МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра **Телекоммуникационных систем**

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой _____
_____
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ «_____»_____**20__ г.**
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Модернизация беспроводного доступа в г. Щучинск с использованием технологии LTE

Специальность 5В071900«Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Выполнил (а) Баратулы С. МТСу-10-1
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель ст. преподаватель Артюхин А.В.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:
Бабич А.А.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «04» июня 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Мананбаева С.Е.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «30» 05 2014 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
ст.препод. Сейсенова Д.О.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «04» 06 2014 г.
(подпись)

_____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___г.
(подпись)

Нормоконтролер: ст. препод. Кондратович А.П.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «4» 06 2014 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____»_____20___г.
(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Заочного обучения и переподготовки специалистов
Специальность 5В071900«Радиотехника, электроника и телекоммуникации»
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Баратулы Серик
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Модернизация беспроводного доступа в г. Щучинск с использованием технологии LTE

утверждена приказом ректора № ___ от «___» сентября 20___ г.

Срок сдачи законченной работы «___» _____ 20___ г.

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

Рабочая частота передачи 800 МГц
Выходная мощность передатчика БС 40 Вт
Высота подвеса антенны от 15 до 50 м
Коэффициент усиления антенны 18 дБ

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

Основные технические характеристики технологии LTE
Расчет пропускной способности сети
Расчет количества потенциальных абонентов
Выбор оборудования транспортной сети
Выбор оптического кабеля. Определение суммарного затухания на участке
Выбор оборудования сети LTE
Бизнес-план
Безопасность жизнедеятельности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Архитектура распределительной сети LTE

Приемопередатчик Huawei RRU3908 с антенной RET

Выбор оборудование транспортной сети

Проектируемая схема организации связи сети LTE в городе Щучинске

Номинальный сотовый план проектируемой сети LTE в городе Щучинске

Рекомендуемая основная литература

Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Горячая линия, 2007.– 223 с.

Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия LTE. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 156 с.

Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 188 с.

Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010. – 225 с.

http://pro3gsm.com/arhitektura-seti-lte/

Каарinen Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. – М.: Техносфера, 2007. – 110 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Техническая часть	Артюхин А.В.	7.04. - 31.05	
Экономическая часть	Бабич А.А.	30.04 - 04.06	
Безопасность жизнед.	Мананбаева С. Е.	30.04-30.05	
Вычислительная техн.	Сейсенова Д.О.	26.05 - 04.06.14	

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Обзор основных технических параметров технологии LTE	7.04. - 12.04.14г.	14%
2	Особенности радиоинтерфейса LTE	14.04. - 19.04.14г.	11%
3	Расчет пропускной способности сети, расчет количества потенциальных абонентов, выбор оборудования транспортной сети	21.04. - 26.04.14г	11%
4	Выбор оборудования сети LTE	28.04. - 3.05.14г.	24%
5	Выполнение расчетной части	5.05. - 10.05.14г.	10%
6	Разработка бизнес-плана	12.05. - 17.05.14г.	20%
7	Разработка раздела безопасность жизнедеятельности	19.05. - 24.05.14г.	5%
8	Составление презентации	26.05. - 31.05.14г.	5%

Дата выдачи задания «1» апреля 2014 г.

Заведующий кафедрой _____ Шагиахметов Д.Р.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ Артюхин А.В.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ Баратулы С.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аңдатпа

Бұл дипломдық жұмыста Щучинск қаласындағы желісіз LTE технологиясын қолдану арқылы ғаламторға қол жеткізу мүмкіндіктерінің нұсқалары қаралды. Қажетті қондырғылар мен сараптамаларда таңдау жүргізілді.

Негізгі станциялардың қамту аймақтарының, ең көп жүктеменің байланыс жобасының, байланыс сыйымдылығы,тарату жолындағы алымдылықтың жоғалуы және сапа бағасының параметрлерінің өлшеулері жүргізіліді.

Техника-экономикалық бөлімінде күрделі жұмсалым қисынының және қанаушылық шығынының есебі жүргізілді.

Аннотация

В данном дипломном проекте рассмотрен вариант организации сети беспроводного доступа к сети Интернет в городе Щучинске, с применением технологии LTE. Произведен выбор и анализ необходимого оборудования.

Произведены расчеты зоны покрытия базовых станций, максимальная нагрузка на проектируемую сеть, ёмкость сети, потери мощности сигнала на трассе распространения и параметров оценки качества.

В разделе технико-экономическое обоснование организации сети проведен расчет капитальных вложений, эксплуатационных расходов и определен срок окупаемости с учетом дисконтирования.

Abstract

In this thesis-project is considered, the organization of wireless access to the Internet in the town of Shuchinsk, using LTE technology. The selection and analysis of the necessary equipment.

Estimated coverage base stations, the maximum load on designing a network, the network capacity, loss of signal strength on the track of distribution and parameters of quality assessment.

Under the feasibility study of organization of the network calculation of capital investments, operating costs and defined the payback period discounted.

Содержание

Введение…….. 7
1 Основные технические характеристики технологии LTE……..... 9
1.1 Перспективы развития технологии LTE в Казахстане……. 9
1.2 Обзор основных технических параметров технологии LTE…… 9
1.3 Принципы сетевой архитектуры стандарта LTE…….. 10
1.4 Распределение интеллекта в LTE-SAE…….. 12
1.5 Распределение пропускной способности……... 14
1.6 Радиочастотный спектр технологии LTE…….. 16
1.7 Особенности радиоинтерфейса LTE…….. 17
1.8 Взаимодействие стандарта LTE с UMTS/GSM и стандартами не-3GPP 19
1.9 Использование технологии MIMO в сетях LTE……... 21
2 Расчет пропускной способности сети, расчет количества потенциальных абонентов, выбор оборудования транспортной сети…….. 22
2.1 Расчет пропускной способности сети. Расчет количества потенциальных абонентов…… 22
2.2 Выбор оборудования транспортной сети…….. 27
2.3 Выбор оптического кабеля. Определение суммарного затухания на участке……. 37
3 Выбор оборудования сети LTE…….. 40
3.1 Выбор управляющего оборудования сети LTE…… 40
4 Расчет зон покрытия для сети LTE на территории г. Щучинска…..…… 43
4.1 Анализ радиопокрытия…… 43
4.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории г. Щучинска…… 47
4.3 Проектируемая схема организации связи сети LTE в г. Щучинске……. 49
5 Безопасность жизнедеятельности……. 52
5.1 Анализ условий труда……. 52
5.2 Устройство системы вентиляции…… 54
5.3 Расчёт системы вентиляции…….…… 55
5.4 Устройство противогрозовой защиты….…… 57
5.5 Расчёт и разработка молниязащиты…… 59
5.5 Вывод по разделу……. 61
6 Бизнес план проектирования сети LTE в г. Щучинске……..……..…… 62
6.1 Резюме…… 62
6.2 Компания и отрасль…… 62
6.3 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE…….. 63
6.4 Анализ рынка сбыта…….. 63
6.5 Финансовый план…….. 63
6.6 Вывод по разделу…….. 73
Заключение…….. 74
Список литературы……. 75

Введение

Желание сделать связь повсеместной и доступной — причина, породившая создание и постоянную эволюцию сотовой связи. Сегодня мир стоит на пороге создания и внедрения сетей четвертого поколения (4G), что подтверждают неустанные разработки и колоссальные инвестиции производителей в области систем беспроводной связи.

Необходимость во внедрении новых технологий обусловлена ежегодным ростом популярности интернета, количеством и качеством интерактивных интернет-сервисов. Это в свою очередь предполагает расширение каналов связи.

Довольно очевидный факт: развитие информационной структуры ведет к росту объема передачи данных по нарастающей. В связи с этим повышаются и требования к пропускной способности сетей, к технологии передачи данных для того, чтобы отвечать современным насущным требованиям информационного сообщества и бизнеса.

Сегодня скорости передачи данных модно измерять мегабайтами и гигабайтами в секунду, прежние технологии отходят в историю и на смену им приходят новые, которые позволяют связать все устройства воедино и управлять ими централизованно.

Технология LTE — яркий тому пример. Основная задача, поставленная перед ней — обеспечение высоких скоростей передачи данных и расширение спектра услуг в сетях мобильной связи с одновременным снижением затрат оператора на предоставление данных услуг.

Помимо обмена большими видео и звуковыми файлами, производители обещают обеспечить такие услуги, как потоковое видео. При этом стоит учесть, что пропускная способность канала связи 4G будет равна 1 Гбит/с, при статичном состоянии абонента, что является крайне высоким показателем для существующих технологий.

Ценным преимуществом технологий 4G в целом, и LTE — в частности, является так называемый «открытый» интернет доступ. Это означает, что абонент сети мобильной связи может выходить в интернет с помощью наиболее удобного для него в данный момент устройства — мобильного телефона, КПК, смартфона, ноутбука, имеющих наиболее подходящие для текущего обмена информацией характеристики (размер экрана, объем памяти и т.д.) [1].

Что касается развития LTE в Казахстане, то рыночные перспективы данной технологии весьма реальны. Так, возможность использования низких частот, которыми уже располагают операторы, дает надежду на то, что административные согласования и получения разрешений не окажутся такими же драматичными, как в случае с 3G. Еще одним плюсом данного частотного диапазона является то, что на низких частотах обеспечивает более широкое покрытие и более устойчивую связь внутри зданий, что крайне актуально в условиях географии Казахстана.

В дипломной работе объектом, для которого предполагается планировать сеть LTE, был задан город Щучинск. Идеей данной дипломной работы является разработка проекта обеспечение города Щучинска надёжным радиопокрытием сети LTE и оказание населению и гостям города высококачественного беспроводного доступа к сети Интернет.

В дипломной работе будет применён подход по принципу формирования максимальной возможной территории обслуживания и одновременно обеспечение необходимой расчетной ёмкости сети.

Таким образом, цель работы – исследование возможности и способов модернизации беспроводного доступа к сети Интернет в городе Щучинске с применением технологии LTE.

Основные задачи, которые необходимо выполнить для достижения цели, это:

- Рассчитать пропускную способность проектируемой сети, с учетом числа потенциальных абонентов;
- Провести анализ и выбор оборудование транспортной сети LTE;
- Разработать схему организации связи;
- Рассчитать зону покрытия сети радиодоступа в городе Щучинске;
- Выполнить технико – экономическое обоснование построения сети LTE в городе Щучинске;
- Сделать соответствующие выводы.

1 Обзор и основные характеристики технологии LTE

1.1 Перспективы развития технологии LTE в Казахстане

В настоящее время LTE — это одна из самых высокоскоростных технологий мобильного доступа. Ее скорости позволяют предоставлять современные услуги связи в высоком цифровом качестве.

В Казахстане возможности сети LTE впервые были протестированы в 2010 году. Первым в апреле 2010 года сеть LTE протестировал Beeline. По результатам тестирования сети в центральной части города Алматы сеть LTE позволила организовать передачу данных на скорости до 60 Мбит/с, в направлении к абоненту и до 15 Мбит/с — от абонента. Вскоре, в июле 2010 года в городе Астане, тестирование провел Kcell. Однако на сегодняшний день ни один из этих операторов лицензии на частоты LTE для коммерческого запуска так и не получил. Пока только АО «Казахтелеком» владеет временным разрешением для организации пилотного проекта по LTE на территории страны.

Несмотря на то, что в последние годы тестирование LTE и запуск пилотных проектов проводятся в большинстве стран мира, подтверждением результатов внедрения технологии считается запуск сети в коммерческую эксплуатацию. К примеру, по данным Глобальной ассоциации поставщиков мобильного оборудования (Global mobile Suppliers Association, GSA) к сентябрю 2012 года сети LTE в коммерческую эксплуатацию запустили 96 операторов в 46 странах мира. В этом списке такие страны, как: Австралия, Австрия, Азербайджан, Армения, Бразилия, Великобритания, Германия, Гонконг, Дания, Индия, Канада, Киргизия, Латвия, Литва, Норвегия, ОАЭ, Польша, Россия, Саудовская Аравия, Сингапур, США, Оман, Узбекистан, Филиппины, Финляндия, Швеция, Эстония, Южная Корея и Япония. На сегодняшний день 347 операторов в 104 странах мира инвестируют в LTE. Из них 292 оператора в 93 странах готовятся приступить к коммерческой эксплуатации сетей и 55 операторов в 11 странах проводят тестирование сетей.

1.2 Обзор основных технических параметров технологии LTE

3GPP LTE-SAE (Long Term Evolution - System Architecture Evolution – долгосрочная перспектива эволюции системной архитектуры) – так называется новая технология для беспроводной передачи данных. Проект 3GPP создавался как стандарт для усовершенствования и модернизации технологий CDMA, UMTS для удовлетворения всё больших потребностей в скорости и объёмах передачи данных.

Протокол 3GPP LTE, под которым чаще всего имеется в виду его релиз 9 и более ранние, формально не является стандартом беспроводной связи 4G.

Однако стандарт LTE Advanced, под которым понимается релиз 10 и более поздние релизы стандарта LTE, утвержден Международным Союзом Электросвязи как стандарт беспроводных сетей, отвечающий всем требованиям беспроводной связи четвертого поколения и включен в IMT-Advanced. Все имеющиеся на данный момент внедрения сетей LTE относятся к Release 8 и 9.

В перспективе модернизация LTE Advanced может, например, повысить эффективность, снизить издержки, расширить и усовершенствовать спектр уже оказываемых услуг, а также интегрироваться с уже существующими протоколами. Скорость передачи данных по стандарту 3GPP LTE в теории должна достигать 326,4 Мбит/с (демонстрационно 1 Гбит/с на оборудовании для коммерческого использования) на приём (download), и 172,8 Мбит/с на передачу (upload), в международном стандарте, однако указано 173 Мбит/с при приёме и 58 Мбит/с при передаче [2].

1.3 Принципы сетевой архитектуры стандарта LTE

Главными принципами построения сетевой архитектуры LTE-SAE являются общая опорная точка и узел шлюза (Gateway Node, GW) для всех остальных технологий доступа. Архитектура оптимизирована в плоскости на функциональном уровне для пользователя. Во всех интерфейсах реализуются протоколы на базе IP. Интеграция технологий доступа, не относящихся к 3GPP, реализуется на базе IP как у абонента, так и в сети.

Архитектура использует переход на меньшее количество узлов, которое снижается с четырех до двух (базовые станции и шлюзы). Применяется разделение функций интерфейса сети радиодоступа RAN-CN, аналогично как у WCDMA/HSPA. Также разделяются плоскость управления и плоскость пользователя между системой управления мобильностью (MME) и шлюзом. Шлюз, который может выполнять функции устройства сети пакетных данных (PDN), так и сервисного шлюза, конфигурируется под выполнение обеих ролей или какой-нибудь одной из них. PDN-шлюз служит общей опорной точкой для всех остальных технологий доступа. Этим в границах одной или нескольких технологий доступа обеспечивается стабильная точка присутствия для всех пользователей на основе IP, вне зависимости от мобильности [3]. Архитектура сети представлена на рисунке 1.1.

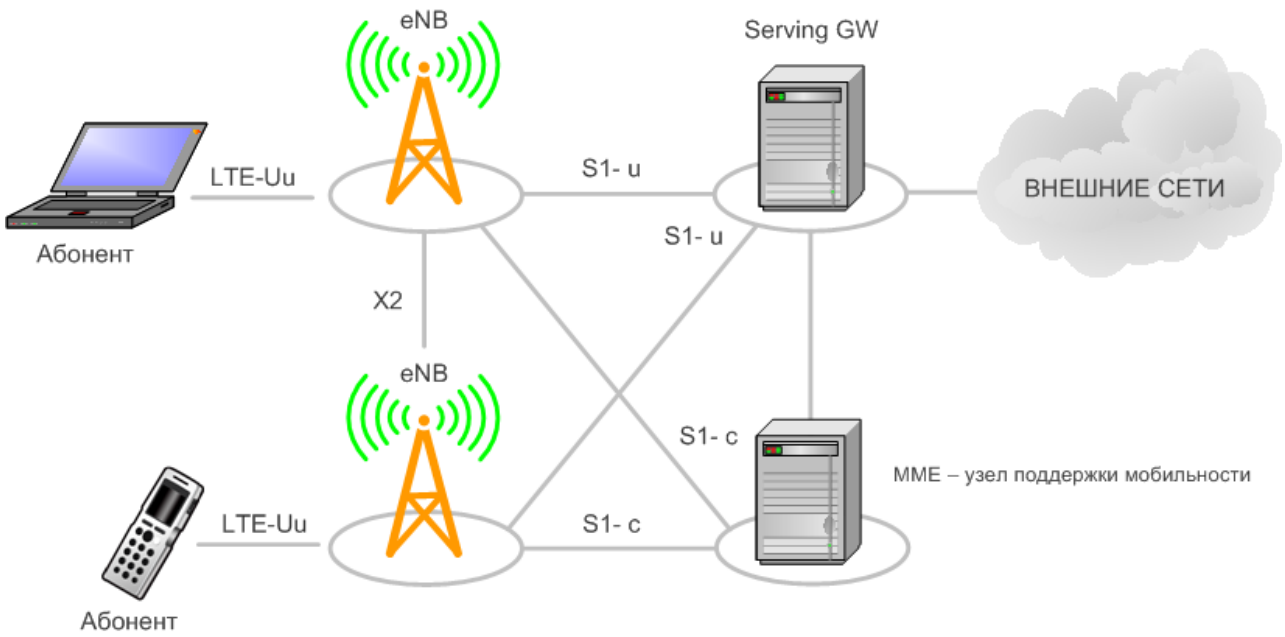


Рисунок 1.1 – Архитектура сети LTE

eNB – базовые станции;
Serving GW – общий шлюз доступа;
LTE-Uu - физический интерфейс пользователя;
X2 - физический интерфейс между базовыми станциями для обеспечения хендовера ;
S1-u - интерфейс передачи пользовательских данных;
S1-c – служебный интерфейс MME.

Главным компонентом архитектуры SAE является Evolved Packet Core (EPC). EPC служит эквивалентом сети GPRS. Компонентами EPC являются:

MME (узел управления мобильностью — Mobility Management Entity) — это ключевой контролирующий модуль для сети доступа LTE. Он отвечает за процедуры обеспечения мобильности, хэндовера, слежения и пейджинга UE (пользовательского устройства — User Equipment). Он участвует в процессах активации/дезактивации сетевых ресурсов и так же отвечает за выбор SGW для UE при начальном подключении и при хэндовере внутри LTE со сменой узла ядра сети (Core Network — CN). Он отвечает за аутентификацию пользователя (при взаимодействии с HSS). Сигнализация слоя без доступа (Non-Access Stratum — 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 является заключительной точкой сети для шифрования/защиты целостности сигнализации NAS и отвечает за управление безопасностью. 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 так же соединен интерфейсом S6a с домашним HSS для роуминга UE.

SGW (обслуживающий шлюз — Serving Gateway): Предназначен для обработки и маршрутизации пакетных данных поступающих из/в подсистему базовых станций. SGW маршрутизирует и направляет пакеты с пользовательскими данными, в то же время выполняя роль узла управления мобильностью (mobility anchor) для пользовательских данных при хэндовере между базовыми станциями (eNodeB), а также как узел управления мобильностью между сетью LTE и сетями с другими технологиями 3GPP. Когда UE свободен и не занят вызовом, SGW 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). Он так же предоставляет копию пользовательских данных при узаконенном перехвате.

