МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой ТКС
Шагиахметов Д. Р., к.т.н.
_____ «____» _____2014г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: «Проектирование сети беспроводной связи в г.Усть-Каменогорск на основе технологии LTE»

Специальность 5В0719 Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнила Тобыкпаева Ж.А. группа МТС-10-06

Научный руководитель Данько Е.Т., к.т.н., старший преподаватель
_____ «02» июня _____2014г.

Консультанты:
по экономической части:
Бекишева А. И., к.э.н., доцент
_____ «16» мая _____2014г.

по безопасности жизнедеятельности:
Дюсебаев М. К., д.т.н., профессор
_____ «02» июня _____2014г.

по применению вычислительной техники:
Артюхин А. В., старший преподаватель
_____ «3» июня _____2014г.

нормоконтролер:
Кондратович А. П., старший преподаватель
_____ «3» 06 _____2014г.

Рецензент:_____

_____ «____» _____2014г.

Алматы 2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет радиотехники, электроники и телекоммуникаций
Специальность 5В0719 Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студент Тобыкпаева Жибек Алтынкановна

Тема проекта «Проектирование сети беспроводной связи в г.Усть-Каменогорск на основе технологии LTE»

утверждена приказом ректора № 115 от «24» сентября 2013 г.
Срок сдачи законченной работы «25» мая 2014г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов исследования (проектирования) и исходные данные объекта:
Населенный пункт – г.Усть-Каменогорск. Численность населения г.Усть-Каменогорск – 330918 чел, площадь города – 210 км^2. Вид дуплекса – FDD, частотный диапазон - (1850-1910) МГЦ, (1930-1990) МГЦ. Коэффициент усиления передающей антенны BS – 18дБ, передающей антенны MS– 0дБ.

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:
Характеристика города, обзор применяемых технологий, выбор оборудования и типа дуплекса. Расчет основных параметров сети – расчет затухания сигнала, пропускной способности сети, скорости передачи данных, радиуса действия базовой станций и необходимого колличества базовых станций. Разработка схемы организации связи, анализ условий труда, расчет производственного освещения, системы вентиляции и уровня излучения лазера. Разработка бизнес-плана, расчет доходов, основных показателей эффективности инвестиций и экономической эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Рисунки: эффект Доплера, архитектура сети LTE, классификация каналов, архитектура сети LTE при использовании CS Fallback, модель канала MIMO, радиочастотный модуль «FlexiRFModuleTriple 90 W», базовая станция Huawei DBS3900, решение компании «CiscoSystems» по объединению функций сети EPC на базе одной платформы «Cisco ASR 5000 PCS3», архитектура платформы «CiscoASR 5000 PCS3», карта города Усть-Каменогорск, рельеф местности, профиль трассы.

Схемы: процесс обмена сообщениями при помощи процедуры «EPS/IMSI Attach», структурная схема прямого формирования OFDM-сигналов, схема организации связи сети LTE.

Основная рекомендуемая литература:

Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011; Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.; Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. -М: Горячая линия – Телеком, 2007; Мобильные телекоммуникационные и цифровые системы передачи: Методические указания к выполнению курсового проекта / Б. Б. Агатаева, Л. И. Сарженко. – Алматы: АУЭС, 2010; Безопасность жизнедеятельности: Методические указания к выполнению раздела в дипломных проектах / М.К. Дюсебаев. – Алматы: АИЭС, 2003.

Консультации по работе с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Техническая часть	Данько Е.Т.	24.02-22.04.14	
Экономическая часть	Бекишева А.И.	21.04-16.05.14	
Безопасность жизнедеятельности	Дюсебаев М. К.	17.03-02.06.14	
Вычислительная техника	Артюхин А.В.	3.06.14	

ГРАФИК

подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1 Общая характеристика технологии LTE	24.02.2014	
2 Архитектура сети LTE	28.02.2014	
3 Передача голоса в LTE – CS-Fallback	6.03.2014	
4 Технология MIMO	10.03.2014	
5 Ортогональное частотное разделение каналов OFDM	17.03.2014	
6 Выбор сетевого оборудования	31.03.2014	
7 Расчет пропускной способности сети	8.04.2014	
8 Расчет зоны покрытия трехсекторной BS	17.04.2014	
9 Расчет радиуса действия BS с помощью модели WIM	22.04.2014	
10 Анализ условий труда и производственного освещения	17.03.2014	
11 Расчет системы вентиляции	31.03.2014	
12 Разработка бизнес-плана	21.04.2014	
13 Расчет показателей эффективности инвестиций и оценка результата	16.05.2014	

Дата выдачи задания «25» февраля 2014 г.

Заведующий кафедрой_____ Шагиахметов Д. Р.

Научный руководитель работы_____ Данько Е.Т.

Задание принял к исполнению студент_____ Тобыкпаева Ж.А

Аңдатпа

Ұсынылып отырған дипломдық жобаның мақсаты Өскемен қаласында LTE технологиясы негізінде 4-буын желісін жобалау болып табылады. LTE – ол ақпаратты жіберу желісі және абоненттік стансалар арасында IP байланысты орнатуға мүмкіндік беретін дестелер коммутациясын қолданатын радиоқатынаудың технологиясы.

Жобаланған желі үшін техникалық көрсеткіштер және экономикалық көрсеткіштер есептеулері жүргізілді, сондай-ақ, өмір-тіршілік қауіпсіздігіне байланысты сұрақтар қарастырылды.

Аннотация

Целью данного дипломного проекта является проектирование сети 4-го поколения на основе технологии LTE в городе Усть-Каменогорск. LTE – это технология радио доступа с использованием коммутации пакетов, предоставляющая возможность установления IP соединений между абонентскими станциями и сетью передачи данных.

Для проектируемой сети был произведен расчет технических параметров, были рассчитаны экономические показатели, а так же был рассмотрен вопрос безопасности жизнедеятельности.

Abstract

The objective of this diploma project is to design 4th generation network based on LTE technology in the city of Ust-Kamenogorsk. LTE it is a technology of radio access using packet switching, which provides an opportunity to establish IP connections between the subscriber station and the data network.

For the proposed network was calculated technical parameters, economic indicators and was affected the issue of life safety.

Содержание

Введение 7
1 Теоретическая часть 9
1.1 Общая характеристика Long Term Evolution 9
1.2 Архитектура сети LTE 11
1.3 Организация каналов в сетях LTE 15
1.4 Передача голоса в LTE – CS-Fallback 18
1.5 Технология MIMO 20
1.6 Ортогональное частотное разделение каналов OFDM 22
1.7 Частотные диапазоны LTE 24
1.8 Качество обслуживания в LTE 25
2 Выбор оборудования LTE 27
2.1 Базовые станции LTE 27
2.2 Базовая станция Flexi Multiradio 29
2.3 Базовая станция Huawei DBS3900 30
2.4 Управляющее оборудование для сетей LTE 32
3 Расчетная часть 34
3.1 Расчет пропускной способности сети 34
3.2 Определение зоны покрытия трехсекторной BS 39
3.3 Расчет радиуса действия BS с помощью модели WIM 46
3.4 Оценка допустимой скорости передачи данных 50
4 Безопасность жизнедеятельности 51
4.1 Анализ условий труда 51
4.2 Анализ естественного освещения 52
4.3 Анализ искусственного освещения 54
4.4 Анализ системы кондиционирования помещения 56
5 Технико-экономическое обоснование сети 60
5.1 Резюме проекта 60
5.2 Цель проекта 61
5.3 План проектирования 61
5.4 Дополнительные услуги, предоставляемые LTE 62
5.5 Рынок 62
5.6 Менеджмент 63
5.7 Маркетинговая стратегия 63
5.8 Финансовые потребности 64
5.9 Метод расчета абсолютной величины чистого дохода NPV 72
5.10 Вывод по экономическому расчету 74
Заключение 75
Список литературы 76
Приложение А Листинг расчет по модели WIM в программе Mathcad14 77
Приложение Б Листинг расчета скорости в программе Mathcad14 79
Приложение В Расположение базовых станций 80

Введение

Всем известно, какую важную роль в жизни человека занимают телекоммуникации. Интернет, телевидение, телефон, радио, — все это средства связи, которые стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Можно сказать, мы живем в информационном веке, где информация — это ключ и двигатель прогресса. Обществу необходимо обмениваться информацией, по этой причине все типы телекоммуникаций постоянно развиваются. Сейчас сотовый телефон не является символом престижа, как десять лет назад, а скорее является обыденным предметом, позволяющим человеку быть всегда «на связи» и эффективно использовать свое время.

И впрямь сложно представить жизнь современного человека без возможности доступа к сети Интернет. Нужно отдать должное новшеству нашего века, ведь это главный справочник для многих из нас, в котором можно найти ответы на любые интересующие нас вопросы. Сегодня 34% населения земли (2 405 510 175 человек) пользуются ресурсами сети Интернет, в том числе 59% населения Казахстана (10 008 838 человек) [1]. С увеличением количества пользователей и стремительным прогрессом техники становятся выше и требования к телекоммуникациям. Так, сети 3-го поколения, совсем недавно вполне удовлетворявшие человечество, с появлением 4G постепенно отходят в сторону.

4G в переводе с английского «fourth generation» означает четвертое поколение. Это поколение мобильной связи с повышенными требованиями. К четвертому поколению относятся современные перспективные технологии, которые позволяют осуществить передачу данных со скоростью, превышающей 100 Мбит/с для подвижных и 1 Гбит/с для неподвижных станций.

С момента разработки первого поколения аналоговых сотовых сетей в 1970-х годах (1G) практически через каждые десять лет разрабатывались новые стандарты мобильной связи. Так в 2000-х годах на основе IP-протокола разрабатывались сети четвертого поколения. Разумеется, от разработки до внедрения сети понадобился немалый срок. И только с 2010 года сети 4G начали внедрять во многих странах. В Казахстане сеть 4 G на базе технологии LTE была запущена 26 декабря 2012 года в городах Астана и Алматы под торговой маркой Altel 4G.

LTE («Long Term Evolution» в переводе с английского означает долговременное развитие) – это проект усовершенствования технологий мобильной передачи данных CDMA, UMTS. Использование в LTE таких технологий, как MIMO и OFDM, обеспечивает максимальные скорости передачи данных в одной соте с множеством терминалов. Это позволяет значительно превысить показатели сетей фиксированного Интернет-доступа. Такие возможности делают сеть LTE отличительной от других сетей по своим характеристикам и преимуществам, которые она предоставляет абонентам. С помощью этих усовершенствований можно, например, повысить скорость передачи, эффективность передачи данных, снизить задержки, расширить и улучшить уже оказываемые услуги. Скорость обмена данными в технологии LTE теоритически достигает 326,4Мбит/с на приём (нисходящий канал) и 172,8 Мбит/с на отдачу (восходящий канал); а практически эти показатели достигают 173 Мбит/с на приём и 58 Мбит/с на отдачу.

Но и это еще не предельная скорость. Компанией Huawei была разработала технологию Beyond LTE, позволяющую увеличить скорость передачи до 30 Гбит/с, что больше чем в 20 раз превосходит скорость передачи в существующих коммерческих сетях LTE. «Мобильная связь развивается с невероятной скоростью, — заявил Дэвид Ван, президент направления беспроводных сетей Huawei. — Современные технологии способствуют масштабной эволюции сетей – эффективному использованию частотного ресурса, агрегированию широкополосных каналов и увеличению скорости доступа» [2].

Как сказал наш президент в послании к народу Казахстана: «Понятие «развитая страна» — изменчивая во времени категория. В развитых странах появляются радикально новые качества жизни народа». На сегодняшний день уровень развитости страны во многом определяется степенью развития телекоммуникационной отрасли. Так в концепции вхождения Казахстана в число 30 самых развитых стран мира обозначены долгосрочные приоритеты развития отрасли мобильных технологий.

На основе вышесказанного можно с уверенностью сказать, что вопрос повсеместного внедрения сетей LTE, в том числе и в городе Усть-Каменогорске, для такого молодого и стремительно развивающегося государства, как Казахстан, несомненно, является актуальным. Полная готовность и потребителей, и операторов к внедрению 4G сетей обеспечит естественную эволюцию стандартов мобильной связи и вместе с тем эволюцию нашей страны в целом.

Целью данной дипломной работы является проектирование сети мобильной связи 4-го поколения с надежным радиопокрытием, качественно новыми услугами, низкими задержками и высокой пропускной способностью в г.Усть-Каменогорск.

Задачи проектирования:

– описать характеристики, архитектуру и радиоинтерфейс сети LTE;

– провести анализ и выбор необходимого оборудования для построения сети;

– провести расчеты по радиусу зоны покрытия базовой станции, ослаблению сигнала при распространении, пропускной способности сети;

– сделать выводы о целесообразности внедрения новой технологии мобильной связи на сети города Усть-Каменогррск.

1 Теоретическая часть

1.1 Общая характеристика Long Term Evolution

В данной главе будут описаны требования, которым должна соответствовать технология LTE для того, чтобы называться технологией 4-го поколения. Передовые международные мобильные телекоммуникационные системы должны предоставлять доступ к широкому набору телекоммуникационных услуг, включая продвинутые мобильные сервисы. LTE системы должны поддерживать широкий диапазон скоростей передачи данных, согласованный с требованиями пользователей. В соответствии с этим мобильные телекоммуникационные системы 4-го поколения должны удовлетворять следующим требованиям:

– использовать IP - протоколы (коммутация пакетов);

– пиковые скорости передачи данных должны быть от 100 Мбит/с для пользователей с высокой мобильностью (от 10 км/ч до 120 км/ч) и от 1 Гбит/с для пользователей с низкой мобильностью (до 10 км/ч);

– использовать динамически разделяемые сетевые ресурсы для поддержки большего количества одновременных подключений к одной соте;

– их масштабируемая полоса частот канала должна быть 20 МГц;

– спектральная эффективность до 5 бит/с/Гц;

– должен осуществляться плавный хэндовер через различные сети;

– качество предоставляемых мобильных услуг должно быть высоким.

Пиковая спектральная эффективность - это максимальная теоритическая скорость передачи данных (нормированная на ширину канала), т.е. это количество принятых бит в случае канала свободного от ошибок и функционирования одной мобильной станции в системе, для обслуживания которой используется весь имеющийся ресурс (исключая ресурсы, используемые для синхронизации, опорных сигналов и защитные частоты).

В требованиях к LTE значения спектральной эффективности указаны как 5 бит/с/Гц для нисходящего канала и 2.5 бит/с/Гц для восходящего канала (что соответствует скоростям передачи данных в 100 Мбит/с и 50 Мбит/с). При этом высокие показатели производительности должны поддерживаться для мобильных пользователей, перемещающихся со скоростью до 120 км/ч.

Технология радиодоступа (RIT, RadioInterfaceTechnology) должна поддерживать работу с масштабируемой шириной канала, которая может

состоять из одного или нескольких частотных диапазонов. В LTE полоса частот канала связи может варьироваться от 1,4 до 20 МГц.

Как правило, требования к задержке в плоскости управления задаются на время перехода мобильной станции из одного состояния в другое (например из idle в active). Согласно требованиям ITU время перехода из режима idle в активный режим должно быть меньше 100 мс (не учитывая задержку нисходящей передачи paging сообщений и задержку сигнализации в проводной сети).

Задержка передачи пользовательских данных определяется как период времени между моментом, когда пакет данных доступен на IP уровне на пользовательском терминале/базовой станции, и моментом, когда этот же пакет доступен на IP уровне на базовой станции/пользовательском терминале. Данный период времени включает в себе передачу всей необходимой контрольной информации. При этом предполагается, что пользовательский терминал находится в активном состоянии. LTE системы должны обеспечивать задержку передачи данных меньше, чем 50 мс в условиях незагруженной системы (т.е. в сети только один пользователь, который имеет одно соединение) при передаче малых IP пакетов (присутствует только IP заголовок). Данное требование относится как к нисходящему, так и к восходящему каналу.

Определены следующие классы мобильности:

– стационарный: 0 км/ч;

– пешеход: до 10 км/ч;

– автомобиль: от 10 до 120 км/ч;

– высокоскоростные автомобили/поезда: от 120 до 350 км/ч.

Работа LTE-приемника зависит от разных факторов: конкретного частотного диапазона, многолучевых задержек, доплеровских сдвигов частоты, реализации технологии множественного приема/передачи (MIMO) и т.д. Так как речь зашла о мобильности, то подробнее разберем эффект Доплера.

Эффе́ктДо́плера — это изменение частоты и длин волн, поступающих на приёмник, которое обусловлено движением их источника и/или движением приёмника. Это явление названо в честь австрийского физика К. Доплера. Сущность явления можно понять из следующего элементарного рисунка1.1.

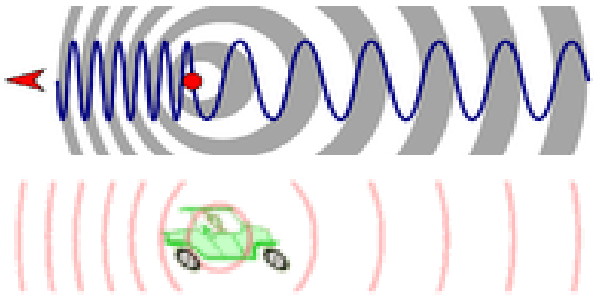

Рисунок 1.1 - Эффект Доплера

Эффект Доплера легко наблюдать в повседневной жизни, когда мимо наблюдателя проезжает машина с включённой сиреной. Пусть сирена выдаёт какой-то определённый тон, и он остается постоянным. Если машина неподвижна относительно наблюдателя, то он слышит именно тот тон, который издаёт сирена на самом деле. В случае, если машина будет приближаться к наблюдателю, частота звуковых волн будет увеличиваться, и наблюдатель услышит тон выше, чем на самом деле издаёт сирена. В момент, когда машина будет проезжать мимо наблюдателя, наблюдатель услышит тон, который на самом деле издаёт сирена. А когда машина проедет дальше, минуя наблюдателя, и будет уже отдаляться, то он услышит более низкий тон, вследствие меньшей частоты звуковых волн. В этом и заключается эффект Доплера.

Для звуковых волн, распространяющихся в какой-либо среде, нужно учитывать движение как источника, так и приёмника волн относительно этой среды. Для электромагнитных же волн, к примеру для света, в вакууме (так как для их распространения не нужна никакая среда) имеет значение только относительное движение источника и приёмника.

Время прерывания на хэндовер (смену обслуживающей базовой станции) определяется как период времени, в течение которого мобильная станция не может обмениваться пользовательскими данными ни с одной базовой станицей. При определении требований к времени прерывания на хэндовер взаимодействие с базовой сетью (corenetwork, та часть сети, которая находится за базовой станцией) не учитывается, т.е. предполагается, что это время равно 0. Кроме этого предполагается, что вся необходимая информация о целевой базовой станции (той, на которую осуществляется переход) известна во время начала хэндовера. Требования к времени выполнения хэндовера в зависимости от его типа следующие:

– одинаковые частоты (intra-frequency): 27.5 мс;

– разные частоты (inter-frequency). Внутри одной и той же полосы частот (band): 40 мс. Между разными полосами частот: 60 мс.

1.2 Архитектура сети LTE

LTE – это система с использованием коммутации пакетов, целью которой является предоставление возможности установления IP соединений между абонентскими станциями (UserEquipment, UE) и сетью передачи данных (Packet Data Network, PDN). Под термином LTE понимается технология радио доступа, под термином EPC (Evolved Packet Core) понимается опорная сеть оператора, вместе LTE и EPC образуют EPS (Evolved Packet System).

Чтобы обеспечить доставку IP пакетов между шлюзом (gateway, GW) и PDN к UE, EPS использует концепцию EPS потоков (EPS bearers). Каждый

поток - это поток IP пакетов с определенными параметрами качества обслуживания (Quality of Service, QoS) на участке между шлюзом и абонентской станцией. Для одного пользователя может быть создано несколько EPS потоков, чтобы предоставлять различные QoS или чтобы предоставить соединения к различным PDN.

Как показано на рисунке 1.2, сеть LTE состоит из двух важнейших компонентов: сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE (System Architecture Evolution) или EPC (Evolved Packet Core Network).

Главным достижением проиллюстрированной архитектуры, по сравнению с предыдущими поколениями являются меньшие задержки при передаче, как пользовательских данных, так и управляющей информации в связи с прохождением через меньшее число промежуточных элементов.

Обмен данными в сети EPC происходит только по IP протоколу с коммутацией пакетов, что существенно отличает сеть LTE от сетей предыдущих поколений, в которых использовалась коммутация каналов между отдельными элементами. В данную сеть входят элементы, отвечающие за управление, маршрутизацию, коммутацию и хранение различных данных, которые далее более подробно описаны.

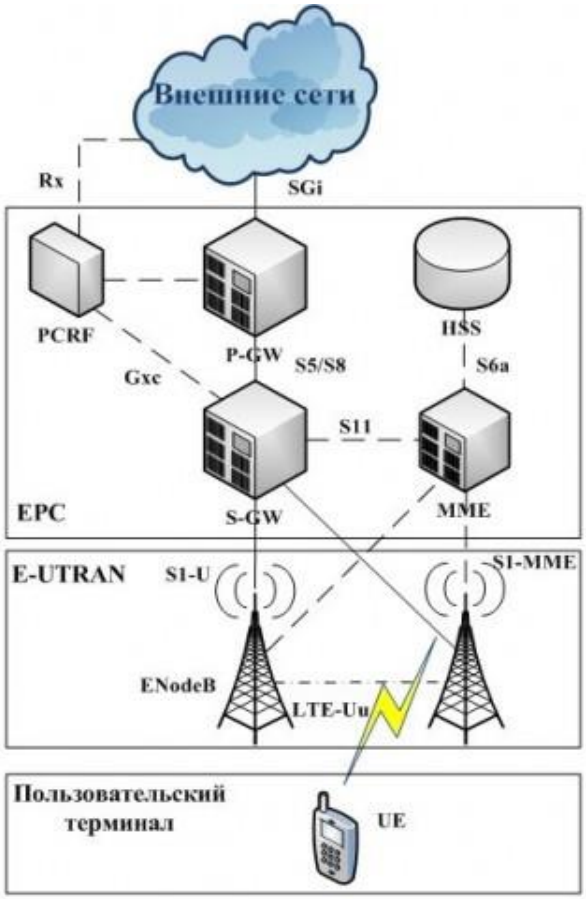

Рисунок 1.2–Архитектура сети LTE

Сеть E-UTRAN, состоящая из базовых станций eNodeB (BS), берет на себя функции радиоинтерфейса и является связующим звеном между UE и сетью EPC. Основная особенность, отличающая сеть LTE от сетей других поколений, заключается в том, что базовые станции могут обмениваться между собой информацией по протоколу X2 и осуществлять функции управления. В отличие от стандарта GSM, в котором подсистема базовых станций BSS состояла из базового приемопередатчика BTS и контроллера базовых станций BSC в сети LTE в одном элементе BS объединены функции передатчика и контроллера.

