МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Электроника»

«Допущен к защите»
Зав. кафедрой «Электроника»
_____
А.А. Копесбаева к.т.н., проф.
«___»_____2014г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: «Исследование параметров передачи данных в сетях LTE»

Специальность «5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Выполнил _____ ст. гр. ЭСТ-10-1 Ж.А.Толешев

Научный руководитель _____ Б.А. Жумагазин ст. преп.

Консультанты:
по экономической части:
Бекишева А.И., к.э.н., доцент

_____ «16» мая 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Санатова Т.С., к.т.н., доцент

_____ «30» мая 2014 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Жумагазин Б. А., ст. преп.

_____ «03» 06 2014г.
(подпись)

Рецензент: Касимов А. О., к.т.н., доцент

_____ «03» 06 2014г.
(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет «Радиотехники и связи»
Специальность «5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации»
Кафедра «Электроника»

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студента Ж.А.Толешева

Тема проекта «Исследование параметров передачи данных в сетях LTE» утверждена приказом ректора № 115 от 24 сентября 2013 г.

Срок сдачи законченной работы « 15» мая 2014г.

Исходные данные к проекту (требуемые параметры результатов проектирования) и исходные данные корпоративной сети.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов или краткое содержание дипломного проекта

1. Технологическая часть (общее описание и технология Long Term Evolution, обзор параметров).
2. Конструкторская часть (расположение в сети и преимущества оборудования, блок обработки базовых частот).
3. Программная часть (листинг программы расчета в среде Borland Pascal).
4. Общие вопросы охраны труда (расчет освещения и расчет системы кондиционирования воздуха).
5. Технико–экономическая часть (расчет экономического эффекта от внедрения данной технологии).

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): в данной работе содержится 50 рисунков и 20 таблиц.

Рекомендуемая основная литература:

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура//М.: Эко-Трендз, 2010
2. Гольдштейн Б.С., Елагин В.С. Законный перехват сообщений: подходы ETSI, Calea и СОРМ//Вестник связи/-2007.№3
3. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Минаев И.В. Сравнительный анализ спектральной эффективности систем UMTS и LTE// Мобильные телекоммуникации. – 2008. - №2
4. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга. Л., «Энергия», 1976. – 384 с. с ил.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Технологическая часть	Жумагазин Б.А.	30.03.14	
Разработка сети	Жумагазин Б.А.	15.04.14	
Программное обеспечение	Жумагазин Б.А.	30.04.14	
Безопасность жизнедеятельности	Санатова Т.С.	4.05.14	
Экономическая часть	Бекишева А.И.	10.05.14	

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов	Сроки представления	Примечание
1	2	3	4
1	1. Технологическая часть 1.1 Технология и архитектура LongTermEvolution 1.2 Архитектура базовой сети SAE 1.3 Взаимодействие сети LTE с другими сетями стандартов 3GPP 1.4 Обзор параметров LTE 1.4.1 Нисходящий канал 1.4.2 Восходящий канал 1.5 Технология MIMO 1.6 Радиопланирование частот	30.03.14	
2	2. Конструкторская часть 2.1 Расположение в сети и преимущества 2.2 Базовая станция Huawei DBS3900 2.2.1 Блок обработки базовых частот 2.3 Описание трансмиссионной части оборудование	15.04.14	
3	3 Программное обеспечение 3.1 Расчет энергетического потенциала линии 3.2 Расчет затуханий при распространении для LTE 3.3 Сравнение дальности связи LTE и WiMAX	30.04.14	
4	4. Безопасность жизнедеятельности	5.05.14	
5	5. Бизнес-план	10.05.14	

Дата выдачи задания «19» марта 2014г.

Заведующий кафедрой _____ А.А. Копесбаева
(подпись)

Руководитель _____ Б.А. Жумагазин
(подпись)

Задание принял к исполнению
студент _____ Ж.А. Толешев
(подпись)

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жобада LTE желілеріндегі мәліметтерді таратудағы кейбір параметрлерді зерттеу қарастырылады.

Жұмыстың техникалық бөлігінде технология, архитектура, LTE желісінің негізгі параметрлері, жиіліктер қарастырылған және мәліметтерді тарату параметрлері зерттелді.

Экономикалық бөлікте жобаның бизнес жоспары құрастырылды және LTE желісінің енгізілуі кезіндегі табыс есептелді. Өміртіршілік қауіпсіздігі бөлімінде ауаны кондиционирлеу және өндірістік жарық беру есептелді.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте проводится исследование некоторых параметров передачи данных в сетях LTE.

В технической части работы рассмотрены технология, архитектура, основные параметры сети LTE, частоты, исследованы параметры передачи данных.

В экономической части был составлен бизнес план проекта, а также рассчитаны доходы от реализации внедрения сети LTE. В разделе безопасности жизнедеятельности рассчитаны производственное освещение и кондиционирование воздуха.

SUMMORY

In this thesis project we study some parameters of data transmission networks LTE.

In the technical part of the paper technology, architecture, basic network LTE, frequency transmission parameters investigated.

In the economic part was a business plan project and calculated revenues from the introduction of network LTE. In the safety of life calculated industrial lighting and air conditioning.

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	7
1	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	8
1.1	Технология и архитектура Long Term Evolution	8
1.2	Архитектура базовой сети SAE	13
1.3	Взаимодействие сети LTE с другими сетями стандартов 3GPP	18
1.4	Обзор параметров LTE	19
1.4.1	Нисходящий канал	19
1.4.2	Восходящий канал	21
1.5	Технология MIMO	25
1.6	Радиопланирование частот	27
2	КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ	30
2.1	Расположение в сети и преимущества	30
2.2	Базовая станция Huawei DBS3900	31
2.2.1	Блок обработки базовых частот	35
2.2.2	Усилитель мощности TriQuint TGA2450-SM для сетей LTE	38
2.3	Описание трансмиссионной части оборудование	39
2.4	Выбор оборудования электропитания	41
3	ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	43
3.1	Расчет энергетического потенциала линии	43
3.2	Расчет затуханий при распространении для LTE	52
3.3	Сравнение дальности связи LTE и WiMAX	54
3.4	Оценка параметров качества передачи данных	55
3.5	Исследование балансировки нагрузки	56
4	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	59
4.1	Анализ условий труда технического персонала	59
4.2	Выбор и расчет системы производственного освещения	61
4.3	Расчет системы кондиционирования воздуха	66
5	БИЗНЕС-ПЛАН	70
5.1	Цели и обоснование проекта	70
5.2	Резюме	70
5.3	Анализ рынка телекоммуникаций	71
5.4	Финансовый план	75
	Заключение	85
	Список литературы	86
	Приложение А	88

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной дипломной работы является анализ параметров передачи данных в сетях LTE. Сравнение дальности связи LTE и WiMAX и их оценка параметров качества передачи данных.

В настоящее время повсеместно в мире, в том числе в Республике Казахстан, происходит (или планируется) интенсивное внедрение новых информационных технологий, которые позволяют операторам предоставить абонентам широкий спектр современных услуг. К таким технологиям относятся подсистемы глобальной системы подвижной радиосвязи общего пользования IMT, в частности Long Term Evolution (LTE).

Технология LTE, разработанная консорциумом 3GPP, является одной из наиболее перспективных для развертывания сетей широкополосной связи четвертого поколения. Она обеспечивает операторам сетей высокую операционную совместимость и низкую стоимость обслуживания, а потребителям – новый уровень широкополосного мобильного радиодоступа.

Для реализации проекта нужно изучить особенности подключения технологии LTE. Так как выбор базовых станций довольно широк, стоит остановиться на наиболее распространённых и доступных, а так же провести выбор оборудования электропитания для этой БС.

Расчеты энергетического потенциала линии, радиуса покрытия, пиковой скорости передачи, затуханий при распространении для LTE нужны для исследования параметров передачи.

LTE (Long Term Evolution) — это глобальный стандарт для четвертого поколения мобильных сетей (4G), который поддерживают все крупные игроки телекоммуникационной отрасли. LTE обеспечивает пропускную способность и быстродействие, необходимые для того, чтобы эффективно обслуживать быстро растущий трафик данных: согласно прогнозам, к 2016 году количество абонентов мобильных широкополосных сетей достигнет 5 млрд. человек.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Технология и архитектура Long Term Evolution

Работы 3GPP над LTE начались еще в 2004 году с определения целей. Обычно период времени от создания технологии и установления целей до запуска в коммерческую эксплуатацию занимает 5 лет, так как стандартизация системы должна быть закончена как раз к тому моменту, когда в ней нуждаются. Существует много движущих сил, из-за которых развитие LTE и улучшение постоянно двигалось вперед. Во-первых, это улучшение конкурирующих технологий в кабельных сетях, также необходимость в улучшенных мощностях беспроводной связи, сниженные цены на ее услуги и постоянная конкуренция с другими беспроводными технологиями, как показано на рисунке 1.1.