PGW (пакетный шлюз - Packet Data Network Gateway): Пакетный 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 PGW для подключения к нескольким сетям. PGW выполняет функции защиты, фильтрации пакетов для каждого пользователя, поддержку биллинга, узаконенного перехвата и сортирование пакетов. Другая важная роль PGW - являться узлом управления мобильностью между 3GPP и не-3GPP технологиями, такими как WiMax и 3GPP2 (CDMA 1X и EvDO).

PCRF (узел выставления счетов абонентам - Policy and Charging Rules Function): Это - общее название для устройств в рамках SAE EPC, которые отслеживают поток предоставляемых услуг, и обеспечивают тарифную политику. Для приложений, требующих контроль или начисление платы в режиме реального времени, может использоваться дополнительный сетевой элемент под названием Applications Function (AF).

1.4 Распределение интеллекта в LTE-SAE

Для обеспечения необходимой функциональности в рамках LTE, в структуре SAE, слой управления сдвигается от ядра к периферии. Управляющие узлы RNC удаляются и управление радиочастотным ресурсом передается базовым станциям. Новый тип базовых станций получил название eNodeB или eNB [4].

3GPP устанавливает архитектуру распределительной сети для LTE с требованием поддержки двух ключевых интерфейсов: S1 — интерфейс между LTE eNBs и EPC (Evolved Packet Core - включает S-GW и MME) X2 —

интерфейс, объединяющий eNBs с другими eNBs в определенные логические группы.

Эти два интерфейса применяются при передаче пакетов контрольной плоскости (обмен сообщениями) и канальной плоскости (пользовательские данные). Кроме того, улучшение покрытия обеспечивают микросоты (маломощные eNBs для покрытия небольшой площади), пикосоты (обычно помещения офисных комплексов, торговых центров, вокзалов) или фемтосоты (жилые дома и небольшие офисы).

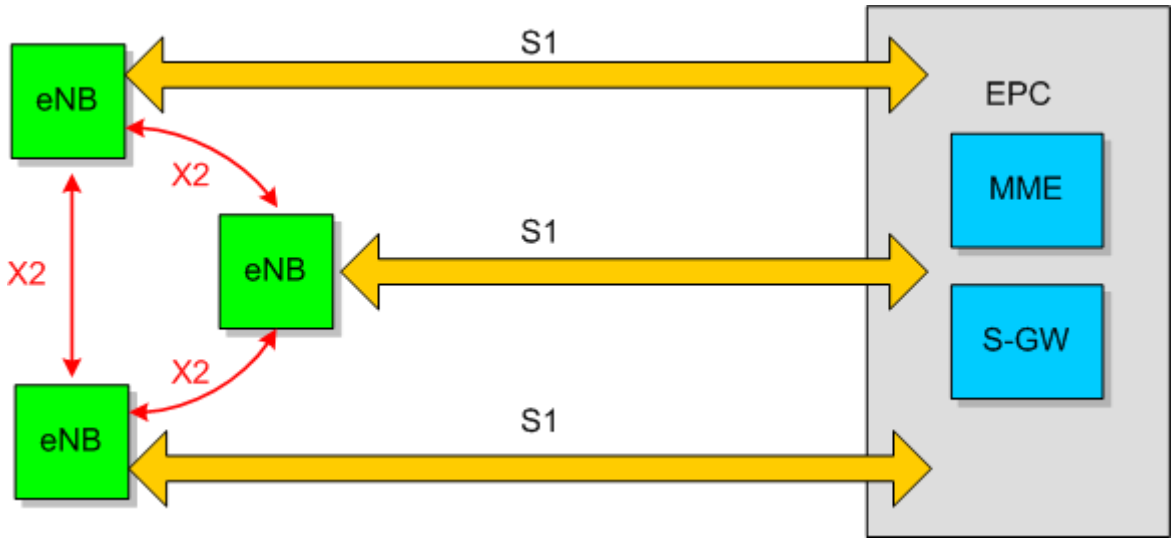


Рисунок 1.2 – Логическая архитектура LTE

По степени эволюции беспроводных технологий их функциональность дополнялась: появились распределенный радиоконтроль (Distributed Access Control) и плоскость полезных данных IP (IP Bearer Plane). eNBs на базовых станциях представляют собой конечные точки IP с поддержкой плоскости полезных данных IP. В этой плоскости передаётся пользовательский трафик через туннели GTP и сигнальный трафик через туннели SCTP. eNBs, служащие в качестве конечных точек IP, отображают пользовательский трафик на несущие потоки IP (S1) между контроллерами eNBs и S-GW/MME. Если пользователь перемещается в другую соту, то интерфейс несущего IP-потока (X2) между eNBs разных сот можно использовать для обмена протокольными сообщениями для координации эстафетной передачи между соседними узлами.

На рисунке 1.2 изображен интерфейс X2 между eNBs, а также представлен интерфейс S1 между eNBs и контроллерами. Предполагается, что интерфейс S1 будет выполнен в основном по соединениям «точка – точка» между eNB и контроллерами, хотя возможны и соединения «точка — множество точек». Стандартно интерфейс X2 реализуется по многоточечным соединениям между подмножеством соседних ячеек, обычно находящихся в одной подсети IP. Их количество может достигать 32 и даже 64, однако, как ожидается, в типичной функциональной модели будет не более 4–16 ячеек.

Интерфейс X2 выиграет от низкой задержки при обмене протокольными сообщениями между сотами в одной подсети IP, а также от стабильности работы сети, особенно после введения расширенных возможностей LTE (редакция 10 и более поздние версии), таких как скоординированная многоточечная передача Coordinated Multipoint Transmission (CoMP).

Это обеспечивает гораздо более высокий уровень прямого взаимодействия. Данное подключение, также позволяет направлять многие вызовы напрямую, поскольку большое количество звонков и соединений в сети предназначаются для мобильных устройств в той же или соседних сотах. Новая структура позволяет направлять вызовы по более короткому маршруту и с минимальным использованием ресурса ядра сети.

В дополнение к реализации 1 и 2-го уровней OSI, eNB управляет рядом других функций, которые включают в себя контроль радио ресурсов (включая управление доступом), балансировку нагрузки и управление мобильностью, включая принятие решений о хэндовере для мобильных пользователей или оборудования (UE). Гибкость, заложенная в eNB, позволяет им поддержать дальнейшее расширение функциональности для перехода от LTE к LTE Advanced.

1.5 Распределение пропускной способности

На рисунке 1.3 приведена простая схема распределения пропускной способности для EVC (Ethernet Virtual Circuit) , а также различных классов трафика, в том числе, различие может проводиться между пользовательскими данными и трафиком синхронизации, или между несколькими MNO на одной площадке, или даже несколькими поколениями мобильного трафика одного и того же MNO.

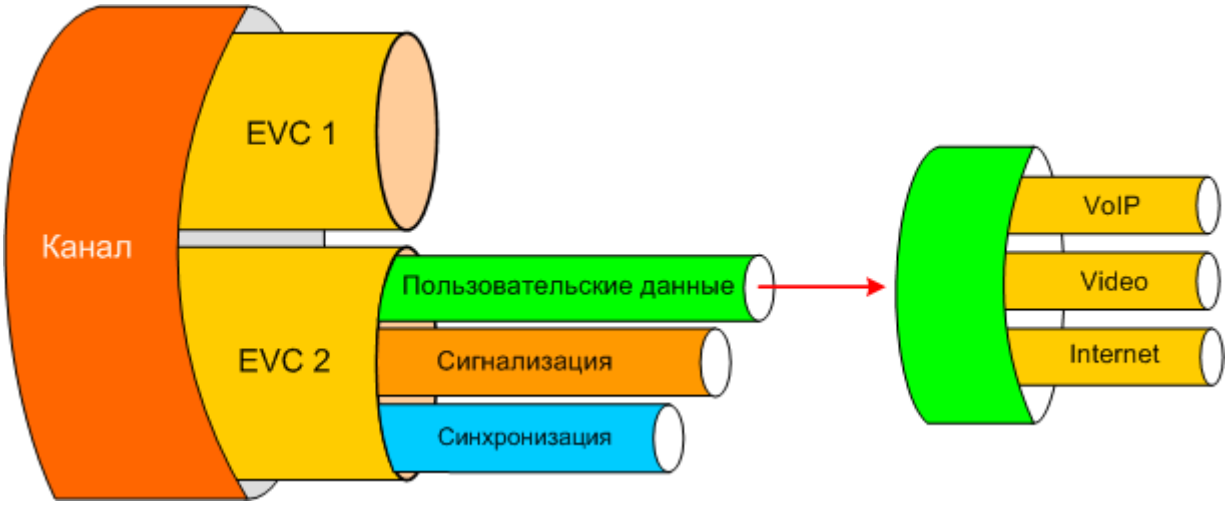


Рисунок 1.3 – Распределение пропускной способности для различных классов трафика

Как изображено на рисунке 1.3, EVC2 может состоять из множества CE-VLAN, причем каждая CE-VLAN выделяется для отдельного класса трафика (например, пользовательских данных, сигнализации или синхронизации). Класс пользовательского трафика может быть классифицирован как видео, интернет или голос. Пакетная распределительная сеть поддерживает эти классы трафика как в различных EVC, так и в одном и том же EVC для данного eNB.

Наилучшим выбором для класса трафика синхронизации на базе пакетного метода зачастую оказывается выделение отдельного EVC, поскольку такой EVC может быть многоточечным к UNI во всех обслуживаемых пакетной сетью eNB. Основной объем трафика приходится на передаваемый «по мере возможности», поэтому провайдеры распределительной сети должны избегать применения жестких требований к производительности как к высоко приоритетному, так и к общему трафику. Чрезмерного выделения пропускной способности сети можно избежать за счет поддержки по крайней мере двух классов сервиса (высокоприоритетного и низкоприоритетного) и, если возможно, дополнительного класса со строгим приоритетом для трафика синхронизации с целью минимизации для него вариации задержки.

Фактически стандарт LTE обладает в большой степени совместимостью с эфирным интерфейсом других систем подвижной связи. Сеть называется E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (развивающаяся универсальная наземная сеть радиодоступа). Далее указаны основные технические параметры технологии LTE [5].

1. Технология множественного доступа:
- прямой канал (Downlink – DL) – OFDMA;
- обратный канал (Uplink – UL) – SC-FDMA;
2. Диапазон используемых частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 - 2,5 ГГц; 2,6 - 2,7 ГГц.
3. Битовая скорость:
- прямой канал (DL) MIMO 2TX×2RX: 100 - 300 Мбит/с;
- обратный канал (UL): 50 - 172,8 Мбит/с.
4. Ширина полосы радиоканала: 1,4 - 20 МГц.
5. Радиус сектора: 5 – 30 км.
6. Емкость соты (количество обслуживаемых абонентов):
- более 200 пользователей при полосе 5 МГц;
- более 400 пользователей при полосе больше 5 МГц.
7. Мобильность: скорость перемещения до 250 км/ч.
8. Параметры MIMO:
- прямой канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX;
- обратный канал (UL): 2TX×2RX.
9. Значение задержки (latency): 5мс.
10. Спектральная эффективность: 5 бит/сек/Гц.
11. Поддерживаемые типы модуляции:
- прямой канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM.

- обратный канал (UL): QPSK, 16 QAM.

12. Дуплексное разделение каналов: FDD, TDD.

1.6 Радиочастотный спектр технологии LTE

Технология FDD (frequency division duplex) предполагает использование парного спектра, т.е. двух частотных диапазонов - одного для канала uplink и другого для канала downlink. Технология TDD (time division duplex) использует один частотный диапазон для каналов uplink/downlink с разделением их по времени. В настоящее время принято, что полосы частот для LTE с номерами от 1 до 22 используются для парного спектра (FDD), а полосы от 33 до 43 - для непарного спектра (TDD) [6].

Таблица 1.1 – Диапазоны частот для сети радиодоступа E-UTRA

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

Продолжение таблицы 1.1

38	2570 – 2620	TDD
39	1880 – 1920	TDD
40	2300 – 2400	TDD
41	2496 – 2690	TDD
42	3400 – 3600	TDD
43	3600 – 3800	TDD

Из таблицы 1.1 видно, что диапазоны, предназначенные для развития сетей LTE, уже освоены или осваиваются в Казахстане для работы сетей мобильной связи и беспроводного доступа различных технологий. Поэтому, создание в Казахстане LTE-сетей сопровождается трудностями с выбором и получением разрешения на использование частотного диапазона. Таким образом, будущее внедрения сетей LTE в Казахстане связано с необходимостью реформирования использования радиочастотного спектра на основе национальных процедур его высвобождения и перепланирования.

В Казахстане распределены полосы частот, для перспективных радиотехнологий, включая LTE, следующим образом:

1) LTE FDD в рабочем диапазоне частот band 3:

- полоса частот передачи в направлении «к абоненту» — 1860…1880 МГц;
- полоса частот передачи в направлении «от абонента» — 1765…1785 МГц;

Совместимость со стандартом 3GPP Release 9;

2) LTE (3GPP EUTRA) в рабочем диапазоне частот Band 20:

полоса частот передачи в направлении (к абоненту) (downlink) 832-862 МГц;

полоса частот передачи в направлении «от абонента» (uplink) 791-821 МГц;

Рабочая частота сетей 4G LTE в Казахстане: 800-1900 МГц.

1.7 Особенности радиоинтерфейса LTE

С одной стороны, в основе радиоинтерфейса LTE лежит все тот же принцип OFDM. При этом множественный доступ в нисходящем канале LTE достигается за счет применения тщательно доработанной версии OFDM, получившей название множественного доступа с ортогональным разделением частот (OFDMA). Данный метод позволяет закреплять отдельные поднесущие за разными пользователями. Это облегчает обслуживание многих абонентов,

работающих с низкими скоростями, а также позволяет использовать частотные скачки для смягчения эффектов узкополосного многолучевого распространения.

С другой стороны, учитывая присущие этой технологии сигналы с высоким отношением пикового значения к среднему PAPR (Peak-to-Average Power Ratio), которые порождаются параллельной передачей нескольких сотен близко расположенных поднесущих, был предложен новый подход. Известно, что для мобильных устройств сигналы с большим PAPR создают целый ряд проблем связанных с конструкцией усилителя мощности и потреблением энергии от батарей. Именно поэтому 3GPP остановился на новой схеме передачи для восходящего канала SC-FDMA.

SC-FDMA восходящего канала представляет собой гибридную схему передачи, которая сочетает низкие значения PAPR, присущие системам с одной несущей, таким как GSM и CDMA с гибким распределением частот OFDM. Алгоритм генерации сигнала SC-FDMA показаны на рисунке 1.4, который является фрагментом одного из рисунков отчета 3GPP TR 25.814 об исследовании физического уровня LTE [7].

Рисунок 1.4 – Генерация сигнала SC-FDMA

В левой части рисунка 1.4 символы данных изображены во временной области. Символы преобразуются в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье и затем, в частотной области, они распределяются в нужные места общего спектра несущей. Затем их необходимо снова преобразовать во временную область, чтобы перед передачей добавить к ним циклический префикс. Альтернативное название технологии SC-FDMA — распределенная OFDM с дискретным преобразованием Фурье (DFT-SOFDM).

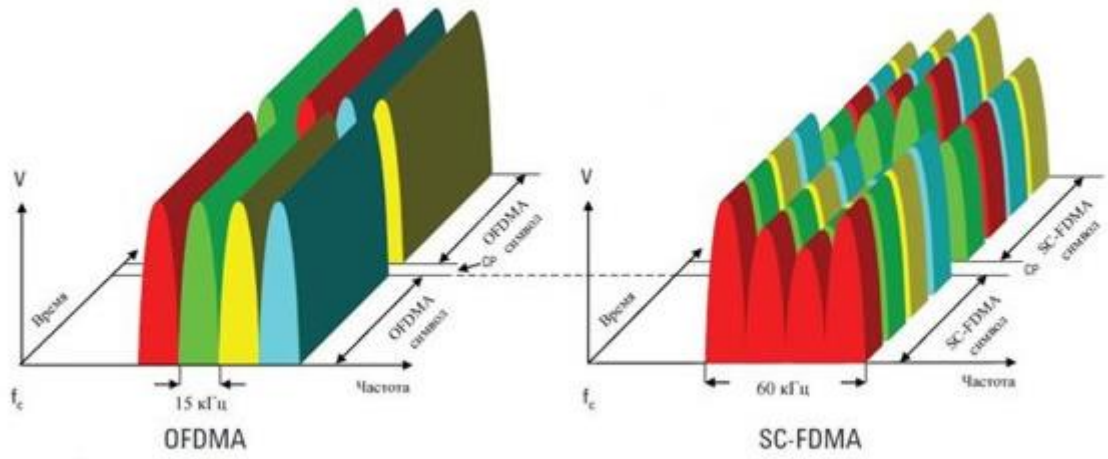


Рисунок 1.5 – Пример передачи серии символов данных QPSK в OFDMA и SC-FDMA

Альтернативное описание этой технологии представлено на рисунке 1.5, где в частотной и временной областях показано, как OFDMA и SC-FDMA передают последовательность из восьми символов QPSK. В этом упрощенном примере число поднесущих (M) было сокращено до четырех. Для OFDMA четыре (M) символа обрабатываются параллельно, причем каждый из них модулируется собственной поднесущей с соответствующей фазой QPSK. Каждый символ данных занимает полосу 15 кГц на время передачи одного символа OFDMA, которое равно 66,7 мкс. В начале следующего символа OFDMA вставляется защитный интервал, содержащий циклический префикс (CP). CP представляет собой копию конца символа, добавленную к началу символа. Благодаря параллельной передаче, символы данных имеют ту же длину, что и символы OFDMA.

В случае SC-FDMA символы данных передаются последовательно. Поскольку в данном примере используются четыре поднесущих, за один период символа SC-FDMA передаются четыре символа данных. Период символа SC-FDMA имеет ту же длину, что и символ OFDMA, т.е. 66,7 мкс, но благодаря последовательной передаче символы данных получаются короче, т.е. равными 66,7/M мкс. В связи с повышением скорости следования символов для их передачи требуется более широкая полоса. В результате каждый символ занимает в спектре 60 кГц, а не 15 кГц, как было в случае более медленных символов, используемых в OFDMA. После передачи символов данных вставляется CP.

1.8 Взаимодействие стандарта LTE с UMTS/GSM и стандартами не-3GPP

Поддержка мобильности абонентского терминала при его перемещении из зоны обслуживания одной сети в зону обслуживания другой – является

важной задачей, возникающей при взаимодействии сети LTE с сетями мобильной связи стандартов 3GPP (UMTS/GSM/HSPA+). Взаимодействие сети LTE с сетями 3GPP заключается в обеспечении дискретной мобильности (роуминга) и обеспечения непрерывной мобильной связи (хэндовера).

Основными интерфейсами взаимодействия сети LTE с сетями 3GPP являются интерфейсы S3, S4 и S12. Данные интерфейсы обеспечивают взаимодействие логического элемента управления мобильностью MME и шлюза S-GW сети LTE с сервисным узлом SGSN сетей 3G с помощью туннельного протокола GTP (GPRS Tunnelling Protocol). Протокол GTP предназначен для передачи данных плоскости управления (протокол GTP-C) и для передачи данных плоскости пользователя (протокол GTP-U). В условиях роуминга шлюз S-GW визитной сети взаимодействует со шлюзом

P-GW (шлюз взаимодействия с пакетными сетями) домашней сети.