Из рисунка1.2 видно, что структура сети сильно отличается от сетей стандартов 2G и 3G. Существенным изменениям подверглась и подсистема базовых станций, и подсистема коммутации. Изменилась и технология передачи данных между оборудованием пользователя и базовой станцией. Также были изменены и протоколы передачи данных между сетевыми элементами. Теперь вся информация (голос, данные) передается в виде пакетов. Таким образом, обработка голосовой информации и обработка пакетных данных не разделены друг от друга.

Основные элементы сети LTE это:

– базовая станция (BS);
– PDN Gateway (P-GW);
– Serving Gateway (S-GW);
– Mobility Management Entity (MME);
– Home Subscriber Server (HSS);
– Policy and Charging Rules Function (PCRF).

BS в сети LTE осуществляет управление радиоресурсами (RRM-Radio Resource Management), которое включает распределение радиоканалов, динамическое распределение ресурсов в восходящих и нисходящих направлениях — так называемое диспетчеризация ресурсов (scheduling); выбирает блок управления мобильностью (MME) при включении в сеть пользовательского терминала при отсутствии у того информации о прошлом подключении. Помимо этого BS измеряет и составляет соответствующие отчёты для управления мобильностью и диспетчеризации; осуществляет маршрутизацию в пользовательской плоскости пакетов данных по направлению к обслуживающему шлюзу (S-GW). Диспетчеризация и передача вызывной и вещательной информации, полученной от блока управления мобильностью (MME); диспетчеризация и передача сообщений PWS (Public Warning System - система тревожного оповещения), полученных от блока управления мобильностью (MME) также происходит благодаря BS. Так же к функциям BSотносится сжатие заголовков IP-пакетов и шифрование потока пользовательских данных.

P-GW (PDNGateway) – пакетный шлюз PDN. Данное устройство выделяет IP адреса для UE, соблюдает параметры QoS и осуществляет списание по счету на основе набора правил, полученных из PCRF (Policy

Control and Charging Rules Function). Этот шлюз обеспечивает соединение от UE к внешним пакетным сетям данных, являясь точкой входа и выхода трафика для UE. UE может иметь одновременно соединение с более чем одним P-GW для подключения к нескольким сетям. P-GW выполняет функции защиты, фильтрации пакетов для каждого пользователя, поддержку биллинга, узаконенного перехвата и сортирование пакетов. Другая важная роль P-GW— он является узлом управления мобильностью между 3GPP и не-3GPP технологиями, такими как WiMAX и 3GPP2 (CDMA 1X и EvDO).

S-GW (ServingGateway) – это обслуживающий шлюз, предназначенный для обработки и маршрутизации пакетных данных поступающих из/в подсистему базовых станций. S-GW маршрутизирует и направляет пакеты с пользовательскими данными, в то же время выполняет роль узла управления мобильностью (mobility anchor) для пользовательских данных при хэндовере между базовыми станциями BS, а также как узел управления мобильностью между сетью LTE и сетями с другими технологиями 3GPP. Когда UE свободен и не занят вызовом, S-GW подключает нисходящий канал данных (Down Link — DL) и производит пейджинг, если требуется передать данные по DL в направлении UE. Он управляет и хранит состояния UE (например требования по пропускной способности для IP-сервисов, внутреннюю информацию по сетевой маршрутизации). Этот шлюз также предоставляет копию пользовательских данных при узаконенном перехвате. Помимо вышеперечисленных функций S-GW осуществляет еще и некоторые административные функции в визитной сети. Например, сбор информации для осуществления списаний по счету.

MME (MobilityManagementEntity) – это узел управления мобильностью. Он представляет собой контрольный узел, через который проходит весь сигнальный трафик между UE и Core Network (CN). Протоколы, используемые для передачи контрольного трафика между UE и CN, известны как NAS (Non-Access Stratum). Функции MME можно разделить на следующие два множества:

– управление потоками (Bearer Management), включающее в себя уровень управления сессиями (session management layer) протокола NAS, в рамках которого осуществляется создание, поддержание и удаление потоков;

– управление подключениями (Connection Management), включающее в себя подключение абонентов к сети и создание правил шифрации и кодирования между UE и сетью.

MME участвует в процессах активации/дезактивации сетевых ресурсов и так же отвечает за выбор S-GW для UE при начальном подключении и при хэндовере внутри LTE со сменой узла CN. Он отвечает за аутентификацию пользователя (при взаимодействии с HSS). Сигнализация слоя без доступа (NAS) оканчивается в MME и данный узел так же отвечает за генерацию и распределение временных идентификаторов для UE. Он проверяет авторизацию UE для доступа к сервис-провайдерам мобильных сетей (Public

Land Mobile Network — PLMN) и реализует роуминговые ограничения для UE. MME – это, можно сказать, заключительная точка сети для шифрования/защиты целостности сигнализации NAS. Узаконенный перехват сигнализации так же обеспечивается MME. MME предоставляет плоскость функций контроля для обеспечения мобильности между LTE и сетями доступа 2G/3G через интерфейс S3 установленный к MME от SGSN. MME также соединен интерфейсом S6a с домашним HSS для роуминга UE.

HomeSubscriberServer(HSS) – сервер абонентских данных сети сотовой связи стандарта LTE, представляющий собой большую базу данных и предназначенный для хранения данных об абонентах. Кроме того, HSS генерирует данные, которые необходимы для осуществления процедур шифрования, аутентификации и т.п. Сеть LTE может содержать один или несколько HSS. Их количество HSS зависит от географической структуры сети и числа абонентов, другими словами, от емкости сети.

PolicyandChargingRulesFunction(PCRF) – элемент сети сотовой связи стандарта LTE, узел выставления счетов абонентам. Он отвечает за управление начислением платы за оказанные услуги связи, а также за качество соединений в соответствии с заданными конкретному абоненту характеристиками.

Архитектура сети LTE разработана таким образом, чтобы обеспечить поддержку пакетного трафика с так называемой «гладкой» мобильностью, минимальными задержками доставки пакетов и высокими показателями качества обслуживания.

Мобильность в качестве функции сети обеспечивается двумя её видами: дискретной мобильностью (роумингом) и непрерывной мобильностью (хэндовером). Так как сети LTE должны поддерживать процедуры роуминга и хэндовера со всеми существующими сетями, для LTE-абонентов должно обеспечиваться повсеместное покрытие услуг беспроводного широкополосного доступа.

Пакетная передача позволяет обеспечить все услуги, включая передачу пользовательского голосового трафика. В отличие от большинства сетей предыдущих поколений, в которых наблюдается достаточно высокая разнотипность сетевых узлов, архитектуру сетей LTE можно назвать «плоской», поскольку практически всё сетевое взаимодействие происходит между двумя узлами: BS и MME.

1.3 Организация каналов в сетях LTE

1.3.1 Логические каналы в зависимости от типа передаваемой информации могут быть логическими каналами управления и логическими каналами трафика. Первые используются для передачи различных сигнальных и информационных сообщений, а вторые - передают пользовательские данные.

Описание существующих логических каналов:

– Broadcast Control Channel (BCCH) - канал, по которому передают системную информацию всем пользователям (UE), находящимся в соте. Перед входом в систему пользовательское устройство считывает информацию, которая передается по каналу BCCH, и определяет параметры сети;

– Paging Control Channel (PCCH) - канал для передачи пейджинговых сообщений, которые передаются пользовательским устройствам, местоположение которых не определено с точностью до соты;

– Common Control Channel (CCCH) - общий канал управления, предназначенный для решения общих для всех пользовательских терминалов задач;

– Dedicated Control Channel (DCCH) - индивидуальный выделенный канал управления для обмена командными сообщениями с пользовательским терминалом;

– Multicast Control Channel (MCCH) - канал передачи групповой служебной информации. Используется для передачи служебной информации необходимой при приеме канала MTCH;

– Multicast Traffic Channel (MTCH) - канал передачи трафика для выделенной группы пользовательских терминалов, используется для передачи услуги мультимедийного вещания MBMS;

–Dedicated Traffic Channel (DTCH) - выделенный канал типа «точка-точка» для передачи пользовательских данных, предназначен только для одного пользовательского терминала.

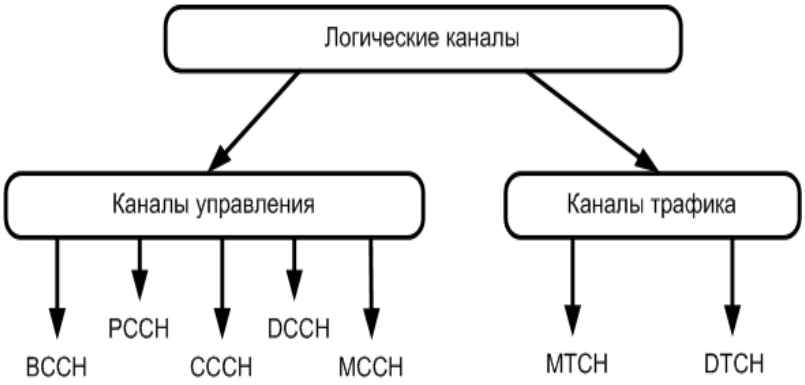

Рисунок 1.3 - Классификацией логических каналов

Информацию логических каналов после обработки на RLC/MAC уровнях размещают в транспортных каналах для дальнейшей передачи по радиоинтерфейсу в физических каналах. Транспортный канал служит для определения как и с какими характеристиками происходит передача информации по радиоинтерфейсу. Информационные сообщения на транспортном уровне состоят из транспортных блоков. В каждом интервале времени (Transmission Time Interval, TTI) по радиоинтерфейсу передают хотя

бы один транспортный блок. А при использовании технологии MIMO возможна передача до четырех блоков в одном TTI.

1.3.2 Описание транспортных каналов:

– Broadcast Channel (BCH) - транспортный вещательный канал для передачи информации логического канала BCCH, имеет фиксированный формат;

– Paging Channel (PCH) - транспортный канал для передачи информации логического канала PCCH. Данный канал поддерживает прием с перерывами (режим Discontinuous Reception, DRX), что позволяет пользовательскому устройству дольше сохранять заряд батареи;

– Downlink Shared Channel (DL-SCH) - транспортный канал с разделением пользователей, который используется для передачи информации «вниз». Данный канал поддерживает адаптацию скорости передачи, планирование передач во временной и частотной области, модифицированный автоматический запрос на повторную передачу непринятых пакетов (Hybrid Automatic Repeat Request, HARQ), а также режим DRX;

– Multicast Channel (MCH) - транспортный канал групповой передачи, используется для поддержки услуг мультимедийного вещания MBMS;

– Uplink Shared Channel (UL-SCH) - транспортный канал с разделением пользователей «вверх», аналогичный каналу DL-SCH;

– Random Access Channel (RACH) - транспортный канал случайного доступа. Используется для передачи запросов на подключение к сети, при хэндовере, для восстановления синхронизации «вверх».

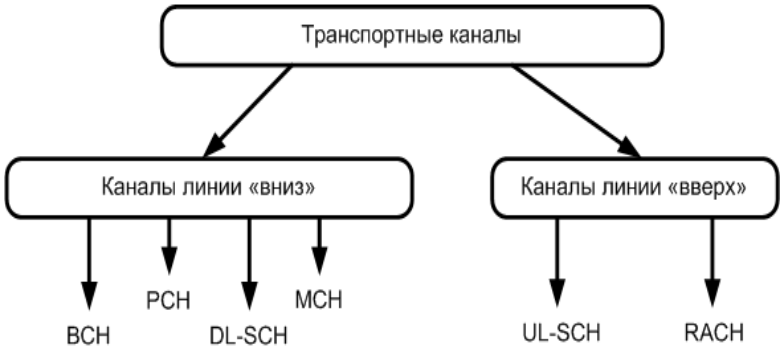

Рисунок 1.4 - Классификация транспортных каналов

1.3.3 Физические каналы:

– Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) - физический канал для передачи информации «вниз» с разделением пользователей. Используется для передачи информации каналов DL-SCH и PCH;

– Physical Downlink Control Channel (PDCCH) - физический канал управления «вниз». Используется для передачи информации о назначении канального ресурса для передачи транспортных блоков каналов PCH, DL-SCH, UL-SCH и HARQ информации, относящейся к каналу DL-SCH. Также по

этому каналу передаются ответы на запросы на доступ к сети. Передача осуществляется с помощью модуляции 4-ФМ;

– Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH) - физический канал для передачи HARQ ACK/NACK в ответ при передаче информации «вверх»;

– Physical Broadcast Channel (PBCH) - физический канал передачи вещательной информации;

– Physical Multicast Channel (PMCH) - физический канал групповой передачи пакетов мультимедийного вещания;

– Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH) - физический канал передачи формата, который используется для канала PDCCH;

– Physical Random Access Channel (PRACH) - физический канал передачи запросов случайного доступа;

– Physical Uplink Shared Channel (PUSCH) - физический канал передачи пользовательского трафика и сигнализации Uplink Control Information (UCI);

– Physical Uplink Control Channel (PUCCH) - физический канал передачи сигнализации UCI в отсутствии канала PUSCH.

На рисунках 1.5 и 1.6 приведена взаимосвязь между логическими, транспортными и физическими каналами в нисходящем направлении (от BS к UE) и в восходящем направлении (от UE к BS).

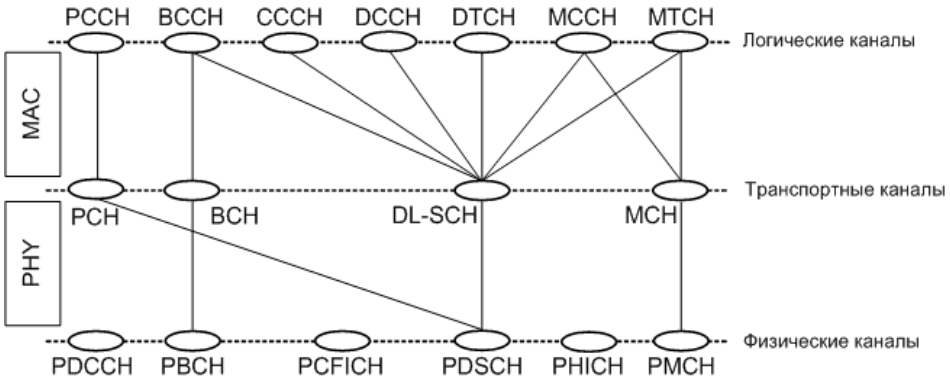

Рисунок 1.5 - Взаимосвязь между логическими, транспортными и физическими каналами в нисходящем направлении (от BS к UE)

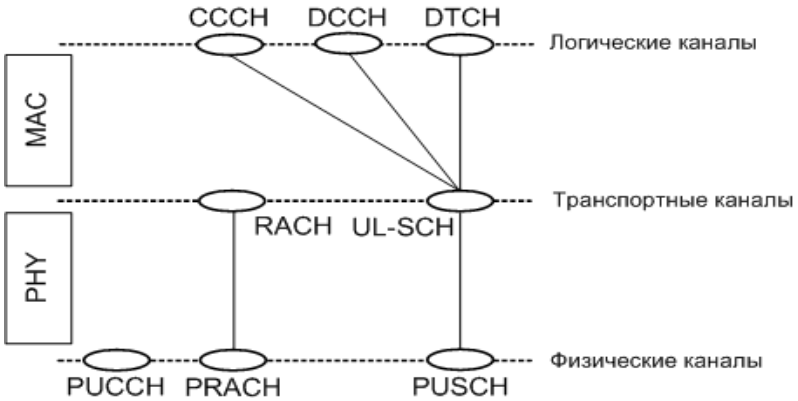

Рисунок 1.6 - взаимосвязь между логическими, транспортными и физическими каналами в восходящем направлении (от UE к BS)

1.4 Передача голоса в LTE - CS Fallback

Проблема передачи голоса для LTE сетей пока остается недоконца решенной. В сети 4G предоставляются только услуги приема/передачи данных, а также SMS-услуги (входящие и исходящие сообщения). В том случае, если абонент зарегистрирован в сети LTE и начинает пользоваться услугами голосовой связи (отправлять/получать SMS- и MMS-сообщения, набирать USSD-команды), автоматически происходит изменение сети с LTE на 2G/3G. После завершения использования услуг голосового вызова абонент автоматически переключается в сеть LTE 4G.

Не смотря на стремительный рост числа абонентов, пользующихся услугами интернета, основная часть доходов мобильных операторов по-прежнему приходится на услуги традиционной телефонии. Поэтому на сегодняшний день остро стоит вопрос передачи голоса в сети LTE. Сети LTE – это сеть класса All-IP («все поверх IP»), в них используется принцип коммутации пакетов на всех участках сети. Это и послужило причиной тому, что в технологии LTE не предусмотрена поддержка «голоса» и SMS в том виде, в котором она существует в коммутируемых сетях 2G и 3G.

Как правило в мобильных сетях передача голоса осуществляется с использованием коммутации каналов (Circuit Switch - CS). LTE, как уже было сказано выше, не поддерживает коммутацию каналов, а использует только коммутацию пакетов (Packet Switch - PS). Несмотря на это, существует несколько вариантов организации передачи голоса в сетях LTE. Одним из таких вариантов является - CS Fallback.

Основная идея этого механизма (CS Fallback) состоит в переводе UE на обслуживание в сеть с поддержкой коммутации каналов (например, UMTS, GSM). Перевод осуществляется во время создания соединения для передачи голосового трафика. Так при использовании механизма CS Fallback для передачи голоса требуется поддержка нескольких технологий радиодоступа со стороны UE (LTE и той, где будет передаваться голос).

На рисунке 1.7 изображена архитектура сети, необходимая при использовании CS Fallback. Подразумевается, что оператор использует как сеть LTE, так и сеть более раннего поколения (UMTS или GSM). Обязательным условием при этом, является поддержка интерфейса SGs между MME и MSC.

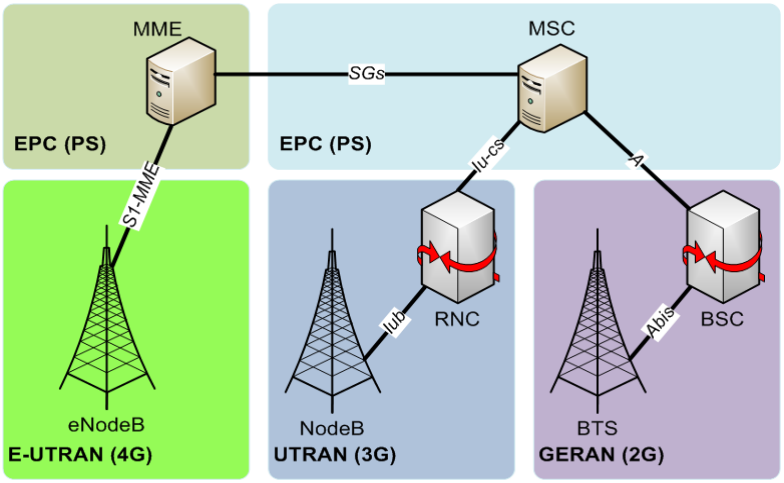

Рисунок 1.7 - Архитектура сети LTE при использовании CS Fallback

Используемое пользовательское оборудование, передача голоса, которого будет организована через CS Fallback, должно быть зарегистрировано в обеих сетях. Это осуществляется при помощи так называемой процедуры «EPS/IMSI Attach».

На первом шаге этой процедуры UE отправляет сообщение «Attach Request», который имеет следующие особенности в данном случае:

– поле EPS Attach Type устанавливается в Combined EPS/IMSI Attach;

– поле EMM Combined Procedures Capability устанавливается в «Mobile Station supports EMM Combined Procedures».

На рисунке1.8 приводится схема обмена сообщениями во время этой процедуры.

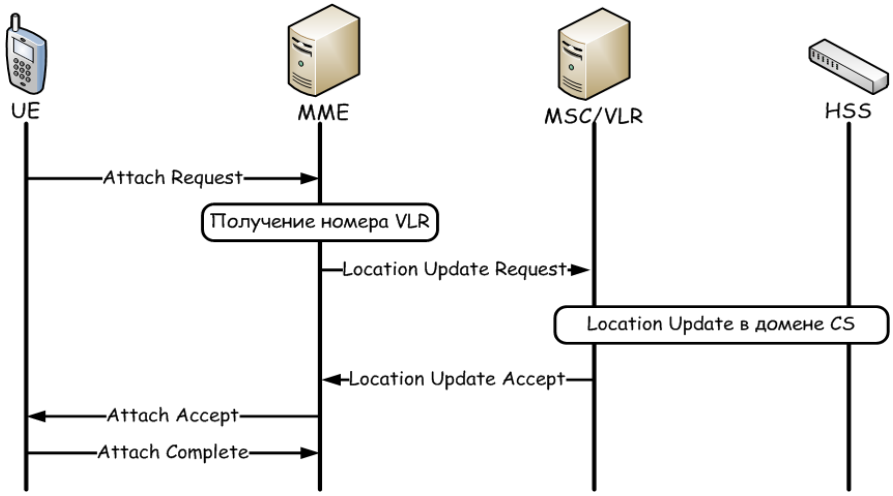

Рисунок 1.8 - Процесс обмена сообщениями при помощи процедуры «EPS/IMSI Attach»

Получив сообщение «AttachRequest», MME смотрит на указанный тип подключения и понимает, что данная мобильная станция должна быть также зарегистрирована на MSC. Далее MME определяет соответствующий номер VLR и Location Area Identity (из Tracking Area Identity сектора) и отправляет сообщение «Location Update Request» MSC/VLR. После получения этого сообщения, MSC/VLR сохраняет имя MME и, для выполнения регистрации UE в CS домене, выполняет обычную процедуру Location Update. После этого MSC/VLR отвечает MME сообщением «Location Update Accept», где может указать выделенный идентификатор TMSI или сообщить о том, что должен использоваться текущий IMSI. В свою очередь, MME посылает UE сообщением «Attach Accept». Завершается процедура подтверждением от UE сообщением «Attach Complete». И после этого UE может использовать механизм CS Fallback для совершения телефонных вызовов.

