (Profitability Index) - индекс рентабельности инвестиций;

– DPP (Discounted Payback Period) - дисконтированный срок окупаемости инвестиций.

Современная стоимость денежного потока на протяжении экономической жизни проекта составит:

$$PV = \sum D_t \cdot \alpha_t, \tag{6.14}$$

где $\alpha -$ коэффициент дисконтирования.

Коэффициент дисконтирования рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{1}{(1+r)^{e}}, \tag{6.15}$$

где r – норма дисконта (25%) [18];

t–номер шага [18].

Коэффициент дисконтирования за первый год:

$$a_1 = \frac{1}{(1+0{,}1)^1} = 0{,}8.$$

Коэффициент дисконтирования за второй год:

$$a_2 = \frac{1}{(1+0{,}1)^2} = 0{,}64.$$

Пусть инвестиция будет генерировать в течение t=1,2,…n лет, годовые доходы в размере D1,D2,D3,…Dt.

Рассчитаем величину дисконтированных доходов (PV) подставив значения в формулу (6.14):

$$PV = 87980706 \cdot 0{,}8 + 87980706 \cdot 0{,}64 = 126692217 \text{ тенге.}$$

Тогда чистая приведенная стоимость проекта будет рассчитываться следующим образом:

$$NPV = \sum_{i=1}^{n} PV - K_{\text{вл}}, \tag{6.16}$$

где $PV -$ текущая стоимость доходов, тенге;

$K_{\text{вл}} -$ капитальные вложения, тенге.

$$NPV = 126692217 - 122667372 = 4024875 \text{ тенге.}$$

$NPV > 0$, проект прибыльный и его следует принять.

Индекс рентабельность представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине инвестиционных затрат. Индекс рентабельности (PI) рассчитываем по следующей формуле:

$$PI = \frac{PV}{K_{\text{вл}}}, \tag{6.17}$$

$$PI = \frac{126692217}{122667372} = 1{,}03.$$

Так как рентабельность больше единицы, данный проект следует принять.

Срок окупаемости инвестиций, для полного возмещения первоначальных затрат определяется момент, когда денежный поток доходов сравняется с суммой денежных потоков затрат. Общая формула для расчета показателя DPP имеет следующий вид:

$$DPP = t, \text{при котором } D_t > K, \tag{6.18}$$

где D_t – чистый денежный поток доходов, тенге.

Определим период окупаемости по следующей формуле:

$$DPP = t_{t-1} + \frac{K_{\text{вл}} - (PV_1 + PV_2 + \cdots + PV_n)}{PV_n}, \tag{6.19}$$

$$DPP = 1 + \frac{122667372 - 70384565}{56307652} = 1{,}9 \text{ года.}$$

Дисконтированный период окупаемости составляет 1,9 года.

Таблица 6.7 – Основные экономические показатели эффективности проектирования сети LTE на станции Чемолган, Алматинской области

Показатель	Значение
Капитальные затраты, тенге	122667372
Эксплуатационные расходы, тенге	142384118
Коэффициент экономической эффективности (E)	0,72
Чистая прибыль, тенге	87980706
Индекс рентабельности PI	1,03
Срок окупаемости до дискретизации, год	1,4

Продолжение таблицы 6.7

Показатель	Значение
Срок окупаемости после дискретизации, год	1,9

6.7 Вывод по разделу экономика

В настоящее время инвестиции считаются привлекательными при сроке окупаемости проекта $T \leq 5$ лет. В данном проекте срок окупаемости с учетом дискретизации составил T=1,9 года, что меньше 5 лет. Следовательно, можно сделать вывод, что проектирование сети беспроводного доступа на станции Чемолган, Алматинской области с использованием технологии LTE экономически оправдано, и может быть принято к реализации.

Заключение

В ходе написания пояснительной записки к данному дипломному проекту был произведен расчет нисходящего канала системы связи на основе технологии LTE Release 8. На основе анализа полученных данных зависимости скорости передачи от различных факторов сделан вывод о максимальной пропускной способности нисходящего канала равной 322 Мбит/с. Исходными параметрами для теоретического расчета явились следующие:

- режим дуплексирования каналов;
- полоса частот;
- вид модуляции поднесущих;
- метод помехоустойчивого кодирования данных;
- применение технологии MIMO;
- затраты ресурсов на управление;
- длительность циклических префиксов.

Выше приведенные данные относятся к теоретическому расчету, строго говоря, в условиях распространения сигнала в вакууме. Однако в условиях многолучевого распространения сигнала в беспроводной среде он претерпевает изменения, вызванные многократным отражением сигнала от металлических конструкций, бетонных стен зданий, опор электропередач и тому подобное. В итоге это приводит к снижению уровня сигнала и снижению отношения сигнал/шум. Этим объясняется низкие скорости передачи данных в нисходящем канале на абонентских мобильных станциях.