Взаимодействие сети LTE с другими 3GPP для оказания традиционных услуг телефонии осуществляется с помощью как традиционной технологии коммутации каналов (TDM), так и технологии коммутации пакетов на базе сервисной подсистемы IMS.

Хэндовер между сетью LTE и другой сетью 3GPP при осуществлении голосового вызова происходит с помощью взаимодействия логического элемента MME с сервером MSC по интерфейсу Sv в случае вызовов из сети LTE в традиционный домен коммутации каналов (CS-домен); и с помощью взаимодействия логического элемента MME с узлом SGSN по интерфейсу S3 в случае голосового вызова из сети LTE в домен коммутации пакетов (PS-домен).

Взаимодействие сети LTE с сетями не-3GPP разделяется на взаимодействие с сетями с гарантированной безопасностью – «надежными» и взаимодействие с сетями с негарантированной безопасностью – «ненадежными». В качестве «надежных» сетей могут выступать присоединенные сети других стандартов (cdma 2000, WiMax), в качестве «ненадежных» - публичные IP-сети Интернета. Взаимодействие сети LTE с «надежными» сетями стандартов не-3GPP осуществляется посредством шлюза P-GW, взаимодействие с «ненадежными» сетями – посредством шлюза ePDG.

С учетом концепции построения базовой сети EPC «все через IP» мобильность абонентского терминала при взаимодействии сети LTE с сетями не-3GPP основана на протоколах управления мобильностью в IP-сетях:

- протоколы управления мобильностью на базе хостов - HBM (Host Based Mobility) – MIP v4, DSMIP v6;

- протоколы управления мобильностью на базе сети – NBM (Network Based Mobility) – PMIP v6.

Идентификация абонентского терминала по IP-адресу и маршрутизация осуществляется так же, как и в IP-сетях.

1.9 Использование технологии MIMO в сетях LTE

Технология MIMO в сетях LTE играет одну из важных ролей в обеспечении высоких скоростей передачи данных.

MIMO (Multiple Input Multiple Output – множественный вход – множественный выход) – технология, которая представляет собой беспроводной доступ, предусматривающая использование нескольких передатчиков и приемников для одновременной передачи большего количества данных. Технология MIMO использует эффект передачи радиоволн, называемый многолучевым распространением, когда передаваемые сигналы отражаются от множества объектов и препятствий и принимающая антенна воспринимает сигналы под разными углами и в разное время. С применением технологии MIMO становится возможным увеличить помехоустойчивость каналов связи, уменьшить относительное число битов, принятых с ошибкой. Работа систем MIMO может быть организована по двум принципам: по принципу пространственного уплотнения и по принципу пространственно-временного кодирования.

В первом случае различные передающие антенны передают различные части блока информационных символов или различные информационные блоки. Передача данных ведется параллельно с двух или с четырех антенн. На приемной стороне производится прием и разделение сигналов различных антенн. Во втором случае, со всех передающих антенн осуществляется передача одного и того же потока данных с использованием схем предварительного кодирования.

Антенные конфигурации технологии MIMO могут принимать симметричные (2×2, 4×4) и несимметричные (1×2, 2×4) значения. На рисунке 1.6, показана структурная схема MIMO-системы с двумя передающими и двумя принимающими антеннами, реализованная по принципу пространственно-временного кодирования.

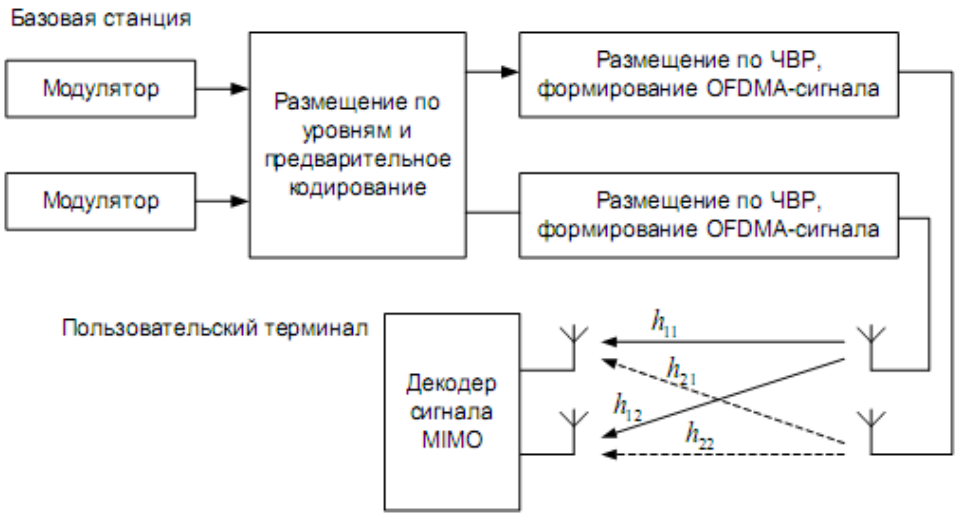


Рисунок 1.6 – Структурная схема MIMO-системы 2×2

2 Расчет пропускной способности сети, расчет количества потенциальных абонентов, выбор оборудования транспортной сети

В процессе планирования радиосетей LTE имеется ряд отличий от процесса планирования других технологий беспроводного радиодоступа. Главное отличие – это использование нового типа многостанционного доступа на базе технологии OFDM [8], в связи с чем, появляются новые понятия и изменяются алгоритмы проектирования. Процесс планирования радиосети состоит из двух этапов:

- формирование максимальной площади покрытия;
- обеспечение требуемой емкости.

Планирование радиосети LTE будет производиться в сельской местности, а это значит, что плотность абонентов будет невысока и базовые станции должны устанавливаться на максимальном удалении друг от друга с целью закрыть каждой eNB как можно большую территорию. В связи с этим нужно подобрать соответствующий частотный диапазон. В данном случае нужно руководствоваться правилом, что чем ниже частота, тем дальше распространение радиосигнала. Частотный диапазон 791 – 862 МГц вполне подойдет для выполнения этой задачи. Тип дуплекса выберем частотный – FDD.

2.1 Расчет пропускной способности сети. Расчет количества потенциальных абонентов

Пропускную способность, или емкость, сети оценивают, базируясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях. Методика расчета использована в соответствии с [9].

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

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

Средняя спектральная эффективность для сети LTE, ширина полосы частот которой равна 20 МГц, для частотного типа дуплекса FDD на основании 3GPP Release 9 для разных конфигураций MIMO, представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Средняя спектральная эффективность для сети LTE

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

Для системы FDD средняя пропускная способность одного сектора eNB может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность канала:

$$R = S \cdot W, \tag{2.1}$$

где S – средняя спектральная эффективность, бит/с/Гц;
W – ширина канала, МГц; W = 10 МГц.
Для линии DL:

$$R_{DL} = 3{,}43 \cdot 10 = 34{,}3 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL:

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

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

$$R_{eNB} = R_{\frac{DL}{UL}} \cdot 3 \tag{2.2}$$

Для линии DL:

$$R_{eNB.DL} = 34{,}3 \cdot 3 = 102{,}9 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL:

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

Следующим этапом будет определение количества сот в планируемой сети LTE.

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

$$N_k = \left[\frac{\Delta f_{\sum}}{\Delta f_k}\right], \tag{2.3}$$

где $\Delta f_{\sum}$ - полоса частот, выделенная для работы сети и равная 71 МГц;

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

$$N_k = \frac{71000}{180} \approx 395 \text{ (каналов)}$$

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

$$N_{\text{к.сек}} = \left[\frac{N_k}{(N_{\text{кл}} \times M_{\text{сек}})}\right] \tag{2.4}$$

где $N_к$ – общее число каналов;

$N_{кл}$ – размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов eNB, примем равным три;

$M_{сек}$ – количество секторов eNB, принятое равным трём.

$$N_{\text{к.сек}} = \left[\frac{395}{(3 \times 3)}\right] \approx 43 \text{ (канала)}$$

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

$$N_{\text{кт.сек}} = N_{\text{кт1}} \times N_{\text{к.сек}} \tag{2.5}$$

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

$$N_{\text{кт.сек}} = 1 \times 43 \approx 43 \text{ (канала)}$$

В соответствии с моделью Эрланга, представленной в виде графика на рисунке 2.1, 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 $A_{сек}$ = 50 Эрл.

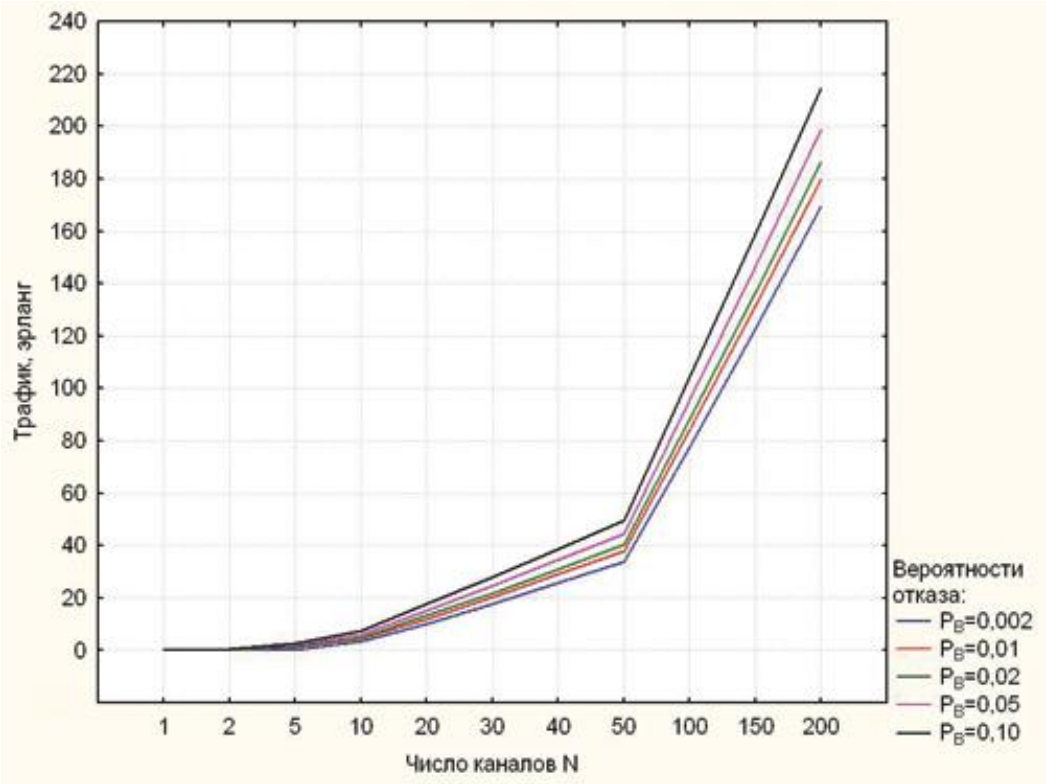


Рисунок 2.1 – Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки

Число абонентов, которое будет обслуживаться одной eNB, определяется по формуле:

$$N_{\text{аб}.eNB} = \text{M}_{\text{сек}} \times \left[\frac{\text{A}_{\text{сек}}}{\text{A}_1}\right] \tag{2.6}$$

где A_1 – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение A_1 может составлять (0,04...0,2) Эрл. Так как проектируемая сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение A_1 примем равным 0,2 Эрл. Таким образом:

$$N_{\text{аб}.eNB} = 3 \times \left[\frac{50}{0{,}2}\right] \approx 750 \text{ (абонентов)}$$

Число базовых станций eNB в проектируемой сети LTE найдем по формуле:

$$\text{N}_{\text{eNB}} = \left[\frac{\text{N}_{\text{аб}}}{\text{N}_{\text{аб.eNB}}}\right] + 1 \tag{2.7}$$

где $N_{аб}$ – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определим как 7 % от общего числа жителей, в соответствии со среднестатистической начальной нагрузкой. Общее число жителей г. Щучинска, по последним данным на 2012 год составляет примерно 46 000 человек. Таким образом, количество потенциальных абонентов составит 3 220 единиц, тогда:

$$N_{eNB} = \left[\frac{3220}{750}\right] + 1 \approx 5\ (eNB)$$

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

$$R_N = (R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL}) \cdot N_{eNB}\ , \qquad (2.8)$$

$$R_N = (102{,}9 + 54{,}87) \cdot 7 = 788{,}85\ (\text{Мбит/с}).$$

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

$$R_{\text{т.ЧНН}} = \frac{\text{Т}_{\text{т}} \times q}{N_{\text{ЧНН}} \times N_{\text{Д}}} \qquad (2.9)$$

где T_T - средний трафик одного абонента в месяц, T_T = 30 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.

$$R_{\text{т.ЧНН}} = \frac{30 \times 2}{7 \times 30} \approx 0{,}28\ (\text{Мбит/с})$$

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

$$R_{общ./ЧНН} = R_{т.ЧНН} \cdot N_{акт.аб}, \qquad (2.10)$$

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 $N_{акт.аб}$ = 2254 абонентов.

$$R_{общ./ЧНН} = 0{,}28 \cdot 2254 = 631{,}12\ (\text{Мбит/с}).$$

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

2.2 Выбор оборудования транспортной сети

Оборудование транспортной сети следует выбирать, в первую очередь руководствуясь особенностями технологии LTE, а так же, чтобы данное оборудование отвечало требованиям надежности, отличалось эффективностью, гибкостью, компактностью, обладало широким набором функций и удовлетворяло понятию «цена – качество». Главным условием при выборе оборудования транспортной сети является надежная передача данных пользователей согласно рассчитанной пропускной способности сети LTE.

Транспортная сеть проектируемой сети LTE будет реализована с помощью оптоволоконных линий передач по технологии Ethernet. В технологии Ethernet (стандарт IEEE 802.3) определены следующие скорости: Ethernet на скорости 10 Мбит/с, Fast Ethernet на скорости 100 Мбит/с, Gigabit Ethernet на скорости 1 Гбит/с и 10 Gigabit Ethernet на скорости 10 Гбит/с. Скорости в 1 и 10 Гбит/с подходят для транспортной сети. Существенным преимуществом систем Ethernet является широкая масштабируемость и максимальная приближенность к стеку протоколов IP.

В мире проектирования мобильных сетей существуют различные решения выбора оборудования, как сети радиодоступа, так и транспортной сети. Компании – производители оборудования для сетей мобильной связи предоставляют операторам пакеты готовых решений, состоящих из подобранного по различным показателям стека аппаратуры. В пакеты готовых решений для реализации транспортной сети мобильного оператора могут входить рабочие станции, коммутаторы, маршрутизаторы, мультисервисные станции, а также специализированное оборудование для управления сетью.

На сегодняшний день среди всех решений различных компаний-производителей коммутационного оборудования для реализации транспортной сети LTE выделяются решения двух компаний: «Huawei Technologies» и «Alcatel – Lucent». Произведем краткий анализ решений этих компаний и сведем данные в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Данные анализа решений для реализации транспортной сети LTE компаний «Huawei Technologies» и «Alcatel – Lucent»

Коммутационное оборудование транспортной сети LTE	Компании – производители	
	«Huawei Technologies»	«Alcatel – Lucent»
1. Коммутационное оборудование сети радиодоступа E-UTRAN	RRU3908 – выносной радиочастотный блок. Обеспечивает обработку сигналов основных частот и радиочастотных сигналов. Один RRU3908 выполняет функцию двух приёмопередатчиков. Если два модуля RRU3908 установлены в подстативе RRU3908, они выполняют функцию четырёх приемопередатчиков, поддерживающими функцию горячей замены	Сервисный маршрутизатор «7750SR»: подходит для крупномасштабных сетей в мегаполисах; IP маршрутизация; 10 портов 10 GEthernet; высокая цена; для подключения ОВ используются дополнительные модули SPF; протоколы передачи –OSPF, BGP
2. Коммутационное оборудование сети интеллектуальной агрегации	BBU3900 является блоком обработки базовых частот для установки внутри помещений, который обеспечивает централизованное управление эксплуатацией и обслуживанием, а также обработку сигнализации всей системы базовой станции и обеспечивает опорный сигнал синхронизации. Также блок имеет физические интерфейсы для соединения с BSC и RRU3004. BBU3900 устанавливают в статив 2 U высотой и шириной 47.5 см. Он может быть установлен в статив 19 “, либо смонтирован на стену.	Маршрутизатор сервисной агрегации «7705 SAR»: 6 портов 10/100 EthernetBASE-T; 2 порта GEBASE-TX с модулями SPF; низкая цена, низкая производительность; IP маршрутизация; протоколы передачи – OSPF, BGP

Продолжение таблицы 2.2.

3. Оборудование для реализации EPC LTE, управления услугами	Мультисервисная платформа BSC6900 lte huawei: производительность 320 Гбит/с; интерфейсы – GE, 10GE; высокая цена; масштабируемость; протоколы передачи - OSPF, RIPv2, EIGRP, BGP; время наработки на отказ 7 лет; протокол управления – SNMP; IP маршрутизация	Система управления сетью «5620 SAM»: включает в себя несколько коммутаторов и маршрутизаторов; поддержка Ethernet, ATM;IP маршрутизация; протоколы передачи – OSPF, BGP

Из таблицы 2.2 видно, что решение компании «Huawei Technologies» для реализации транспортной сети LTE является лучшим по многим параметрам и цена на оборудование данного производителя меньше, а так же высокое качество исполнения и высокий уровень технической поддержки позволяют сделать выбор именно в пользу данной продукции.

Компания «Huawei Technologies» на сегодняшний день является безусловным лидером производства коммутационного оборудования в мире. Продукцию данной компании используют в своих сетях свыше 310 операторов мобильной связи более чем в 86 странах мира. В Казахстане свое предпочтение коммутационному оборудованию компании «Huawei Technologies» отдали такие операторы мобильной связи, как АО «Казахтелеком», АО «Алтел». Продукция выпускаемая компанией «Huawei Technologies» обладает такими качествами как надежность, производительность, многофункциональность, масштабируемость и безопасность. В данной дипломной работе при выборе транспортного оборудования сети LTE предпочтение отдадим оборудованию компании «Huawei Technologies».

Оборудование транспортной сети для передачи данных по технологии LTE делится на:

1. Транспортное оборудование сети радиодоступа.
2. Транспортное оборудование интеллектуальной агрегации.

У компании «Huawei Technologies» имеются готовые решения построения транспортной сети для мобильных операторов. Воспользуемся ими.

В качестве одного из решений транспортного оборудования радиодоступа выберем базовую станцию Huawei DBS3900 LTE, она обеспечивает большую емкость сети, – одна eNodeB поддерживает до 3600 абонентов в подключенном состоянии (RRC Connected). DBS3900 LTE обеспечивает большую площадь покрытия, благодаря функциям, таким как многоантенный разнесенный прием и Inter-cell Interference Coordination (ICIC) в линии вверх, DBS3900 LTE поддерживает максимальный радиус соты 100 км. В режиме с модуляцией

64QAM, 4x4 MIMO и ICIC, DBS3900 LTE достигает максимальной скорости передачи 300 Мбит/с на соту, по линии вниз (по линии вверх – 70 Мбит/с).

Сама базовая станция DBS3900 состоит из трёх частей:
1. BBU- это основная часть БС (Обрабатывает информацию);
2. RRU- это приемопередатчики TRx;
3. Антенна (Сектор, сота).