В Казахстане существующие сети LTE не поддерживают передачу голоса, поэтому для нашей страны этот вопрос является актуальным. В некоторых развитых странах мира, как Южная Корея и США и др, сети LTE предоставляют голосовые услуги.

1.5 Технология MIMO

MIMO (Multiple Input Multiple Output) – технология передачи данных с помощью N-антенн и приема информации M-антеннами. При этом антенны, принимающие и передающие сигнал, разнесены между собой на такое расстояние, чтобы получить слабую степень корреляции между соседними антеннами. Благодаря этому MIMO позволяет увеличить полосу пропускания канала, что требуется в современных системах связи. Например, в сотовых системах связи, высокоскоростных локально-вычислительных сетях и др. Нельзя не отметить, что применимость такого метода имеет и недостатки, так как из-за требований биологической защиты и электромагнитной совместимости повышение мощности и расширение полосы частот ограничено. Следовательно, если в системах связи возможные повышения излучаемой мощности и расширение полосы частот не обеспечивают необходимую скорость передачи данных, то одним из самых эффективных способов решений этой проблемы может быть применение адаптивных антенных решёток со слабо коррелированными антенными элементами, то есть применение антенн MIMO. На рисунке 1.9 изображена модель канала MIMO, где Tx – это передающие антенны, а Rx – приемные.

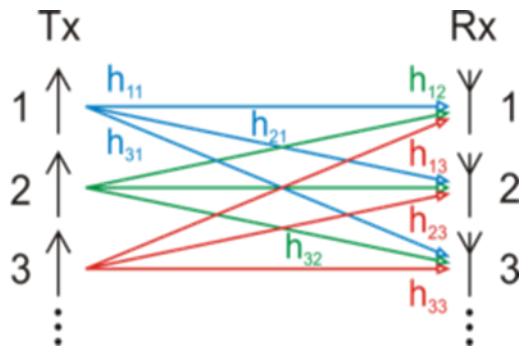

Рисунок 1.9 - Модель канала MIMO

В канале имеет место межсимвольная интерференция и частотная селективность. Не смотря на это, во многих случаях длительность импульсов в беспроводных системах связи намного больше задержек сигналов, поступающих на приёмную антенну. Это обстоятельство даёт возможность пренебречь межсимвольной интерференцией в канале. Так же необходимо учитывать и частотную селективность.

Для организации работы технологии MIMO необходима установка нескольких антенн на передающей и на приемной стороне. Обычно число антенн на входе и выходе системы одинаково, поскольку в таком случае достигается максимальная скорость передачи данных. Чтобы показать число антенн на приеме и передаче вместе с названием технологии «MIMO» ставят обозначение «AxB», где A – число антенн на входе системы, а B – на выходе.

По сравнению с обычными системами для работы MIMO необходимы некоторые изменения в структуре передатчика. Рассмотрим лишь один из существующих, наиболее простых, способов организации технологии MIMO. В первую очередь, на передающей стороне необходим делитель потоков, который разделяет передаваемые данные, на несколько низкоскоростных так называемых подпотоков, число которых зависит от числа антенн. Например, для MIMO 4x4 и скорости поступления входных данных 200 Мбит/с делитель будет создавать 4 потока по 50 Мбит/с каждый. После этого каждый из данных потоков должен быть передан через свою антенну. Обычно, антенны на передаче устанавливаются с некоторым пространственным разнесением, для обеспечения как можно большего числа побочных сигналов, возникающих в результате переотражений. В одном из других способов организации технологии MIMO сигнал передается от каждой антенны с различной поляризацией. Это позволяет идентифицировать его на приеме. Однако в простейшем случае каждый из передаваемых сигналов оказывается промаркированным самой средой передачи (задержкой во времени, затуханием и другими искажениями).

На приемной стороне несколько антенн принимают сигнал из радиоэфира. Причем антенны на приемной стороне также устанавливаются с некоторым пространственным разнесением, за счет чего обеспечивается

разнесенный прием, обсуждавшийся ранее. Принятые сигналы поступают на приемники, число которых соответствует числу антенн и трактов передачи. Причем на каждый из приемников поступают сигналы от всех антенн системы. Каждый из таких сумматоров выделяет из общего потока энергию сигнала только того тракта, за который он отвечает. Делает он это либо по какому-либо заранее предусмотренному признаку, которым был снабжен каждый из сигналов, либо благодаря анализу задержки, затухания, сдвига фазы, т.е. набору искажений или «отпечатку» среды распространения. В зависимости от принципа работы системы, передаваемый сигнал может повторяться через определенное время, либо передаваться с небольшой задержкой через другие антенны.

1.6 Ортогональное частотное разделение каналов OFDM

OFDM расшифровывается как Orthogonal Frequency-division Multiplexing и означает ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием. Это цифровая схема модуляции, которая использует близко расположенные друг к другу ортогональные поднесущие в большом количестве. Все поднесущие моделируются по стандартной схеме модуляции, такой как квадратурная амплитудная модуляция, на небольшой символьной скорости с соблюдением общей скорости передачи данных, как и в простых схемах модуляции одной несущей в этой же самой полосе пропускания.

Данная технология описывает направление сигнала от BS к UE. Что же касается обратного пути сигнала, то здесь пришлось отказаться от системы OFDM и воспользоваться другой технологией под названием SC-FDMA. SC-FDMA (Single-carrier FDMA) означает мультиплексирование на одной несущей. Смысл ее заключается в том, что при сложении большого количества ортогональных поднесущих образуется сигнал с большим пикфактором. Для успешной передачи такого сигнала без помех необходим высоколинейный передатчик.

OFDM в отличии от схемы с одной несущей может противостоять сложным условиям в канале. Например, бороться с затуханием в области высоких частот в длинных медных проводниках, узкополосными помехами и частотно-избирательным затуханием, вызванным многолучевым характером распространения, без использования сложных фильтров-эквалайзеров. В этом и заключается основное преимущество OFDM. Канальная эквализация упрощается вследствие того, что OFDM сигнал может рассматриваться как множество медленно модулируемых узкополосных сигналов, а не как один быстро модулируемый широкополосный сигнал. Низкая символьная скорость делает возможным использование защитного интервала между символами, что позволяет справляться с временным рассеянием и устранять межсимвольную интерференцию (МСИ).

Основная цель использования технологии OFDM - это устранение влияния помех из-за многолучевого распространения сигнала. Приведем

элементарный пример. Пусть по радиоканалу передается информация. При этом сигналы распространяются в замкнутом пространстве с достаточным числом препятствий, вызывающих переотражения. В таких условиях прямой и отражённые лучи приходят на приёмник с относительным запаздыванием. Если разница в задержке становится сравнимой с длительностью манипуляционного символа, то число ошибок возрастает вплоть до полной потери информации. Это явление называется межсимвольной интерференцией (МСИ).

Если длительность тактового интервала (длительность модуляционного символа) была бы существенно увеличена, то проблема межсимвольной интерференции могла бы быть в значительной степени снижена. Тогда возникновение межсимвольной интерференцией имело бы место на расстояниях 1 ...10 м, что уже не так актуально в реальности. Однако простое увеличение длительности символов приводит к снижению скорости, что неприемлемо с точки зрения обеспечения качества требуемых телекоммуникационных услуг.

Так возникла идея, состоящая в том, чтобы расщепить единый высокоскоростной поток, передаваемый на одной несущей, на несколько более низкоскоростных потоков, передавая каждый из них на своей поднесущей, то есть OFDM.

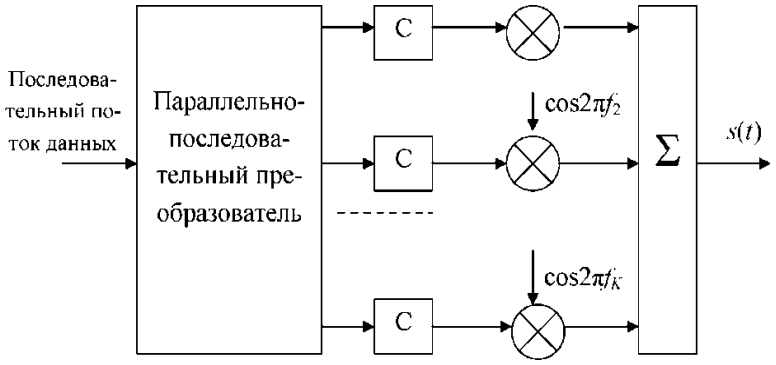

Рисунок 1.10 - Структурная схема прямого формирования OFDM-сигналов

1.7 Частотные диапазоны LTE

Как и для любой другой технологии, для сетей LTE Международным Союзом Электросвязи установлены определенные диапазоны частот. Ниже представлена таблица 1.1 с частотными данными при использовании FDD (Frequency Division Duplex) дуплекса, т.е. когда нисходящий и восходящий каналы передаются одновременно в разных частотных диапазонах.

Таблица 1.1 – Частотные диапазоны LTE при FDD

Частотный диапазон UL,	Частотный диапазон	Ширина канала,

МГц	DL, МГц	МГц
1920-1980	2110-2170	2x60
1850-1910	1930-1990	2x60
1710-1785	1805-1880	2x75
1710-1755	2110-2155	2x45
824-849	869-894	2x25
830-840	875-885	2x10
2500-2570	2620-2690	2x70
880-915	925-960	2x35
1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	2x35
1710-1770	2110-2170	2x60
1427.9-1452.9	1475.9-1500.9	2x25
698-716	728-746	2x18
777-787	746-756	2x10
788-798	758-768	2x10
704-716	734-746	2x12

Следует отметить, что с 1-го по 14-ый диапазоны совпадают с частотными диапазонами, используемыми сетями UMTS, также в частотных диапазонах 13 и 14 восходящий канал передается на более высоких частотах, чем нисходящий. Частотные диапазоны под номерами 15 и 16 определены для использования другими технологиями (таблица 1.2).

Таблица 1.2 - Частотные диапазоны LTE при TDD

Частотный диапазон, МГц	Ширина канала, МГц
1900-1920	20
2010-2025	15
1850-1910	60
1930-1990	60
1910-1930	20
2570-2620	50
1880-1920	40
2300-2400	100

При использовании TDD дуплекса нисходящий и восходящий каналы передаются последовательно в одном и том же частотном диапазоне.

Технология LTE поддерживает каналы различной ширины.В таблице 1.3 приводятся возможные варианты каналов, а также доступное количество ресурсных блоков в каждом из них.

Таблица 1.3 - Возможные варианты каналов

Ширина канала, МГц	Колличество ресурсных блоков	Колличество поднесущих

1.4	6	72
3	15	180
5	25	300
10	50	600
15	75	900
20	100	1200

1.8 Качество обслуживания в LTE

Современные технологии позволяют пользователям запускать огромное множество различных приложений на своих клиентских устройствах. При этом эти приложения имеют свои требования к качеству обслуживания (QoS-quality of service). Для обеспечения соблюдения параметров QoS для множества приложений, создаются различные EPS потоки. Все возможные EPS потоки можно разбить на две большие группы: потоки с гарантированной минимальной скоростью передачи (Minimum Guaranteed Bit Rate, GBR) и потоки без гарантий по скорости передачи данных (Non-GBR). Рассмотрим эти два типа потоков чуть более подробно.

Потоки типа GBR имеют заданное значение минимальной скорости передачи, устанавливаемое во время процедур создания потока или его изменения. При этом возможна передача данных с большей скоростью, чем минимально установленная, если есть свободные ресурсы на радио канале. Также может быть установлено ограничение на максимальную скорость передачи данных (Maximum Bit Rate, MBR). Потоки такого типа используются, например, при передаче VoIP трафика.

GBR потоки. Потоки данного типа не гарантируют никакой минимальной скорости передачи данных. Поэтому эти потоки используются для передачи трафика при просмотре интернет страниц и при передаче файлов по FTP.

На участке между BS и UE обеспечением параметров QoS занимается BS. Для этого каждому потоку приписан идентификатор QoS класса (QCI). Каждый QCI определяет значения для таких параметров, как QoS: приоритет, допустимая задержка и допустимое количество потерянных пакетов. Все возможные значения QCI, а также значения параметров QoS, относящиеся к конкретному QCI, определены в спецификации. Что должно обеспечить одинаковую обработку потоков одного и того же типа на оборудовании различных производителей.

Итак, существуют сетевые услуги различных классов, которые необходимо дополнительно атрибутировать в системе качества обслуживания. Перечислим список параметров QoS, по которым осуществляется относительная градация пользователей:

– трафиковый класс (голосовой, потоковый, интерактивный, фоновый);

– максимальная скорость передачи данных (в Кбит/с). Данный параметр определяет максимальное число бит, доставляемых сетью LTE (или в сеть LTE) за определённые интервалы времени;

– гарантированная скорость передачи данных (в Кбит/с) определяет гарантированное число бит, доставляемых сетью за определённые интервалы времени;

– порядок доставки - параметр, показывающий обеспечивает ли сквозной канал последовательную доставку пакетов данных или нет;

– максимальный размер (в байтах) пакетов данных, переносящих содержимое услуги (SDU, ServiceDataUnit). Данный параметр следует отличать от параметра MTU (Maximum Transfer Unit), используемого в IP-протоколе;

– информация (в битах) о формате пакетов данных, переносящих содержимое услуги, необходимая в сети радиодоступа в целях обеспечения функционирования RLC-протокола в прозрачном режиме;

– относительный уровень ошибочно переданных пакетов данных, переносящих содержимое услуги. Параметр используется для выбора надлежащей схемы (модуляции/кодирования) передачи данных по сети радиодоступа;

– остаточный коэффициент ошибок, отражающий число ошибочно переданных бит в доставленных пакетах данных, переносящих содержимое услуги;

– возможность доставки искажённых пакетов данных, переносящих содержимое услуги. Параметр используется при принятии решений о пересылке искажённых пакетов данных;

– задержка передачи (в мс) определяет допустимое отклонение значения задержки в сети радиодоступа от общего времени задержки в сквозном канале среди 95% значений задержек доставленных пакетов данных в течение времени существования всей услуги;

– приоритет в управлении трафиком отражает относительную важность рассматриваемого потока данных по сравнению с другими потоками;

– назначение/снятие приоритета. Используется для выявления приоритетных различий между каналами передачи услуг, когда выполняются операции по назначению и снятию;

– статистический дескриптор источника (речевой/неизвестный). Разговорная речь имеет хорошо известные статистические параметры. Поэтому, в целях информирования о том, что пакеты данных имеют речевую природу, этот факт может быть экспериментально (на основе подсчёта) обнаружен в различных точках;

– индикатор служебной информации (Да/Нет), определённые только для услуг интерактивного класса, показывает природу информации (служебная или пользовательская) в принятых пакетах;

– выделенное назначение/снятие приоритета — «усиленный» параметр назначения/снятия приоритета, содержащий увеличенный диапазон уровней приоритета, а также дополнительную информацию о возможности преимущественного занятия.

Вышеперечисленные параметры приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Диапазоны значений параметров QoS[4]

Параметр QoS	Голосовой класс	Потоковый класс	Интерактивный класс	Фоновый класс
Порядок доставки	Да /Нет	Да /Нет	Да /Нет	Да /Нет
Максимальный размер (в байтах) пакетов данных	1500, 1502	1500, 1502	1500, 1502	1500, 1502
Возможность доставки искажённых пакетов данных	Да /Нет	Да /Нет	Да /Нет	Да /Нет
Выделенное назначение / снятие приоритета: –уровень приоритета; – преимущественное занятие канала; – преимущественная степень защищённости	 1…15 Да /Нет Да /Нет	 1…15 Да /Нет Да /Нет	 1…15 Да /Нет Да /Нет	 1…15 Да /Нет Да /Нет
Назначение / снятие приоритета	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3

2 Выбор оборудования LTE

2.1 Базовая станция LTE

Технология LTE, являясь следующим этапом на пути усовершенствования 3G, имеет более упрощенную архитектуру, но при этом имеет ряд преимуществ для сети радиодоступа (RAN), по сравнению с предыдущими поколениями сетей. Например, одноуровневая структура сети, снижение задержек по времени, более высокую скорость передачи данных, улучшенную спектральную эффективность, оптимизированную поддержку услуги пакетной передачи данных, а также улучшенную емкость системы и

зону покрытия. Так же в LTE можно использовать как существующие, так и новые спектральные ресурсы для передачи данных и голоса.

На данном этапе проектирования нам необходимо выбрать наиболее оптимальный вариант оборудования, который будет выгодным как с экономической, так и с практической стороны. Современный рынок предлагает огромное разнообразие телекоммуникационного оборудования. Наиболее известные производители оборудования – это компании Nokia Siemens Networks, Alcatel, Yota, Ericsson, Huawei, Cisco и др.

Как уже было сказано, сети 4-го поколения можно строить на базе предыдущих сетей. Так у БС меняются два модуля BBU и RRU. Базовые станции LTE содержат радиомодули (приемопередатчики), блок цифровой обработки сигнала (BBU), интерфейсные платы (FE/GE порты, электрические, оптические). RRU – это выносныерадиомодули. Они устанавливаются вблизи антенны с целью уменьшения потерь в ВЧ-фидере. К BBU подключаются с помощью оптики (стандарт CPRI). Как видно, практически всё так же, как в BS 3G. Поскольку BS разных стандартов очень похожи, производители делают всё в одном флаконе устройстве. Решение это получило название Single RAN. Одна BS для всех трех стандартов: GSM, 3G и LTE. Достаточно удобное решение для операторов с точки зрения экономии места и питания на сайте, сокращения времени на монтаж и с экономической стороны так же выгодно.

Что касается антенн, то тут тоже не нужны какие-либо специальные антенны для LTE. Можно использовать обычные панельные антенны с кросс-поляризацией, которые используются в сетях GSM и в 3G. Но здесь есть один нюанс: в GSM и 3G две поляризации обычно используются на прием, а на передачу только одна (схема 2Rx/1Tx), а в LTE обе поляризации задействованы полностью (и на прием, и на передачу (схема 2Rx/2Tx)). На начальном этапе внедрения LTE этого будет достаточно. А дальше можно будет увеличить пропускную способность, добавив еще по одной кросс-поляризационной антенне (схема 4Rx/4Tx и MIMO4x4). Для этого нужно будет разнести антенны в пространстве на достаточное расстояние.

Контроллер сети доступа в виде отдельного физического и логического узла в сети LTE отсутствует и BS непосредственно подключается к узлам Core, причем исключительно по IP. Функционал MME можно совместить с используемым для GPRS/3G узлом SGSN, а с функции P-GW/S-GW - с GGSN.

Перейдем к выбору конкретного оборудования. Для сравнения возьмем базовую станцию «Flexi Multiradio» компании Nokia Siemens Networks и базовую станцию «Huawei DBS3900». Сравним их характеристики и выберем наиболее подходящий для нашей сети тип базовых станций.

2.2 Базовая станция «FlexiMultiradio».

Для подсистемы радиодоступа компания Nokia Siemens Networks предлагает ряд вариантов, выполненных по технологии Single RAN. Антенная

система «Flexi Multiradio» основана на технологии активных антенн, объединяющих антенну и радиооборудование в единый функциональный блок с отдельными усилителями мощности для каждого элемента антенны. Активная антенна позволяет осуществлять формирование лучей – фокусировку отдельного радиоподключения и его направление на конкретного пользователя.

На сегодняшний день более чем 200 операторов мира используют базовые станции «Flexi Multiradio». BS «Flexi Multiradio» состоит из системного модуля для цифровой обработки сигналов и радиомодуля с тремя приемопередатчиками.

Рисунок 2.1 - Базовая станция «Flexi Multiradio»

Общее описание «Flexi Multiradio»:

– простая конструкция и легкая установка;

– имеются встроенные интерфейсы системного модуля E1 и GEthernet;

– быстрое развертывания сети, за счет которого снижены требования к начальным вложениям;

– низкий уровень энергопотребления;

– сокращены длины необходимых антенных кабелей, что выгодно сказывается на радиопараметрах станции;

– гибкий дизайн;

– конструкция компактнее и легче типовой базовой станции;

– возможно использование вне помещений в любых погодных условиях.

Радиомодуль с тремя приемопередатчиками, может обслуживать три сектора с поддержкой в каждом секторе по 6 несущих GSM, четыре несущих WCDMA, или же нескольких каналов LTE (суммарная ширина равна 20 МГц). Радиомодуль способен работать в смешанном режиме GSM/WCDMA/LTE.