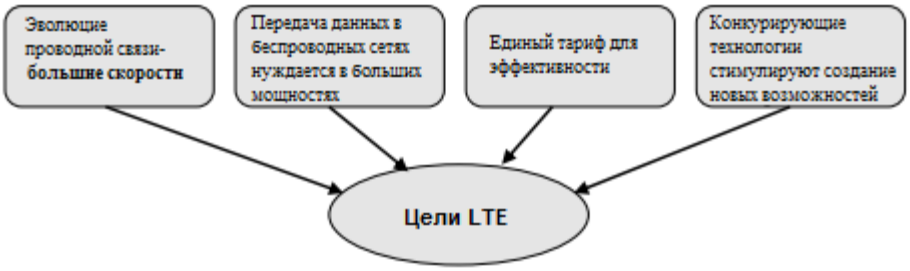


Рисунок 1.1 - Движущие силы создания LTE

LTE обладает рядом особенностей и преимуществ по сравнению с предыдущими стандартами сотовой связи [1].

В их числе:

1. Большие пиковые скорости (на рисунке 1.2 представлено сравнение):

-100 Мбитс в направлении вниз (20 МГц, 2x2 MIMO)

-50 Мбитс вверх (20 МГц,1x2);

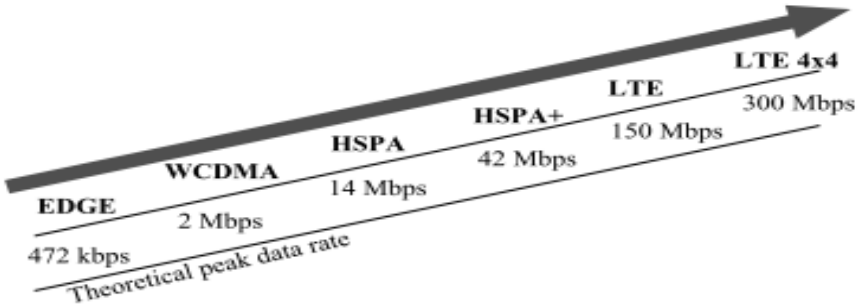


Рисунок 1.2 - Пиковые скорости передачи стандартов сотовой связи

2. Как минимум 200 активных пользователей голосовыми услугами на каждые 5 МГц

3. Малые задержки<5 мс

4. Полоса пропускания

4G предоставляет полосу пропускания в 4 раза больше, нежели в нынешних 3G системах (рисунок 1.3);

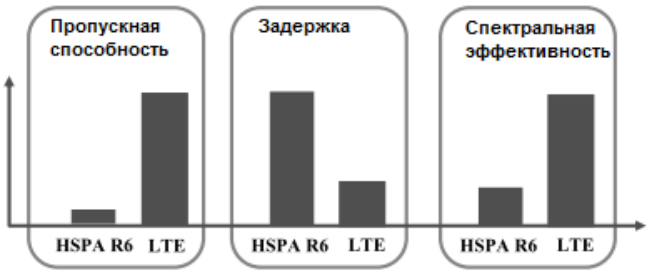


Рисунок 1.3 - Особенности системы LTE

5. Улучшенная спектральная эффективность

Под спектральной эффективностью понимается, насколько узко используется полоса пропускания уровнем доступа беспроводной сети. Улучшенное значение позволяет больше информации передаваться по этой полосе пропускания, притом, что число пользователей и сервисов увеличивается.

В 2-4 раза больше информации может быть передано по сравнению с предыдущим релизом.

6. Улучшенные скорости передачи на границе соты

Значение спектральной эффективности стало лучше не только у мачт, но и на границе сот.

Скорости увеличились в 2-3 раза по сравнению с предыдущим стандартом

7. Нет разделения передачи голоса и данных на уровне ядра. Вся сеть стала для передачи по одному каналу IP.

8. Улучшенная поддержка качества обслуживания от абонента

О планах разворачивания LTE заявили многие мировые операторы. Вихчисле Verizon Wireless, Vodafone, China Mobile, AT&T, China Telecom, KDDI, Metro PCS, NTT DoCoMo, T-mobile. В их планах строить сети на базу существующих сетей 2G,3G.

1.1.1 Общая структура сети LTE

Создание конкурентной технологии построения сетей мобильной связи на основе сети мобильной связи WiMAX (стандарт IEEE 802.16e) активизировало усилия участников проекта 3GPP по разработке на основе технологии OFDM

эволюционного варианта сети UMTS, названного LTE.

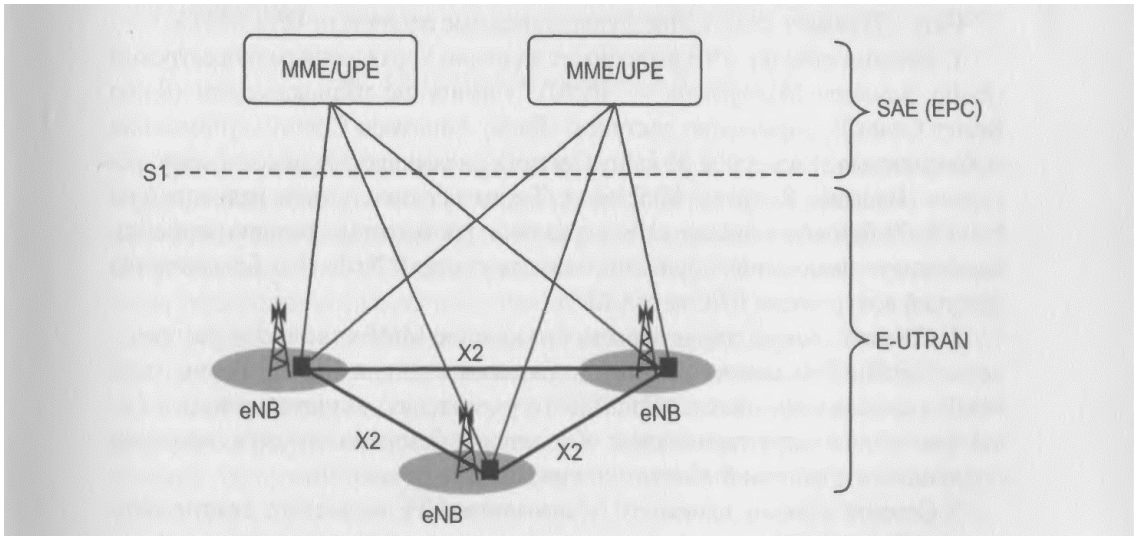


Рисунок 1.4 - Взаимодействие сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE

Сеть LTE состоит из двух важнейших компонентов: сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE (System Architecture Evolution) (рисунок 1.4).Основными требованиями проекта 3GPP к сети SAE были: максимальновозможное упрощение структуры сети и исключение дублирующих функций сетевых протоколов, характерных для системы UMTS [2].

Сеть радиодоступа E-UTRAN рассмотрена в ряде технических спецификаций, согласно которым она состоит только из базовых станций eNB (evolved Node B). Базовые станции eNB являются элементами полносвязной сети E-UTRAN и соединены между собой по принципу «каждый с каждым» при помощи интерфейса X2. Интерфейс X2 поддерживает хэндовер мобильного терминала в состоянии LTE_ACTIVE. Каждая базовая станция имеет интерфейс Sic базовой сетью SAE, построенной по принципу коммутации пакетов [3].

Базовая сеть SAE, иногда называемая сетью EPC (Evolved Packet Core), содержит узлы MME/UPE, состоящие из логических элементов MME и UPE. Логический элемент MME (Mobility Management Entity) отвечает за решение задач управления мобильностью абонентского терминала и взаимодействует с базовыми станциями eNB сети E-UTRAN с помощью протоколов плоскости управления C-plane (интерфейс Sl-C) [3].

Сеть LTE имеет следующие функциональные отличия от сети UMTS.

1. Базовые станции eNB выполняют функции управления радиоресурсами (Radio Resource Management — RRM): управление радиоканалами (Radio Bearer Control), управление доступом (Radio Admission Control), управление мобильностью (Connection Mobility Control), динамическое распределение ресурсов (Dynamic Resource Allocation). Таким образом, в сети радиодоступа E-

UTRAN базовые станции eNB управляют протоколами радиоинтерфейса, комбинируя выполнение функций базовых станций NodeB и большинство функций контроллера RNC сети UMTS.