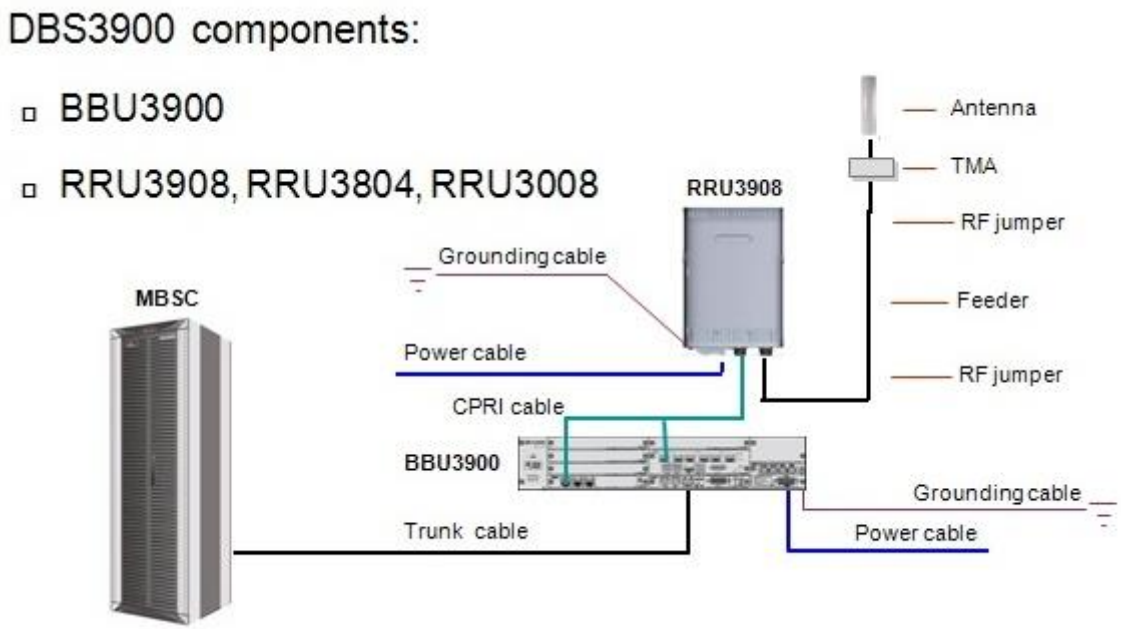


Рисунок 2.1 – Схема подключения базовой станции Huawei DBS3900 LTE

Секторы соединяются с RRU коаксиальными кабелями, так называемые джамперы. Блоки RRU размещаются на верху мачты, рядом с секторами. Это очень удобно, т.к. раньше на старых базовых станциях, передатчики располагались в контейнере на земле, а до секторов прокладывались коаксиальные кабели большого сечения, а это не очень хорошо. Блоки RRU соединяются с BBU оптическим кабелем. BBU размещается на земле в контейнере и на участке BBU-RRU потери сводятся к нулю, т.к. соединяются по оптике. BBU соединяется с любым транспортным оборудованием (Мультиплексор, радиорелейная линия) и далее до контроллера базовых станции BSC6900 (через E1 по ATM или по IP).

Рисунок 2.2 – Внешний вид BBU3900

Модуль - BBU3900, изображенный на рисунке 2.2, - это блок обработки базовых частот для установки внутри помещений, который обеспечивает централизованное управление эксплуатацией и обслуживанием, а также обработку сигнализации всей системы базовой станции и обеспечивает опорный сигнал синхронизации. Также блок имеет физические интерфейсы для соединения с BSC и RRU3908. BBU3900 устанавливают в статив 2 U высотой и шириной 47,5 см. Он может быть установлен в статив 19 “, либо смонтирован на стену.

В BBU3900 устанавливаются дополнительные платы, обеспечивающие мониторинг окружающих условий, мониторинг интерфейса Abis и сигналов синхронизации GPRS. BBU3900 это компактное оборудование, простое при установке. Потребляет небольшой объём мощности и обеспечивает полный спектр услуг.

BBU3900 - это низкочастотная часть распределенной базовой станции Huawei DBS3900. Оптическим кабелем (интерфейс CPRI) этот блок должен соединятся с "радиоголовой" - выносным радичастотным модулем (например, RRU3908).

DBS3900 представляет собой распределённую базовую станцию, с использованием платформы BTS компании Huawei. Будучи базовой станцией системы мобильной связи, DBS3900 состоит из блока обработки базовых частот (BBU) и выносного радиочастотного блока (RRU). BBU3900-это блок обработки базовых частот. Радиочастотный блок RRU3908, поддерживает работу двух/четырёх радиопередатчиков.

В DBS3900 используется выносной радиочастотный модуль, отвечающий требованиям построения сетей в аспекте расширения ёмкости, гибкости установки и модернизации.

Между блоками RRU3004 и BBU3900 используется интерфейс CPRI, который обеспечивает соединение двух модулей с использованием оптических кабелей. Это позволяет существенно сократить затраты по созданию автозала, установке оборудования и эксплуатации.

Внедрение DBS3900 с распределёнными BTS позволит ускорить развитие мобильных сетей, обеспечит большую их совместимость с другими сетями, также позволит использовать широкополосные технологии.

Приемопередатчик RRU3908 изображен на рисунке 2.3.

Рисунок 2.3 – Приемопередатчик RRU3908

RRU3908 – выносной радиочастотный блок. Обеспечивает обработку сигналов основных частот и радиочастотных сигналов. Один RRU3908 выполняет функцию двух приёмопередатчиков. Если два модуля RRU3908 установлены в подстативе RRU3908, они выполняют функцию четырёх приемопередатчиков.

RRU3908 имеет небольшой вес и характеризуется простотой установки. Подстатив RRU3908 можно установить на стальной мачте, стене или бетонном основании.

Варианты применения DBS3900:

Возможна гибкая комбинация модулей RRU3004 и BBU3900, в зависимости от фактических требований.

BBU:

- Внутри помещений;
- Устанавливается на стену или в статив 19 “, подстатив RRU3908, APM или OFB.

RRU:

- Внутри помещений /снаружи;
- Распределённое покрытие в городах, на автомагистралях и железных дорогах.

Характеристики:

1. Возможности покрытия.

- DBS3900 обладает следующими преимуществами при обеспечении покрытия:

- RRU3908 поддерживает каскадное соединение трёх модулей RRU. Один модуль RRU устанавливается на расстоянии до 40 км от BBU.

- Статическая чувствительность канала TCH/FS составляет -113 дБм (типовое значение при нормально температуре).

- RRU3908 поддерживают технологию RRU3908.

- Максимальная выходная мощность RRU3908 достигает 40 Вт (900M) или 30 Вт (1800M).

- Максимальная конфигурация до 12 сот и поддержка многополосной сети.

- Поддерживается распределённая передача и «Antenna hopping».

2. Ёмкость.

- BBU3900 поддерживает 72 приёмопередатчика.

- Abis поверх IP.

3. Возможности организации сети.

- E1/T1, оптический FE, поддержка радиорелейной и спутниковой передачи.

- Поддержка топологий: звезда, дерево, цепь, кольцо и смешанных топологий. Поддержка Flex Abis.

- GSM и UMTS могут использовать BBU3900.

- Оптимизирована передача с использованием интерфейса Abis. Поддержка обнаружения и восстановления свободных пакетов BTS и BSC.

4. Синхронизация.

При работе системы синхронизации в режиме только внутренней колебаний, система может работать непрерывно в течение 7 дней.

Поддержка различных режимов синхронизации: поддержка синхронизации с сигналом синхронизации выделенного из интерфейса Abis, поддержка синхронизации с системой GPS, синхронизация с внешним источником 2 МГц BITS.

5. Многодиапазонное применение.

- RRU3908 работает в диапазонах 1800 МГц и 900 МГц.

- Высокая адаптируемость к условиям окружающей среды.

BBU характеризуется высокой адаптируемостью к условиям окружающей среды:

Диапазон рабочих температур: –20 C ~ + 55 C.

BBU может работать при широком диапазоне рабочих напряжений: –38.4 V DC ~ –57 V DC (номинальное напряжение –48 V DC).

Используемый блок питания преобразует 220 V AC в –48 V DC для работы BBU.

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

RRU имеет закрытый интегрированный дизайн. По водонепроницаемости отвечает стандарту (IP65). Меры защиты от воздействия влаги, плесени и соляного тумана соответствуют спецификациям первого класса.

Диапазон рабочих температур RRU: –40 C ~ +50 C.

RRU может работать при широком диапазоне рабочих напряжений: –36 V DC ~ –57 V DC (номинальное напряжение –48 V DC).

Используемый блок питания преобразует 220 V AC в –48 V DC для работы RRU.

Внешний вид антенны представлен на рисунке 2.4.

Рисунок 2.4 – Внешний вид антенны RET с модулем RRU 3908

Поддержка антенн Remote Electric Tilt (RET).

Использование антенн RET позволяет настраивать сетевое покрытие путём регулировки угла наклона антенн в автозале. При этом сэкономить затраты на эксплуатацию и обслуживание.

Поддержка антенн с двойной поляризацией, позволяет сократить число антенн в соте.

Поддержка протокола AISG1.1.

Преимущества:

- Быстрое развёртывание сети;
- Раздельное использование BBU и RRU, компактный дизайн и распределенная установка позволяют сэкономить пространство на сайте и смонтировать BBU и RRU практически в любом месте;
- Распределённая установка также обеспечивает удобство при транспортировке и быстрое развертывание сети;
- Невысокая стоимость;
- BBU может устанавливаться в любом месте на стену или на бетонное основание. Также BBU устанавливается внутри BTS, устройств передачи или в системе питания, при монтаже вне помещений;
- RRU устанавливается вблизи антенн. Это позволяет избежать затрат на приобретение и монтаж кабелей и фидеров;
- Высокая надёжность;
- 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;
- В одном подстативе можно установить два модуля RRU3908 для поддержки распределённой передачи, обеспечения большей емкости и большего числа несущих. При сбое одного из рабочих модулей RRU3908, резервный обеспечивает услуги в соте;
- Работа мобильных станций на высоких скоростях движения;

DBS3900 обеспечивает работу мобильных станций на высоких скоростях движения транспорта (поездов, автомобилей и т.д.), до 400 км/ч.

Согласно сделанному выбору транспортного оборудования на следующем этапе дипломного проектирования составим схему организации связи транспортной сети. Схема организации связи транспортной сети показана на рисунке 2.5.

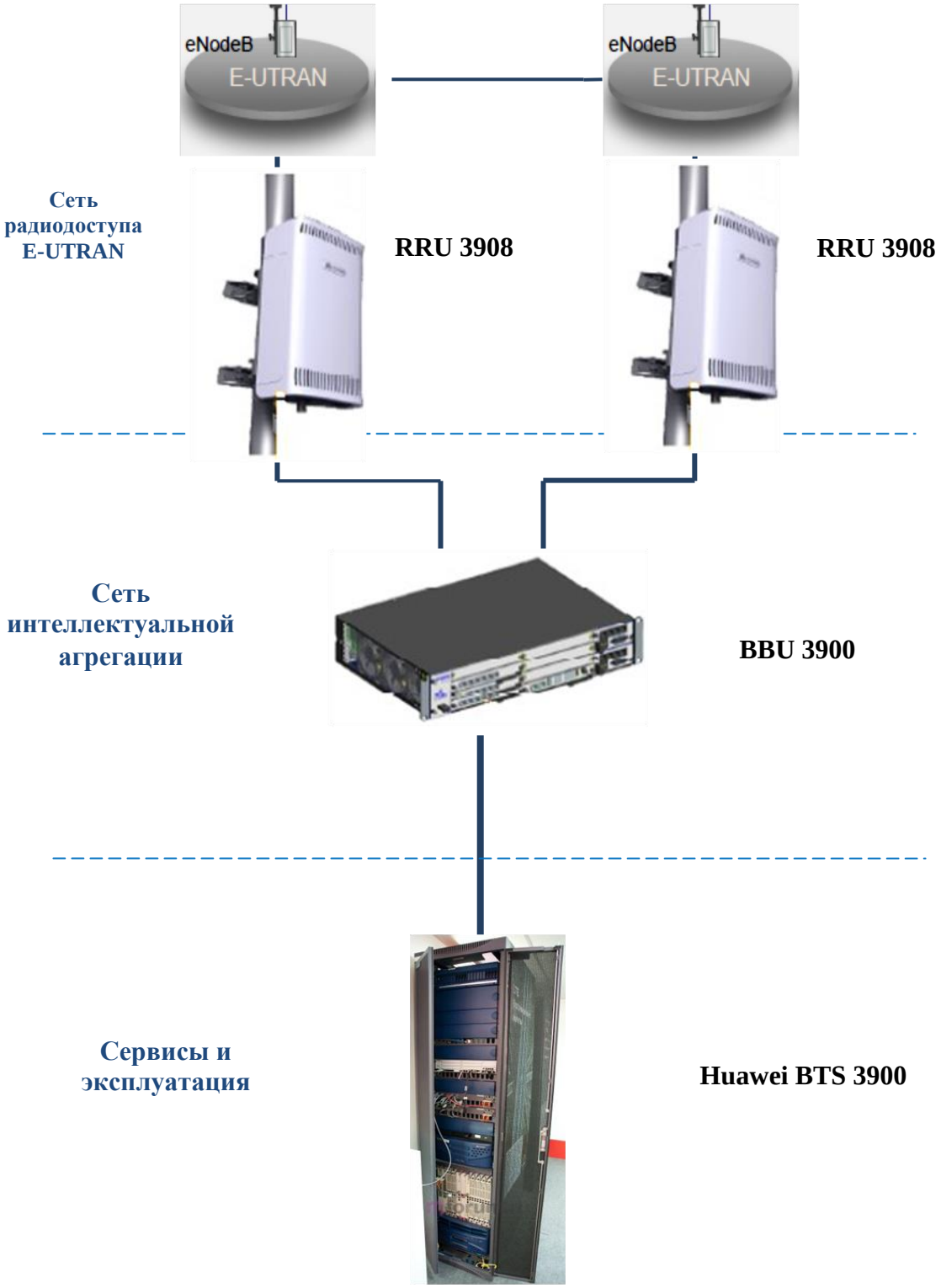


Рисунок 2.5 – Схема организации связи транспортной сети

2.3 Выбор оптического кабеля. Определение суммарного затухания на участке

Оптические кабели представляют собой среду передачи, близкую к идеальной. По объемам и скорости передачи информации, надежности и дальности ее доставки оптические кабели значительно опережают другие технологические решения. Поэтому, на сегодняшний день альтернативы им нет.

Основным элементом оптического кабеля является оптическое волокно (световод), выполненное в виде тонкого стеклянного волокна цилиндрической формы, по которому передаются световые сигналы с длинами волны 0,85…1,6 мкм. Световод имеет двухслойную конструкцию и состоит из сердцевины и оболочки с разными показателями преломления.

В настоящее время оптические кабели выпускаются только зарубежными компаниями.

В данной дипломной работе для реализации транспортной сети будут использованы оптические кабели для прокладки в грунте, воздушно-подвесной и для прокладки в канализации. Предпочтение в выборе производителя оптического кабеля отдано продукции Fujikura.

В соответствии с условиями эксплуатации, а так же с климатическими требованиями выбираем тип оптического кабеля модульной конструкции - бронированный волоконно-оптический кабель – ОКЛБг.

Кабель типа ОКЛБг предназначен для прокладки и эксплуатации в кабельной канализации, трубах, блоках, непосредственно в грунтах всех категорий, в том числе в районах с высокой коррозийной агрессивностью и территориях, заражённых грызунами, кроме подвергаемых мерзлотным и другим деформациям, а также через болота, озёра, несплавные и несудоходные реки глубиной до 15 метров.

Кабель типа ОКЛБг - Н отвечает особым требованиям по пожаробезопасности в соответствии со стандартом МЭК (IEC) 60332-1 и МЭК (IEC)60332-3.

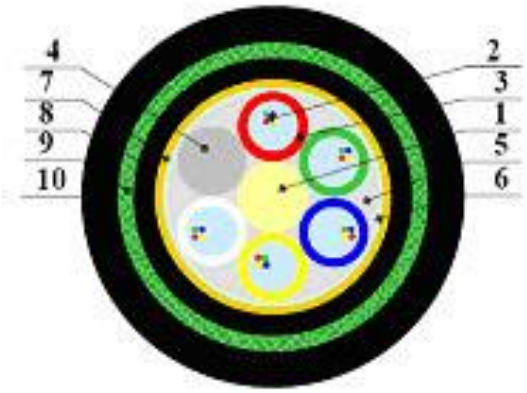


Рисунок 2.6 – Бронированный волоконно-оптический кабель

Структура кабеля:
1 - Центральный силовой элемент - стеклопластиковый стержень;
2 - Оптические волокна;
3 - Оптический модуль;
4 - Кордель (по заказу медные изолированные жилы дистанционного питания);
5 - Тиксотропный гидрофобный заполнитель;
6 - Скрепляющая обмотка из нитей и лент;
7 - Периферийный силовой элемент - арамидные нити;
8 - Оболочка из полиэтилена;
9 - Броня из гофрированной стальной ламинированной ленты;
10 - Защитный шланг из полиэтилена.

Варианты исполнения :
- Металлопластмассовая оболочка с применением алюминиевой ламинированной ленты;
- «Сухой» способ водоблокирования сердечника;
- Отсутствует промежуточная оболочка;
- Периферийный силовой элемент – стеклонити или отсутствует;
- Специальная оболочка, устойчивая к термитам;
- Для кабелей типа ОКЛБг-Н оболочка и защитный шланг из ПВХ пластиката или компаунда не распространяющего горение, низкодымного, безгалогенного.

Основные параметры выбранных оптических кабелей для строительства транспортной сети показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные технико-эксплуатационные характеристики кабеля ОКЛБг

	Испытания в соответствии с IEC 60794-1	Значение
Массогабаритные		
Количество ОВ в кабеле, шт.	-	2…216
Масса кабеля, кг/км	-	120…350
Диаметр кабеля, мм Строительная длина кабеля, км	- -	11…25 2
Механические и климатические		
Допустимое растягивающее усилие, кН	E1	1,0…3,5
Допустимое раздавливающее усилие, не более, Н/100 мм	E3	3000
Стойкость к ударам, Н·м	E4	15

Продолжение таблицы 2.3.

Минимальный радиус изгиба, мм	E11	20 диаметров кабеля
Диапазон рабочих температур, °C	F1	-40…+60
Диапазон температур хранения, °C		-50…+60
Диапазон температур монтажа, °C		-10…+60
Стойкость к продольному проникновению воды	F5	Отсутствует влага на свободном конце кабеля

На следующем этапе дипломного проектирования определим суммарное затухание на одном из участков проектируемой транспортной сети между коммутатором Huawei BBU 3900 и мультисервисной платформой Huawei BTS 3900. Суммарные потери $a_{\sum}$ на участке сети рассчитываются по формуле:

$$a_{\sum} = n_{рс} \cdot a_{рс} + n_{нс} \cdot a_{нс} + a_t + a_в, \qquad (2.11)$$

где $n_{рс}$ – количество разъемных соединителей, $n_{рс} = 2$;

$a_{рс}$ – потери в разъемных соединениях, $a_{рс} \approx 0{,}5$ дБ;

$n_{нс}$ – количество неразъемных соединений $n_{нс} = 4$;

$a_{нс}$ – потери в неразъемных соединениях, $a_{нс} \approx 0{,}025$ дБ;

a_t – допуск на температурные изменения затухания оптического волокна, $a_t = 1{,}5$ дБ;

$a_в$ – допуск на изменение характеристик компонентов на участке со временем, $a_в \approx 3$ дБ.