Рисунок 2.2 - Радиочастотный модуль «FlexiRFModuleTriple 90 W»

Технические характеристики радиомодуля «FlexiRFModuleTriple 90 W»:

– пригоден для использования внутри и вне помещений, с установкой на полу, на стене, на шесте, на мачте, в распределенных и безфидерных конфигурациях площадки;

– работает в частотных диапазонах: 700, 800, 850, 900, 1800, 1900, 1700/2100, 2100, 2300 и 2600 МГц;

– емкость достигает: до 6+6+6 каналов GSM, до 4+4+4 каналов WCDMA, 1+1+1 каналов LTE с полосой 20 МГц;

– технология усилителя мощности радиосигнала - мультистандартный усилитель мощности с множественными несущими;

– размеры: 133×447×560 мм; возможность установки в стойку 19 дюймов;

– вес устройства: 25 кг;

– диапазон температур: от -35°С до 55°С (охлаждается вентиляторами, скорость регулируется автоматически). Использует принудительную вентиляцию, повышая надежность станции за счет стабилизации температуры полупроводников;

– питание: от 40,5 до 57 В постоянного тока – для системного модуля, от 184 до 276 В переменного тока – для радиомодуля;

– требуемая мощность: 790 Вт;

– выходная мощность: 180 Вт с каждого радиомодуля или 60 Вт с удаленной радиоголовки;

– тип защиты от влажности: IP 65.

2.3 Базовая станция «Huawei DBS3900»

Компания Huawei производит недорогие базовые станции, из которых оптимальной является «Huawei DBS3900» с прилагающимся оборудованием. DBS3900 является достаточно распространенной базовой станцией среди всего многообразия данного вида оборудования, которое предлагает компания Huawei. BS состоит из блока обработки базовых частот (BBU) и выносного радиочастотного блока (RRU), где BBU3900-это блок обработки базовых

частот, а RRU3004 - радиочастотный блок, поддерживающий работу двух/четырёх радиопередатчиков.

Для взаимодействия между собой блоки RRU3004 и BBU3900 используется интерфейс CPRI, который обеспечивает соединение двух модулей с использованием оптических кабелей, что позволяет существенно сократить затраты по созданию автозала, установке оборудования и эксплуатации.

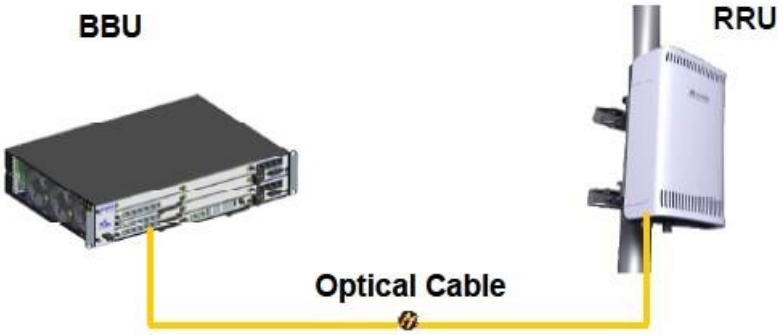

Рисунок 2.3 - Базовая станция «Huawei DBS3900»

Использование DBS3900 с распределёнными BTS позволяет ускорить развитие мобильных сетей, обеспечить большую их совместимость с другими сетями, также позволяет использовать широкополосные технологии.

BBU3900 - это блок для обработки базовых частот, который устанавливается внутри помещений и обеспечивает централизованное управление эксплуатацией и обслуживанием, а также обрабатывает сигнализации всей системы базовой станции и обеспечивает опорный сигнал синхронизации. BBU3900 обычно устанавливают в статив 2м×47,5см (высотой и шириной). Или же он может быть установлен в статив 19 дюймов, либо смонтирован на стену.

Непосредственно в BBU3900 устанавливаются дополнительные платы для мониторинга окружающих условий, мониторинга интерфейса Abis и сигналов синхронизации GPRS. Внешне BBU3900 представляет собой компактное оборудование, простое при установке, потребляющее небольшой объём мощности и обеспечивающий полный спектр услуг.

RRU3004 – это выносной радиочастотный блок, обеспечивающий обработку сигналов основных частот и радиочастотных сигналов. Один RRU3004 совмещает функции двух приёмопередатчиков, соответственно, если же два модуля RRU3004 установлены в подстативе RRU3004, они выполняют функцию четырёх приемопередатчиков.

Внешне функциональный блок RRU3004 представлен в виде простой установки с небольшим весом. Его можно установить на стальной мачте, стене или бетонном основании.

Для оптимального выбора BS приведем сравнительный анализ основных характеристик «Ericsson BTS6601» и «Huawei DBS3900» в виде таблицы 2.1.

Т а б л и ц а 2.1- Характеристики «Ericsson BTS6601» и «Huawei DBS3900»[5]

Характеристики	«Ericsson BTS6601»	«Huawei DBS3900»
Выходная мощность	60 Вт	40 Вт
Ёмкость	80 приёмопередатчиков	72 приёмопередатчика
Режим работы	GSM/WCDMA/LTE	GSM/WCDMA/LTE
Частотные диапазоны	700, 800, 850, 900, 1800, 1900, 1700/2100, 2100, 2300 и 2600 МГц	900, 1800, 1900, 2300, 2500,3400/3600 МГц
Ширина канала	5 и 10 МГц	5, 10, 15 МГц
Цена	Высокая	Низкая

Из-за ряда преимуществ для реализации сети LTE целесообразно использовать «Huawei DBS3900».

Базовая станция «HuaweiDBS3900» имеет следующие преимущества:

– разделение BBU и RRU, компактный дизайн и распределенная установка, что позволяют сэкономить пространство и смонтировать BBU и RRU чуть ли не в любом месте;

– распределённая установка позволяет удобно транспортировать и быстро развертывать сети;

– относительно низкая цена;

– BBU пригоден для установки в любом месте на стену или на бетонное основание или внутри BTS, устройств передачи или в системе питания, при монтаже вне помещений;

– RRU устанавливают вблизи антенн, что позволяет избежать затрат на приобретение и монтаж кабелей и фидеров;

– высокий уровень надёжности.

Следует отметить, что каждый RRU обеспечивает два высокоскоростных порта CPRI для обеспечения взаимодействия RRU и BBU в топологии кольцо. Один дополнительный порт CPRI предоставляет резервный канал между BBU и RRU.

2.4 Управляющее оборудование для сетей LTE

Для данного проекта используется решение по реализации сети EPCLTE разработанное компанией CiscoSystems. Основой идеей реализации стало совмещение функций MME, SGW и PGW в одном шасси мультисервисной платформы «CiscoASR 5000 PCS3», как показано на рисунках 2.4 и 2.5.

Маршрутизатор «CiscoASR 5000 PCS3» специально разработан для мобильных широкополосных сетей. Он отличается распределенной

архитектурой, встроенными интеллектуальными функциями, масштабируемостью и надежностью.

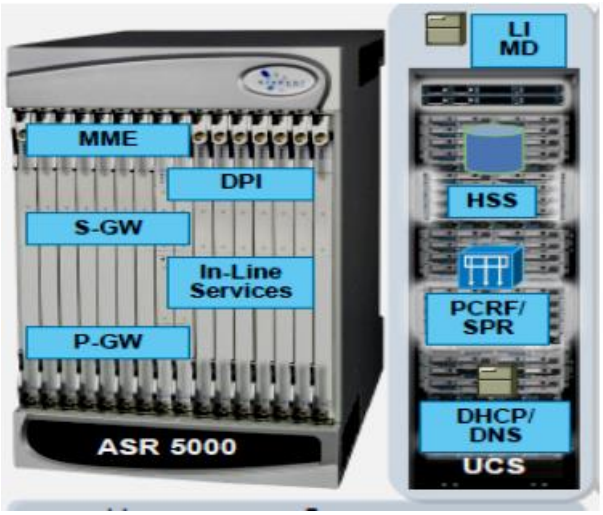

Рисунок 2.4 - Платформа «Cisco ASR 5000 PCS3»

Платформа «Cisco ASR 5000 PCS3» позволяет оператору связи наращивать производительность и емкость без массовых закупок дополнительного оборудования. Маршрутизатор «Cisco ASR 5000 PCS3» в своих сетях используют более 250 операторов мобильной связи в мире.

Достоинства платформы «Cisco ASR 5000 PCS3»:

– интегрированные сетевые функции, встроенные сервисы с высокой пропускной способностью;

– резервирование всех компонент;

– автоматическое восстановление абонентских сессий в рамках одного шасси;

– функция копирования процессов и их состояний;

– доступность платформы 99,9999%;

– восстановление сессий не превышает 2 сек.;

– отсутствие специализированных выделенных сервисных плат и модулей;

– процессорные ресурсы автоматически адаптируются к потребностям системы;

– защита памяти для отдельных процессов;

– общее программное обеспечение;

– обновление программного обеспечения осуществляется без прерывания сервисов;

– программные функции распределены по всей платформе.

Главным отличием платформы «Cisco ASR 5000 PCS3» является наличие встроенных сервисов «In-line Services»:

– DPI – глубокая инспекция пакетов – позволяет анализировать трафик и персонифицировать услуги, предоставляя абонентам различные качество обслуживания и гибкие правила тарификации в зависимости от типа трафика;

– обнаружение трафика одноранговых протоколов в реальном масштабе времени; определяет различные правила: пропуск или блокировка, специфическая тарификация, контроль потребляемой полосы пропускания;

– фильтрация контента на основе анализа URL в запросах HTTP от мобильных абонентов;

– персональный NAT/Firewall.

Краткая техническая характеристика платформы «Cisco ASR 5000 PCS3»:

– пропускная способность: 320 Гбит/с;

– количество сессий: 4 млн.;

– сетевые интерфейсы: 10/100/1000 Ethernet, 10 Гбит/с Ethernet, OLC/CLC Line Cards (ATM, POS, Frame Relay);

– входное напряжение: DC40 – 60 В;

– размеры (в×ш×г): 63,23×44,45×60,95 мм;

– полная масса: 139,25 кг;

– максимальная мощность: 800 Вт;

– допускается установка до трех «Cisco ASR 5000 PCS3» в стойку 42 RU.

3 Расчетная часть

3.1 Расчет пропускной способности сети и количества BS

Целью данной дипломной работы является проектирование сети беспроводной связи в городе Усть-Каменогорск на базе технологии LTE. Внедрение сети 4-го поколения в этом городе, можно полагать, будет достаточно выгодным, так как Усть-Каменогорск является крупным городом с численностью населения 330918 человек по переписи 2013 года.

Город Усть-Каменогорск расположен в восточной части Казахстана на месте слияния рек Иртыш и Ульба, неподалеку от горы Белуха, высшей точки Алтая. Эту область Алтайской горной системы называется Рудным Алтаем. Город является административным центром Восточно-Казахстанской области. Местность, окружающая город, представляет собой речную долину, со всех сторон обнесённую отрогами горных хребтов. Современный Усть-Каменогорск можно назвать центром цветной металлургии Республики. В городе действуют такие крупные промышленные предприятия как, Титано-магниевый комбинат, Свинцово-цинковый комбинат, Ульбинский металлургический завод и др. Территория города составляет 210 км^2.

Планирование радиосети LTE несколько отличается от процесса планирования других технологий беспроводного радиодоступа. Главное

отличие заключается в использовании многостанционного доступа OFDM. В целом процесс планирования радиосети можно разделить на два этапа:

– формирование максимальной площади покрытия;

– обеспечение требуемой емкости.

Рисунок 3.1– Карта города Усть-Каменогорск

Как мы уже отметили, сеть будет проектироваться в городской местности с относительно невысокой плотностью абонентов. Следовательно, базовые станции можно будет установить не на минимальном удалении друг от друга. Тип дуплекса выберем частотный – FDD. В связи с этим расчет будем производить в диапазонах частот 1850-1910МГц (нисходящий канал) и 1930-1990МГц (восходящий канал). Базовую станцию устанавливаем на мачту высотой 32 м.

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 60 МГц, для частотного типа дуплекса FDD на основании 3GPPRelease 9 для разных конфигураций MIMO, представлена в таблице 3.1

Таблица 3.1 - Средняя спектральная эффективность для сети LTE[6]

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	2,930 3,430 4,480

Для системы FDD средняя пропускная способность 1 сектора BS может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность канала

$$R = S \cdot W, \tag{3.1}$$

где S – средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц);
W – ширина канала (МГц); W = 15 МГц.

$$R_{DL} = 3{,}430 \cdot 15 = 51{,}45, \text{ Мбит/с};$$

$$R_{UL} = 1{,}829 \cdot 15 = 27{,}44, \text{ Мбит/с}.$$

Средняя пропускная способность базовой станции R_{eNB} вычисляется путем умножения пропускной способности одного сектора на количество секторов базовой станции; число секторов BS примем равное 3, тогда

$$R_{BS} = R_{DL/UL} \cdot 3, \tag{3.2}$$

$$R_{BS.DL} = 51{,}45 \cdot 3 = 154{,}35, \text{ Мбит/с};$$

$$R_{BS.UL} = 27{,}44 \cdot 3 = 82{,}3, \text{ Мбит/с}.$$

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

$$N_k = \left[\frac{\Delta f_{\sum}}{\Delta f_к}\right], \tag{3.3}$$

где $\Delta f_{\sum}$ - полоса частот, выделенная для работы сети и равная 60 МГц;
$\Delta f_к$ – полоса частот одного радиоканала.

Под радиоканалом в сетях LTE определяется такое понятие как ресурсный блок, который имеет ширину 180 кГц, $\Delta f_к$ = 180 кГц.

$$N_к = \frac{60000}{180} \approx 333 \text{ (каналов)}$$

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

$$N_{к.сек} = \left[\frac{N_к}{(N_{кл} \cdot M_{сек})}\right], \tag{3.4}$$

где $N_к$ – общее число каналов;
$N_{кл}$–размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов (3);
$M_{сек}$ – количество секторов BS, принятое 3.

$$N_{к.сек} = \left[\frac{333}{(3 \cdot 3)}\right] \approx 37 \text{ (каналов)}.$$

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

$$N_{кт.сек} = N_{кт1} \cdot N_{к.сек}, \tag{3.5}$$

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

$$N_{кт.сек} = 3 \cdot 37 = 111 \text{ (каналов)}.$$

В соответствии с моделью Эрланга, представленной в виде графика на рисунке 3.2, определим допустимую нагрузку в секторе одной соты $A_{сек}$ при допустимом значении вероятности блокировки равной 1% и рассчитанным выше значении $N_{кт.сек}$. Определим, что $A_{сек}$ = 90 Эрл.

Число абонентов, которое будет обслуживаться одной BS, определяется по формуле

$$N_{\text{аб}.BS} = M_{\text{сек}} \cdot \left[\frac{A_{\text{сек}}}{A_1}\right], \tag{3.6}$$

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

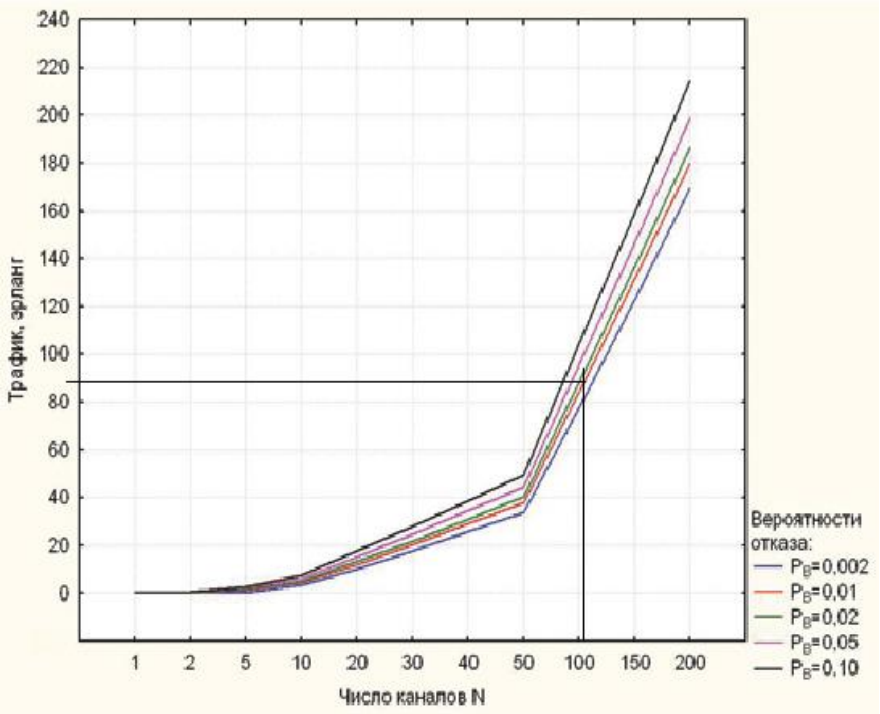

Рисунок 3.2 - Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки

Так как проектируемая сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение A_1 примем равным 0,15 Эрл. Рассчитаем количество абонентов одной базовой станции

$$N_{\text{аб}.BS} = 3 \cdot \left[\frac{90}{0{,}15}\right] \approx 1800 \text{ (абонентов)}.$$

Число BS в проектируемой сети LTE найдем по формуле

$$N_{BS} = \left[\frac{N_{\text{аб}}}{N_{\text{аб}.BS}}\right] + 1, \tag{3.7}$$

где $N_{аб}$ – количество потенциальных абонентов.

Количество потенциальных абонентов определим как 20% от общего числа жителей. Общее число жителей в г.Усть-Каменогорск составляет 330 918 человек. Таким образом, количество потенциальных абонентов составит 66184 человек, тогда:

$$N_{BS} = \left[\frac{66184}{1800}\right] + 1 \approx 37\,, BS.$$

Среднюю планируемую пропускную способность R_N проектируемой сети определим путем умножения количества BS на среднюю пропускную способность BS. Формула примет вид:

$$R_N = (R_{BS.DL} + R_{BS.UL}) \cdot N_{BS}, \qquad (3.8)$$

$$R_N = (154{,}35 + 82{,}3) \cdot 38 \approx 8992{,}7, \text{ Мбит/с.}$$

Далее выполним проверочную оценку емкости проектируемой сети и сравним с рассчитанной. Определим усредненный трафик одного абонента в ЧНН:

$$R_{\text{т.ЧНН}} = \frac{\text{Т}_\text{т} \cdot q}{N_{\text{ЧНН}} \cdot N_\text{д}}\ , \qquad (3.9)$$

где T_m - средний трафик одного абонента в месяц, T_m = 20 Гбайт/мес;

q – коэффициент для городской местности, q = 2;

$N_{ЧНН}$ – число ЧНН в день, $N_{ЧНН}$ = 7;

$N_д$ – число дней в месяце, $N_д$ = 30.

$$R_{\text{т.ЧНН}} = \frac{20 \cdot 2}{7 \cdot 30} = 0{,}19\ , \text{Мбит/с}$$

Определим общий трафик проектируемой сети в ЧНН $R_{общ./ЧНН}$ по формуле

$$R_{общ./ЧНН} = R_{т.ЧНН} \cdot N_{акт.аб}, \qquad (3.10)$$

где $N_{акт.аб}$ – число активных абонентов в сети;

Определим число активных абонентов в сети как 70% от общего числа потенциальных абонентов $N_{аб}$, то есть $N_{акт.аб}$ =46328 абонентов.

$$R_{общ./ЧНН} = 0{,}19 \cdot 46328 = 8802, \text{ Мбит/с.}$$

Таким образом, $R_N > R_{общ./ЧНН}$. Это условие показывает, что проектируемая сеть не будет подвергаться перегрузкам в ЧНН.

3.2 Определение зоны покрытия трехсекторной BS

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

$$P_{ПРМ} = \frac{P_{ПРД} \cdot \eta_{ФПРД} \cdot G_{АПРД} \cdot \xi_{П} \cdot G_{АПРМ} \cdot \eta_{ФПРМ} \cdot \xi_{С}}{L_{\Sigma}}, \qquad (3.11)$$

где $P_{ПРМ}$ – мощность радиосигнала на входе, дБ/Вт;

$P_{ПРД}$ – мощность передатчика, дБ/Вт;

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

$G_{АПРД}$, $G_{АПРМ}$ – коэф-ты усиления передающей и приемной Антенн, дБ;

$\xi_{П}$, $\xi_{С}$ – коэф-ты согласования антенн с радиосигналом по поляризации, дБ;

L_{Σ} – суммарное затухание радиоволн на трассе, дБ.

Значение мощности радиосигнала на входе приемника удобно выражать в децибелах относительно ватта. При этом уравнение (3.11) принимает вид

$$\begin{aligned} P_{ПРМ}(дБ/Вт) &= P_{ПРД}(дБ/Вт) + \eta_{ФПРД}(дБ) + G_{АПРД}(дБ) + \xi_{П}(дБ) + \\ &+ G_{АПРМ}(дБ) + \eta_{ФПРМ}(дБ) + \xi_{С}(дБ) - L_{\Sigma}(дБ) \end{aligned} \qquad (3.12)$$

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

$$L_{\Sigma}(дБ) = P_{ПРД} + \eta_{ФПР} + G_{АПРД} + \xi_{П} + G_{АПРМ} + \eta_{ФПРМ} + \xi_{С} - P_{ПРМ} \qquad (3.13)$$

В таблице 3.2 приведены параметры базовой и мобильной станций, необходимые для вычисления суммарных затуханий радиоволн (в восходящем и нисходящем каналах передачи данных).