В ходе дипломного проекта была предложена схема организации сети беспроводного широкополосного доступа на станции Чемолган на основе технологии LTE Release 8. Спроектированная сеть обеспечит абонентов высокоскоростной передачей данных.

Список литературы

1 Ерохин С. Мобильные телекоммуникации: Журнал. – М.: 5-е изд.: 2012.

2 Попов Е.А., Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной прердачи данных: Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2012.

3 Вишневский В., Красилов А., Шахнович И. Технология сотовой связи LTE – почти 4G: Журнал. – М.: 4-е изд.: 2009.

4 Самкова Е. Увеличение ресурсов сети. Электронные компоненты: Журнал. – М.: 6-е изд.: 2009.

5 Самкова Е. Виды модуляции сигналов. Электронные компоненты: Журнал. – М.: 5-е изд.: 2009.

6 Дроздова В.Г., Белов М.А. Оценка пропускной способности сетей LTE.

7 Дальман. Э., Фурускар А., Ядинг И. Радиоинтерфейс LTE в деталях – Сети и системы связи: Жунал. – СПб.: 9-е изд.: 2008.

8 PROMT версия 11.0. [Электронный ресурс]/ СПб.

9 Moray Rumney 3GPP LTE: Introducing Single – Carrier FDMA – Agilent Measurement: Journal № 4.: 2008.

10 Holma H. LTE for UMTS – OFDMA and SC – OFDMA: 2009.

11 Безопасность жизнедеятельности. Расчет производственного освещения. Методические указания к выполнению выпускных работ. - Алмыты: Изд-во АИЭС, 2009. – 20с.

12 СНиП РК 2.04.-05.2002 Естественное и искусственное освещение. Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства.

13 Безопасность жизнедеятельности. Защита от производственного шума. Методические указания к выполнению дипломного проекта, Алматинский институт энергетики и связи, Алматы, 2011. – 33 с.

14 Лесман Е.А. Освещение административных зданий и помещений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.

15 СН РК 4.02.-01-2011 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

16 Стоимость оборудования http://www.e.huawei.com/ru/get-price-info.

17 Интернет аудитория Казахстана http://www.forbes.kz/stats/internet-auditoria_kazahstana-portret_i_predpochteniya_polovatelya.

18 Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. Методические указания по выполнению экономического раздела выпускной работы бакалавров. – Алматы: Изд-во АИЭС, 2009.

19 Тарифы сотового оператора «Алтел» http://www.altel.kz/tariffs/.

20 Нормативы численности работников http://www.info.mintrud.kz/.

Приложение А

Диапазоны частот

Таблица А.1 – Диапазоны рабочих частот

Номер диапазона рабочих частот	Диапазон частот		Вид дуплекса
	Uplink	Downlink	
1	1920 МГц-1980 МГц	2110 МГц -2170 МГц	FDD
2	1850 МГц -1910 МГц	1930 МГц -1990 МГц	FDD
3	1710 МГц -1785 МГц	1805 МГц -1880 МГц	FDD
4	1710 МГц -1755 МГц	2110 МГц -2155 МГц	FDD
5	824 МГц -849 МГц	869 МГц -894 МГц	FDD
6	830 МГц -840 МГц	875 МГц -885 МГц	FDD
7	2500 МГц -2570 МГц	2620 МГц -2690 МГц	FDD
8	880 МГц -915 МГц	925 МГц -960 МГц	FDD
9	1749,9 МГц -1784,9 МГц	1844,9 МГц -1879,9 МГц	FDD
10	1710 МГц -1770 МГц	2110 МГц -2170 МГц	FDD
11	1427,9 МГц -1452,9 МГц	1475 МГц -1500,9 МГц	FDD
12	698 МГц -716 МГц	728 МГц -746 МГц	FDD
13	777 МГц -787 МГц	746 МГц -756 МГц	FDD
14	788 МГц -798 МГц	758 МГц -768 МГц	FDD
17	704 МГц -716 МГц	734 МГц -746 МГц	FDD
18	815 МГц -830 МГц	860 МГц -875 МГц	FDD
19	830 МГц -845 МГц	875 МГц -890 МГц	FDD
33	1900 МГц -1920 МГц		TDD
34	2010 МГц -2025 МГц		TDD
35	1850 МГц -1910 МГц		TDD
36	1930 МГц -1990 МГц		TDD
37	1910 МГц -1930 МГц		TDD
38	2570 МГц -2620 МГц		TDD
39	1880 МГц -1920 МГц		TDD
40	2300 МГц -2400 МГц		TDD