Все значения суммарных потерь выбираем для соответствующего типа кабеля из [10].

Количество неразъемных соединений рассчитывается по формуле:

$$n_{нс} = \frac{L_{уч}}{l_{сд}} \qquad (2.12)$$

где $L_{уч}$ – длина участка, $L_{уч} \approx 7$ км;

$l_{сд}$ – строительная длина кабеля, согласно таблице 2.3 $l_{сд} = 2$ км.

$$n_{нс} = \frac{7}{2} \approx 4$$

$$a_{\sum} = 2 \cdot 0{,}5 + 4 \cdot 0{,}025 + 1{,}5 + 3 \approx 5{,}6 \text{ (дБ)}$$

Суммарное затухание на одном из участков проектируемой транспортной сети между коммутатором Huawei BBU 3900 и мультисервисной платформой Huawei BTS 3900 составили примерно 5,6 дБ.

3 Выбор оборудования сети LTE

3.1 Выбор управляющего оборудования сети LTE

Управление абонентскими сессиями и услугами в сетях LTE осуществляется с помощью базовой пакетной сети EPC (Evolved Packet Core). Сеть EPC содержит следующие узлы и логические элементы:

- MME (Mobility Management Entity) – узел управления мобильностью – отвечает за решение задач управления мобильностью абонентского терминала, управления безопасностью мобильной связи (NAS Security), управления службой передачи данных;
- SGW (Serving Gateway) – обслуживающий шлюз сети LTE – отвечает за обработку и маршрутизацию пакетных данных поступающих из/в подсистему базовых станций;
- PGW (Public Data Network Gateway) – шлюз от/к сетей других операторов – отвечает за передачу голоса и данных из/в сети оператора LTE в другие сети 2G, 3G, не-3GPP и Internet;
- HSS (Home Subscriber Server) – сервер абонентских данных;
- PCRF (Policyand Charging Rules Function) – узел выставления счетов абонентам за оказанные услуги;
- DHCP/DNS – сервер выделения IP-адресов.

Решения по реализации сети EPC LTE разработаны компанией «Huawei Technologies». Основой идеи реализации стало совмещение функций MME, SGW и PGW в одном шасси мультисервисной платформы «Huawei BTS 3900», как показано на рисунке 2.5.

Маршрутизатор «Huawei BTS 3900» специально разработан для мобильных широкополосных сетей. Он отличается распределенной архитектурой, встроенными интеллектуальными функциями, масштабируемостью и надежностью.

Платформа «Huawei BTS 3900» позволяет оператору связи наращивать производительность и емкость без массовых закупок дополнительного оборудования. Маршрутизатор «Huawei BTS 3900» в своих сетях используют более 200 операторов мобильной связи в мире.

Достоинства платформы «Huawei BTS 3900»:

- 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.

Архитектура платформы «Huawei BTS 3900» показана на рисунке 3.1.

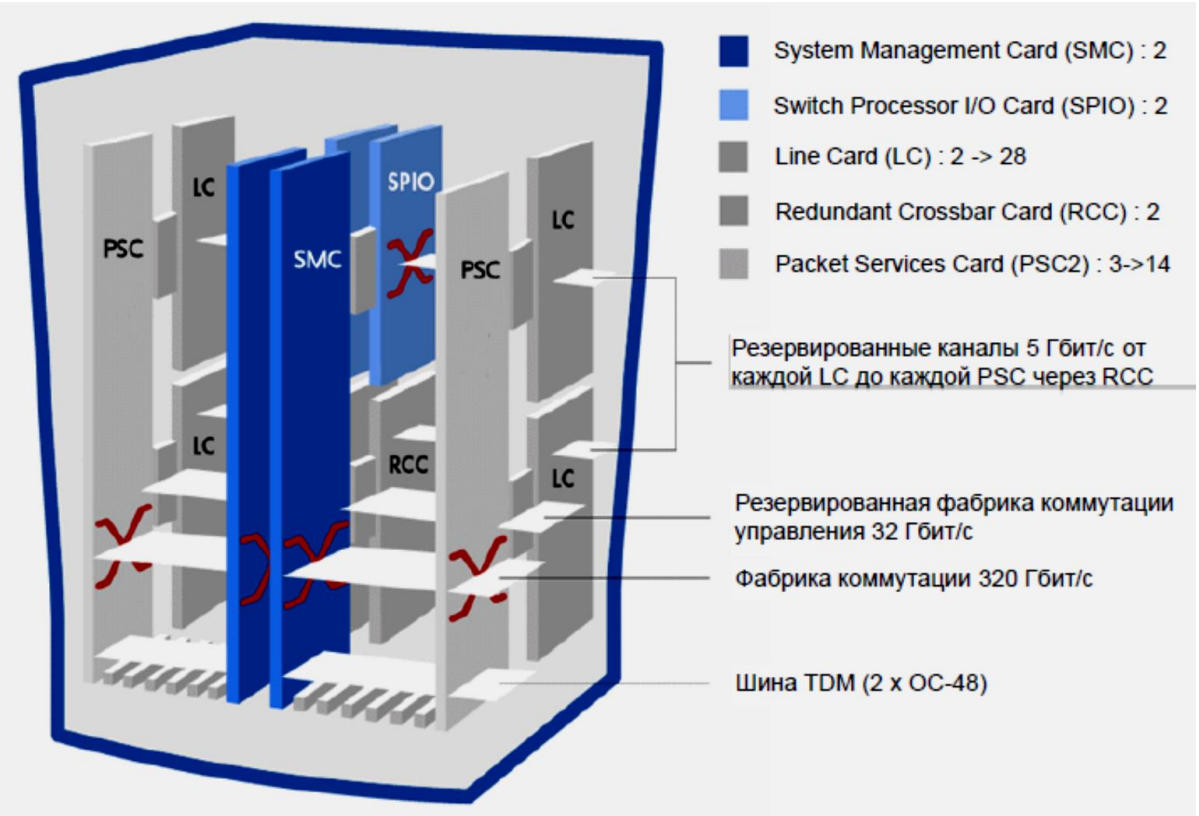


Рисунок 3.1 – Архитектура платформы «Huawei BTS 3900»

Главным отличием платформы «Huawei BTS 3900» 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 «Huawei BTS 3900»:

- 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: DC 40 – 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 «Huawei BTS 3900» в стойку 42 RU.

4 Расчет зон покрытия для сети LTE на территории г. Щучинска

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

Планирование радиосети LTE будет производиться в сельской местности, а это значит, что плотность абонентов будет невысока и базовые станции должны устанавливаться на максимальном удалении друг от друга с целью закрыть каждой eNB как можно большую территорию. В связи с этим нужно подобрать соответствующий частотный диапазон. В данном случае нужно руководствоваться правилом, что чем ниже частота, тем дальше распространение радиосигнала. Частотный диапазон 791 – 862 МГц вполне подойдет для выполнения этой задачи. Тип дуплекса выберем частотный – FDD.

4.1 Анализ радиопокрытия

Анализ радиопокрытия начнем с вычисления максимально допустимых потерь на линии (МДП). МДП расчитывается как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью передатчика (ЭИИМ) и минимально необходимой мощностью сигнала на входе приемника сопряженной стороны, при которой с учетом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике.

Принцип расчета МДП показан на рисунке 4.1.

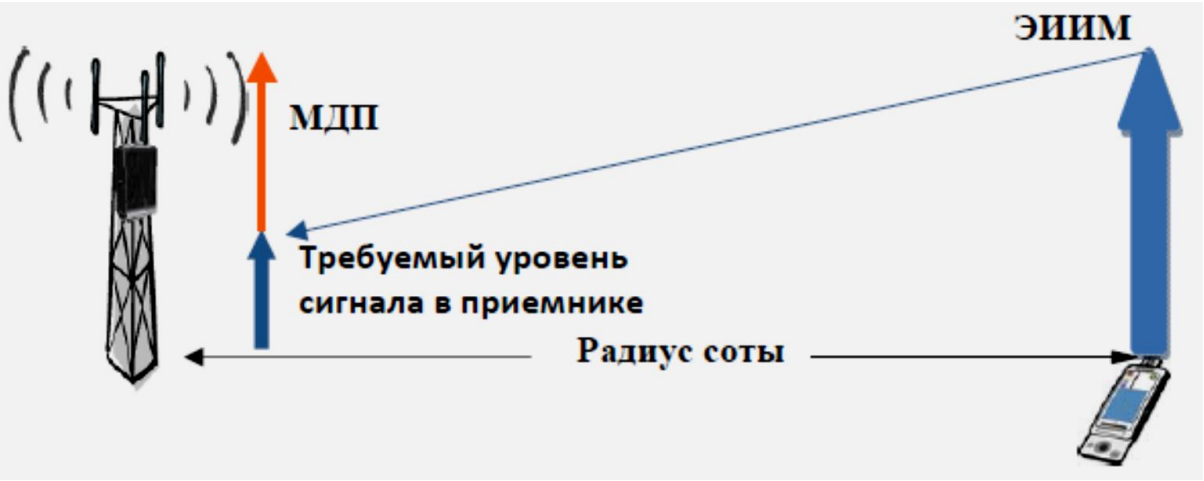


Рисунок 4.1 – Принцип расчета МДП

При расчетах будем использовать следующие параметры:
- системная полоса: 20 МГц; для FDD = 10/10 (DL/UL);

- eNB – на каждом секторе один TRX, выходная мощность TRX = 40 Вт (46 дБм); работает на линии DL в режиме MIMO 2×2;

- UE – абонентский терминал – USB-модем, класс четвёртый – ЭИИМ 33 дБм;

- соотношение длительности кадров DL/UL: 100%/100%.

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

$$L_{\text{МДП}} = P_{\text{эиимпрд.}} - S_{\text{ч.пр}} + G_{\text{А.прд}} - L_{\text{Ф.прд}} - \text{М}_{\text{прон}} - \text{М}_{\text{пом}} - \text{М}_{\text{затем}} + G_{\text{хо}} \quad (4.1)$$

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

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

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

$L_{\text{Ф.прд}}$ – потери в фидерном тракте передатчика, $L_{\text{Ф.прд}}$: DL = 0,3 дБ;

$\text{М}_{\text{прон}}$ – запас на проникновение сигнала в помещение для сельской местности, $\text{М}_{\text{прон}}$ = 12 дБ;

$\text{М}_{\text{пом}}$ – запас на помехи. $\text{М}_{\text{пом}}$ определяется по результатам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах; значение $\text{М}_{\text{пом}}$ соответствует нагрузке в соседних сотах 70%. $\text{М}_{\text{пом}}$: DL = 6,4 дБ; UL = 2,8 дБ;

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

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

$$P_{\text{эиим.прд}} = P_{\text{вых.прд}} + G_{\text{А.прд}} - L_{\text{ф.прд}} \quad (4.2)$$

где $P_{\text{вых.прд}}$ - выходная мощность передатчика. $P_{\text{вых.прд}}$ в линии «вниз» (DL) в LTE зависит от ширины полосы частот сайта, которая может колебаться от 1,4 до 20 МГц. В пределах до 5 МГц рационально выбрать передатчики TRX мощностью 20 Вт (43 дБм), а свыше 5 МГц – 40 Вт (46 дБм). $P_{\text{вых.прд}}$: DL = 46 дБм, UL = 33 дБм.

Для линии DL:

$$P_{\text{эиим.прд}} = 46 + 18 - 0{,}3 = 63{,}7 \text{ (дБм)},$$

Для линии UL:

$$P_{\text{эиим.прд}} = 33 \text{ (дБм)}.$$

$S_{\text{ч.пр}}$ рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ч.пр}} = P_{\text{тш.пр}} + \text{М}_{\text{осш.пр}} + L_{\text{пр}} \quad (4.3)$$

где $P_{тш.пр}$ - мощность теплового шума приемника, $P_{тш.пр}$: DL = -174,4 дБм, UL = -104,4 дБм;

$M_{осш.пр}$ - требуемое отношение сигнал/шум приемника. Значение $M_{осш.пр}$ взято для модели канала «Enhanced Pedestrian A5».

$M_{осш.пр}$: DL = -0,24 дБ; UL = 0,61 дБ;

$L_{пр}$ - коэффициент шума приемника, $L_{пр}$: DL = 7 дБ, UL = 2,5 дБ;

Для линии DL:

$$S_{ч.пр} = -174,4 + (-0,24) + 7 = -167,64 \text{ (дБм)},$$

Для линии UL:

$$S_{ч.пр} = -104,4 + 0,61 + 2,5 = -101,29 \text{ (дБм)}.$$

С учетом полученных результатов по формулам (4.2) и (4.3), рассчитаем значение МДП:

Для линии DL:

$$L_{МДП} = 63,7 – (-167,64) – 12 – 6,4 – 8,7 – 1,7 = 205,94 \text{ (дБ)}$$

Для линии UL:

$$L_{МДП} = 33 – (-101,29) + 18 – 0,4 – 12 – 6,4 – 8,7 + 1,7 = 126,5 \text{ (дБ)}$$

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

Расчет дальности связи выполним используя программу MathCad 14 Rus (рисунок 4.2). Для расчета дальности связи воспользуемся эмпирической моделью распространения радиоволн Okumura – Hata. Данная модель является обобщением опытных фактов, в котором учтено много условий и видов сред.

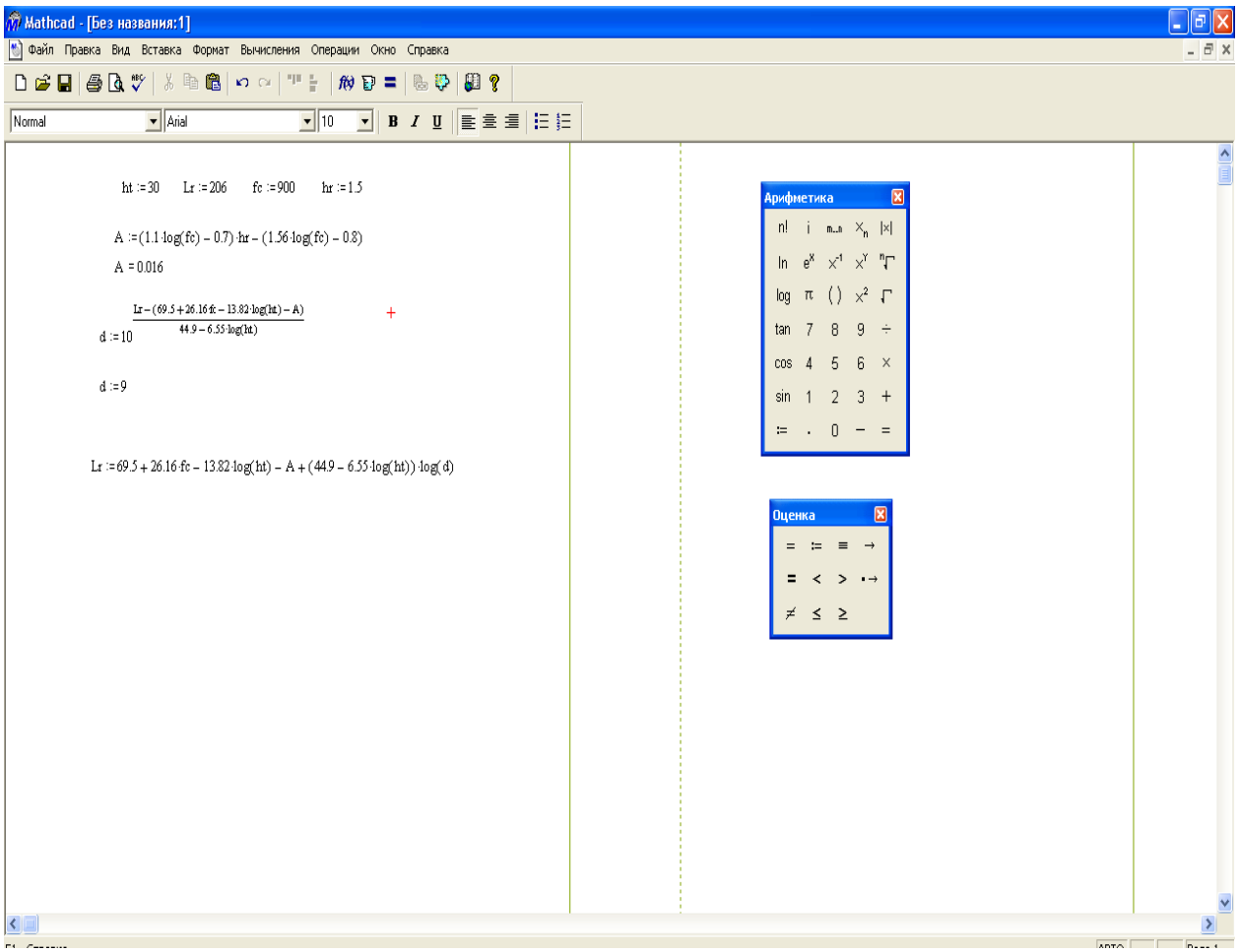


Рисунок 4.2 – Расчет дальности связи, выполненный с использованием программы MathCad 14 Rus

В модели Okumura – Hata предлагается следующее выражение для определения среднего затухания радиосигнала в городских условиях:

$$L_Г = 69{,}5 + 26{,}16\lg f_c - 13{,}82\lg h_t - A(h_r) + (44{,}9 - 6{,}55\lg h_t) \times \lg d \qquad (4.4)$$

Для городской местности выражение примет вид с поправкой:

$$L_c = L_Г - 4{,}78(\lg f_c)^2 + 17{,}33\lg f_c - 40{,}94 \qquad (4.5)$$

где f_c – частота от 150 до 1500 МГц;

h_t – высота передающей антенны (подвеса eNB) от 15 до 50 метров;

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

d – радиус соты от 1 до 20 км;

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

Произведем выбор параметров для расчетов:

f_c = 800 МГц;

h_t = 18 метров;

h_r = 2 метра.

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

$$A_{(h_r)} = (1{,}1lgf_c - 0{,}7) \times h_r - (1{,}56lgf_c - 0{,}8) \quad (4.6)$$

$$A_{(h_r)} = (1{,}1lg800 - 0{,}7) \times 2 - (1{,}56lg800 - 0{,}8) = 3{,}751$$

Вычислив из формул (4.4) и (4.5) радиус соты, получим, что $d \approx 0{,}9$ км.

Рассчитаем площадь S_{eNB} покрытия трехсекторного сайта по формуле:

$$S_{eNB} = 9\frac{\sqrt{3}}{8} \cdot d^2, \quad (4.7)$$

$$S_{eNB} = 9\frac{\sqrt{3}}{8} \times 0{,}9^2 \approx 1{,}58\ (км^2)$$

4.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории города Щучинска

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

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

Минимальное количество базовых станций eNB, необходимых для обеспечения устойчивым радиосигналом густонаселенных районов на территории планирования составляет пять штук. Таким образом, строится сеть, все eNB которой имеют следующие характеристики:

- мощность каждого предатчика – 40 Вт;
- высота подвеса антенны – 18 метров;
- число приемопередатчиков TRX – 3 (по одному на каждый сектор);
- системная полоса для одного сектора – 20 МГц (10 МГц для линии «вверх» и 10 МГц для линии «вниз»);

- линия «вниз» поддерживает технологию MIMO 4×2;

- пропускная способность: линия «вниз» - 102,9 Мбит/с, линия «вверх» - 54,87 Мбит/с.