Таблица 3.2 - Значения параметров BS и UE для проектируемой сети 4G[7]

Обозначение	Наименование и единица измерения	Значение
$P_{ПРД}$ БС	Мощность передатчика БС, дБ/Вт	40
$G_{ПРД}$ БС	К-т усиления передающей антенны БС , дБ	18

$f_{ПРД}$ БС	Полоса рабочих частот передачи БС, МГц	1930-1990
$P_{ПРМ}$ БС	Чувствительность приемника БС, дБ/Вт	-138
$G_{ПРМ}$ БС	К-т усиления приемной антенны БС , дБ	18
$f_{ПРМ}$ БС	Полоса рабочих частот приема БС, МГц	1850-1910
$P_{ПРД}$ МС	Мощность передатчика МС, дБ/Вт	-3
$G_{ПРД}$ МС	К-т усиления передающей антенны МС , дБ	0
$f_{ПРД}$ МС	Полоса рабочих частот передачи МС, МГц	1850-1910
$P_{ПРМ}$ МС	Чувствительность приемника МС, дБ/Вт	-104
$G_{ПРМ}$ МС	К-т усиления приемной антенны МС , дБ	0
$f_{ПРМ}$ МС	Полоса рабочих частот приема МС, МГц	1930-1990

Для BS суммарное затухание радиоволн на трассе равно

$$L_{\Sigma BS}(\partial Б) = P_{ПРД\,BS} + \eta_{ФПР\,BS} + G_{АПРД\,BS} + \xi_{П\,BS} + G_{АПРМ\,UE} + \eta_{ФПРМ\,UE} + \xi_{C\,UE} - P_{ПРМ\,UE} =$$
$$= 40 + 0{,}95 + 18 + 0{,}9 + 0 + 0{,}95 + 0{,}9 + 104 = 165{,}7\ \partial Б$$

Для UE суммарное затухание радиоволн на трассе равно

$$L_{\Sigma UE}(\partial Б) = P_{ПРД\,UE} + \eta_{ФПРUE} + G_{АПРД\,UE} + \xi_{П\,UE} + G_{АПРМ\,BS} + \eta_{ФПРМ\,BS} + \xi_{C\,BS} - P_{ПРМ\,BS} =$$
$$= -3 + 0{,}95 + 0 + 0{,}9 + 18 + 0{,}95 + 0{,}9 + 138 = 156{,}7\ \partial Б$$

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

$$L_{\Sigma} = L_P + L_{РЕЛ} \qquad (3.14)$$

Определим поправку, учитывающей рельеф местности. Для этого на карте города выбираем место расположения BS. Для размещения антенны BSв центральном районе города найдем подходящее здание (не жилой дом) для размещения антенны BS. Возьмем8-миэтажное здание Народного банка. Расчет произведем по трем направлениям: Север, Юго-Восток, Юго-Запад.

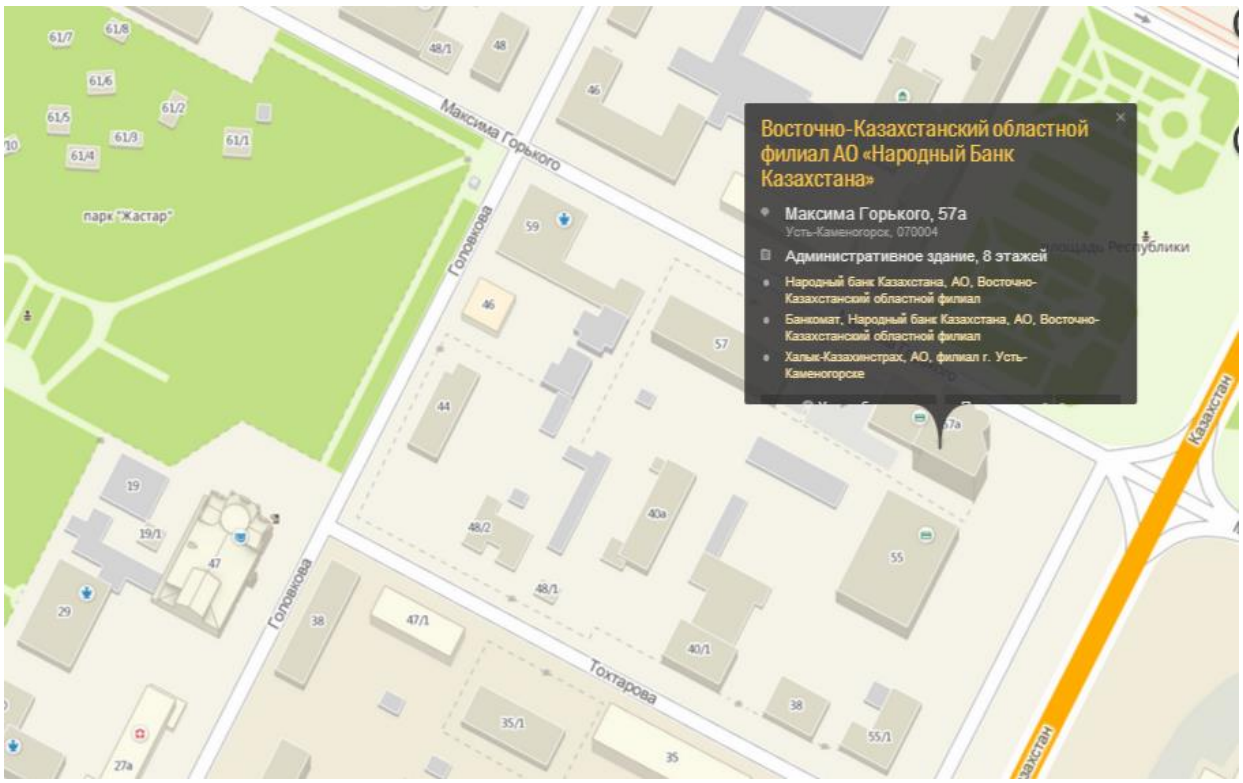

Рисунок 3.3 – Местоположение БС

Примем высоту этажа за 3,5м, тогда высота здания равна h=8*3,5=28 м, а вместе с антенной h=28+4=32 метров. Определим поправки, учитывающие рельеф местности для всех трех направлений. Коэффициент $L_{рел}$определяем, интерполируя между графиками рисунка 3.4.

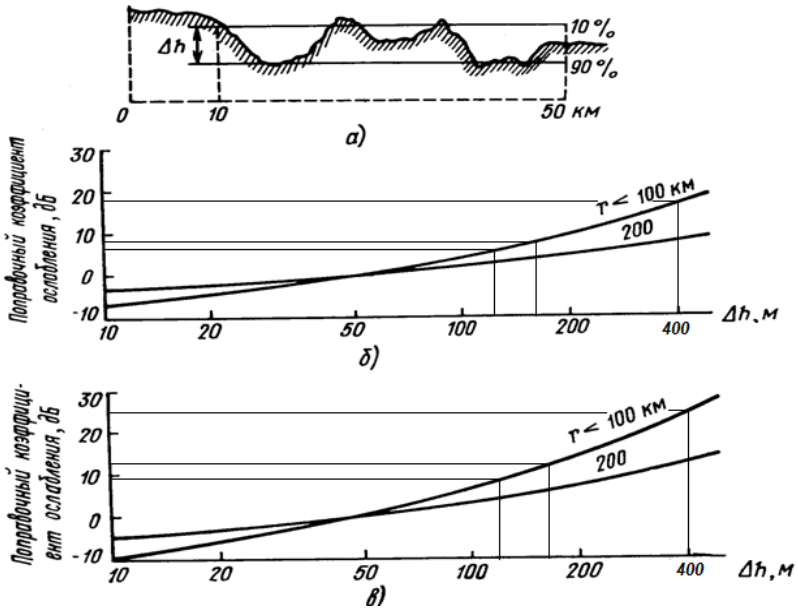

Рисунок 3.4– График для определения поправки, учитывающей рельеф местности

Определяем $L_{рел}$ - поправку, учитывающую рельеф местности по направлению «СЕВЕР». Измерения ведем на дистанции в 5 км.

Рисунок 3.5 –Рельеф местности в северном направлении

Рисунок 3.6 – Профиль трассы в северном направлении

Изменение высоты над уровнем моря в северном направлении определим как разницу между максимальной и минимальной высотой

$$\Delta h = 300 - 283 = 17 м$$

По рисунку 3.4 определяем поправки для 17м, учитывающие рельеф местности: L_1=-5 дБ, L_2=-4 дБ. Находим среднеарифметическое значение затухания

$$L_{рел} = \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{-5-4}{2} = -4.5 дБ$$

Определяем $L_{рел}$ - поправку, учитывающую рельеф местности по направлению ЮГО-ВОСТОК. Измерения ведем на дистанции в 5 км.

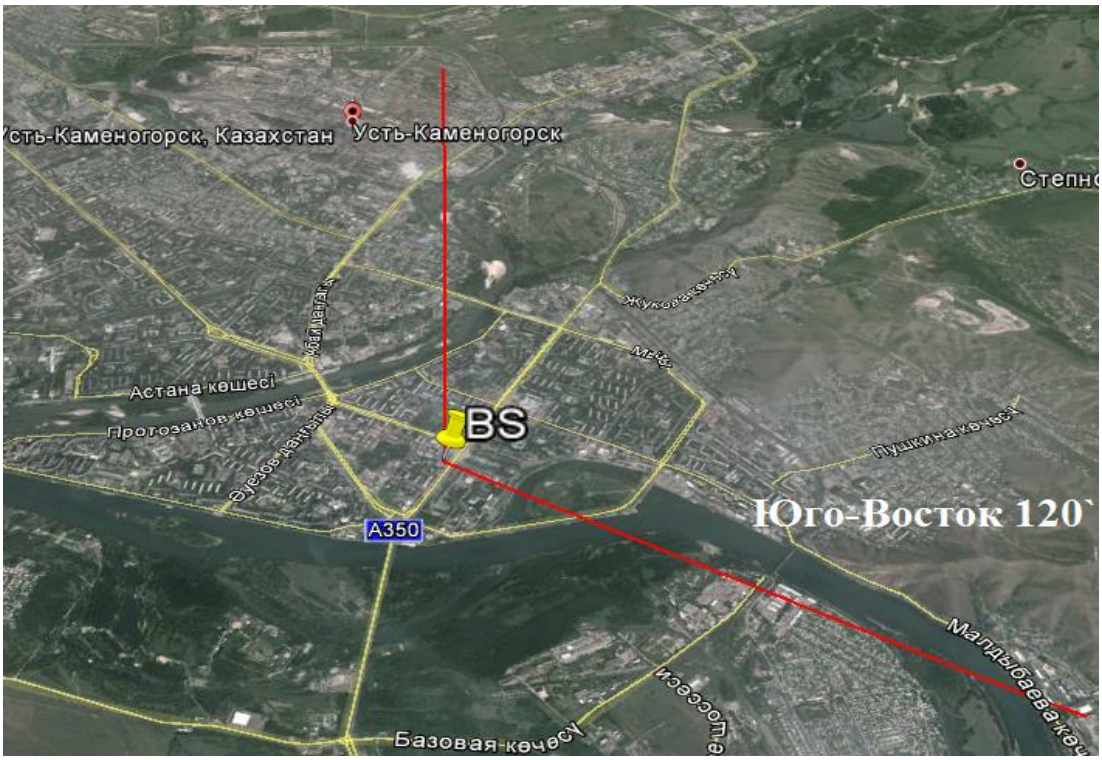

Рисунок 3.7 – Рельеф местности в юго-восточном направлении

Рисунок 3.8 – Профиль трассы в юго-восточном направлении

Аналогично для юго-восточного направления определим значение Δh

$$\Delta h = 313 - 281 = 32 м$$

По рисунку 3.4 определяем поправки, учитывающие рельеф местности: L_1=-2 дБ, L_2=-6 дБ. Находим среднеарифметическое значение затухания

$$L_{рел} = \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{-2-6}{2} = -4 дБ$$

Определяем $L_{рел}$ - поправку, учитывающую рельеф местности по направлению ЮГО-ЗАПАД. Измерения ведем на дистанции в 5 км.

Рисунок 3.9 – Рельеф местности в юго-восточном направлении

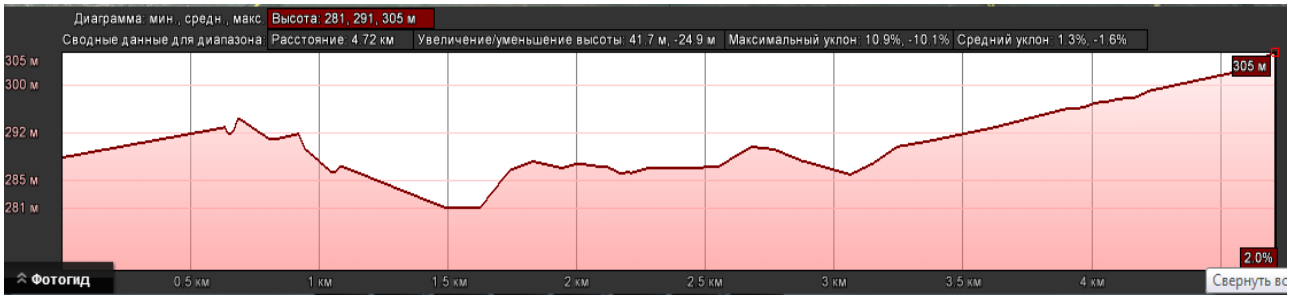

Рисунок 3.10 – Профиль трассы по направлению юго-запад

Определим значение Δhдля юго-западного направления

$$\Delta h = 305 - 281 = 24м$$

По рисунку 3.4 определяем поправки, учитывающие рельеф местности: L_1=-3дБ, L_2=-4дБ.Находим среднеарифметическое значение затухания

$$L_{рел} = \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{-3-4}{2} = -3{,}5 дБ$$

Определим потери распространения для соответствующего типа местности от BS к UE

$$L_P = L_{\sum} - L_{РЕЛ} = 165{,}7 + 4{,}5 = 170{,}2 \text{ дБ - сектор A - 0º;}$$
$$L_P = L_{\sum} - L_{РЕЛ} = 165{,}7 + 4 = 169{,}7 \text{ дБ - сектор B - 120º;}$$
$$L_P = L_{\sum} - L_{РЕЛ} = 165{,}7 + 3{,}5 = 169{,}2 \text{ дБ - сектор C - 240º;}$$

Определим потери распространения для соответствующего типа местности от UE к BS

$$L_P = L_{\sum} - L_{РЕЛ} = 156{,}7 + 4{,}5 = 161{,}2 \text{ дБ - сектор A - 0º;}$$
$$L_P = L_{\sum} - L_{РЕЛ} = 156{,}7 + 4 = 159{,}7 \text{ дБ - сектор B - 120º;}$$
$$L_P = L_{\sum} - L_{РЕЛ} = 156{,}7 + 3{,}5 = 160{,}2 \text{ дБ - сектор C - 240º.}$$

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

3.3 Расчет радиуса действия BS с помощью модели WIM

Для расчета я буду использовать модель Волфиша-Икегами (WIM). Рельеф местности в зоне обслуживания Δh системы подвижной радиосвязи определяется по карте местности с учетом расположения 3-х секторной антенны в месте расположения BS. Потери распространения для соответствующего типа местности показывают, что уровень сигнала заметно флуктуирует из-за изменения высоты зданий, ширины улиц, характера местности. Модель WIM используется при расчете затухания в городской среде.

Модель может применяться в случаях, когда антенна базовой станции расположена как выше, так и ниже линии уровня крыш городской застройки. В совокупность эмпирических факторов, учтенных расчетной формулой входят высоты антенн базовой и подвижной станций, ширина улиц, расстояния между зданиями, высота зданий и ориентация улиц относительно направления распространения сигнала.

В модели WIM различают два случая LOS (прямая видимость) и NLOS (непрямая видимость). В случае LOS, если на прямой распространения сигнала от передатчика и приемника нет заграждений, то WIM-модель описывается уравнением

$$L_{LOS}=42.64+26\cdot\lg d_{km}+20\cdot\lg f_{MHz},\ d_{km}\geq 0{,}02 \qquad (3.15)$$

Потери в свободном пространстве

$$L_{fs}=32.45+20\cdot\lg d_{km}+20\cdot\lg f_{MHz}, \qquad (3.16)$$

$$L_{LOS}=L_{fs}+10{,}19+6\cdot\lg d_{km}=L_{fs}+6\cdot\lg(50\cdot d_{km})=L_{fs}+6\cdot\lg\left(\frac{d_{km}}{20}\right), \qquad (3.17)$$

где d_{km} – расстояние в метрах.

Параметры, также используемые в NLOS WIM:
h_b- высота антенны базовой станции (32 м от земли);
h_m- высота антенны абонента (1,5 м от земли);
h_B- высота зданий;
$\Delta h_b=h_b-h_B$- высота антенны базовой станции от уровня крыш;
b- расстояние между зданиями (20-50 м);
ω-ширина улиц (обычно $b/2$).

Как правило, городские районы застроены разновысокими зданиями. Ширина улиц и расстояние между зданиями также колеблются в широких пределах. Поэтому при расчете по модели WIM принимаем несколько условий:

– высота одного этажа в жилом здании принимается равнойЗм;

– в одноэтажных жилых зданиях высота неплоской крыши принимается равной 2 м;

– расстояние между одноэтажными зданиями не менее 5 м;

– ширина улиц, застроенных одноэтажными домами не менее 15 м;

– расстояние между многоэтажными зданиями принимается равной 30м;

– ширина улиц, застроенных многоэтажными зданиями, равна 20 м;

– высота одного этажа в офисном помещении равна 3.5 м;

Следовательно, необходимо знать процент застройки района, в котором размещается антенна BS, зданиями различного типа. На основании этого определяется средняя высота зданий, среднее расстояние между зданиями и средняя ширина улиц для всего района, определенного в задании. Высоту здания, на котором будет размещена антенна БС, усреднять не рекомендуется. Зная высоту этого здания и высоту положения антенны БС в соответствии с

заданием, можно определить Δh_b– высоту антенны базовой станции от уровня крыш.

Таким образом, параметры данного здания будут следующие: h_b=32 м, h_m=1.5м, h_B =29 м, Δh_b=h_b-h_B=32-29=3 м, b = 20м, ω = 10м, Δh_m=h_B–h_m=29-1.5= 28.5м.

Радиус действия BS в условиях прямой видимости рассчитаем по формуле:

$$d_{kmLOS} = 10^{\frac{L_P - 42.64 - 20 \cdot \lg f}{26}}, \qquad (3.18)$$

Радиус действия BS в условиях непрямой видимости рассчитаем по формуле:

$$d_{kmNLOS} = 10^{\frac{L_P - 69.55 - 26 \cdot \lg f + 10 \cdot \lg \omega + 9 \cdot \lg b - 20 \cdot \lg \Delta h_m + 18 \cdot \lg(1 + \Delta h_b)}{38}}, \qquad (3.19)$$

Рассчитаем радиус действия базовой станции от BS к UE, при f_0= 1930 МГц в северном направлении (0º)

$$d_{km}LOS = 10^{\frac{170.2 - 42.64 - 20 \cdot \lg(1930)}{26}} = 239{,}22, км;$$

$$d_{km}NLOS = 10^{\frac{170{,}2 - 69.55 - 26 \cdot \lg(1930) + 10\lg(10) + 9\lg(20) - 20\lg(28.5) + 18\lg(1+3)}{38}} = 3{,}101, км.$$

Рассчитаем радиус действия базовой станции от BS к UE, при f_0= 1930 МГц в юго-восточном направлении (120º)

$$d_{km}LOS = 10^{\frac{169{,}7 - 42.64 - 20 \cdot \lg(1930)}{26}} = 228{,}86, км;$$

$$d_{km}NLOS = 10^{\frac{169{,}7 - 69.55 - 26 \cdot \lg(1930) + 10\lg(10) + 9\lg(20) - 20\lg(28.5) + 18\lg(1+3)}{38}} = 3{,}008, км.$$

Рассчитаем радиус действия базовой станции от BS к UE, при f_0= 1930 МГц в юго-западном направлении (240º)

$$d_{km}LOS = 10^{\frac{169.2 - 42.64 - 20 \cdot \lg(1930)}{26}} = 218{,}95, км;$$

$$d_{km}NLOS = 10^{\frac{169.2 - 69.55 - 26 \cdot \lg(1930) + 10\lg(10) + 9\lg(20) - 20\lg(28.5) + 18\lg(1+3)}{38}} = 2{,}918, км.$$

Рассчитаем радиус действия базовой станции от UE к BS, при f_0= 1850 МГц в северном направлении (0º)

$$d_{km}LOS = 10^{\frac{161.2 - 42.64 - 20 \cdot \lg(1850)}{26}} = 111{,}376, км;$$

$$d_{km}NLOS = 10^{\frac{161{,}2 - 69.55 - 26 \cdot \lg(1850) + 10\lg(10) + 9\lg(20) - 20\lg(28.5) + 18\lg(1+3)}{38}} = 1{,}85, км.$$

Рассчитаем радиус действия базовой станции от UE к BS, при f_0= 1850 МГц в юго-восточном направлении (120º)

$$d_{km}LOS = 10^{\frac{159{,}7 - 42.64 - 20 \cdot \lg(1850)}{26}} = 97{,}521, км;$$

$$d_{km}\mathrm{NLOS} = 10^{\frac{159{,}7 - 69.55 - 26 \cdot \lg(1850) + 10\lg(10) + 9\lg(20) - 20\lg(28.5) + 18\lg(1+3)}{38}} = 1{,}689, км.$$

Рассчитаем радиус действия базовой станции от UE к BS, при f_0= 1850 МГц в юго-западном направлении (240º)

$$d_{km}\mathrm{LOS} = 10^{\frac{160.2 - 42.64 - 20 \cdot \lg(1850)}{26}} = 101{,}936, км;$$

$$d_{km}\text{NLOS} = 10^{\frac{160.2 - 69.55 - 26 \cdot \lg(1850) + 10\lg(10) + 9\lg(20) - 20\lg(28.5) + 18\lg(1+3)}{38}}$$
$$= 1{,}741, км.$$

Рассчитаем площадь S_{BS} покрытия трехсекторного сайта по формуле

$$S_{BS} = 9\frac{\sqrt{3}}{8} \cdot d^2, \tag{3.20}$$

$$S_{BS} = 9\frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 1.689^2 \approx 5.559\text{ , км}^2.$$

Общее количество базовых станций получим, разделив общую площадь города на площадь одной BS

$$N_{BS} = \left[\frac{210}{5{,}559}\right] = 38\ (BS).$$

Результаты расчетов, полученные по модели Вольфиша-Икегами сведены в таблицу 3.3

Таблица 3.3 – Результаты расчётов модели WIM для LTE

Направление сектора BS относительно СП, град.	Потери L_P, дБ BS-UE	Потери L_P, дБ UE-BS	Ожидаемое расстояние между BS и UE, км	Ожидаемое расстояние между UE и BS, км
Сектор A - 0º	170,2	161,2	3,101	1,85
Сектор B - 120º	169,7	159,7	3,008	1,689
Сектор C - 240º	169,20	160,2	2,918	1,741

Из произведенного расчета обозначим на карте зону покрытия одной базовой станции.