2. Сетевой элемент управления мобильностью MME отвечает за распределение сообщений вызова (paging) к базовым станциям eNB. Кроме того, MME управляет протоколами плоскости управления: назначения идентификаторовабонентских терминалов, обеспечения безопасности сети, проверки подлинности сообщений абонентов и управления роумингом.

Основные протоколы интерфейса S1 плоскостей C-plane и U-plane сети LTE представлены на рисунке 1.5.

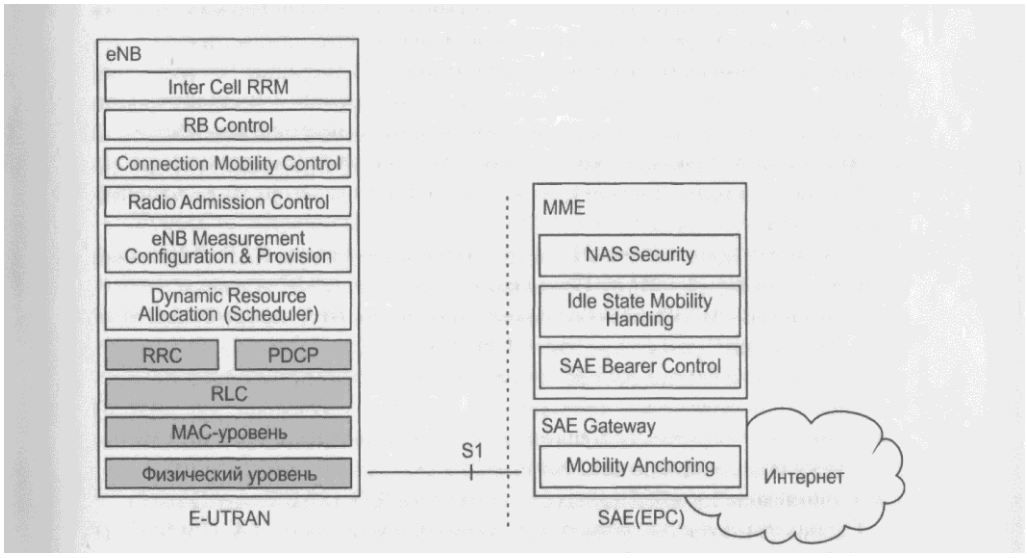


Рисунок 1.5 - Протоколы интерфейса S1 сети LTE

Одной из важнейших задач управления в сети LTE является максимально эффективное использование радиоресурсов. Данная задача решается с помощью совокупности функций управления радиоресурсами RRM (управление радиоресурсами сети E-UTRAN, управление службой передачи данных в радиоканале, управление мобильностью, управление доступом, динамическое распределение ресурсов) и с помощью протокола управления радиоресурсами RRC. Требования к функциям управлению радиоресурсами приведены в TR 25.913.

Первые, предварительные характеристики LTE были получены в ходе разработки спецификации 3GPP Release 7, затем Release 8 (таблица 1.1).

LTE - это глубокое изменение, знаменующее переход от систем CDMA (WCDMA) к системам OFDMA, а также переход от систем с коммутацией каналов к системе e2e IP (коммутации пакетов). Проблемы перехода на LTE включают необходимость в новом спектре для получения преимуществ от широкого канала. Кроме того, требуются абонентские устройства, способные одновременно работать в сетях LTE и 3G (рисунок 1.6) для плавного перехода абонентов от старых к новым сетям.

Таблица 1.1 - Основные параметры LTE, закрепленные в спецификации 3GPP Release 8

Название параметра	Параметр
Uplink (UL): восходящее соединение	DFTS-OFDM
Downlink (DL): нисходящее соединение	OFDM
Ширина частотного диапазона. МГц	1.4; 3, 5; 10; 15; 20
Минимальный интервал между кадрами, мс	1
Шаг (частотный интервал) между поднесущими, кГц	15
Стандартная длина префикса CP, мкс	4,7
Увеличенная длина префикса CP, мкс	16,7
Схемы модуляции (Uplink)	BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM
Схемы модуляции (Downlink)	QPSK, 16QAM, 64QAM
Пространственное мультиплексирование	Один канал для UL-трафика на каждый абонентский терминал; До 4 каналов для DL-трафика на каждый абонентский терминал; MU-MIMO с поддержкой для восходящего (UL) и нисходящего (DL) соединений

Для построения такой сети должны быть доступны в конвергентном варианте все основные составляющие сети:

- конвергентные мультисандартные BTS;
- конвергентная транспортная сеть;
- конвергентные услуги.

Архитектура сети LTE представлена на рисунке 1.7.

В основе радиоподсистемы LTE будут лежать мульти стандартные BTS, состоящие из мультистандартного радиомодуля SDR (MC-TRX, MC-RRH) и управляющего модуля BBU.

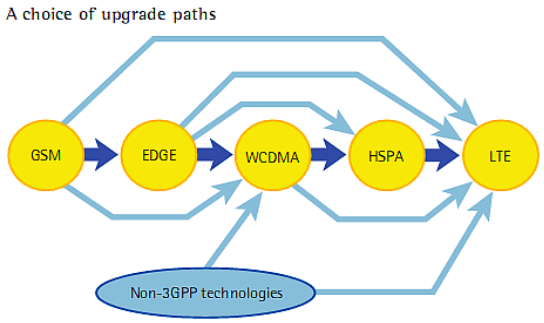


Рисунок 1.6 - Тенденции слияния в сетях LTE и 3G

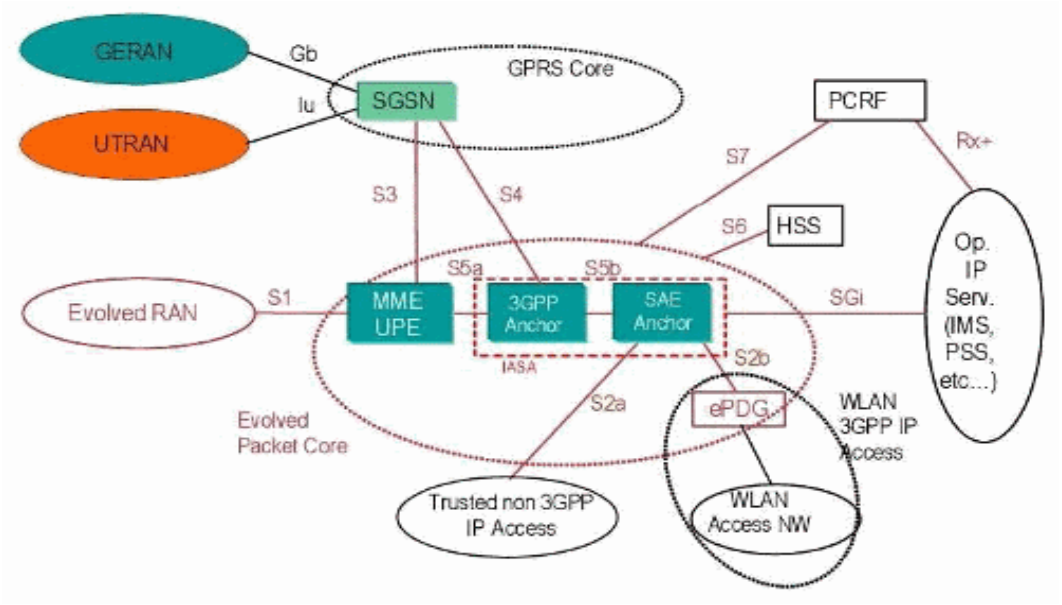


Рисунок 1.7 - Архитектура сети LTE

Радиомодуль - это софтверное радио, т.е. устройство, которое способно работать одновременно с несколькими стандартами, с несколькими технологиями передачи по радиоинтерфейсу. В частности, для макро-BTS, это стандартный трансивер TRDU, для выносных "радиоголов", так называемый, RRH-модуль. В одной соте при необходимости могут одновременно работать GSM и LTE, используя единый модуль MCPA (Multi-Carrier Power Amplifier).