Таблица А.2 – Разнос несущих приема и передачи

Номер диапазона рабочих частот	Разнос несущих приема и передачи (Дуплексный разнос)
1	190 МГц
2	80 МГц
3	95 МГц

Продолжение таблицы А.2

Номер диапазона рабочих частот	Разнос несущих приема и передачи (Дуплексный разнос)
4	400 МГц
5	45 МГц
6	45 МГц
7	120 МГц
8	45 МГц
9	95 МГц
10	400 МГц
11	48 МГц
12	30 МГц
13	-31 МГц
14	-30 МГц
17	30 МГц
18	45 МГц
19	45 МГц
20	-41 МГц
21	48 МГц

Приложение Б

Расчеты в программе «MathCAD 14»

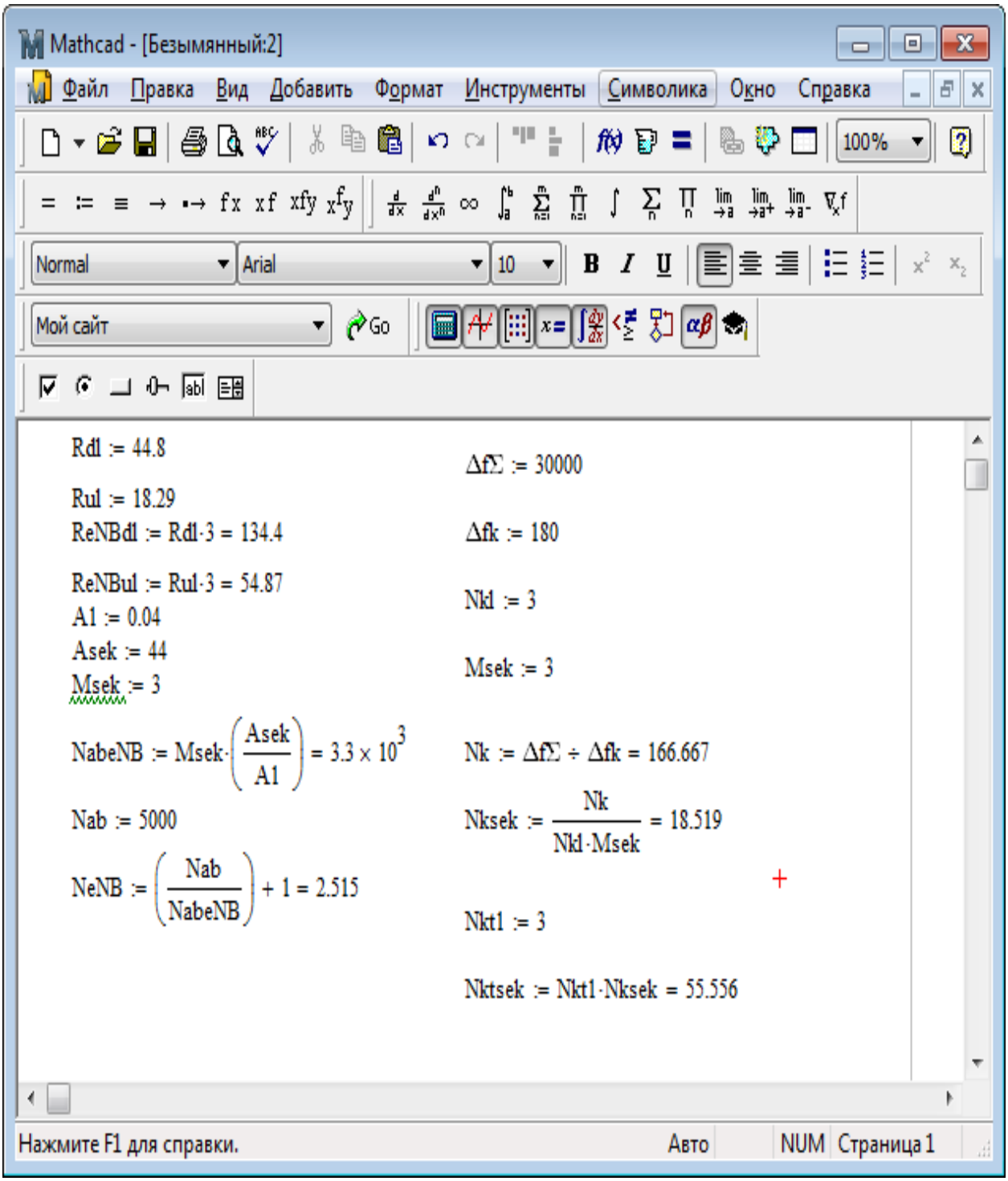

Рисунок Б.1 – Окно программы «MathCAD 14», в котором показаны расчеты средней пропускной способности, численности каналов, численности абонентов обслуживаемых одной БС и расчеты необходимого количества БС