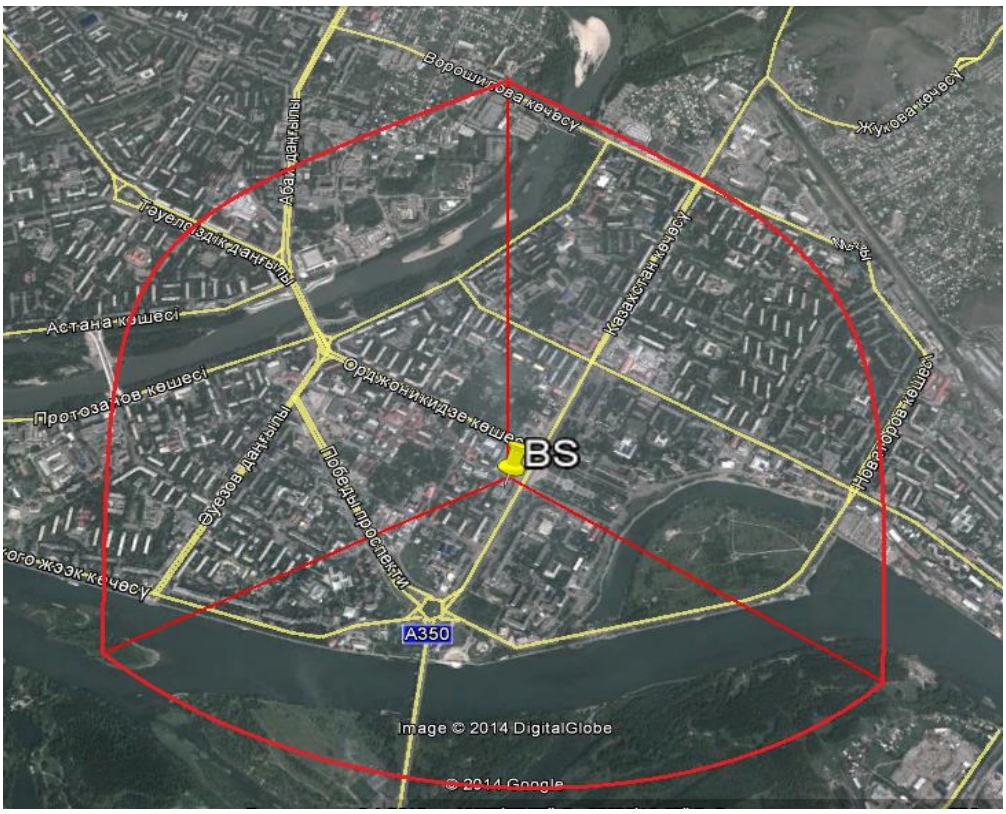

Рисунок 3.11 – Зона покрытия BS (LTE)

3.4 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE

Скорость передачи в канале LTE для «близких» (в центре соты) пользователей (Мбит/с)

$$R1(u) = \frac{4}{7} W \log_2 (1 + \eta 1(u)); \qquad (3.21)$$

для «далеких» (на границе соты) пользователей

$$R2(u) = \frac{3}{7} W \log_2 (1 + \eta 2(u)), \qquad (3.22)$$

где W – полоса системы, МГц; η – SINR.

Исходные данные: W=10МГц, η1(u)=6, η2(u)=0,6.

Скорость передачи для пользователей в центре соты

$$R1(u) = \frac{4}{7} 15 \log_2 (1 + 6) = 24{,}06 \ \ Мбит/с,$$

а скорость передачи для пользователей на границе соты

$$R2(u) = \frac{3}{7} 15 \log_2 (1 + 0{,}6) = 4{,}36 \ \ Мбит/с.$$

Расчет был произведен в программе Mathcad14. Полученные вычисления представлены в Приложении А1 и Приложении А2

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ условий труда

Производственный процесс осуществляется в помещении 20 м^2 с двумя окнами по 4 м^2 каждое. Помещение рассчитано для работы 3 человек, кондиционер не установлен. Схема помещения с расположением рабочих мест представлена на рисунке 4.1.

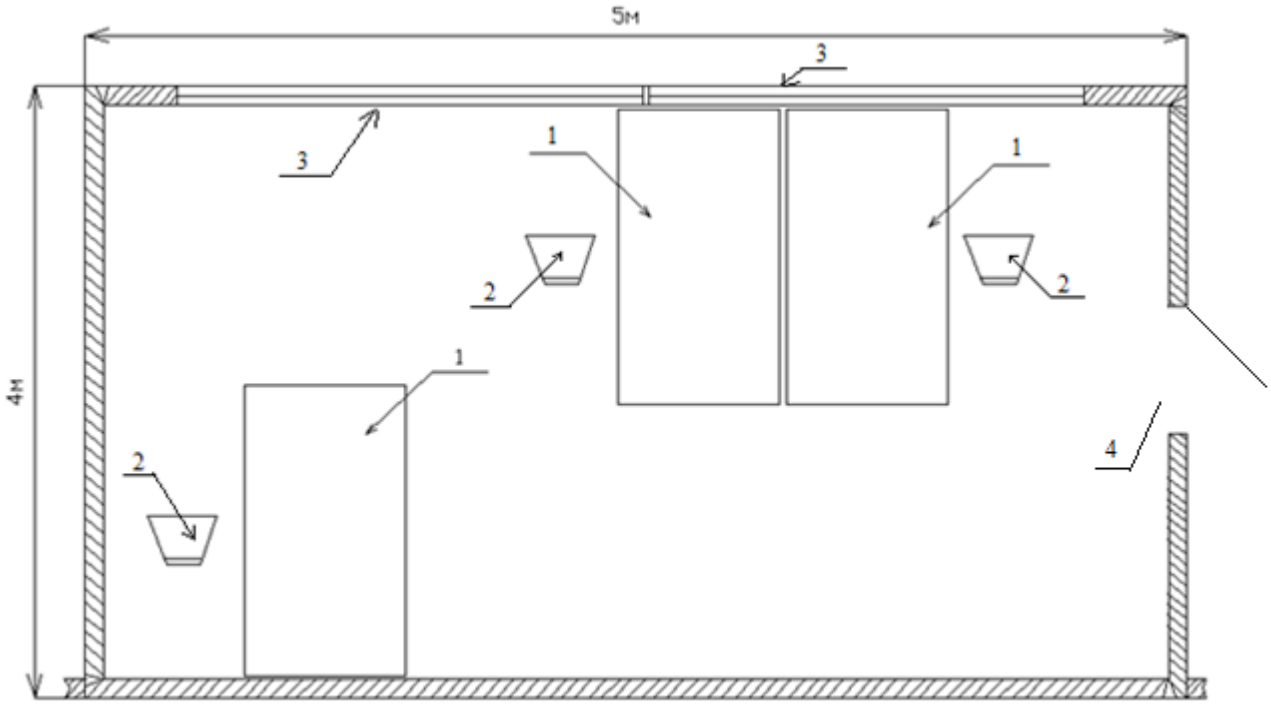

Рисунок 4.1 - План помещения

На рисунке 1.1 отмечены следующие элементы: 1-стол; 2-стул; 3-окно; 4-дверь. Параметры помещения:

– площадь – 20м^2 ;
– высота потолка- 3м;
– количество окон- 2;
– площадь окна- 4м^2;
– количество светильников – 2.

Данное офисное помещение предназначено для работы инженеров. Работа будет осуществляться в две смены, поэтому необходим анализ как естественного, так и искусственного освещения.

4.2 Анализ естественного освещения.

Остекление светового фонаря - одинарное со стальными переплетами. Внутренняя отделка стен светлая, коэффициент отражения $\rho = 0.5$.

Определим приближенное значение необходимой при боковом одностороннем освещении площади световых проемов, обеспечивающей нормированные значения коэффициента естественной освещенности (к.е.о), в процентах от площади пола.

$$100 * \frac{S_ф}{S_п} = \frac{e_н * n_ф}{T_0 * \tau_2}, \quad (4.1)$$

где $S_ф$- площадь фонарей;

$S_п$ - площадь пола помещения;

$e_н$ - нормированное значение к.е.о. для конкретного светового пояса;

$n_ф$- световая характеристика фонаря;

T_0- общий коэффициент светопропускания светового проема;

τ_2 – коэффициент, учитывающий повышение к.е.о. при отраженном свете.

Офисное помещение относится по зрительным условиям работы к IV разряду (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Значения к.е.о. для различных условий и видов работ [9]

Разряды работ	Виды работ по степени точности	Размеры предметов, которые необходимо различать при работе, мм	Нормы к.е.о при верхнем и комбинированном освещении,%	Нормы к.е.о при боковом освещении,%
1	Особо точные	До 0,1	10	3,5
2	Высокой точности	0,1-0,3	7	2,0
3	Точные	0,3-1,0	5	1,5
4	Малой точности	1,0-10	3	1,0
5	Грубые	Более 10	2	0,5
6	Работы, требующие общего наблюдения за ходом производственного		1	0,25

	процесса			

Нормированное значение к.е.о. определяется из выражения

$$e_н = e*m*c, \quad (4.2)$$

где е – нормированное значение к.е.о. (таблица 4.1);
m- коэффициент светового климата;
с- коэффициент солнечности.

Значения коэффициентов m и с, для различных районов Казахстана приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Значения коэффициентов m и с [10]

Пояс светового климата	m	с в наружных стенах зданий	с в прямоугольных и трапециевидных фонарях	с в фонарях типа шед	с при зенитных фонарях
Севернее 50° с.ш.	0,9	0,8	0,9	1,0	0,9
50° с.ш. и южнее	0,9	0,75	0,85	0,95	0,85

Так как сеть проектируется в городе Усть-Каменогорске, который находится севернее 50° северной широты, то коэффициент солнечности примем равным 0,9. Подставляя выбранные значения в расчетную формулу, вычислим нормированное значение к.е.о.

$$e_н = 1*0.9*0.9 = 0,81, \%$$

Вычислим необходимые размеры окон, используя формулу (4.1)

$$S_ф = \frac{S_n * e_Н * n_ф}{100 * T_0 * \tau_2} = \frac{20*0,81*2.35}{100*4,2*1.15} = 4,5, м^2;$$

$$S_n = 4*5 = 20, м^2;$$

$$n_ф = 2.35.$$

Общий коэффициент светопропускания светового проема равняется

$$T_0 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5, \quad (4.3)$$

где $T_1 = 0.9$ (стекло одинарное, листовое);

$T_2 = 0.75$ (переплеты стальные, открывающиеся);

$T_3 = 0.65$ (загрязнение фонарей незначительное);

$T_4 = 0.9$ (несущие конструкции – стальные);

$T_5 = 1$ (отсутсвуют солнцезащитные устройства);

$T_0 = 4{,}2$, а величина $\tau_2 = 1{,}15$.

По данным проведенного анализа площадь фонарей естественного освещения должна составлять не менее 4,5м^2. Эксплуатируемое помещение имеет площадь окон 4м^2 каждое. Следовательно, имеющиеся в помещении окна удовлетворяют необходимым нормам естественного освещения.

4.3 Анализ искусственного освещения.

Мониторинг сети должен производиться круглосуточно, следовательно, данное офисное помещение должно быть рассчитано для работы инженеров в ночное время суток. А это значит, что нужно произвести анализ искусственного освещения. В помещении установлены два светильника по 1 лампе накаливания в каждом. Лампа накаливания В215-225-25 технические характеристики:

– мощность – 25 Вт;

– световой поток $Ф_л$ - 220 лм;

– расчетное напряжение – 220В.

Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. В основе этого метода лежит выражение

$$E=\frac{F*n_к*N*n}{k*S*z}, \quad (4.4)$$

где E- освещенность, лк;

F- световой поток одной лампы, лм;

$n_к$- коэффициент использования осветительной установки %;

N- число светильников общего освещения;

n - число ламп в светильнике(для люминесцентных ламп);

k – коэффициент запаса;

S- площадь помещения 20 $м^2$ (5х4);

z – поправочный коэффициент (отношение минимальной освещенности к средне горизонтальной);

$n_к$ – коэффициент использования осветительной установки, зависящий от КПД и кривой распределения света светильника, коэффициента отражения потолка $\rho_П$ и стен $\rho_С$, высоты подвески светильников и показателя помещения i.

Вид работ по степени точности относится к IV разряду, в соответствии с нормами наименьшей освещенности (ЛК) при различных типах электроламп (таблица 4.3)

Таблица 4.3 - Нормы наименьшей освещенности при различных типах электроламп [9]

Разряд работы	Виды работ по степени точности	Комбини-рованные люминесцент-ные лампы	Общие люминесцент-ные лампы	Комбини-рованные лампы накаливания	Общие лампы накаливания
1	Особо точные	750-300	750-300	1500-400	300-150
2	Высокой точности	2000-500	750-150	1000-300	300-75
3	Точные	1000-400	300-150	500-200	150-50
4	Малой точности	150-100	150-100	150-100	50-30
5	Грубые	100	100	100	100
6	Особо грубые	75	75		20

Показатель помещения i определен по формуле:

$$i = \frac{A * B}{H_P (A + B)}, \qquad (4.5)$$

где А и В - ширина и длина помещения, м (размеры помещения 5х4);

H_P – высота светильника над рабочей поверхностью, м (и равняется 2м).

i = 5*4/2(5+4)=1,1.

В практике допускается отклонение светового потока выбранной лампы от расчетного до – 10% и + 20%, в противном случае выбирают другую схему расположения светильников.

Отражения от потолка $\rho_П$ и стен $\rho_С$, примем минимальное значение 30 и 10 соответственно. Для лампы ВК215-225-25, значение $n_к$ при i = 1,1 равняется 18.

Подставляя в формулу (4.4) значения составляющих находим Е.

$$E=\frac{220*18*2*1}{1.55*20*1.5}=170, лк.$$

В соответствии с требованиями освещенность помещений с классом работ «малой точности» должно быть в пределах 150-100 лм для комбинированных лам накаливания, используемые лампы В215-225-25 обеспечивают освещенность 170 лм. Так как в практике допускается отклонение светового потока выбранной лампы от расчетного до + 20% и +20% от допустимого значения светового потока равно 180 лм, то используемые лампы удовлетворяют данному условию. Полученные результаты соответствуют требованиям СНиП 23-05-95 – «Естественное и искусственное освещение».

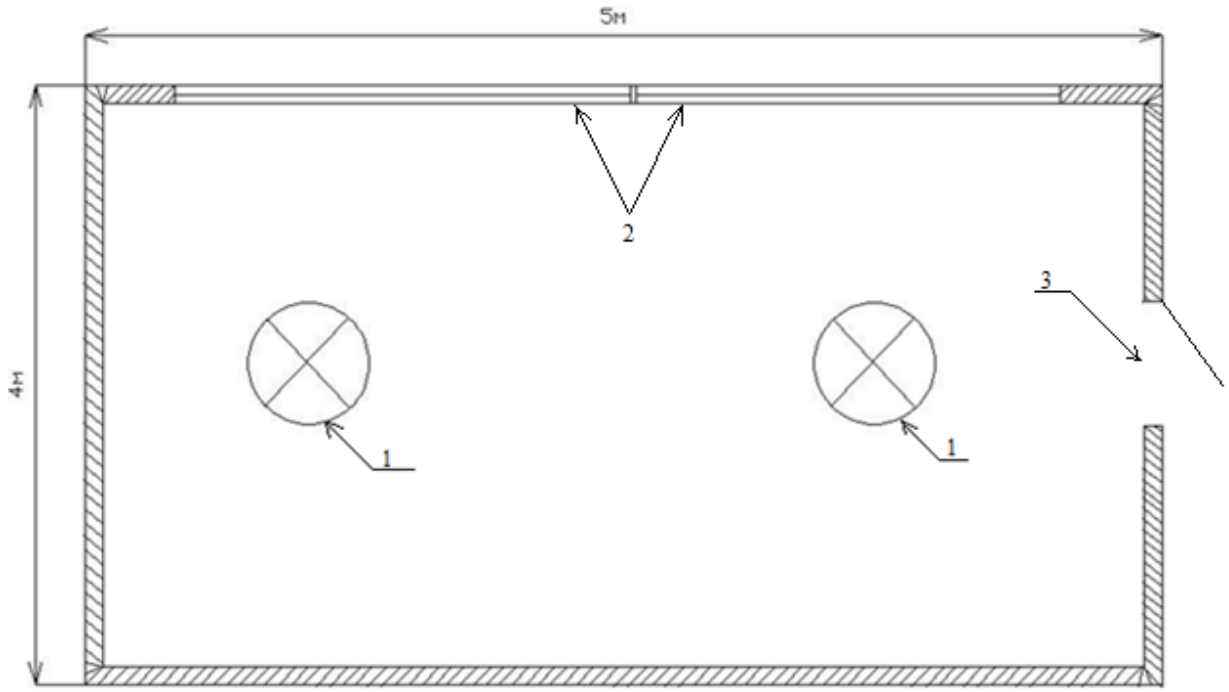

Рисунок 4.2 - Расположение светильников в помещении.

На рисунке 4.2 обозначены: 1 – светильник, 2 – окно, 3 – дверь.

5.4 Анализ системы кондиционирования помещения

Высокая температура, как и низкая, отрицательно влияет на здоровье и надежность человека. Оптимальные значение температуры воздуха лежат в пределах 18-24° С. Относительная влажность в пределах 30-60 % мало сказывается на состоянии человека. При влажности 99-100 % практически выключается регулирующий механизм потоотделения и быстро наступает перегревание. В связи с этим приняты единые стандарты, которые диктуют

требования к температуре и влажности в рабочем помещении. Они описаны в ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

Теплопоступления от оборудования

$$Qob = n \cdot Pob \cdot \eta, \tag{4.6}$$

где n – количество оборудования;

Pob – мощность, потребляемая оборудованием кВт/ч;

η - коэффициент перехода в помещение тепла. $\eta = 0.75 - 0.95$.

$$Qob = 3 \cdot 1 \cdot 0.75 = 2.25, \text{ Вт.}$$

Теплопоступления от осветительных приборов

$$Qocv = \eta \cdot Nocv \cdot Fn, \tag{4.7}$$

где $\eta = 0.5 - 0.6$ - для ламп накаливания;

Nосв– мощность лампы; Nосв=50 Вт/м^2;

Fn – площадь пола. $Fn = 5 \cdot 4 = 20\,\text{м}^2$.

$$Qocv = 0.6 \cdot 50 \cdot 20 = 600, \text{ Вт.}$$

Теплопоступление от людей

$$Ql = n \cdot qyavn, \tag{4.8}$$

где qявн – явное число от человека; летом qявн(муж)=61 Вт;

зимой qявн(муж)=82 Вт;

n– число людей.

Вычислим теплопоступление зимой

$$Ql^{zm} = 3 \cdot 82 = 246, \text{ Вт.}$$

Вычислим теплопоступление летом

$$Ql^{lm} = 3 \cdot 61 = 183, \text{ Вт.}$$

Теплопоступления от солнечного излучения через остекление

$$Qp = mF(q^{I} + q^{II})\beta \cdot K1 \cdot K2, \qquad (4.9)$$

где m – количество окон в помещении;

F – площадь окна;

q^{I}, q^{II} - тепловые потоки от прямой и рассеянной принимаются для расчетного числа суток в зависимости от географической широты;

q^{I}=0 и q^{II}=60 для Северной стороны, q^{I}=271 и q^{II}=87 для Южной стороны;

β - коэффициент теплопропускания, β=0.15;

К1 – коэффициент затемнения световых проемов, К1=0.65;

К2 – коэффициент загрязнения остекления для вертикального остекления, К2=0.95.

Для северной стороны

$$Q^{c}p = 2 \cdot 4 \cdot (0 + 60) \cdot 0.15 \cdot 0.65 \cdot 0.95 = 44{,}46, \text{ Вт.}$$

Для южной стороны

$$Q^{u}p = 2 \cdot 4 \cdot (271 + 87) \cdot 0.15 \cdot 0.65 \cdot 0.95 = 335{,}467, \text{ Вт.}$$

Теплопоступления и теплопотери в результате разности температур: количество тепла $Qotd = 0$ - для теплого периода года, а для холодного периода

$$Qotd = Vpom \cdot X0(tв - tн), \qquad (4.10)$$

где Vpom–объем помещения;

X0 – удельная тепловая характеристика;

X0=0.42 Вт/м3;

tв – температура внутри помещения. Тв=19 $°C$;

tн– температура снаружи помещения. Тн=-31 $°C$.

$$Vpom = 5 \cdot 4 \cdot 3 = 60, \text{ м3;}$$

$$Qotd = 60 \cdot 0.42 \cdot (19 - (-31)) = 1260, \text{Вт.}$$

Общее тепло

$$Qizb = Qob + Qocv + Ql^{m} + Ql^{zh} + Q^{c}p + Q^{u}p - Qotd \text{ ,Вт.} \qquad (4.11)$$

Вычислим общее тепло летом

$$Qizb = 1.5 + 480 + 183 + 44{,}46 + 335{,}467 - 0 = 1044{,}427 \text{, Вт.}$$

Вычислим общее тепло зимой

$$Qizb = 1.5 + 480 + 246 + 44{,}46 + 335{,}467 - 1260 = -152{,}573 \text{, Вт.}$$

Количество тепла, необходимого для удаления (или поступления) воздуха в помещение

$$L = \frac{Qizb \cdot 860}{c \cdot \Delta t \cdot \gamma}\text{, м3/ч,} \qquad (4.12)$$

где, С –теплоемкость воздуха;

С=0.24 ккал/кг $°C$;

Δt - выбираем в зависимости теплонапряженности воздуха.

$$Qn = \frac{Qizg \cdot 860}{Vn}\text{,Вт;} \qquad (4.13)$$

где $Qn \le 20$ ккал/м3, Δt =6 $°C$;

$Qn > 20$ ккал/м3, Δt =8 $°C$;

γ - удельная масса приточного воздуха;

γ=1.206 кг/м3.

$$Qn = \frac{1044{,}427 \cdot 860}{60} = 14970\text{, Вт;}$$

тогда Δt =8 $°C$, количество тепла необходимое для удаления

$$L = \frac{1044{,}427 \cdot 860}{0.24 \cdot 8 \cdot 1.206} = 390525\text{,м3/ч;}$$

$$Qn = \frac{152{,}573 \cdot 860}{60} = 2187\text{, Вт;}$$

тогда Δt =6 $°C$, количество тепла необходимое для поступления

$$L = \frac{152{,}573 \cdot 860}{0.24 \cdot 6 \cdot 1.206} = 75583\text{, м3/ч.}$$

Кратность воздухообмена

$$n = \frac{L}{Vn}, \tag{4.14}$$

$$n = \frac{390525}{60} = 6509\text{, } 1/\text{ч};$$

$$n = \frac{75583}{60} = 1260\text{, } 1/\text{ч}.$$

Анализ системы кондиционирования позволил определить необходимое количество воздуха для поступления/удаления из рабочего помещения и подобрать модель кондиционера.