Составим частотный план. Планируемой сети выделена полоса частот 791 - 862 МГц, ширина частотного спектра составляет 71 МГц. Каждому сектору eNB нужно выделить 20 МГц. Таким образом, имеющаяся ширина спектра разделится на 3 части по 20 МГц, плюс защитные частотные полосы для избежания перекрытия сигналов разных секторов. Присвоим каждой из трех частей спектра условный номер и результаты составления частотного плана сведем в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Планируемый частотный план сети LTE в г. Щучинске

Номер eNB	Сектор	Азимут	Радиус зоны обслуживания, км	Условный номер части частотного спектра
1	1.1 1.2 1.3	0 120 240	0,9 0,9 0,9	1 2 3
2	2.1 2.2 2.3	0 120 240	0,9 0,9 0,9	1 2 3
3	3.1 3.2 3.3	0 120 240	0,9 0,9 0,9	1 2 3
4	4.1 4.2 4.3	0 120 240	0,9 0,9 0,9	1 2 3
5	5.1 5.2 5.3	0 120 240	0,9 0,9 0,9	1 2 3

После введения данной сети LTE в эксплуатацию, наступает этап оптимизации сети, в ходе которого может происходить корректирование выполненного планирования, а именно: увеличение пропускной способности сети, изменение высоты подвеса радиомодулей, понижение или повышение излучаемой мощности радиомодулей.

Построим номинальный сотовый план проектируемой сети LTE в г. Щучинске, который приведен на рисунке 4.3.

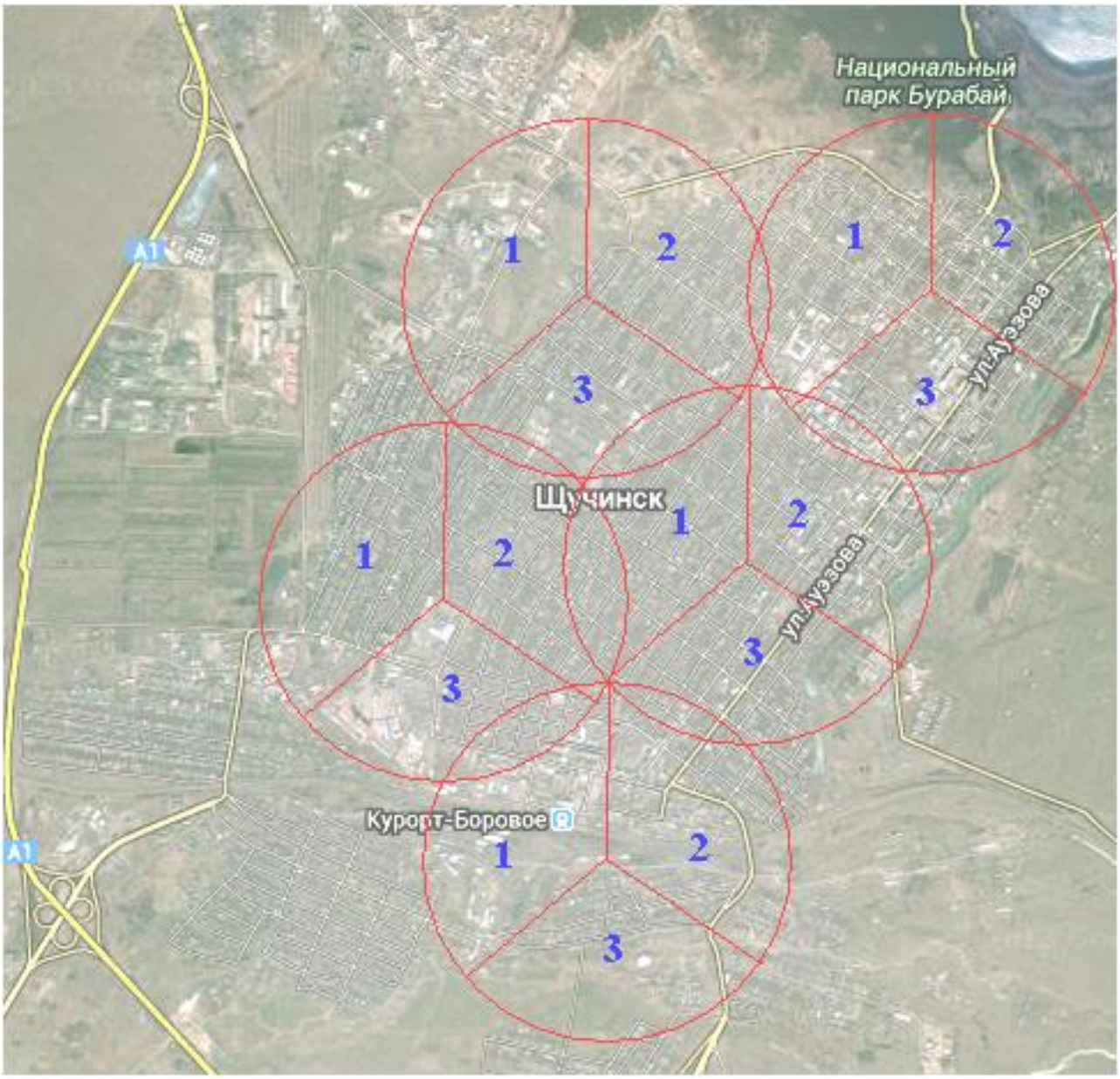


Рисунок 4.3 – Номинальный сотовый план проектируемой сети LTE в г. Щучинске

4.3 Проектируемая схема организации связи сети LTE в г. Щучинске

Согласно рассчитанной ёмкости сети, информационной нагрузке по определению зон радиопокрытия, для организации широкополосного доступа по технологии LTE в городе Щучинске потребуется пять базовых станций, на начальный период. Пропускная способность каждой eNB на начальном этапе функционирования сети составит 158 Мбит/с, а всей сети LTE в городе Щучинске 631,12 Мбит/с. После запуска сети в работу наступает этап оптимизации сети, в ходе которого пропускная способность базовых станций может быть увеличена способом размещения дополнительных радиомодулей «RRU 3908» компании «Huawei Technologies».

Каждая базовая станция отдает трафик коммутатору «Huawei BBU 3900» посредством оптоволоконной линии передачи по стандарту «Gigabit Ethernet 1000 BASE-LX» (IEEE 802.3z). К коммутатору «Huawei BBU 3900» имеется возможность подключения до трех базовых станций. Коммутатор «Huawei BBU 3900» размещается непосредственно в помещении для размещения оборудования базовой станции.

От коммутаторов «Huawei BBU 3900» сетевой трафик направляется к маршрутизатору «Huawei BTS 3900», который размещается на одном из объектов связи компании АО «Казахтелеком» в городе Щучинске. Соединение между «Huawei BBU 3900» и «Huawei BTS 3900» осуществляется с помощью оптоволоконной линии передачи по стандарту «Gigabit Ethernet 1000 BASE-LX» (IEEE 802.3z).

Сеть EPC LTE управляет сетью, организует абонентские сессии, управляет услугами, осуществляет тарификацию и соединяется через определенные интерфейсы и шлюзы с внешними сетями: 2G, 3G, не - 3GPP, Internet, ISDN, IMT.

Краткое описание стандартов Ethernet, использующихся в организации связи проектируемой сети:

- 1000 BASE-LX – стандарт, использующий одномодовое оптическое волокно; дальность прохождения сигнала без повторителя зависит от типа используемых приемопередатчиков и составляет от 5 до 60 км. Скорость передачи данных до 1 Гбит/с;

- 10 GBASE-ER – стандарт, использующий одномодовое оптическое волокно; дальность прохождения сигнала до 50 км. Скорость передачи данных до 10 Гбит/с.

Весь сетевой трафик предается по IP-протоколу.

Проектируемая схема организации связи сети LTE в городе Щучинске представлена на рисунке 4.4.

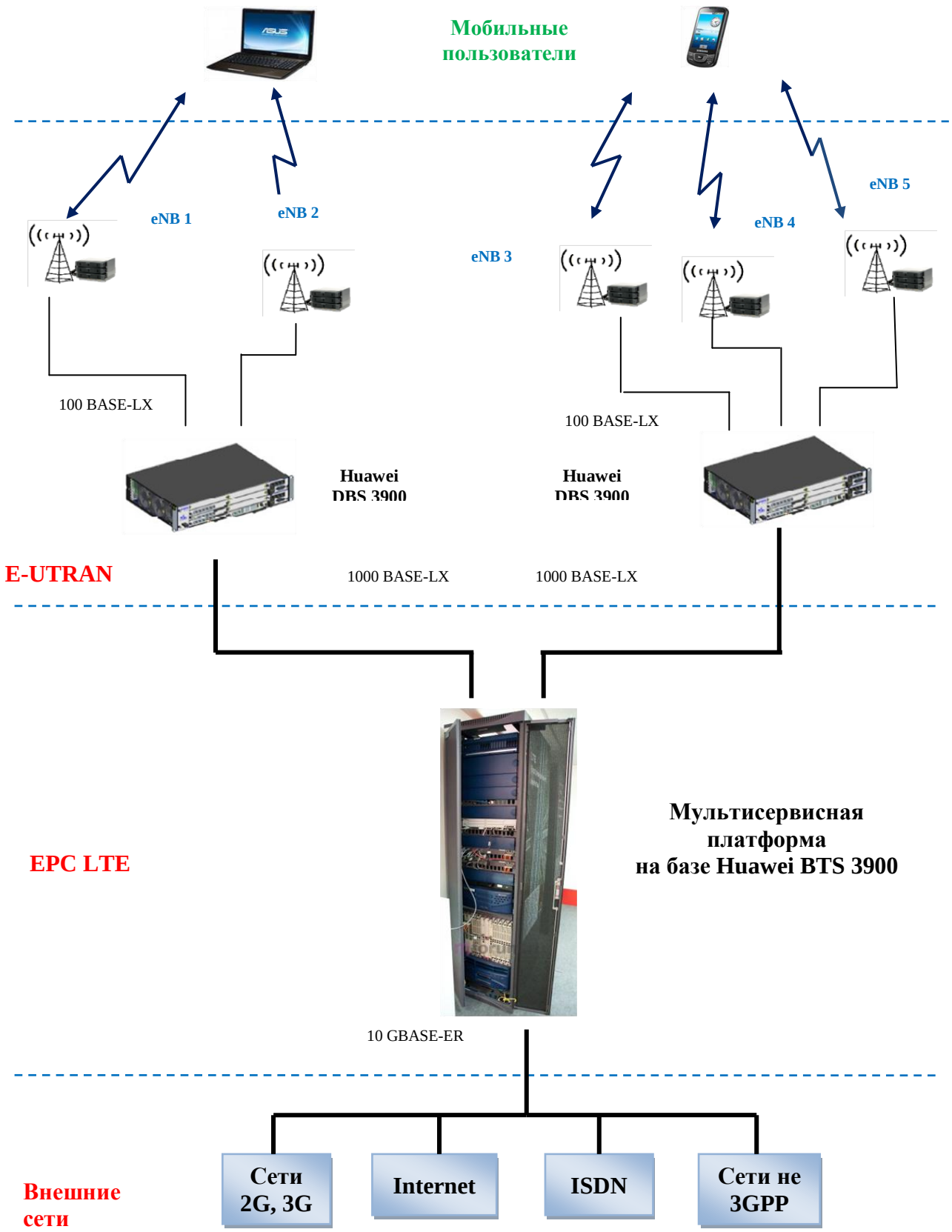


Рисунок 4.4 – Проектируемая схема организации связи в городе Щучинске

5 Безопасность жизнедеятельности

5.1 Анализ условий труда

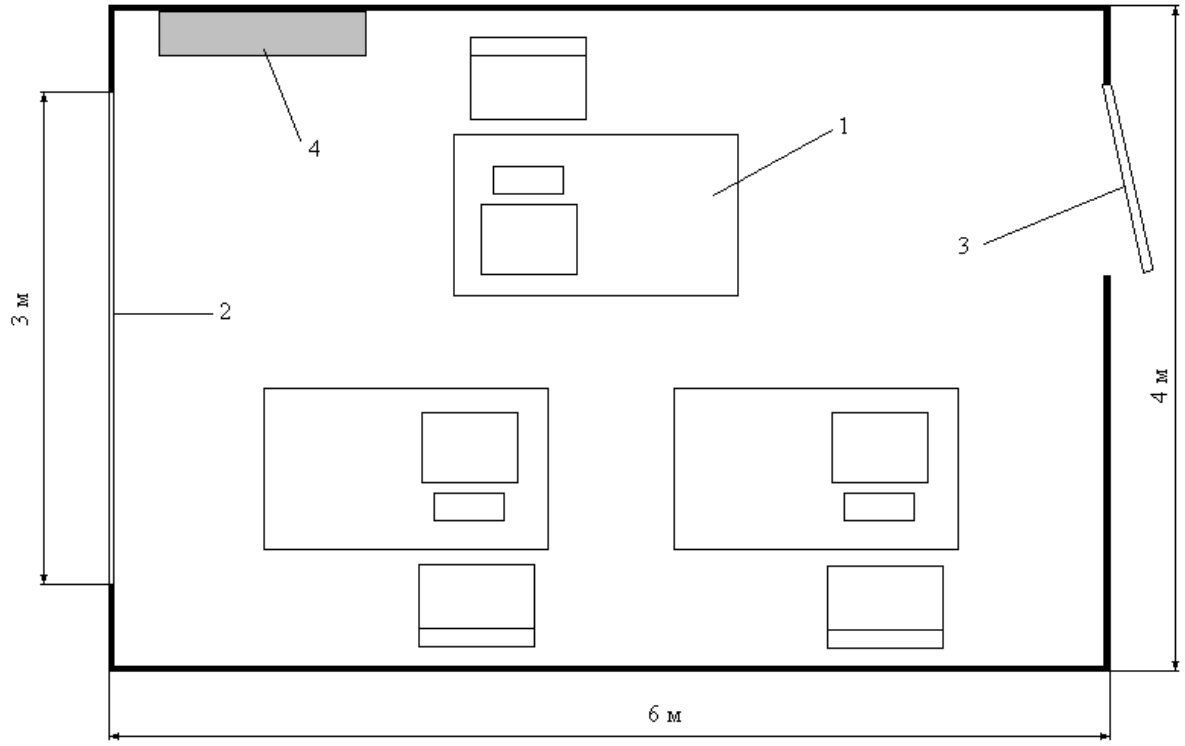
Помещение, в котором расположен центр коммутации и где находится обслуживающий персонал для выполнения поставленных задач, располагается на третьем этаже офисного здания и представляет собой одну комнату со следующими параметрами: длина L = 6 м, ширина B = 4 м, высота H = 3 м. В помещении имеется оконный проем длиной 3 м и высотой 2 м. Офис оборудован тремя рабочими местами с современными компьютерами мощностью 230 Вт. План помещения представлен на рисунке 5.1.

Учитывая род деятельности оператора, а в нашем случае это постоянная работа с персональным компьютером, конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учётом его количества и конструктивных особенностей (размер монитора, клавиатуры и других). Конструкция рабочей мебели (столы и кресла) обеспечивает возможность индивидуальной регулировки. Рабочие места, высотой 0,8 м, размещены боковой стороной к окну. При эксплуатации электрооборудования существует опасность поражения электрическим током. В связи с этим все вилки и розетки имеют контакты зануления, а все кабели спрятаны в кабель-каналы. Оборудование является практически бесшумным.

В здании офиса в операторской уровень опасных и вредных факторов не превышает установленных нормативов на рабочих местах и каждое рабочее место оператора максимально приспособлено для характера выполняемых работ. Помещение светлое, сухое и чистое, соответствующее санитарно-гигиеническим нормам.

В помещении применяется естественное освещение, осуществляемое через боковое окно, ориентированное на запад. Для защиты от избыточного света и ярких лучей используются регулируемые жалюзи с вертикальными ламелями.

Деятельность по обработке и анализу данных с монитора и бумажных носителей расцениваем как зрительную работу, требующую высокой точности. Работа высокой точности нуждается в хорошем освещении, согласно санитарным нормам СНиП РК 2.04.-05-2002. «Естественное и искусственное освещение. Общие требование». В таблице 5.1 представлена норма коэффициента естественного освещения.



1 – рабочее место, 2 – оконный проем, 3 – дверной проем, 4 – кондиционер.

Рисунок 5.1 – План помещения и размещения рабочих мест

Таблица 5.1 – Нормирование КЕО, %

Характеристика и разряд зрительной работы	Наименьший размер объекта различения, мм	Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		верхнее	боковое	верхнее	боковое
Высокой точности III	0.3-0.5	5	2	3	1,2

В позднее время суток или же при плохих климатических условиях, таких как дождь, снег, туман освещенность снижается. Поэтому необходимо помимо естественного освещения использовать также искусственное освещение. Данное помещение оборудовано шестью светильниками с люминесцентными лампами Philips Master TL5 HO Super 80 мощностью 80 Вт и световым потоком 6150 лм. Для работы высокой точности нормирована освещенность 300 лк. Также, к общему освещению дополнительно установлены светильники местного освещения для удобства работы с документами.

За безопасный для здоровья принят уровень шума в 80 дБ по нормативам ГОСТ 12 1.003–83 ССБТ «Шум. Общие требования безопасности». В таких условиях человек может трудиться восемь часов. Согласно паспортным данным компьютера уровень звукового давления в помещении колеблется в районе 50 дБ, поэтому персонал не страдает от воздействия повышенного уровня шума.

Согласно СНиП РК 4.02.05-2001 категория работы на объекте относится к категории 1а (легкая физическая работа), при этом энергозатраты организма

менее 138 ккал/ч, работы делаются сидя и не требуют напряжения. В таблице 5.2 приведены оптимальные микроклиматические условия работ в теплый и холодный период года для физической работы легкой тяжести.

Таблица 5.2 − Оптимальные нормы параметров микроклимата

Период работы	Категория работы	Относительная влажность воздуха, %	Температура, C^0	Скорость движение воздуха м/с, не более
Холодный	1а	40-60	22−24	0,1
Теплый	1а	40-60	23−25	0,1

В теплое время года температура в помещении может превышать оптимальную для работы температуру. Также при совместной работе трёх операторов в небольшом помещении может наблюдаться повышенная влажность и недостаток свежего воздуха, что вызывает у персонала чувство удушья. В холодное время года температура может падать ниже оптимальной. Поэтому помещение оборудовано кондиционером.

Для оценки оптимальности условий комфортного труда персонала и пригодности данного помещения проведем расчет системы вентиляции, а также рассмотрим систему молниязащиты базовых станций.

5.2 Устройство системы вентиляции

При отсутствии систем вентиляции воздуха в закрытых помещениях жилых, административных и общественных зданий значительно увеличивается концентрация углекислого газа (диоксида углерода) и паров воды, а также накапливается избыточная теплота от жизнедеятельности людей, что в совокупности оказывает негативное воздействие на здоровье человека. При этом снижается трудоспособность человека, возможно возникновение сонливости и головных болей.