1.2 Архитектура базовой сети SAE

Архитектура базовой сети SAE представляет собой PS-домен системы LTE, который предоставляет как голосовые услуги, так и всю совокупность IP-услуг на основе технологий пакетной коммутации данных. Первая версия архитектуры сети SAE представлена в технической спецификации 3GPPTS 22.978 «Эволюция архитектуры системы». В основу построения базовой сети SAE положена концепция «все через IP» (all-IP или AIPN — All over IP Network). И то обстоятельство, что доступ к базовой сети SAE может осуществляться как через сети радиодоступа второго и третьего поколений (например, сети UTRAN, GERAN), так и через сети радиодоступа неевропейских технологий, не стандартизированные проектом 3GPP (сети Не-3GPP), например, сети IEEE: Wi-Fi, WiMAX, а также через сети, использующие проводные IP-технологии (например, сети ADSL+, FTTH и др.).

Эталонная архитектура базовой сети SAE с указанием интерфейсов взаимодействия с внешними сетями показана на рисунке 1.5. Согласно этой архитектуре, функции протоколов плоскости управления узла SGSN сети UMTS становятся функциями элемента управления мобильностью MME. Функции контроллера RNC, которые не выполняет базовая станция eNB сети E-

UTRAN, и функции протоколов плоскости пользователя узлов SGSN и GGSN реализуются модулем UPE и шлюзовым узлом «привязки» 3GPP Anchor сети SAE. Этот узел предназначен для присоединения сетей 2G/3G к сети LTE.

Совокупность логических сетевых элементов MME/UPE, IASA, состоящего из узлов SAE Anchor и 3GPP Anchor (см. рисунок 1.8), образует базовую пакетную сеть (Evolved Packet Core — EPC). Данные логические элементы рассматривались в основном на начальных стадиях разработки стандартов сети LTE.

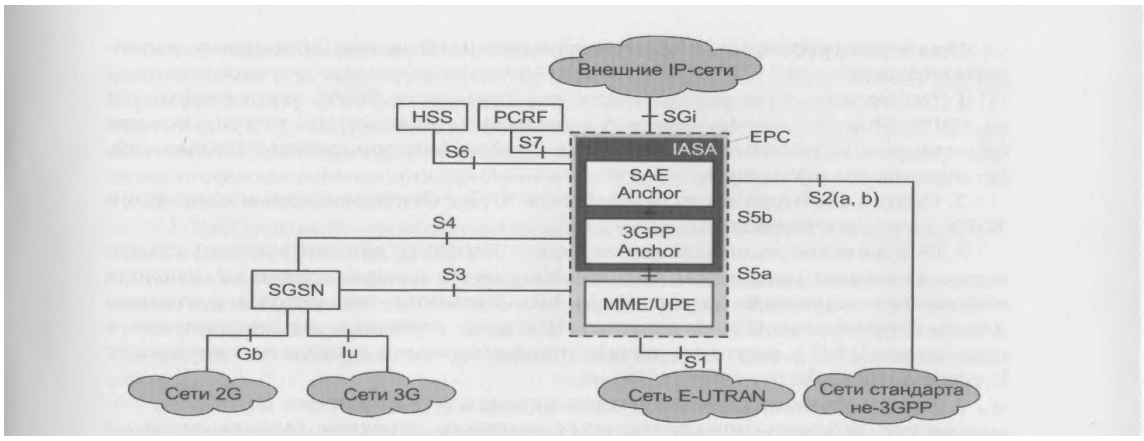


Рисунок 1.8 - Эталонная архитектура базовой сети SAE

Краткое описание основных интерфейсов сети SAE приведено в таблице 1.2.

Основные требования к архитектуре сети LTE можно обобщить следующим образом:

1. Поддержка сетей радиодоступа как стандартов 3GPP, так и стандартов Не-3GPP. При этом информация о возможных технологиях доступа должна передаваться на абонентский терминал с указанием приоритетов технологий, установленных оператором.

2. Полная совместимость базовой сети SAE с базовыми сетями стандартов 3GPP, начиная с Release 6.

3. Обеспечение минимальных задержек передачи данных согласно протоколам плоскости управления C-plane. Например, интервал времени перехода мобильного терминала из состояния Idle (терминал находится в состоянии Attached протокола GMM, выделен IP-адрес, терминал зарегистрирован в подсистеме IMS) в состояние начала приема/передачи данных по протоколам U-plane должно быть не более 200 мс.

4. Четкое функциональное разделение между элементами сети SAE, позволяющее избежать дополнительных задержек передачи данных

5. Функция управления мобильностью сети LTE должна решать задачи управления мобильностью как в сети E-UTRAN, так и между сетями E-UTRAN и сетями радиодоступа других типов.

6. Функция управления мобильностью сети LTE должна взаимодействовать с терминалами различных типов: фиксированными,

номадически мобильными и мобильными.

Таблица 1.2- Основные интерфейсы сети SAE

Интерфейс	Описание интерфейса
S1	Интерфейс, предоставляющий доступ к сети радиодоступа E-UTRAN для передачи данных протоколов плоскостей пользователя и управления. Позволяет иметь раздельную и комбинированную аппаратную реализацию элементов MME и UPE
S2a	Интерфейс между узлом IASA и фиксированными IP-сетями стандарта Не-3GPP. Обеспечивает передачу данных протоколов плоскости пользователя и поддержку функций управления и мобильности. Включает в себя интерфейсы S2a, S2b и S2c (см. табл. 1.2)
S3	Интерфейс между элементами MME/UPE и узлом SGSN. Обеспечивает управление межсетевым хэндовером абонентских терминалов в сетях E-UTRAN и UTRAN
S4	Интерфейс между узлом 3GPP Anchor иузлом SGSN. Обеспечивает передачу данных плоскости пользователя и поддержку функций управления и мобильности. Основан на интерфейсе Gn между узлами SGSN и GGSN сети UMTS [5,6].
S5a	Интерфейс между элементом MME/UPE и узлом 3GPP Anchor. Обеспечивает передачу данных протоколов плоскости пользователя и поддержку функций управления и мобильности
S5b	Интерфейс между узлами 3GPP Anchor и SAE Anchor. Обеспечивает передачу данных протоколов плоскости пользователя и поддержку функций управления и мобильности
S6	Интерфейс, обеспечивающий доступ к домашней базе данных пользователей (HSS) для аутентификации и авторизации пользователей (интерфейс AAA)
S7	Интерфейс, обеспечивающий управление установлением соединений с заданными параметрами QoS на основе политики сети и тарификацию (Policy and Charging Rules Function — PCRF)
SGi	Интерфейс между узлом IASA и внешними сетями с пакетной передачей данных. Эти сети могут принадлежать как разным операторам, так и одному оператору сотовой связи для предоставления, например, услуг подсистемы IMS. Этот интерфейс основан на интерфейсе Gi между узлами GGSN и внешними IP-сетями

1.2.1 Функции базовой сети SAE

В перечне функциональных возможностей базовой сети SAE можно выделить несколько основных функций:

- управление доступом в сеть (Network Access Control);
- маршрутизация и транспортировка пакетов данных (Packet Routing and Transfer);
-управление мобильностью абонентского терминала (Mobility Management);
- обеспечение безопасности (Security);
- управление радиоресурсами сети (Radio Resource Management);
- управление сетью (Network Management);
- выбор функциональных элементов сети;
- функции, связанные с использованием в сети IP-протокола.

Каждая из этих функций может включать в себя несколько частных функций.

Функция управления доступом в сеть. С помощью данной функции абонентский терминал присоединяется к базовой сети SAE. При этом выполняется ряд частных функций, представленных далее. Функция выбора сети/сети доступадает возможность абонентскому терминалу выбирать сеть мобильной связи или сеть доступа, посредством которой будет осуществляться IP-соединение абонентского терминала с сервисными платформами (серверами приложений). Выбор сети/ сети доступа зависит, прежде всего, от используемых этими сетями технологий. Для сетей стандартов 3GPP принципы выбора сети определены в технической спецификации TS 23.122, принципы выбора сети доступа — в технических спецификациях TS 36.300, TS 43.022 и TS 25.304. Для сетей стандартов Не-3GPP, базирующихся на IP-протоколе, принципы выбора сети/ сети доступа определены в технической спецификации TS 23.402.

Функция аутентификации и авторизации позволяет проверить подлинность абонента, определить доступность абоненту сетевых услуг в соответствии с его профилем и выполнить авторизацию мобильного терминала абонента, например, назначить IP-адрес, выделить сетевые ресурсы и активировать сетевую службу передачи данных (виртуальный сетевой канал — EPS Bearer). Функция аутентификации тесно связана с функцией управления мобильностью абонента [4].

Функция контроля доступатребуется для определения доступности запрашиваемых ресурсов сети и резервирования этих ресурсов согласно поступившему запросу в целях дальнейшего использования.