Приложение В

Рассчеты в программе «MathCAD 14»

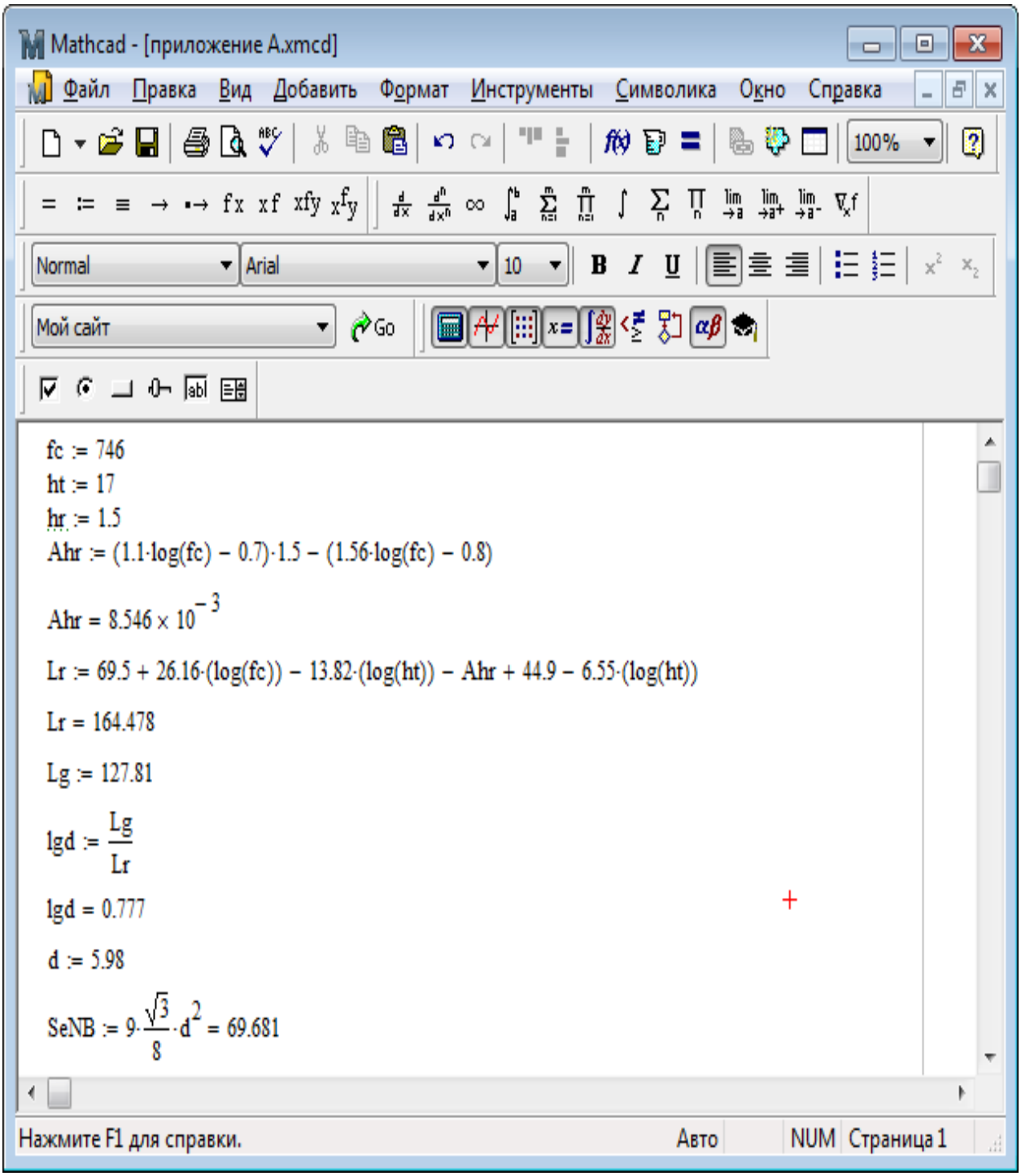

Рисунок В.1 – Окно программы «MathCAD 14», с помощью которой был произведен расчет среднего затухания радиосигнала и площади покрытия трехсекторной антенны базовой станции