Проветривание помещений этих зданий через открываемые окна и форточки приводит к проникновению внутрь помещения вредных веществ, в т.ч. мелкодисперсной пыли, аллергенов, выхлопных газов автомобилей, а также уличного шума. Кроме того, за счет инфильтрации воздуха помещения охлаждаются.

Для промышленных зданий кроме выделения углекислого газа, паров воды и теплоизбытков от жизнедеятельности людей в зависимости от технологии производства работ могут выделяться также разнообразные вредные вещества (газы, аэрозоли, мелкодисперсная пыль и др.), а также конвективная и лучистая тепловая энергия от оборудования и технологических процессов.

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха в совокупности с системами отопления позволяют решить задачи создания благоприятного микроклимата внутри помещений зданий различного назначения.

Общепринятая классификация типов вентиляционных систем базируется на основе четырех признаках:

- Способ перемещения воздуха: системы с естественным (под действием гравитационного и/или ветрового давления) или искусственным побуждением движения воздуха, а также смешанные системы.
- Назначение: системы приточные прямоточные, приточные с частичной рециркуляцией воздуха, вытяжные, системы с полной рециркуляцией воздуха.
- Зона обслуживания: системы вентиляции общеобменные и системы вентиляции местные.
- Конструкция: системы вентиляции наборные (собранные из отдельных компонентов: вентилятор, шумоглушитель, каплеуловитель, фильтр, калорифер и т.п.) и моноблочные; системы вентиляции канальные (разветвленная сеть воздуховодов) и бесканальные (установка вентиляторов в стене, перекрытии, при естественной вентиляции).

5.3 Расчет системы вентиляции

Найдём требуемое количество подаваемого воздуха по фактору «тепловыделение». Оно рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{Q_{ИЗБ}}{C_B \cdot \Delta t \cdot \gamma_B}, \qquad (5.1)$$

где Δt = $t_{УДАЛ} - t_{ПОСТ}$,
$t_{УДАЛ}$ – температура удаляемого воздуха;
$t_{ПОСТ}$ – температура поступающего воздуха;
C_B – теплоемкость воздуха, C_B = 0,24 ккал/кг*^{0}С;
γ_B - удельная масса приточного воздуха, γ_B = 1,206, кг/м^3.
$Q_{ИЗБ}$ – избыточное тепло.

Избыточное тепло найдем из выражения:

$$Q_{ИЗБ} = Q_{ОБ} + Q_Л + Q_Р - Q_{ОТД}, \qquad (5.2)$$

где $Q_{ОБ}$ – тепло, выделяемое офисным оборудованием;
$Q_Л$ – тепло, выделяемое людьми;
$Q_Р$ – тепло, вносимое солнечной радиацией;
$Q_{ОТД}$ – теплоотдача в окружающую среду.

Значения $Q_Р$ и $Q_{ОТД}$ примерно равны и взаимно компенсируются. Поэтому избыточное тепло образуется только за счёт людей и оборудования.

Тепло, выделяемое людьми, найдём по формуле:

$$Q_Л = K_Л \cdot (q - q_{ПОГЛ}), \qquad (5.3)$$

где $K_Л$ – количество людей в помещении, $K_Л = 2$;
q – тепло, выделяемое одним человеком, $q = 250$ ккал/ч;
$q_{ПОГЛ}$ – тепло, поглощаемое одним человеком, $q_{ПОГЛ} = 140$ ккал/ч.

Отсюда находим:

$$Q_Л = K_Л \cdot (q - q_{ПОГЛ}) = 2 \cdot (250 - 140) = 220 \text{ ккал/ч.}$$

Рассчитаем количество тепла, выделяемого оборудованием. В зале расположено два персональных компьютера. Каждый компьютер имеет мощность 230 Вт. Общая мощность компьютеров составляет 2×230 = 460 Вт = 0,46 кВт. Также имеется один принтер с потребляемой мощность 50 Вт. Общая потребляемая мощность офисной техники равна 0,51 кВт.

Тепло, выделяемое офисным оборудованием рассчитаем по формуле:

$$Q_{ОБ} = 860 \cdot P_{ОБ} \cdot \eta, \qquad (5.4)$$

Подставив все значения в формулу, находим:

$$Q_{ОБ} = 860 \cdot P_{ОБ} \cdot \eta = 860 \cdot 0{,}51 \cdot 0{,}95 = 416{,}67 \text{ ккал/ч}$$

Рассчитаем теплонапряженность воздуха по формуле :

$$Q_Н = \frac{Q_{ИЗБ}}{V_П}, \qquad (5.5)$$

где $V_П$ – объем помещения $V_П = 72 м^3$.

$Q_{ИЗБ} = Q_Л + Q_{ОБ} = 220 + 416{,}67 = 636{,}67$, ккал/ч.

Таким образом, подставив все данные в формулу, получим:

$$Q_H = \frac{Q_{ИЗБ}}{V_П} = \frac{636,67}{72} = 8,84 \text{, ккал/м}^3.$$

Так как $Q_Н < 20$ ккал/м^3, то $\Delta t = 6\ ^0$С.
Найдём требуемое количество подаваемого воздуха:

$$L = \frac{Q_{ИЗБ}}{C_В \cdot (t_{УДАЛ} - t_{ПОСТ})} = \frac{636,67}{0,24 \cdot (6 - 1,206)} = 553,62 \text{, м}^3\text{/ч.}$$

Рассчитаем кратность воздухообмена по следующей формуле:

$$K = \frac{L}{V} \tag{5.6}$$

где L – требуемое количество подаваемого воздуха,
L = 553,62, м^3/ч;
V– объём помещения, V= 72 м^3.

Таким образом, кратность воздухообмена равна:

$$K = \frac{L}{V} = \frac{553,62}{72} = 7,6 \approx 8 \text{ 1/час.}$$

То есть нам необходимо выбрать кондиционер, создающий воздухообмен 553,62 м^3/ч.

Установим в операторском зале один настенный кондиционер GREE, рассчитанный на 72 м^2 . Данный кондиционер создает воздухообмен 600 м^3/ч, создает в помещении воздушную среду с температурой 17-26 ^{0}С и влажность 40-70%, удаляет из помещения избыточную влагу и тепло, снабжен таймером, термостатом, бактерицидным фильтром и автоматическим климат контролем. Электропитание кондиционера 230 В, 5 А, 50 Гц; максимальный уровень шума 38 дБ; внутренний блок: длина 810 мм, высота 300 мм, глубина 200 мм; внешний блок: длина 650 мм, высота 500, глубина 210 мм.

5.4 Устройство противогрозовой защиты

Защитное свойство молниеотвода основано на свойстве молнии поражать наиболее высокие и хорошо заземлённые металлические конструкции.

Для приёма электрического разряда молнии и отвода её тока в землю применяют устройства, называемые молниеотводами. Другими словами назначение молниеотвода – для защиты зданий, сооружений и людей от молнии. Молниеотвод состоит из несущей части - опоры (которой может служить само здание или сооружение), молниеприёмника, токоотвода и заземлителя, т.е. из четырёх элементов. Наиболее распространены стержневые и тросовые молниеотводы.

Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений устанавливает, что объекты молниезащиты подразделяются на три категории. Предусмотрена молниезащита зданий и сооружений в зависимости от назначения, интенсивности грозовой деятельности в районе их местонахождения, а также от ожидаемого количества поражений молнией в год по одной из трёх категорий устройства молниезащиты и с учётом типа зоны защиты. Зона защиты молниеотвода – это часть пространства, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с определённой степенью надёжности. Зона типа А – надёжность 99,5 % и выше, зона Б - надёжность 95 % и выше.

Все здания и сооружения по молниезащите разделяют на три категории в зависимости от значимости и технологических особенностей объекта по степени пожаро-, взрывоопасности.

Среднегодовая грозовая деятельность в часах определяется по специальной карте или на основании данных местной метеорологической станции.

Ожидаемое количество поражений молнией в год зданий и сооружений, не оборудованных молниезащитой, определяется по формуле:

$$N = (S + 6h) \cdot (L + 6h) \cdot n \cdot 10^{-6}, \qquad (5.7)$$

где S и L – соответственно ширина и длина защищаемого здания (сооружения), имеющего в плане прямоугольную форму, м; h – наибольшая высота здания (сооружения), м; n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности в месте расположения здания; значение n при разной интенсивности грозовой деятельности представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности в месте расположения здания при разной интенсивности грозовой деятельности

Параметры	Значения				
Интенсивность грозовой деятельности в год, ч	10-20	20-40	40-60	60-80	80 и более
Среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности	1	3	6	9	12

При выполнении молниезащиты зданий и сооружений для выполнения безопасности людей и животных необходимо заземлители молниеотводов (кроме углубленных), размещать в редко посещаемых местах, в удалении на 5 м и более от основных грунтовых, проезжих и пешеходных дорог.

5.5 Расчет и разработка молниезащиты

Разработка молниезащиты антенн и здания базовых станций BSC.

Система молниезащиты антенны, устанавливаемой на здании BSC (высота с антенной – 25 метров).

В здании BSC расположены компьютеры, а также электропитающие установки постоянного и переменного напряжения. В силу наличия действующих электроустановок, к которым можно отнести и оборудование радиодоступа, то устройство молниезащиты антенны и оборудования разумнее подключить к существующей системе молниезащиты здания и оборудования BSC, с использованием одиночного троссового молниеотвода высотой менее 150 м с опорами.

Для здания BSC, наибольшая высота с антенной – 25 м (h), ширина – 15 м (S), длина – 20 м (L).

$$N = (S+6h)\ (L+6h) * 10\text{-}6\ , \qquad (5.8)$$

$$N = (15 + 150)\ (20 + 150) * 10\text{-}6 = 0.028.$$

Здание относится ко II категории; N1 – зона Б. Здание должно быть защищено от прямых ударов молнии, электрической и электромагнитной индукции и заноса высоких потенциалов через наземные и подземные металлические коммуникации.

Рассчитаем тип молниеотводов и габариты зоны защиты.

Тип молниеотвода – одиночного тросового молниеотвода высотой менее 150 м с опорами.

Определим высоту зоны защиты h0 над землей:

$$h0 = 0.92\ h = 0.92 * 25 = 23\text{м}. \qquad (5.9)$$

Радиус торцевых областей зоны защиты r0 на уровне земли:

$$r0 = 1.7 * h = 1.7 * 25 = 42.5\ \text{м} \qquad (5.10)$$

Ширина зоны защиты на участке между опорами S1 на уровне земли:

$$S1 = 2r0 = 83\text{м}. \qquad (5.11)$$

Определим радиус торцевых областей зоны защиты rx на высоте hx над землей [24]:

$$Rx = 1.7 * (h – hx/0.92) = 1.7 * (37 – 25/0.92) = 16.7м. \quad (5.12)$$

Ширина зоны защиты на участке между опорами S2 на высоте hx над землей:

$$S2 = 2Rx = 33.4м. \quad (5.13)$$

Зоной защиты молниеотвода является часть пространства, внутри которого здание защищено от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности. Наименьшей и постоянной по значению степенью надежности обладает поверхность зоны зашиты; по мере продвижения внутрь зоны надежность увеличивается. Зона защиты типа Б обладает степенью надежности – 95% и выше.

Высота одиночного тросового молниеотвода определяется формулой:

$$H = (Rx + 1.85hx)/ 1.7 = (16.7 + 1.85*25)/17 = 37м. \quad (5.14)$$

В качестве молниеприемника используем стальной многопроволочный оцинкованный трос, с площадью сечения = 35 кв. мм и сечением 7 мм.

Электроды заземлителей – сталь сечением 10 мм.

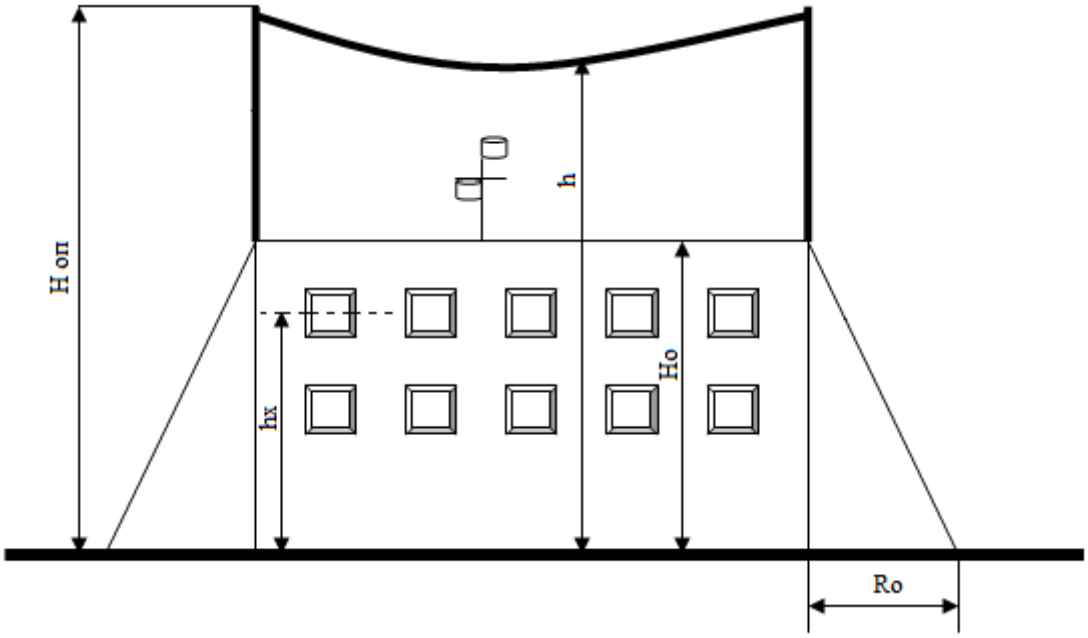


Рисунок 5.2 – Схема установки молниеотвода

Таким образом, из полученных результатов можно сделать вывод, что для обеспечения нормального функционирования молниезащиты необходима

регулярная проверка состояния устройств молниезащиты в процессе эксплуатации. Проверка состояния устройств молниезащиты для зданий и сооружений I и II категории 1 раз в год перед началом грозового сезона, а для зданий и сооружений III категории не реже 1 раза в 3 года. Высота одиночного тросового молниеотвода в данной работе составляет 37 м. А в качестве молниеприемника используем стальной многопроволочный оцинкованный трос, с площадью сечения = 35 кв. мм и сечением 7 мм.

5.6 Выводы по разделу

В результате проделанной работы по оценке пригодности помещения к осуществлению требуемой деятельности персонала можно сделать вывод, что данное помещение полностью удовлетворяет оптимальным условиям комфортного труда. В данном помещении обеспечивается достаточная вентиляция пространства. Используемые люминесцентные лампы обеспечивают искусственный свет, по своему составу приближающийся к естественному. Микроклиматические условия соответствуют оптимальным для данного вида работ. Уровень шума не превышает нормы. Соблюдение всех условий комфортного состояния человека сказывается на повышении производительности труда и снижении утомляемости, что очень важно при умственной деятельности, требующей предельной внимательности.

6 Бизнес план проектирования сети LTE в городе Щучинске

6.1 Резюме

В данной главе дипломного проекта проводится технико-экономическое обоснование организации беспроводного доступа в городе Щучинске с использованием технологии LTE.

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

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

6.2 Компания и отрасль

При планировании сети LTE, в первую очередь, необходимо определить каким образом будут реализованы решения построения транспортной сети и сети радиодоступа E-UTRA.

Для сравнения выберем три основных варианта организации связи:

1. Построение сети LTE«с чистого листа». В этом случае компания-оператор связи осуществляет строительство полностью всех объектов связи, которые будут включены в сеть LTE.
2. Построение сети LTE способом аренды всех компонентов связи у сторонних операторов, за исключением оборудования базовых станций. Арендуемыми объектами будут: вышки для базовых станций и все компоненты транспортной сети.
3. Построение сети LTE универсальным способом. Этот вариант включает в себя оба способа построения сети, приведенные выше.

Предположим, что оператором связи, осуществляющим проектирование сети LTE является компания АО «Алтел», которая будет арендовать у АО «Казахтелеком» необходимую часть транспортной сети в районе планирования, а остальную часть компания АО «Алтел» построит самостоятельно. В этом случае идеально подходит универсальный способ построения сети LTE.

В данной работе рассматривается оборудование различных производителей: «Alcatel – Lucent», и линейка оборудования для развертывания покрытия «Huawei Technologies».

6.3 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE

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

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

6.4 Анализ рынка сбыта

Рынок сбыта представляет собой абонентов, которые проживают в г. Щучинске. При условии выполнения покрытия большей части города в короткие сроки вероятность заполучить большое количество абонентов огромная. На рынке Казахстана в данное время несколько крупных операторов сотовой связи – «Beeline», «K-Cell», «Tele2». В данной работе рассматривается оператор «Алтел», с планируемыми тарифными планы и дополнительными услугами, единственный в Казахстане предоставляющий услуги связи технологии LTE.

6.5 Финансовый план

6.5.1 Расчет капитальных затрат

Т а б л и ц а 6.5.1 – Капитальные затраты

Наименование оборудования	Стоимость 1 оборудования, тг/шт.	Кол – во оборудования, шт	Сумма, тг
Комплект приемопередатчик Huawei RRU 3908 с антенной RET	8850000	5	44250000

Продолжение таблицы 6.5.1

Оптический сервисный маршрутизатор «Huawei BBU 3900»	2325000	2	4650000
Мультисервисная оптическая платформа «Huawei BTS 3900»	82500000	1	82500000
19” стойка	28400	1	28400
Источник бесперебойного питания	902000	1	902000
Металлоизделия и кабеля для монтажа станции и прочее	500000	1	5000000
Итого:			137 330 400

Общие капиталовложения по созданию сети включают в себя капиталовложения на оборудование, капиталовложения на монтаж и капиталовложения на транспортные расходы [14].

$$\Sigma K = K_O + K_П + K_M + K_{ТР} \qquad (6.5.1)$$

где K_O - капитальные вложения на приобретение оборудования;

$K_П$ - затраты на проектирование составляют 5%

$K_П = 137330400 \cdot 0.05 = 6866520$ тг.

K_M – затраты на стоимость монтажа оборудования на месте эксплуатации (5% от стоимости оборудования);

$K_M = 137330400 \cdot 0.05 = 6866520$ тг.

$K_{ТР}$ – транспортные расходы (8% от стоимости оборудования);

$K_{ТР} = 137330400 \cdot 0.08 = 10986432$ тг.

$\Sigma K = 137330400 + 6866520 + 6866520 + 10986432 = 162049872$ тг.

6.5.2 Расчет доходов

Доходы от основной деятельности, получаемые предприятием связи за весь объем реализованных потребителем связи по действующим тарифам.

Расчет доходов производится по формуле:

$$Do = \sum_{i=1}^{n} qi * Ui, \qquad (6.5.2)$$

где qi – объём i-го вида услуг в натуральном выражении;

Ui – тариф на i-й вид услуг, в тенге;

n – номенклатура услуг.

Расчет тарифных доходов.

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

По статистическим данным проникновение сети Интернет в сельской местности Казахстана с каждым годом растет. В зимний период 2011 – 2012 гг. суточная аудитория пользователей сети Интернет в сельской местности составила 38% от числа населения. На рисунке 6.1 показана диаграмма проникновения сети Интернет в сельской местности Казахстана в период с 2009 г. по 2012 г., на 2013 г. данных пока нет.