Функция применения сетевых политик и правил тарификации (PCEF)обеспечивает управление предоставлением услуг абоненту в соответствии с требуемым качеством услуг и тарификацию в соответствии с правилами, полученными от функции PCRF биллинговой системы. Согласно

спецификации TS 23.203 функция PCEF решает следующие основные задачи:

- обнаружение и регистрация потоков пакетов данных пользователей; при регистрации потоки пакетов данных пользователей отождествляются с IP-адресами и портами источника и получателя, с требуемым качеством обслуживания в соответствие с идентификаторами протокола IP (идентификатором Type of Service протокола IPv4 и идентификатором Traffic Class протокола IPv6) [5].

Процедура проверки подлинности мобильного терминала UE показана на рисунке 1.9.

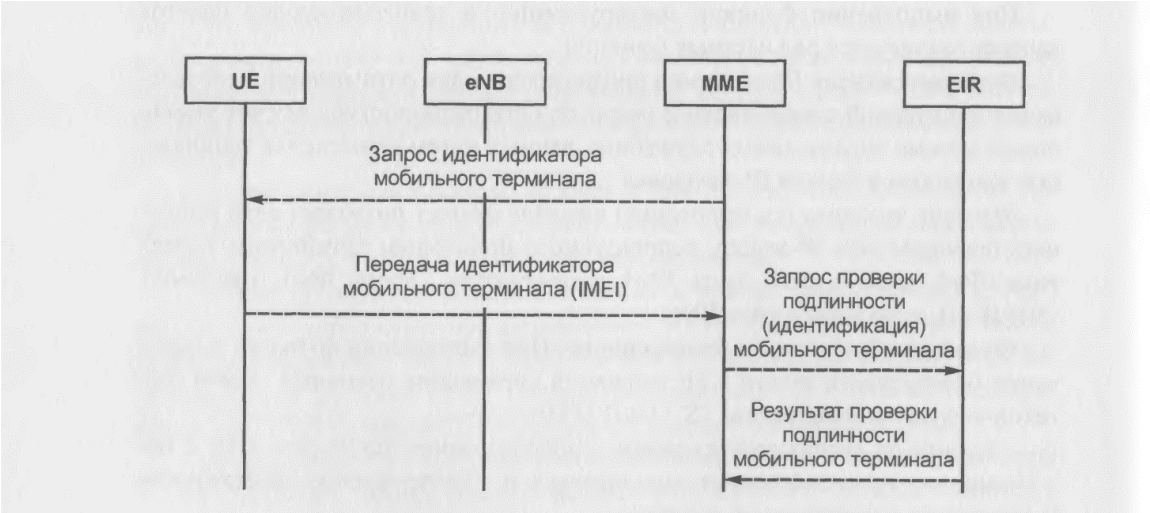


Рисунок 1.9 - Процедура проверки подлинности мобильного терминала

Отметим особенность идентификации мобильного терминала в условиях роуминга. Идентификация мобильного терминала выполняется регистром EIR домашней сети в случаях, когда визитная сеть получает от мобильного терминала запрос на присоединение Initial Attach. За исключением случая, когда запрос Initial Attach связан с выполнением процедуры хэндовера, а также в случае реализации процедуры обновления данных о зоне местоположения мобильного терминала (Tracking Area Update— TAU) в сети E-UTRAN. Если до этого мобильный терминал находился в сети UTRAN/GERAN и обслуживающий его ранее узел SGSN не предоставил данные об идентификации мобильного терминала.

1.3 Взаимодействие сети LTE с другими сетями стандартов 3GPP

Важной задачей, возникающей при взаимодействии сети LTE с сетями мобильной связи стандартов 3GPP (далее сети 3GPP), является поддержка мобильности терминала при его перемещении из зоны обслуживания одной сети в зону обслуживания другой [6].

Алгоритмы взаимодействия сети LTE с сетями 3GPP можно классифицировать следующим образом:

- алгоритмы обеспечения дискретной мобильности (роуминга);
- алгоритмы обеспечения непрерывной мобильности (хэндовера). Упрощенная схема сети LTE при ее взаимодействии с доменом пакетной коммутации (PS-доменом) других сетей 3GPP согласно технической спецификации 3GPPTS23.401 показана на рисунке 1.10. В качестве сетей радиодоступа на рисунке используются сети GERAN, UTRAN и E-UTRAN. Отметим, что на практике сетевые элементы (сервисный узел SGSN, обслуживающий шлюз S-GW и шлюз пакетной коммутации P-GW) конструктивно могут быть совмещены [7].

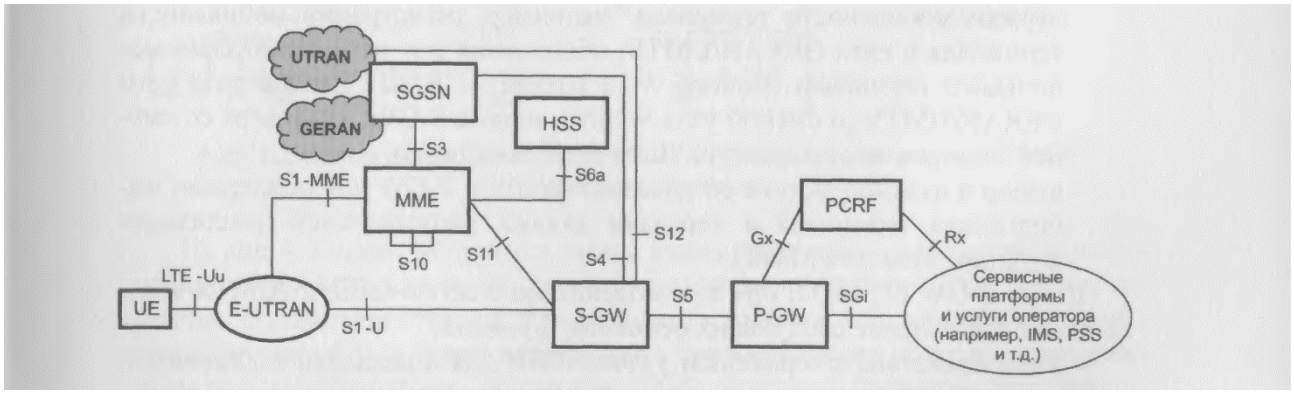


Рисунок 1.10 - Схема взаимодействия сети LTE с PS-доменом других сетей 3GPP

На рисунке 1.10 под PSS (PSTN/ISDN Simulation Services) понимается имитация (симуляция) программно-аппаратными средствами IP-сетей услуг телефонной связи, аналогичных услугам, поддерживаемым в сетях ТфОП на базе технологии коммутации каналов.

Согласно схеме рисунка 1.10 основными интерфейсами взаимодействия сети LTE с сетями 3GPP (GERAN/UMTS) являются интерфейсы S3, S4 и S12. Интерфейсы S3 и S4 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 Tunneling Protocol). Вторая версия протокола GTP (GTPv2) разработана с учетом особенностей построения базовой сети SAE (EPC). Интерфейс S12 по своему назначению аналогичен интерфейсу Gn между сервисным узлом SGSN и шлюзом GGSN сети GPRS.

Сервисный узел SGSN сети GERAN/UMTS при взаимодействии с сетью LTE выполняет следующие основные функции:

- выбор логического элемента MME и взаимодействие с ним для поддержки мобильности терминала (например, регистрации мобильности терминала в сети GERAN/UMTS; обновления зон местоположения мобильного

терминала (Routing Area Update — RAU); хэндовера в сети GERAN/UMTS со сменой узла SGSN и шлюза S-GW; хэндовера со сменой технологии сети доступа (Inter-RAT Handover));

- выбор и взаимодействие со шлюзами S-GW и P-GW для поддержки мобильности терминала и передачи данных пользователей (реализация функций элемента MME).

Шлюз S-GW сети LTE при взаимодействии с сетью GERAN/UMTS обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- взаимодействие с сервисным узлом SGSN для поддержки мобильности терминала;
- маршрутизация и передача трафика пользователя между узлом SGSN и шлюзом P-GW;
- управление качеством передачи данных по методу Diff Serv и маркировка пакетов данных в соответствии с индикатором качества QCI.

Элемент MME сети LTE при взаимодействии с сетью GERAN/UMTS обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- выбор узла SGSN и взаимодействие с ним для поддержки мобильности терминала;
- аутентификация и авторизация пользователей.

1.4 Обзор параметров LTE

1.4.1 Нисходящий канал

В нисходящем и восходящем канале применение технологии OFDM различно. В нисходящем канале эта технология используется не только для передачи сигнала, но и для организации множественного доступа (OFDMA) – т.е. для мультиплексирования абонентских каналов.