Рисунок 4.3 Кондиционер Dantex RK-09SDM3/RK-09SDM3E

На основании полученных данных мы подобрали кондиционер DantexRK-09SDM3/RK-09SDM3E, с необходимой кратностью обмена воздуха и следующими техническими характеристиками:

– мощность обогрева, кВт	2,8
– мощность охлаждения, кВт	2,6
– напряжение, В	220
– потребляемая мощность, кВт	0.82/0.77
– циркуляция воздуха, $м^3$/час	1300
– уровень шума комнатный, дБ	55
– уровень шума наружный, дБ	58

5 Технико-экономическое обоснование проектирования сети

5.1 Резюме проекта

Данный дипломный проект нацелен на проектирование сети беспроводной связи на основе технологии LTE. Сеть будет проектироваться в административном центре Восточно-Казахстанской области, в городе Усть-Каменогорск.

Так как сети 4G строятся на базе сетей предыдущих поколений (в нашем случае это сеть 3G), то в финансовой части мы будем учитывать расходы на дополнительные блоки, без учета стоимости всей базовой станции. После предварительного анализа нами был выбран наиболее оптимальный вариант сетевого оборудования. Это дополнительные модули от компании Huawei и ядро сети Cisco. Так как core предыдущей сети удовлетворяет требованиям 4GLTE, в проектируемой сети он останется прежним, что так же облегчит выполнение финансового плана.

5.2 Цель проекта

Целью проекта является создание мобильной сети с надежным радиопокрытием, качественно новыми услугами, низкими задержками и высокой пропускной способностью. С экономической стороны главная задача проекта – это обоснование необходимости внедрения технологии LTE, поиск экономического решения по модернизации GSM-сети для внедрения технологии LTE в городе Усть-Каменогорск.

В условиях стремительного развития современной техники возрастают и требования потребителей к услугам связи. А для любого пользователя, когда речь идет о передачи данных, главным критерием является скорость. Так основной задачей проекта является повышение качества и количества предоставляемых услуг телекоммуникаций и достижение высокоскоростной цифровой связи.

Бизнес – план ориентирован на обеспечение жителей г. Усть-Каменогорск высококачественной цифровой связью. Реализация данного проекта необходима для обеспечения растущей потребности высокоскоростного доступа в «Зону Интернет». Это увеличит количество клиентов и доходы от услуг связи, которые будут получены при реализации проекта.

5.3 План проектирования

Существует несколько вариантов проектирования сети 4GLTE. Сеть может быть построена «с чистого листа», то есть в местах, где нет сетей предыдущих поколений. В этом случае компания-оператор связи (проектировщик) осуществляет строительство полностью всех объектов связи, которые будут включены в сеть LTE.

Более простой вариант – это построение сети LTE способом аренды всех компонентов связи у сторонних операторов, за исключением оборудования

базовых станций или же дополнительных ее элементов. Арендуемыми объектами в этом случае будут: вышки для базовых станций (сами базовые станции) и все компоненты транспортной сети. Так же существует универсальный способ построения сети LTE. Этот вариант включает в себя оба предыдущих способа построения сети.

Исходя из того что в городе Усть-Каменогорск используются сети 3-го поколения, выберем второй вариант построения сети. Предположим, что оператором связи, осуществляющим проектирование сети LTE, является компания, которая уже предоставляет услуги GSM и имеет развитую транспортную сеть в районе планирования.

Практическая часть осуществления проекта возложена на фирму «Vostok Telecom», которая обеспечивает поставку, монтаж и наладку оборудования: базовых станций, антенн.

Производственный план состоит из трех основных этапов: проектирование, строительство и монтаж, эксплуатация линии передачи. Антенны будут монтироваться на крышах нежилых зданий, следовательно, нет необходимости в сооружении антенных мачт.

Проектируемая сеть LTE может быть создана и начать предоставление услуг связи в очень короткие сроки. А учитывая возможности современной аппаратуры, частичная эксплуатация оборудования может начаться сразу после установки и наладки небольших участков линии. Это позволит уменьшить срок окупаемости сети в целом. Скорость создания линии определяется финансовыми возможностями фирмы, поставщиками технических средств и скоростью строительства.

5.4 Дополнительные услуги, предоставляемые LTE

С организацией LTE у абонентов появится возможность доступа к следующим видам услуг связи:

– пакетная передача речи (в перспективе);

– передача Интернет-файлов;

– доставка электронной почты;

– передача мультимедийных сообщений;

– мультимедийное вещание, включающее в себя потоковые услуги, услуги по загрузке файлов, телевизионные услуги;

– потоковое видео;

– онлайн-игры через мобильные и фиксированные терминалы различных типов;

– мобильные платежи с высокой передачей реквизитов и идентификационной информации.

5.5 Рынок

Проанализировав сильные и слабые стороны предприятий телекоммуникаций, можно правильно вырабатывать стратегию поведения предприятия на существующем рынке.

Сильные стороны предприятия телекоммуникаций:

– активная политика в области развертывания сети;

– достаточное количество квалифицированных специалистов;

– устойчивое положение предприятия в области предоставления телекоммуникационных услуг, благоприятствует беспрепятственному росту размеров рынка;

– достаточно гибкая ценовая политика;

Слабые стороны:

– отсутствие услуги передачи голоса в сети 4GLTE;

– высокая конкуренция.

Перед предприятием стоит стратегическая цель по распространению предлагаемых услуг, как среди физических лиц, так и среди юридических лиц.

5.6 Менеджмент

Важнейшим ресурсом в любом предприятии является человеческий ресурс. Для достижения предполагаемой эффективности предприятия нам нужны квалифицированные специалисты. Поэтому необходимо предусмотреть вопрос планомерной подготовки и повышения квалификации работников связи основных категорий.

В отрасли действует строгая система подготовки кадров, включающая подготовку:

– кадров в специализированных учебных заведениях с отрывом от производства (высшие и специальные учебные заведения);

– инженерно-технических работников без отрыва от производства (заочное обучение).

Подготовка и повышение квалификации персонала проводится в соответствии с ежегодными планами повышения квалификации по филиалам и регламентируется работой комиссии по подготовке кадров.

С целью обучения работников, занятых предоставлением услуг телекоммуникаций населению, специалистами будут проводиться выездные тренинги и техническая учеба для каждой профессии силами специалистов.

5.7 Маркетинговая стратегия

5.7.1 Маркетинговый анализ

Рынок услуг телекоммуникаций является устойчиво растущим, поэтому работу предприятия стоит ориентировать именно на этот рынок. Телекоммуникации на сегодняшний день являются одной из самых развивающихся и перспективных отраслей промышленности. Объем потребления услуг телекоммуникаций ежегодно возрастает. За последние три года рост составил почти 70%.

Внедрение сети позволит закрепить лидирующее положение в сфере предоставляемых услуг междугородней, международной связи и увеличить долю рынка в сфере предоставления услуг передачи данных за счет повышения качества услуг.

5.7.2 Маркетинговая стратегия

Маркетинговая стратегия формируется на основе анализа рынка связи. Маркетинговая стратегия представляет собой комплекс мероприятий, с помощью которых предприятие формирует цели маркетинга и организацию этих целей на рынке.

Маркетинговая стратегия состоит из четырех основных компонентов:

– товар;

– место;

– продвижение;

– цена.

Цель маркетинга при реализации данного проекта следующая:

– удовлетворение спроса на телекоммуникационные услуги (услуги междугородной и международной связи, услуги высокоскоростной передачи данных и доступа к сети Интернет);

– предоставление доступных услуг для каждого абонента;

– формирование благоприятного имиджа предприятия и предоставление конкурентоспособных услуг на телекоммуникационном рынке.

Обозначим компоненты маркетинговой стратегии:

– товар - предоставление услуг сети передачи данных. С каждым днем требования к качеству и количеству услуг телекоммуникаций возрастают. На сегодняшний день абоненты уделяют большое внимание хорошей слышимости во время разговора, быстрому выходу на международные и междугородние направления, бесперебойной связи на всех направлениях, высокой скорости передачи данных;

– место/внедрение. Место внедрения проекта – Восточно-Казахстанская область, город Усть-Каменогорск;

– продвижение/перспективы. Для сетей LTE все еще не решенным остается вопрос передачи голоса. Во всем мире операторы связи работают над устранением этой проблемы. В нашей стране так же LTE не предоставляет передачу голоса. Поэтому это является актуальной проблемой для сети 4GLTE. В перспективе планируется обеспечение высококачественной передачи голоса;

– цена. Текущий уровень тарифов определяется прейскурантом, утвержденным данным предприятием.

5.8 Финансовые потребности

5.8.1 Проблемы и риски, возникающие при внедрении проекта

При внедрении проекта могут возникнуть некоторые экономические проблемы, которые обусловлены следующими видами рисков:

– финансовые риски – это риски, связанные с несвоевременным финансированием;

– технические риски – это риски, связанные с типом оборудования, т.е. задержка поставки, низкое качество или непредвиденные остановки ввода в эксплуатацию или приемки комиссией;

– политические риски – это риски, связанные с политической обстановкой в районе установки объекта;

– экологические риски – это риски, связанные с погодными условиями. Риск снижается при своевременной поставке оборудования.

5.8.2 Капитальные вложения

Капитальные вложения включают в себя затраты на разработку и строительства объекта. Капитальные затраты на строительство LTE состоят из затрат (капитальные затраты на оборудование) на покупку модулей BBU, RRU и антенн. Капитальные затраты на оборудование представлены в виде таблицы 5.1.

Таблица 5.1 –Капитальные затараты на сооружение LTE[8]

Наименование	Количество	Цена за единицу	Сумма,тенге
Модуль Huawei BBU3900, шт.	38	585000	22230000
Модуль Huawei RRU3004, шт.	114	600000	68400000
Антенны,шт.	38	100000	3800000
	190		94430000

Транспортные расходы, составляют 10% от стоимости всего оборудования и рассчитываются по формуле

$$Ктр = 0{,}1 \cdot Ко = 0{,}1 \cdot 94430000 = 9443000, \text{ тенге} \quad (5.1)$$

Монтаж оборудования производится инженерами-монтажниками, расходы составляют 10% от стоимости всего оборудования и рассчитываются по формуле

$$Км = 0{,}1 \cdot Ко = 0{,}1 \cdot 94430000 = 9443000, \text{ тенге} \quad (5.2)$$

Расходы по проектированию и разработке проекта составляют 8% от стоимости всего оборудования и рассчитываются по формуле

$$Кпр = 0{,}08 \cdot Ко = 0{,}08 \cdot 94430000 = 7554400, \text{ тенге} \quad (5.3)$$

Общая сумма капитальных вложений по реализации проекта составляет

$$K_{\Sigma} = Ко + Ктр + Км + Кпр \quad (5.4)$$

$$K_{\Sigma} = 94430000 + 9443000 + 9443000 + 7554400 = 120870400$$, тенге

5.8.3 Расчет эксплуатационных расходов

В состав эксплуатационных расходов входят следующие статьи затрат:

– материальные расходы, в том числе: затраты на приобретение материалов, затраты на электроэнергию;

– амортизационные отчисления;

– эксплуатационные расходы на оплату труда работников, в том числе: фонд оплаты труда, социальный налог;

– накладные расходы.

Формула для расчета эксплуатационных расходов

$$Э_{Р} = Э_{М} + Э_{ФОТ} + Э_{НР} + А \quad (5.5)$$

где $Э_{М}$ – материальные затраты

$$Э_{М} = Э_{МАТ} + Э_{Э/Э}, \quad (5.6)$$

где $Э_{МАТ}$ - затраты на приобретение материалов;

$Э_{Э/Э}$ - затраты на электроэнергию, включающие в себя затраты на производственные нужды и дополнительные затраты;

дополнительные затраты принимаем равными 5% от затрат на производственные нужды;

$$Э_{ФОТ} = ФОТ + С_{Н}, \quad (5.7)$$

где $Э_{ФОТ}$ – эксплуатационные расходы на оплату работников, в которые входят: ФОТ - фонд оплаты труда;

$С_{н}$ – отчисления на социальный налог.

$$Э_{НР} = 0{,}75 \cdot Э_{ФОТ}, \quad (5.8)$$

где $Э_{НР}$ – накладные (хозяйственно-управленческие) расходы, в отрасли связи составляют 75% от эксплуатационных расходов на оплату работников.

5.8.4. Расчет материальных затрат

Затраты на приобретение материалов составляют 0,5% от капитальных вложений

$$Э_{МАТ} = 0{,}005 \cdot К, \quad (5.9)$$

$$Э_{МАТ} = 0{,}005 \cdot 62502400 = 604352, \text{тенге}$$

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

$$Э_{Э/Э} = З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} + З_{ДОП.НУЖ.}, \quad (5.10)$$

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

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

Расходы электроэнергии на производственное оборудование рассчитывается по формуле

$$З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} = W \cdot T \cdot S \cdot N, \quad (5.11)$$

где W – потребляемая мощность, 1,19 кВт;

T – время работы, T=8760 ч/год;

S – тариф, 1 кВтч=15,84 тг.;

N – количество базовых станций.

$$З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} = 1{,}19 \cdot 8760 \cdot 15.84 \cdot 38 = 6274654{,}85, \text{тенге}$$

Расходы на дополнительные нужды определяются по формуле

$$З_{ДОП.НУЖ.} = 0{,}05 \cdot З_{ЭЛ.ЭН.ОБОР.} \quad (5.12)$$

Определим расходы на дополнительные нужды

$$З_{ДОП.НУЖ.} = 0{,}05 \cdot 6274654{,}85 = 313732{,}74, \text{тенге}$$

Определим расходы на электроэнергию

$$Э_{Э/Э} = 6274654{,}85 + 313732{,}74 = 6588387{,}59, \text{тенге}$$

Итоговые материальные эксплуатационные расходы равны

$$Э_М = 604352 + 6588387,59 = 7192739,59 \text{ тенге}$$

Сумма амортизационных отчислений начисляется по единым нормам, которые устанавливаются в процентах от стоимости основных фондов. Норма амортизации на оборудование 25 %. Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле

$$А = Н_А \cdot \sum К, \quad (5.13)$$

где $Н_А$ – норма амортизационных отчислений 25%;

$\sum К$ – балансовая стоимость основных производственных фондов.

$$А = 0,25 \cdot 120870400 = 30217600 \text{, тенге}$$

5.8.5. Расчет фонда оплаты труда

Первоначальная численность сотрудников для организации деятельности оператора представлена в таблице 5.2

Таблица 5.2 – Штатное расписание

Штатная единица	Категория работников	Кол–во человек	ЗП, тенге за месяц	ЗП, тенге за год
Инженер	Инженер 2 категории	7	120000	10080000
Эл/механик	Электромеханик 7–го разряда	10	90000	10800000
Антенщик	Монтер 4–го разряда	10	90000	10800000
Итого		27		31680000

Фонд оплаты труда определяется по формуле:

$$ФОТ = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.14)$$

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

$З_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$З_{ОСН} = 31680000 \text{ , тенге}$$

Дополнительная заработная плата (работа в праздничные дни, сверхурочные и премии) составляет 20% от основной заработной платы и рассчитывается как

$$З_{доп} = 31680000 \cdot 0{,}2 = 6336000 \text{ ,тенге}$$

Тогда ФОТ составит

$$ФОТ = 31680000 + 6336000 = 38016000 \text{ ,тенге}$$

При расчете фонда заработной платы, нужно учитывать, социальный налог (11% от фонда оплаты труда после отчисления в пенсионный фонд):

$$С_н = 0{,}11 \cdot (ФОТ - 0{,}1ФОТ) \qquad (5.15)$$

Тогда с вычетом пенсионного фонда, который составляет 10% от ФОТ, социальный налог составит

$$С_н = 0{,}11 \cdot (38016000 - 3801600) = 3763584 \text{ , тенге}$$

Итоговые отчисления в фонд оплаты труда равны

$$Э_{ФОТ} = 38016000 + 3763584 = 41779584 \text{ ,тенге}$$

5.8.6 Расчет накладных расходов

Накладные расходы составляют 75% от себестоимости

$$Э_{НР} = 0{,}75 \cdot 41779584 = 31334688 \text{ ,тенге}$$

Итоговая сумма эксплуатационных расходов равна

$$Э_Р = 7192739{,}59 + 41779584 + 31334688 + 30217600 = 110524611{,}59 \text{ ,тенге}$$

Т а б л и ц а 5.4 – Годовые эксплуатационные расходы

Показатель	Сумма, тенге

Материальные расходы, в том числе: - затраты на приобретение материалов; - затраты на электроэнергию Амортизационные отчисления	7192739,59 604352 6588387,59 30217600
Эксплуатационные расходы на оплату труда работников, в том числе: - фонд оплаты труда - социальный налог	41779584 38016000 3763584
Накладные расходы, тенге	31334688
Эксплуатационный расход, тенге	110524611,59

5.8.7. Расчет доходов.

Учитывая цены других операторов мобильной связи, компанией были разработаны тарифные планы на различные виды пакетов. Тарифные планы на услуги компании представлены в таблице 5.5

При подключении 4G интернета и единовременный платеж на сумму 8500 тенге предоставляется пакет «10GB» на два месяца и модем от фирмы Huawei в подарок.

Т а б л и ц а 5.5 – Тарифы на услуги доступа в интернет

Плата за подключение + пакет «20GB» на 2 месяца + модем (Huawei)			9500
Тарифный план	Параметры услуги	Цена	Сумма в год,тг
«Unlim LTE»	до 55 мбит/с (безлимитный)	4500	54000
«20GB»	до 100 мбит/с	4000	48000
«10GB»	до 100 мбит/с	3500	42000

При расчете числа потенциальных пользователей проектируемой сети необходимо оценить существующую конкуренцию на рынке связи. Нужно учесть, что многих пользователей вполне будут удовлетворять услуги 3G интернета. Также примем во внимание тот факт, что интернет, как правило, подключают один на семью, а семья в среднем состоит из четырех человек. Исходя из всего этого количество пользователей проектируемой сети LTE в г. Усть-Каменогорск примем равным 5% от общего числа населения города.

Население г. Усть-Каменогорск составляет 330918 человек. Рассчитаем примерное количество подключившихся абонентов к проектируемой сети для доступа к сети Интернет через USB-LTE модем ($N_{аб.инт}$)

$$N_{аб.инт} = 330918 \cdot 0{,}05 = 16545 \text{ (человек)}.$$

Разделим полученное число на 4, так как в одной семье в среднем по 4 человека и получим окончательное количество потенциальных абонентов

$$N_{аб.инт} = 16545/4 = 4137 \text{ (человек)}.$$

Ожидаемое на ближайший год число абонентов данной сети составит 4137, из них

– физические лица 90 % (3723);

– организации 10 % (414).

Для того, чтобы найти доходы, получаемые в год от всех категорий пользователей услуг, воспользуемся формулой

$$Д_0 = Д_{Ю1} + Д_{Ю2} + Д_{Ф}, \quad (5.16)$$

где $Д_{Ю1}$ – доходы от юридических лиц первой категории;

$Д_{Ю2}$ – доходы от юридических лиц второй категории;

$Д_{Ф}$ – доходы от физических лиц.

Как уже было сказано, 10% из всех абонентов являются юридическими лицами с самыми высокими потребностями на качество и объемы информации. 50 % (212) из них будут подключены к тарифному плану Безлимитный.

$$Д_{Ю1} = 212 \cdot (12 \cdot 4500) = 11448000, \text{ тенге}.$$

Далее следуют организации среднего класса, их количество равно 50 % (212). Они пользуются тарифным планом Пакет 20 ГБ. Доход от такого рода клиентов

$$Д_{Ю2} = 212 \cdot (12 \cdot 4000) = 10176000, \text{ тенге}.$$

Теперь необходимо вычислить доход, получаемый от подключения физических лиц. Их общее количество равно 3723. Усреднив значения тарифных планов, предположим следующее – каждый абонент будет иметь такой набор услуг: тарифный план 20Gb. С учетом того, что для подключения 4G интернета необходимо сначала приобрести модем, доход от подключения физических лиц рассчитаем следующим образом

$$Д_Ф = 3723 \cdot (10 \cdot 4000 + 9500) = 184288500, \text{ тенге.}$$

Таким образом, общий годовой доход, получаемый от всех категорий пользователей, составит

$$Д_0 = 11448000 + 10176000 + 184288500 = 205912500, \text{ тенге.}$$

Тогда прибыль без учета налогов будет равна

$$П = Д_о – Э_р, \quad (5.17)$$

$$П = 205912500 – 110524611,59 = 95387888,41, \text{ тенге.}$$

Налог на прибыль для юридических лиц составляет 20%, тогда чистая прибыль равна

$$ЧП = П – П \cdot 0,2 \quad (5.18)$$

$$ЧП = 95387888,41 \cdot 0,8 = 76310310,73, \text{ тенге.}$$

5.8.8. Расчет экономической эффективности проекта.