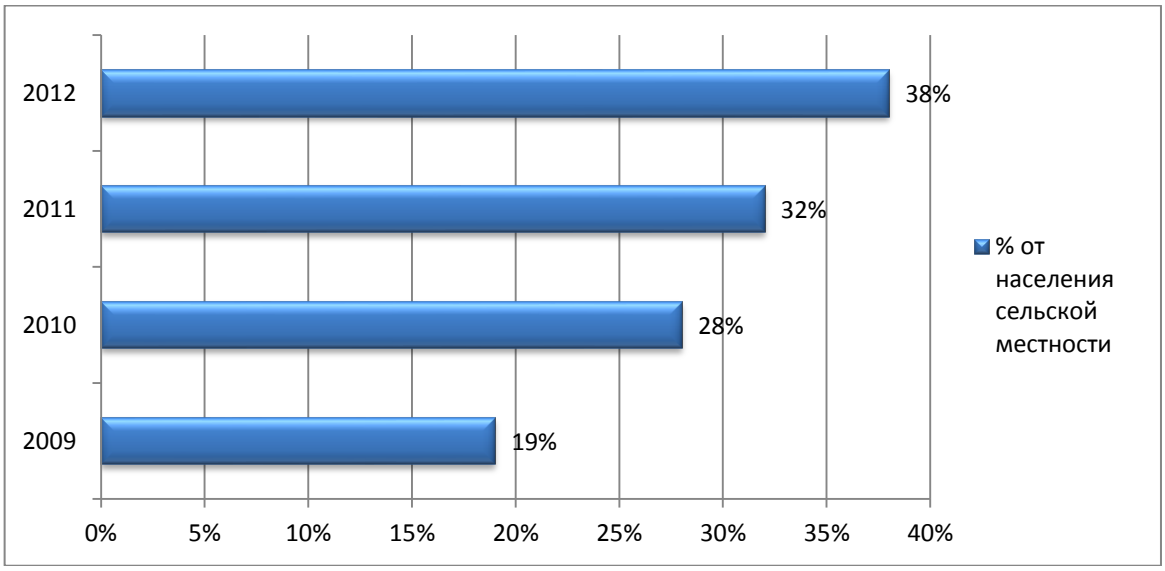


Рисунок 6.1 – Проникновение сети Интернет в сельскую местность Казахстана

Согласно диаграмме, показанной на рисунке 6.1, прирост пользователей сети Интернет в сельской местности Казахстана составляет в среднем значении около 6% в год.

В идеальном случае предположим, что в г. Щучинске 38 % населения будут использовать услугу доступа к сети Интернет. Однако кроме проектируемой нами сети 4G LTE в городе Щучинске уже имеются операторы предоставляющие подобные услуги 3G. Учитывая это и в соответствии с пунктом 2.1 диплома, где уже проводился расчет количества потенциальных абонентов возьмем для расчета только 7 % населения. Население города Щучинска составляет 46000 человек. Рассчитаем примерное количество подключившихся абонентов к проектируемой сети для доступа к сети Интернет через USB-LTE модем ($N_{аб.инт}$):

$$N_{аб.инт} = 46000 \cdot 0{,}07 = 3220 \text{ (абонентов).} \qquad (6.5.3)$$

Предполагаемые тарифные планы по предоставлению доступа в сеть Интернет с помощью USB-LTE модемов показаны в таблице 6.5.2.

Таблица 6.5.2 – Предполагаемые тарифные планы и их стоимость

Тарифный план	Скорость подключения	Стоимость тарифа, тг./мес.	Порог	Доля абонентов от $N_{аб.инт}$, %	Примерное число подключившихся пользователей
Т1	до 500 кбит/с	1500	-	25	805
Т2	до 1 Мбит/с	1750	-	25	805
Т3	до 2 Мбит/с	2000	-	20	644
Т4	до 4 Мбит/с	2250	50 Гб	15	483
Т5	до 6 Мбит/с	2500	70 Гб	15	483

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

$$\Sigma Д = \Sigma N_i \cdot T_i \cdot 12, \qquad (6.5.4)$$

где T_i – стоимость тарифного плана;

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

$$D_1 = [1500 \cdot 805 + 1750 \cdot 805 + 2000 \cdot 644 + 2250 \cdot 483 + 2500 \cdot 483] \cdot 12 = 74\ 382\ 000$$

(тг.)

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

По статистическим данным сотовой связью в сельской местности Казахстана на начало 2014 г. пользуются 88% населения. В соответствии с этими данными, в городе Щучинске число абонентов составляет 40480 человек. Основываясь на проделанном анализе предоставления услуг связи, можно сказать, что в городе Щучинске осуществляют работу три компании-оператора мобильной связи. Следовательно, четвертой компанией-оператором мобильной связи, осуществляющей работу в городе Щучинске будет компания «Алтел». Условно поделим абонентов сотовой связи между компаниями операторами поровну. Тогда количество абонентов мобильной связи проектируемой сети LTE составит: $N_{аб.моб}$ = 40480/4 = 10120 человек.

Предполагаемые цены на предоставление услуг мобильной связи показаны в таблице 6.5.3.

Таблица 6.5.3 – Предполагаемые цены на предоставление услуг мобильной связи

Услуга	Размер оплаты, тг.
1 минута входящего звонка	0
1 минута исходящего звонка на номера других операторов мобильной связи	$К_1 = 11$
1 минута исходящего звонка на мобильные номера «Алтел»	$К_2 = 8$
1 минута исходящего звонка на телефонные номера фиксированной связи	$К_3 = 11$
1 SMS, MMS	$К_4 = 10$

По статистическим данным, среднестатистический абонент мобильной связи использует 20 SMS/MMS и 200 минут разговора в месяц. Предположим, что соотношение исходящего разговорного времени одного абонента в процентах составляет: 45% (90 минут) на номера других мобильных операторов, 45% (90 минут) на мобильные номера «Алтел», 10% на телефонные номера фиксированной связи.

Суммарный тарифный доход от предоставления услуг мобильной связи (D_2) определим по формуле:

$$D_2 = [K_1 \cdot 90 + K_2 \cdot 90 + K_3 \cdot 20 + K_4 \cdot 20] \cdot N_{аб.моб} \cdot 12 \qquad (6.5.5)$$

$$D_2 = [11 \cdot 90 + 8 \cdot 90 + 11 \cdot 20 + 10 \cdot 20] \cdot 10120 \cdot 12 = 258\ 667\ 200 \text{ (тг.)}$$

Общий тарифный доход от услуг связи сети LTE в г. Щучинске рассчитывается по формуле:

$$D_{общ} = D_1 + D_2 \qquad (6.5.6)$$

$$D_{общ} = 74\ 382\ 000 + 258\ 667\ 200 = 333\ 049\ 200 \text{ (тг.)}.$$

6.5.3 Эксплуатационные расходы

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

$$\sum Э = ФОТ + Ос + М + Э + А + Пч + Н, \qquad (6.5.7)$$

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

Ос – социальный налог;
М – материальные затраты и запасные части;
Э – затраты на электроэнергию;
А – амортизационные отчисления;
Пч - платежи за использование частот;
Н – накладные расходы.

Численность сотрудников для организации деятельности оператора представлена в таблице 6.5.4.

Таблица 6.5.4 – Штат сотрудников необходимых для полноценного функционирования системы

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

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

Текущие затраты на эксплуатацию данной системы связи.

Соответственно фонд оплаты труда за год составит:

ФЗП = 6 180 000 тенге

Заработная плата с учетом премиальных составит:

$З_{доп}$ = 0,15* 6 180 000 = 927 000 тенге

$$ФОТ = ФЗП + З_{доп} = 7\ 107\ 000 \text{ тг.}$$

$$Ос = (ФОТ - 0{,}1 \cdot ФОТ) \cdot 0{,}13 \text{ тг.} \qquad (6.5.8)$$

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

$$М = Квл * 0.005$$

$$М = 38539272 * 0.005 = 192696 \text{ тг.}$$

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

$З_{ЭЛ.ЭН.} = З_{ЭЛ.ЭН.ОБР.} + З_{ДОП.НУЖ.}$,

$З_{ЭЛ.ЭН.ОБР} = W*T*S$

где W = 8 кВт - потребляемая мощность;
T = 8670ч - время работы;
S - тариф (1кВтч = 22,79тг).
$З_{ЭЛ.ЭН.ОБР}$ = 8 * 8670 * 22,79 = 1580714 тг/год.

Величина амортизационных отчислений (А) рассчитывается как:

$$A = \sum_{i=1}^{n} H_{ai} \Phi_a \qquad (6.5.9)$$

где Hai – норма амортизационных отчислений от среднегодовой стоимости основных производственных фондов, в процентах;

Фi – среднегодовая стоимость основных фондов (капитальных вложений).

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

Hai =25 %

Фi = 38539272 тенге

A = 38539272 ·0,25 = 9634818 тг.

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

$$H=0.75 \cdot C \qquad (6.5.10)$$

Платеж за получение разрешительных документов на использование радиочастот составит $П_ч$ = 8 200 000 тг.

Таким образом, годовые эксплуатационные расходы, без накладных расходов составляют:

ΣЭ = 6180000 + 831519 + 192696 + 1580714 + 9634818 +
+8200000 = 26 619 747 тг.

Определим накладные расходы:

H=0,75 · 19 239 747 =19 964 810 тг.

Таким образом, годовые эксплуатационные расходы составят:

ΣЭ = 26 619 747+ 19 964 810 = 46 584 557 тг.

Т а б л и ц а 6.5.5 – Годовые эксплуатационные расходы

Показатель	Сумма, тенге
ФОТ, тенге	6 180 000
Отчисления на социальные нужды, тенге	831519
Амортизационные отчисления, тенге	9 634 818
Затраты на электроэнергию, тенге	1 580 714
Материальные затраты на запасные части	192 696
Накладные расходы	19 964 810
Эксплуатационные расходы	46 584 557

6.5.4 Расчет показателей экономической эффективности

Прибыль от основной деятельности:

$$П_{осн} = Д_{общ} - ΣЭ - ΣК \quad (6.5.11)$$

$П_{осн}$ = 333 049 200 – 46 584 557 – 162 049 872 = 124 414 771 тг.

Корпоративный подоходный налог:

$$КПН = Н_{ст} \cdot П, \quad (6.5.12)$$

где $Н_{ст} = 0{,}2$ - налоговая ставка.
Налогооблагаемая прибыль:

$$КПН = 0{,}2 \cdot 124\ 414\ 771 = 24\ 882\ 954 \text{ т.},$$

$$П_{общ} = Посн - КПН \quad (6.5.13)$$

$$П_{общ} = 124\ 414\ 771 - 24\ 882\ 954 = 99\ 531\ 817 \text{ тг.}$$

Коэффициент экономической эффективности рассчитываем по формуле:

$$\text{Е} = \frac{\text{П}-\text{Э}}{\text{К}} \qquad (6.5.14)$$

$$E = \frac{99\,531\,817 - 46\,584\,557}{162\,049\,872} = 0{,}3267$$

6.5.5 Учет фактора времени при оценке экономической эффективности инвестиционных проектов

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

Для этого рассчитаем следующие показатели:

– чистую приведенную стоимость - NPV (Net Present Value);

– индекс рентабельности инвестиций - PI(Profitability Index);

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

Коэффициент дисконтирования рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{(1+r)^t} \qquad (6.5.15)$$

где,α_t – коэффициент дисконтирования;

r – норма дисконта (0,10);

t – номер шага.

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

Рассчитаем величину дисконтированных доходов (PV) по формуле:

$$PV = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{D_t}{(1+r)^t} \qquad (6.5.16)$$

где, r – ставка дисконты (10%);

t– год.

1 год $PV = 99531817/(1+0{,}1)^1 = 90483470$ тг;

2 год $PV = 99531817/(1+0{,}1)^2 = 82257700$ тг;

$$3 \text{ год } PV = 99531817/(1+0{,}1)^3 = 74779727 \text{ тг.}$$

Для определения экономической эффективности проекта рассчитываем чистую текущую стоимость проекта.

Себестоимость проекта определяется по формуле:

$$С = ΣЭ + ΣК + КПН \qquad (6.5.17)$$

$$С = 46\ 584\ 557 + 162\ 049\ 872 + 24\ 882\ 954 = 233\ 517\ 383 \text{ (тг.)}$$

Чистая текущая стоимость проекта определяется по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{D_t}{(1+r)^t} - C, \qquad (6.5.18)$$

где,C – сумма первоначальных инвестиций (себестоимость);
r – норма дисконта;
n – срок проекта (лет);
Dt –денежный поток в году t.

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{D_t}{(1+r)^t} = 247520897 \text{ тг.}$$

$$NPV = 247520897 - 233517383 = 14003514 \text{ тг.}$$

NPV > 0, проект прибыльный и его следует принять.

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

$$PI = \frac{\sum_t \frac{D_t}{(1+r)^t}}{K_{вл}} \qquad (6.5.19)$$

$$PI = \frac{247520897}{233517383} = 1{,}06$$

Так как рентабельность больше единицы, данный проект следует принять.

Срок окупаемости инвестиций, для полного возмещения первоначальных затрат определяется момент, когда денежный поток доходов сравняется с

суммой денежных потоков затрат. Общая формула расчета показателя DPP имеет вид:

$$DPP = t, \text{ при котором } Dt > K, \tag{6.5.20}$$

где Dt – чистый денежный поток доходов.

Определим период по истечении которого инвестиция окупается:

$$T_{OK} = t_{t-1} + \frac{K - (PV_1 + PV_2 + ... + PV_n)}{PV_n} \tag{6.5.21}$$

Рассчитаем период окупаемости по формуле:

$$T_{OK} = 3 + \frac{233517383 - 247520897}{74779727} = 2{,}82 \text{ года}$$

Дисконтированный период окупаемости составляет 2,82 года.

Все основные экономические показатели внесем в таблицу 6.5.6.

Таблица 6.5.6 – Финансовые показатели

Показатель	Сумма, тенге
Капитальные затраты	162 049 872
Годовые эксплуатационные расходы	46 584 557
Себестоимость проекта	233 517 383
Чистая годовая прибыль	99 531 817
Индекс рентабельности PI	1,06
Коэффициент экономической эффективности E	0,3267
Период окупаемости T_{OK}, с дисконтированием, лет	2,82

6.6 Вывод по разделу

В настоящее время инвестиции считают привлекательными при сроке окупаемости ≤ 5 лет, что больше чем 2,82 года. Следовательно, можно сделать вывод, что модернизация беспроводного доступа в городе Щучинске с использованием технологии LTE является экономически оправданной, и может быть принята к реализации.

Заключение

В дипломном проекте был рассмотрен один из вариантов организации беспроводного доступа в городе Щучинске с использованием технологии LTE. Отмечалась важность развития инновационных технологий беспроводной связи и проникновение доступа в сеть Интернет в малые города.

В дипломном проекте дана общая характеристика района планирования сети LTE. Приведено краткое технико-экономическое обоснование планирования сети LTE, в ходе которого выбран «универсальный» вариант строительства сети. Также проведен краткий анализ ситуации предоставления услуг связи жителям города по разным технологиям.

Основу транспортной сети проектируемой сети LTE составляет IP-протокол, который служит для транспортировки трафика сети.

Так же проведен расчет пропускной способности сети. Главным исходным значением расчета явилась спектральная эффективность технологии LTE, которая заявлена в 3GPP Release 9. Пропускная способность планируемой сети составила 1,104 Гбит/с. Частотный диапазон для планируемой сети выбран 791 – 862 МГц, тип дуплекса – частотный FDD. Также проведен расчет количества абонентов, которое сможет обслужить планируемая сеть. В этой же главе проведен выбор оборудования транспортной сети, в ходе которого предпочтение отдалось решению компании «Huawei Technologies» для сетей LTE. Транспортная сеть проектируемой сети LTE реализована с помощью оптоволоконных линий передач по технологии Ethernet.

Проведен выбор оборудования сети LTE. В качестве управляющего оборудования сети LTE выбрано решение компании «Huawei Technologies», которое реализуется с помощью мультисервисной платформы «Huawei BTS 3900». В качестве оборудования радиодоступа выбрана базовая станция «Huawei RRU 3908» компании «Huawei Technologies», которая является наиболее универсальной из тех, что предлагают другие компании-производители базовых станций для сетей LTE.

В разделе безопасность жизнедеятельности был выполнен расчет устройства противогрозовой защиты и расчет системы вентиляции.

В экономической части дипломной работы проведен расчет капитальных вложений, чистой прибыли и рентабельности. Срок окупаемости капитальных затрат составит около трёх лет.

Развитие беспроводных технологий связи за последние десять лет сделало огромный скачок вперед. Скорость предоставления беспроводного доступа возросла в десятки раз. Широкий спектр услуг, высокое качество обслуживания, достаточно высокая мобильность – вот чем отличаются современные беспроводные сети связи. Разработка технологии LTE, я считаю, сделала первый шаг на пути к полному отказу от фиксированной связи в сельской местности.

Список литературы

1 Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Горячая линия, 2007.– 223 с.

2 Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия LTE. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 156 с.

3 Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 188 с.

4 Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010. – 225 с.

5 http://pro3gsm.com/arhitektura-seti-lte/

6 Каарinen Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. – М.: Техносфера, 2007. – 110 с.

7 http://www.masters.donntu.edu.ua/2012/fkita/prihodko/library...

8 Печаткин А. В. Системы мобильной связи. Часть 1. – РГАТА, Рыбинск, 2008. – 229 с.

9 http://www.omnilink.com.ua/catalog/opticheskiykabel/vol_opt_kab_mod_constr/oklbg

10 Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности. – М.: Высшая школа, 2007. - 616 с.

11 Охрана труда: Учебник / Под ред. Б.А. Князевский. – М.: Высшая школа, 1992. – 311 с.

12 Горобец А. И. Охрана труда в радиоэлектронной промышленности, - Киев.: Техника, 1987. – 135 с.

13 Сайт http:\\www.aipet.kz\frts\ts\index.htm

14 Кондратович А.П. Стандарт организации. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию работ учебных. – Алматы: АИЭС, 2009. – 53 с.

15 Безопасность жизнедеятельности. Защита от производственного шума. Методические указания к выполнению дипломного проекта, Алматинский институт энергетики и связи, Алматы, 2009. – 33 с.

16 СН и ПП-4-2002 «Защита от шума».

17 Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика, теория и практика. – М.: Кудиц – Пресс, 2008. - 110 с.

18 РД 45.162-2001. Комплексы сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования.

19 Абдул Базит. Расчет сетей LTE. – Хельсинский технологический университет, 2009. – 149 с.

20 Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Perfomance. – Cambridge University Press, 2009. – 232 с.

21 Harri Holma, Antti Toskala. LTE for UMTS. OFDMA and CS-FDMA Based Radio Access. – John Wiley Ltd, 2009. – 135 с.

22 Stefania Sesia. LTE. The UMTS Long Term Evilution. From Theory to Practice. – John Wiley Ltd, 2009. – 178 с.

23 3GPP TS 36 104: «E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 9). April 2011.

24 Сайт http:\\www.cisco.com\lte.html

25 Сайт http:\\www.forum4g.ru\wimax\lte.html

26 Сайт http:\\www.mforum.ru\mobila.html

27 Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. Методические указания по выполнению экономического раздела выпускной работы бакалавров. – Алматы: АИЭС, 2009. – 19 с.