Помимо описанного физического структурного блока вводится понятие логического структурного блока. По числу ресурсных элементов они эквивалентны, однако возможно два варианта отображения ресурсных элементов физического блока в логический – один в один и распределено. В последнем случае элементы логического ресурсного блока оказываются распределенными по всей доступной ресурсной сетке.

Опорные сигналы могут быть трех видов – опорный сигнал, характеризующий ячейку (Cell-specific), сигнал, связанный с конкретным абонентским устройством, и сигнал для специального широковещательного мультимедийного сервиса MBSFN. Опорный сигнал служит для непосредственного определения условий в канале передачи (поскольку приемнику известно его месторасположение и исходная форма). На основе этих измерений можно определить реакцию канала для остальных поднесущих и с

помощью интерполяции восстановить их исходную форму.

Опорный cell-specific-сигнал должен присутствовать в каждом субкадре нисходящего канала (кроме случаев MBSFN-передачи). Форма сигнала определяется на основе псевдослучайной последовательности Голда (вариант m-последовательности), при инициализации которой используется идентификационный номер ячейки БС (Cell ID). Такой опорный сигнал равномерно распределен по ресурсным элементам (рисунок 1.11). Так, при стандартной длине префикса он транслируется в 0-м и 4-м OFDM-символе, при расширенном CP – во время 0-го и 3-го OFDM-символа. В частотной области опорные сигналы передаются через каждые шесть поднесущих, причем смещение определяется идентификатором ячейки, взятым по модулю 6.

Помимо опорных сигналов, в нисходящем канале транслируются и синхронизирующие сигналы. Синхронизирующие сигналы также однозначно определяют Cell ID. В LTE принята иерархическая структура идентификации ячейки, как и в предшествующей ей технологии WCDMA. Предполагается, что на физическом уровне доступно 504 Cell ID. Они разбиты на 168 ID-групп, по 3 идентификатора в каждой. Номер группы N1 (0–167) и номер идентификатора в ней N2 (0–2) однозначно определяют ID ячейки. Используется два синхросигнала – первичный и вторичный. Первичный синхросигнал представляет собой 62-элементную последовательность в частотном плане, задаваемую последовательностью Задова-Чу на основе идентификатора N2. Такая последовательность из 62 поднесущих, распределенных по ресурсной сетке симметрично относительно ее центральной частоты, передается в радио-кадре типа 1 в последнем OFDM-символе слотов 0 и 10 (субкадры 0 и 5) [8].

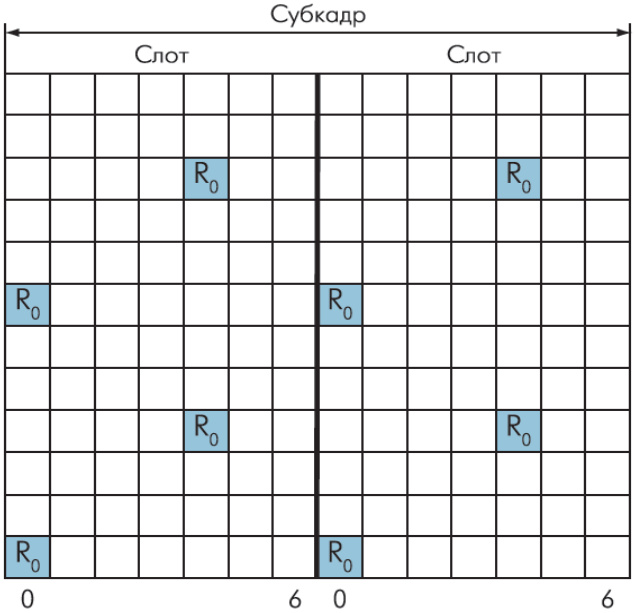


Рисунок 1.11 – Расположение опорного сигнала (cell-specific) в нисходящем канале ресурсной сетки LTE в случае работы с одной антенной

Из рисунка 1.11 видно, что формирование сигнала в нисходящем канале достаточно стандартно для современных систем цифровой передачи информации. Оно включает процедуры канального кодирования, скремблирования, формирования модуляционных символов, их распределения по антенным портам и ресурсным элементам и синтеза OFDM-символов. Канальное кодирование подразумевает вычисление контрольных сумм (CRC-24) для блоков данных, поступающих с MAC-уровня. Затем блоки с контрольными суммами обрабатываются посредством кодера со скоростью кодирования 1/3. В LTE предусмотрено применение либо сверточного кода, либо турбо-кода [9].

1.4.2 Восходящий канал

Применение OFDM в сочетании с циклическим префиксом делает связь устойчивой к временной дисперсии параметров радиоканала, в результате на приемной стороне становится не нужным сложный эквалайзер. Это очень полезно для организации нисходящего канала, поскольку упрощается обработка сигнала приемником, что снижает стоимость терминального устройства и потребляемую им мощность. В восходящем канале допустимая мощность излучения значительно ниже, чем в нисходящем. Поэтому первичным становится энергетическая эффективность метода передачи информации с целью увеличения зоны покрытия, снижения стоимости терминального устройства и потребляемой им мощности.

В связи с этим для восходящего канала LTE была предложена новая технология – SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access - множественный доступ с частотным разделением на базе одной несущей). Принципиальное ее отличие – если в OFDMA на каждой поднесущей одновременно передается свой модуляционный символ, то в SC-FDMA поднесущие модулируются одновременно и одинаково, но модуляционные символы короче. То есть в OFDMA символы передаются параллельно, в SC-FDMA – последовательно. Такое решение обеспечивает меньшее отношение максимального и среднего уровней мощности по сравнению с использованием обычной модуляции OFDM, в результате чего повышается энерго-эффективность абонентских устройств и упрощается их конструкция (существенно снижаются требования к точности частотных параметров передатчиков) (рисунок 1.12) [10].

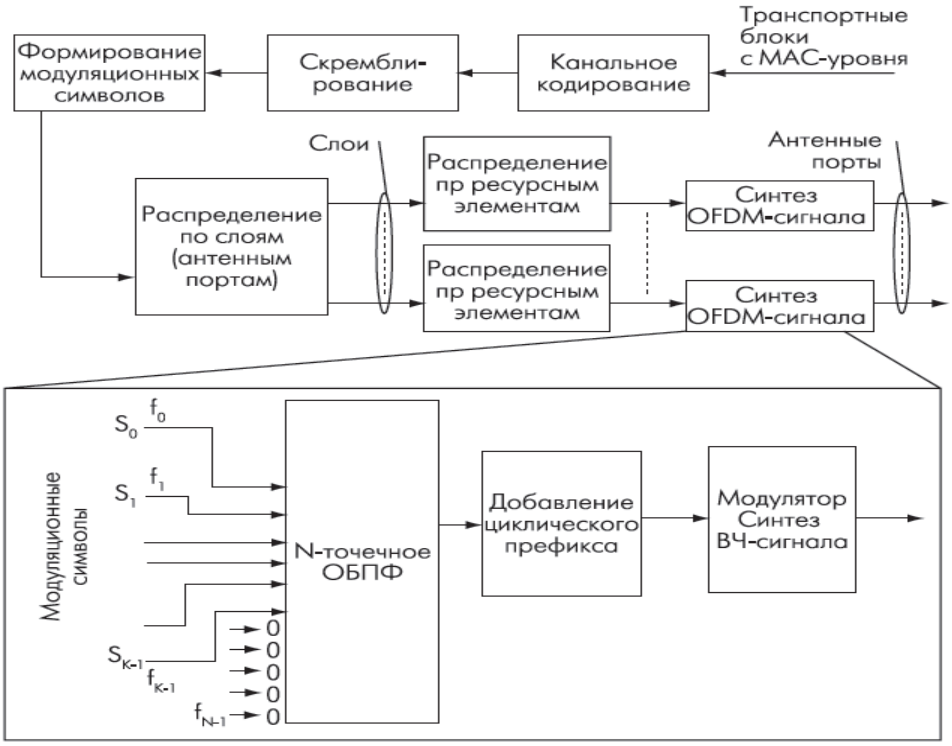


Рисунок 1.12 – Схема формирования сигнала в нисходящем канале

Из рисунка 1.13 видно, что структура SC-FDMA-сигнала во многом аналогична технологии OFDM. Так же используется композитный сигнал – модуляция множества поднесущих, расположенных с шагом Δf. Принципиальное отличие в том, что все поднесущие модулируются одинаково – т.е. единовременно передается только один модуляционный символ.