Для расчета срока окупаемости необходимо знать величину абсолютной экономической эффективности. Абсолютная экономическая эффективность определяется как отношение чистого дохода (ЧП) к стоимости капитальных вложений

$$Е = ЧП/К \quad (5.19)$$

$$Е = 76310310,73 / 120870400 = 0,63$$

Расчетный срок окупаемости определяется как величина, обратная экономической эффективности:

$$Т = 1/Е, \quad (5.20)$$

$$Т = 1/0,63 = 1,5.$$

Таким образом, срок окупаемости проекта составляет 1,5 года, что составляет 18 месяцев.

Таблица 5.6 – Показатели экономического эффекта системы передачи данных

Наименование показателей	Сумма, тенге
Капитальные вложения, тенге	120870400
Эксплуатационные расходы, тенге	110524611,59
Доход(основной), тенге	205912500
Прибыль до налогооблажений, тенге	95387888,41
Чистая прибыль, тенге	76310310,73
Абсолютный экономический эффект	0,63
Срок окупаемости	1,6 года (18 месяцев)

5.9 Метод расчета абсолютной величины чистого дохода NPV

Так как срок окупаемости проекта больше года, необходимо произвести расчет с учетом дисконтирования.Определим капитальные вложения методом расчета абсолютной величины чистого дохода NPV.

Коэффициент PV – это коэффициент дисконтирования или норматив приведения.При расчете PV следует учитывать инфляционное изменение покупательной способности денег в течение рассматриваемого периода времени, необходимость обеспечения минимального гарантированного уровня доходности и риск инвестора.

Общая накопительная величина дисконтированных доходов рассчитывается по формуле

$$PV = \frac{ЧД}{(1+r)^n}, \qquad (5.21)$$

где: r – ставка дисконты;

n – год.

$$1 \text{ год} \quad PV = \frac{ЧД}{(1+0{,}15)^1} = \frac{76310310}{(1+0{,}15)^1} = 66356791 \text{,тенге;}$$

$$2 \text{ год} \quad PV = \frac{ЧД}{(1+0{,}15)^2} = \frac{76310310}{(1+0{,}15)^2} = 57701557 \text{ ,тенге.}$$

Тогда чистая приведенная стоимость проекта будет рассчитываться по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} PV - K_{вл}, \qquad (5.22)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость, тенге;

PV_t– текущая стоимость доходов, тенге;

Е – ставка дисконтирования;

КВ – капитальный вложения, тенге.

$$NPV = (66356791 + 57701557) - 120870400 = 3187948, \text{ тенге.}$$

NPV больше нуля, следовательно, в течении своїй экономической жизни проект возместит первоначальные затраты и обеспечит получение прибыли.

Определиминдексрентабельностипроектакакотношениесуммарногодиск онтированногодохода к суммарнымдисконтированным затратам поформуле

$$PI = \sum_{t=1}^{n} PV/K_{вл}, \qquad (5.23)$$

$$PI = 124058348/120870400 = 1{,}03$$

Индекс рентабельности больше 1, значит, проект стоит принять.

Определим дисконтированный период окупаемости DPP по формуле

$$DPP = t + \frac{K_{вл} - (П_1 + П_2 + ... + П_{n-1})}{П_n}, \qquad (5.24)$$

где t – год, за который капитальные вложения окупятся;

$К_{вл}$ – капитальные вложения;

П – прибыль по годам.

В нашем случае, вместо значений прибыли возьмем значение чистой прибыли с учетом дисконтирования. Учитывая, что по результатам вычисления без учета дисконтирования, проект окупится за 1,5 года, возьмем t=1

$$DPP = 1 + \frac{120870400 - 66356791}{57701557} = 1{,}9 \text{ года.}$$

Таким образом, с учетом дисконтирования, срок окупаемости увеличится до 1,9 года.

4.10 Вывод по экономическому расчету

На основе произведенных расчетов можно прийти к следующему выводу: проектирование сети беспроводной связи на базе технологии LTE в городе Усть-Каменогорск является выгодным, так как данный проект окупиться за 1,5 года (18 месяцев), что является достаточно недолгим сроком. Отметим, что срок окупаемости не должен превышать пяти лет.

Так как сеть проектируется на базе сети предедущего поколения, нет необходимости приобретать базовые станции целиком, достаточно будет приобрести дополнительные модули. За счет этого капитальные вложения составляют 120870400 тенге, и размер эксплуатационных затрат равен 110524611 тенге. В результате успешного внедрения сети и выполнении ожидаемых прогнзов чистая прибыль от реализации услуг составит 76310310 тенге.

Заключение

Известно, что для полноценной конкуренции с проводными интернет-провайдерами, операторы сотовой связи нуждаются в улучшении стабильности сети, повышении скорости передачи данных и снижении стоимости услуг. Такие требования трудно выполнить, используя 3G. Сеть мобильной связи третьего поколения в масштабах нашей страны является не всегда экономически оправданной. Оптимальным решением этой проблемы является сеть 4GLTE, так как LTE имеет ряд преимущества, которые были описаны в дипломном проекте.

Одним из основных критериев в сотовой связи является скорость передачи данных, так как это является главным условием для абонентов. На сегодняшний день LTE предоставляет самую высокую скорость среди беспроводных технологий. Больший, относительно сетей предыдущих поколений, радиус покрытия базовой станции позволяет снизить экономические затраты, что очень важно и выгодно для операторов. Еще один важный момент, который необходимо учесть при проектировании беспроводной сети, – это показатель проникновения через препятствия (деревья и различные застройки). Так как сеть будет реализовываться в городской местности, а именно в городе Усть-Каменогорск, мы учли и тот факт, что технология LTE дает нам высокий уровень проникновения, следовательно, качество предоставляемых услуг будет лучше.

В третьей главе проекта было рассчитано количество абонентов, которое сможет обслужить планируемая сеть, была рассчитана пропускная способность одной базовой станции (для линии DL–154,4 Мбит/с и для линии UL–82,3 Мбит/с) и пропускная способность всей сети (8992,7 Мбит/с). Площадь покрытия одной базовой станции приближенно равна 5,5 кв.км.

Далее, проанализировав оборудование, был выбран оптимальный вариант управляющего оборудования для данной сети. Это модули RRU и BBU от компании Huawei.

Четвертая глава дипломного проекта была посвящена экономическому расчету, где были учтены все необходимые виды затрат и вложений, а так же доход от реализации услуг. По расчетам проект должен окупиться за 18 месяцев, при условии, что срок окупаемости не должен превышать 5 лет. Следовательно, данный проект является рентабельным.

Так же в проекте был рассмотрен вопрос безопасности жизнедеятельности персонала, обслуживающего оборудование беспроводного доступа. Об этом говорится в пятой главе проекта, где были рассчитаны необходимые показатели искусственного и естественного освещения, а так же воздухообмен помещений.

Сделав общий анализ возможностей технологии LTE по всем главам, можно с уверенностью сказать, что сети на базе LTE являются лучшим решение для современной беспроводной связи.

Список литературы

1.http://avanta-group.ru/news/3242/popodschetamvmire

2. http://fanparty.ru/fanclubs/computer-technologies/tribune/160410

3.http://www.akorda.kz/ru/page/page_215750_poslanie-prezidenta-respubliki-kazakhstan-n-nazarbaeva-narodu-kazakhstana-17-yanvarya-2014-g

4. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.

5.http://www.mobile-networks.ru/articles/seti ltestruktura I princip raboty.html

6. http://sibac.info/index.php/2009-07-01-10-21-16/1392.lte

7. http://anisimoff.org/lte/network_arch.html

8. www.huawei.com

9. СП 23-102-2003 Естественное освещение жилых и общественных зданий

10. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение

11. Кааринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. – М.: Техносфера, 2007.

12. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.

13. Абдул Базит. Расчет сетей LTE. – Хельсинский технологический университет, 2009.

14. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband.Air Interface Technologies and Perfomance.– Cambridge University Press, 2009.

15. HarriHolma, AnttiToskala. LTE for UMTS.OFDMA and CS-FDMA Based Radio Access. – John Wiley Ltd, 2009.

16. StefaniaSesia. LTE.The UMTS Long Term Evilution.From Theory to Practice. – John Wiley Ltd, 2009.

17. 3GPP TS 36 104: «E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 9). April 2011.

18. www.cisco.com – официальный сайт компании «CiscoSystems».

19. Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. -М: Горячая линия – Телеком, 2007.

20. Учебно-методический отдел некоммерческого акционерного общества «Алматинскийуниверситет энергетики и связи». Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию учебно-методических и учебных работ. СТ НАО 56023-1910-04-2014.

21. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010.

Приложение А

Листинг расчета по радиопокрытию базовых станций по модели WIM в программе Mathcad14

Mathcad - [3 Расчетная часть]

Файл Правка Вид Добавить Формат Инструменты Символика Окно Справка

Расчет по модели Вольфиша-Икегами

$Hb := 32$ м $\quad Hm := 1.5$ м $\quad HB := 29$ м $\quad \Delta Hb := 3$ м

$b := 20$ м $\quad \omega := 10$ $\quad \Delta Hm := 28.5$ м

$Lp1 := 170.2$ дБ $\quad Lp4 := 161.2$ дБ $\quad f1 := 1930$ МГц

$Lp2 := 169.7$ дБ $\quad Lp5 := 159.7$ дБ $\quad f2 := 1850$ МГц

$Lp3 := 169.2$ дБ $\quad Lp6 := 160.2$ дБ

Файл Правка Вид Добавить Формат Инструменты Символика Окно Справка

от БС к МС

(1). $Dkml1 := 10^{\frac{Lp1-42.64-20\log(f1)}{26}}$

$Dkml1 = 239.223$

$Dkmn1 := 10^{\frac{Lp1-69.55-26\cdot\log(f1)+10\cdot\log(\omega)+9\cdot\log(b)-20\cdot\log(\Delta Hm)+18\cdot\log(1+\Delta Hb)}{38}}$

$Dkmn1 = 3.101$

(2). $Dkml2 := 10^{\frac{Lp2-42.64-20\log(f1)}{26}}$

$Dkml2 = 228.861$

$Dkmn2 := 10^{\frac{Lp2-69.55-26\cdot\log(f1)+10\cdot\log(\omega)+9\cdot\log(b)-20\cdot\log(\Delta Hm)+18\cdot\log(1+\Delta Hb)}{38}}$

$Dkmn2 = 3.008$

Рисунок А.1 – Окно программы Mathcad14 для расчета по модели WIM

(3).

$$Dkml3 := 10^{\frac{Lp3-42.64-20\log(f1)}{26}}$$

$$Dkml3 = 218.948$$

$$Dkmn3 := 10^{\frac{Lp3-69.55-26\cdot\log(f1)+10\cdot\log(\omega)+9\cdot\log(b)-20\cdot\log(\Delta Hm)+18\cdot\log(1+\Delta Hb)}{38}}$$

$$Dkmn3 = 2.918$$

от МС к БС

(4).

$$Dkml4 := 10^{\frac{Lp4-42.64-20\log(f2)}{26}}$$

$$Dkml4 = 111.376$$

$$Dkmn3 := 10^{\frac{Lp4-69.55-26\cdot\log(f2)+10\cdot\log(\omega)+9\cdot\log(b)-20\cdot\log(\Delta Hm)+18\cdot\log(1+\Delta Hb)}{38}}$$

$$Dkmn3 = 1.85$$

(5).

$$Dkml5 := 10^{\frac{Lp5-42.64-20\log(f2)}{26}}$$

$$Dkml5 = 97.521$$

$$Dkmn5 := 10^{\frac{Lp5-69.55-26\cdot\log(f2)+10\cdot\log(\omega)+9\cdot\log(b)-20\cdot\log(\Delta Hm)+18\cdot\log(1+\Delta Hb)}{38}}$$

$$Dkmn5 = 1.689$$

(6).

$$Dkml6 := 10^{\frac{Lp6-42.64-20\log(f2)}{26}}$$

$$Dkml6 = 101.936$$

$$Dkmn6 := 10^{\frac{Lp6-69.55-26\cdot\log(f2)+10\cdot\log(\omega)+9\cdot\log(b)-20\cdot\log(\Delta Hm)+18\cdot\log(1+\Delta Hb)}{38}}$$

$$Dkmn6 = 1.741$$

Рисунок А.2 – Продолжение листинга расчета по модели WIM

Приложение Б

Листинг расчета скорости передачи данных в проектируемой сети 4G с использованием программы Mathcad14

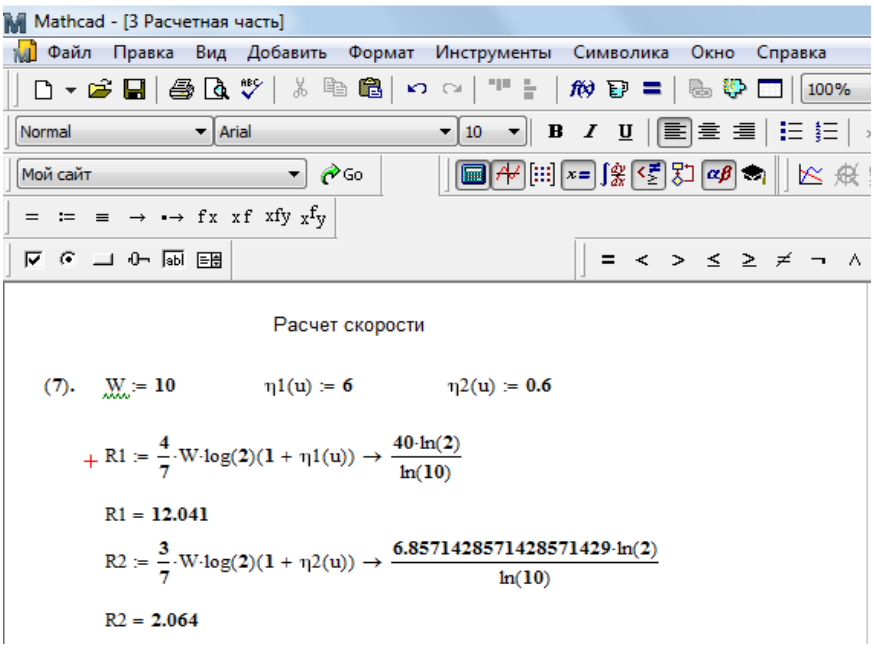

Рисунок Б.1 – Окно программы Mathcad14 для расчета скорости передачи данных

Приложение В

Расположение базовых станций стандарта 4G в г.Усть-Каменогорск

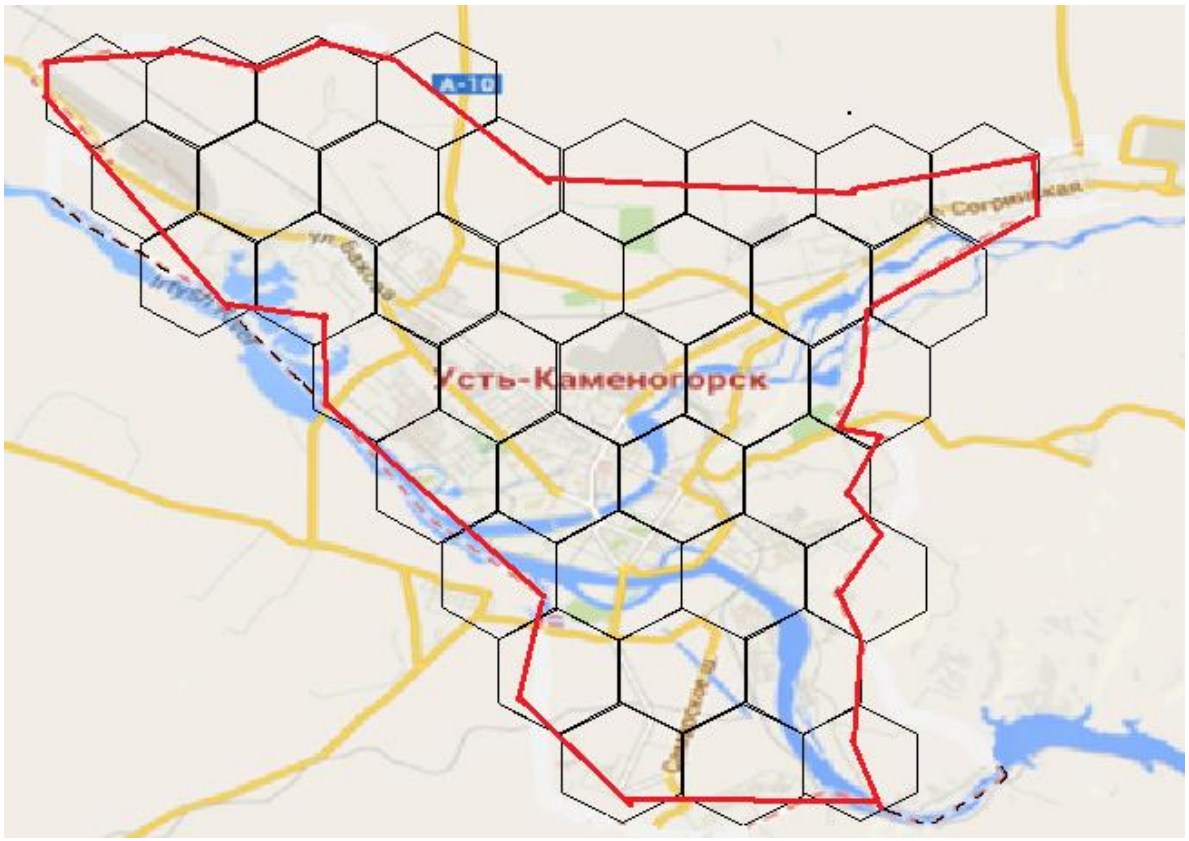

Рисунок В.1 - Расположение базовых станций в г.Усть-Каменогорск

Приложение Г

Схема организации проектируемой сети LTE в г.Усть-Каменогорск

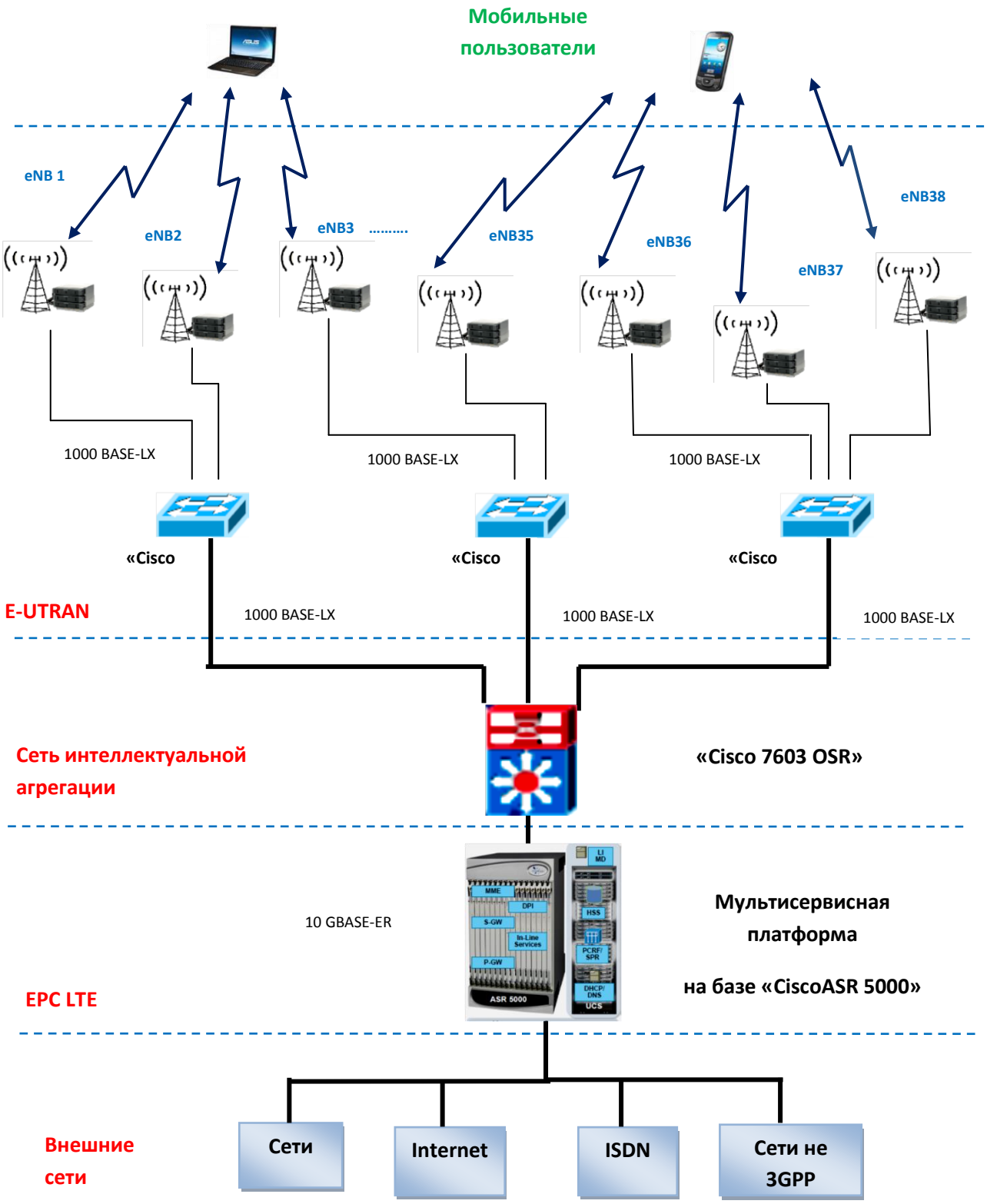

Рисунок Г.1 - Схема организации связи сети LTE