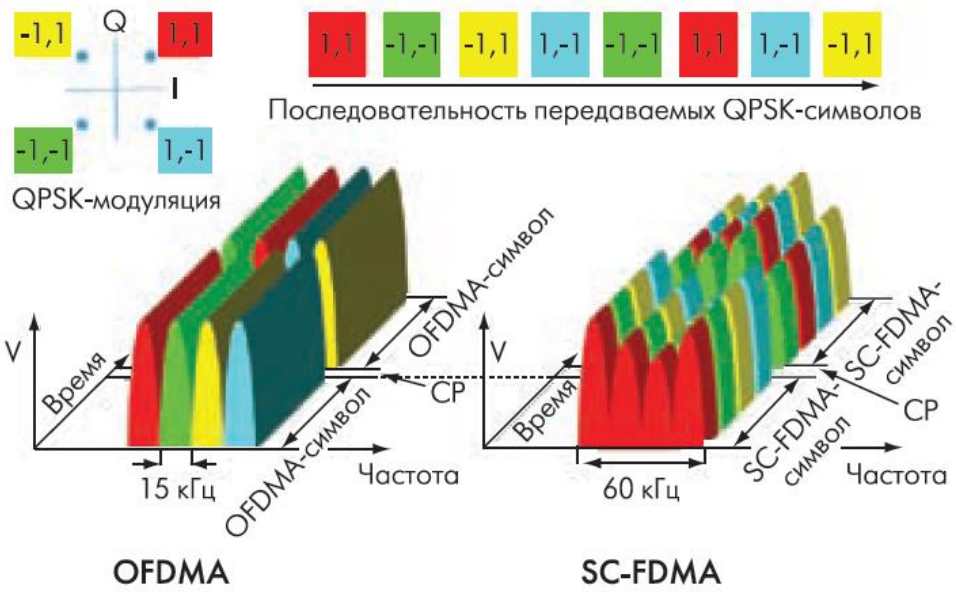


Рисунок 1.13 – Различие между OFDMA и SC-FDMA при передаче последовательности QPSK-символов

Из рисунка 1.13 видно, что в сетке может быть от 6 до 110 ресурсных блоков, но их число должно быть кратно 2, 3 или 5, что связано с процедурой дискретного Фурье-преобразования. Еще одна особенность – поддержка модуляции 64-QAM в АУ опциональна. Каждому абоненту сети для передачи данных от базовой станции с помощью функции планирования на определенное время выделяется определенное число ресурсных блоков. Расписание передается абонентам по служебным каналам в нисходящем радиоканале. Однако если при OFDMA один модуляционный символ (QPSK, 16- или 64-QAM) соответствует OFDM-символу на одной поднесущей (15 кГц, 66,7 мкс), то при SC-OFDMA ситуация иная. В частотном плане ширина модуляционного символа оказывается равной всей доступной полосе частот (он передается на всех поднесущих одновременно). При этом один SC-FDMA-символ содержит несколько модуляционных символов – в идеале столько же, сколько поднесущих – но в соответствующее число раз более коротких по сравнению с OFDMA. Сама процедура формирования SC-FDMA-сигнала отличается от схемы OFDMA. После канального кодирования, скремблирования и формирования модуляционных символов они группируются в блоки по M символов – субсимволов SC-FDMA. Очевидно, что непосредственно отнести их на поднесущие с шагом 15 кГц невозможно – требуется в N раз более высокая частота, где N – это число доступных дляпередачи поднесущих. Поэтому, сформировав группы по M модуляционных символов (M < N), их подвергают M – точечному дискретному Фурье-преобразованию (ДПФ), т.е. формируют аналоговый сигнал.

OFDMA- и SC-FDMA-сигналов имеют схожую функциональную структуру (рисунок 1.14 и 1.15).

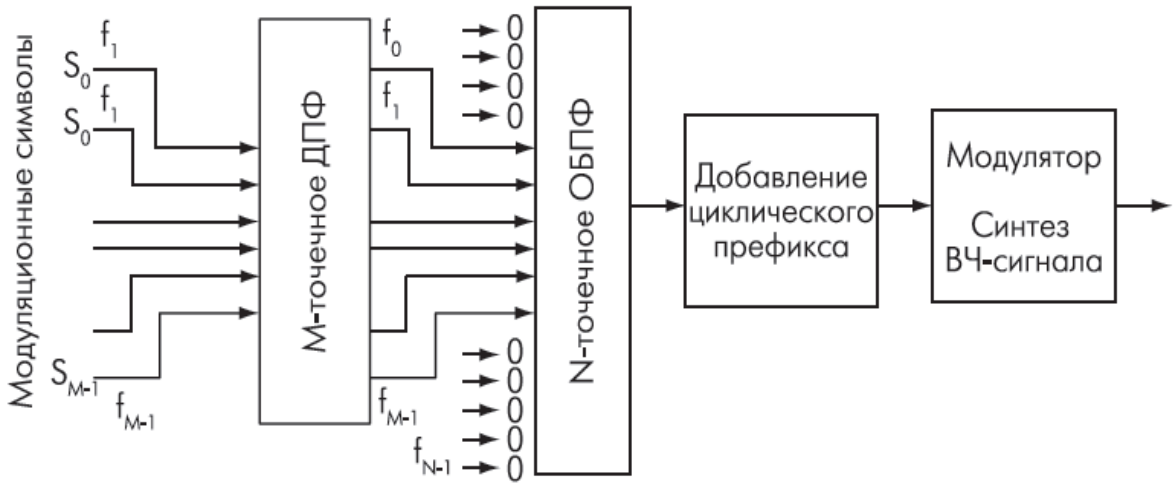


Рисунок 1.14 – Особенность формирования выходного сигналавслучае SC-FDMA

Из рисунка 1.14 отметим, что АУ может использовать как фиксированный

частотный диапазон (используются смежные ресурсные блоки, т.е. смежные поднесущие), так и распределенный – так называемый режим скачкообразной перестройки частоты (FH). В последнем случае для каждого слота восходящего канала используется новый ресурсный блок из доступной ресурсной сетки. Параметры перестройки частоты задаются сетевым оборудованием и сообщаются как при инициализации абонентской станции в сети, так и по ходу работы в канале управления. В случае распределенного способа – информация от каждого абонента распложена во всем спектре сигнала, поэтому данный способ устойчив к частотно-избирательному замиранию [11].

Из рисунка 1.15 видно, что с другой стороны, при локализованном способе распределения, возможно, определить полосу, в которой для данного абонента достигается максимальная устойчивость канала к замираниям. Поскольку области замирания сигнала для всех абонентов различны, то можно достичь общую максимальную эффективность использования радиоканала. Однако это требует непрерывного сканирования частотной характеристики канала для каждого устройства и организации функции диспетчеризации.

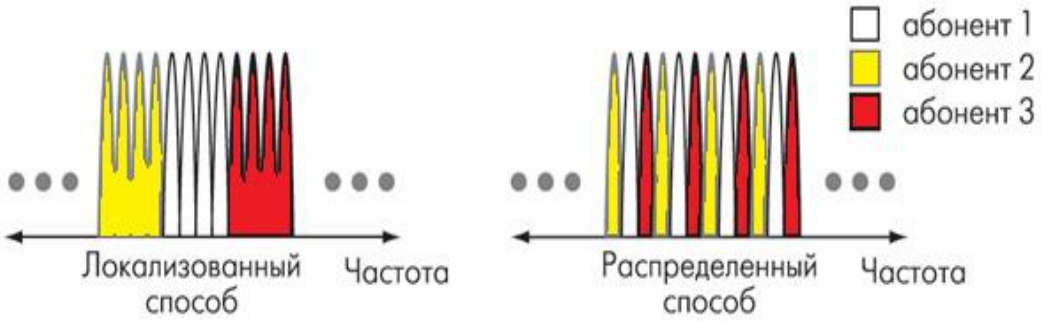


Рисунок 1.15 – Способы распределения поднесущих в SC-FDMA

Помимо собственно информации, генерируемой функциями верхних уровней, в восходящем канале передаются опорные сигналы. Их назначение – помочь приемнику БС настроиться на определенный передатчик АУ. Кроме того, эти сигналы позволяют оценить качество канала, что используется в БС при диспетчеризации ресурсов. Опорные сигналы в восходящем канале бывают двух видов – так называемые "демодулированные" и зондовые (sounding). Демодулированные опорные сигналы аналогичны опорным сигналам нисходящего канала. Они передаются на постоянной основе.

1.5 Технология MIMO

Технология MIMO (множественный вход — множественный выход) позволяет значительно увеличить помехоустойчивость каналов связи, т.е. уменьшить относительное число битов, принятых с ошибкой, без уменьшения

скорости передачи данных (например, из-за введения информационной избыточности помехоустойчивыми кодами, введения обратных связи HARQ) в условиях многолучевого распространения сигналов. Достоинства технологии MIMO связаны с использованием нескольких антенн [12].

Технологию MIMO можно еще считать не технологией, а методом формирования канала связи с несколькими антеннами. Обозначение MIMO обобщает целый ряд технологий:

-использование «интеллектуальных» антенн (intelligent antennas), позволяющих формировать узкую направленность передачи данных (лучи), устранять мешающие воздействия помех за счет их компенсации в приемном устройстве; эта технология дает возможность, как повысить помехоустойчивость канала связи, так и увеличить эффективность использования спектра за счет передачи данных в параллельных лучах;

-использование пространственно-временного кодирования (Space-Time Coding — STC);

-использование поляризационного разделения каналов, поляризационной обработки сигналов.

Все разновидности технологии MIMO направлены на достижение одной цели — увеличение пиковой скорости передачи данных в сетях связи за счет улучшения помехоустойчивости. Физический смысл возможности увеличения скорости передачи данных можно пояснить с помощью формулы Шеннона.

Базовая структура приемника, удовлетворяющего требованиям режимов MRC и MIMO, представлена на рисунке 1.16. Режим MRC и MIMO иногда называют «многоантенной» технологией, хотя этот термин не совсем точен. Отметим, что различие между двумя схемами, показанными на рисунках 1a и 1b, состоит не в количестве антенн, а в количестве трансиверов [13].

Упрощенная схема, поясняющая алгоритм пространственно-временного кодирования STC, приведена на рисунке 1.17. На этом рисунке показана передача данных двумя антеннами.

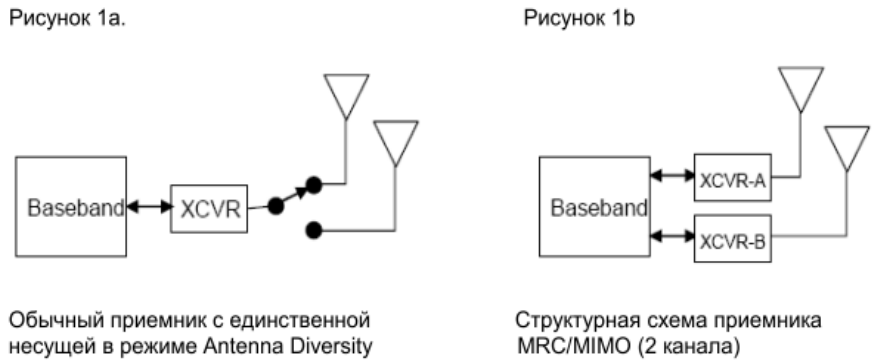


Рисунок 1.16 - Различие структурных схем антенн

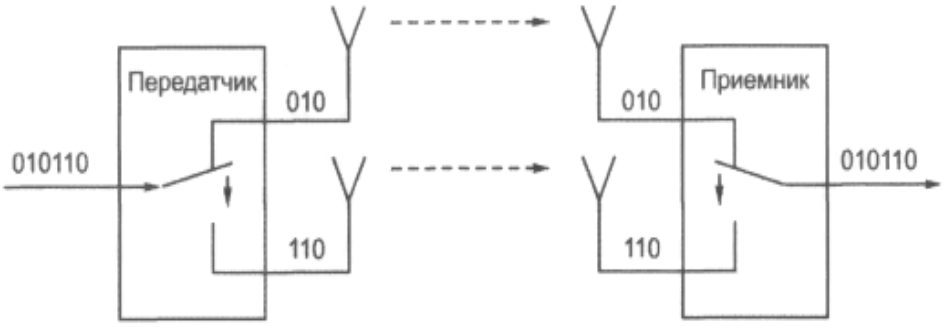


Рисунок 1.17 - Упрощенная схема алгоритма STC

В системах LTE на PHY уровне, как на базовой станции, так и на пользовательском терминале (UE) с целью достижения устойчивости и увеличения скорости данных в прямом канале могут применяться несколько трансиверов. Например, в случае тяжелых условий распространения при низком уровне сигнала, когда условия многолучевого распространения требуют увеличения передаваемой мощности, на приеме используется метод суммирования максимального отношения (MRC), представленный на рисунке 1.18.

В процессоре основной полосы (baseband) вводится компенсация для каждого из принимаемых сигналов, прежде чем они будут просуммированы для получения одного композитного принимаемого сигнала.

При суммировании по данному методу принимаемые сигналы складываются в процессоре основной полосы когерентно. Тепловые же шумы для каждого из трансиверов являются некоррелированными. Таким образом, линейное суммирование компенсированных по фазе и амплитуде сигналов впроцессоре основной полосы приводит в двухканальном приемнике MRC в условиях ограниченного шума к увеличению SNR не менее чем на 3 дБ.

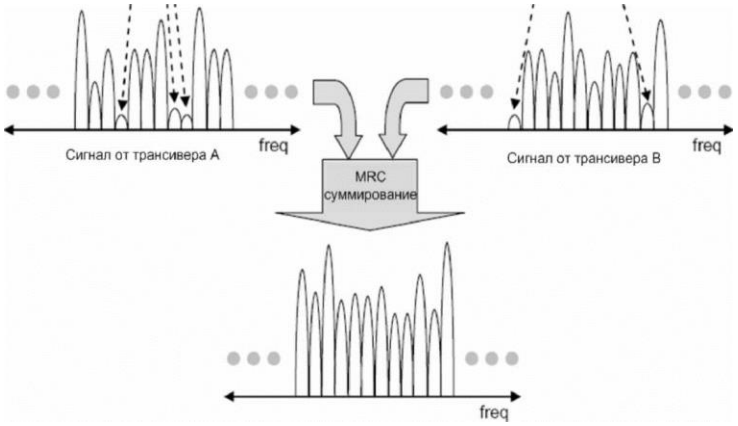


Рисунок 1.18-Метод MRC позволяет повысить надежность в условиях AWGN и частотно-избирательных замираний

1.6 Радиопланирование частот

Радиопланирование выполняется для фрагмента города площадью 7,6 кв. км (рисунок 1.19) с помощью программы ATOLL ‘A9955’.

Рисунок 1.19 - Цифровая карта города

Вначале было выполнено радиопланирование для системы LTE, были выбраны места установки базовых станций и рассчитано радиопокрытие. Результат радиопланирования: 22 базовые станции закрывают 7,5 из 7,6 кв. км (рисунок 1.20).

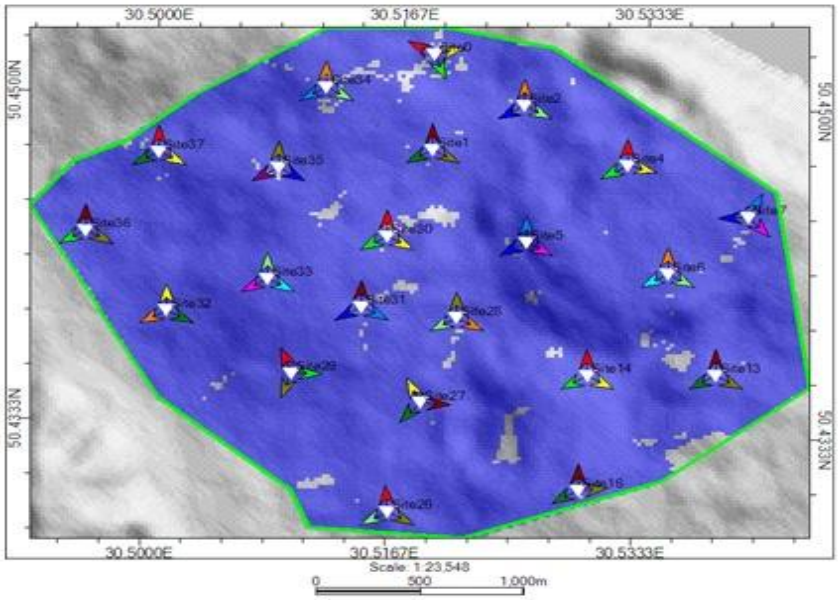


Рисунок 1.20 - Радиопокрытие LTE

Затем на тех же 22 позициях установили базовые станции WiMax и проверили радиопокрытие: результат – площадь радиопокрытия сократилась до 77% (рисунок 1.21).

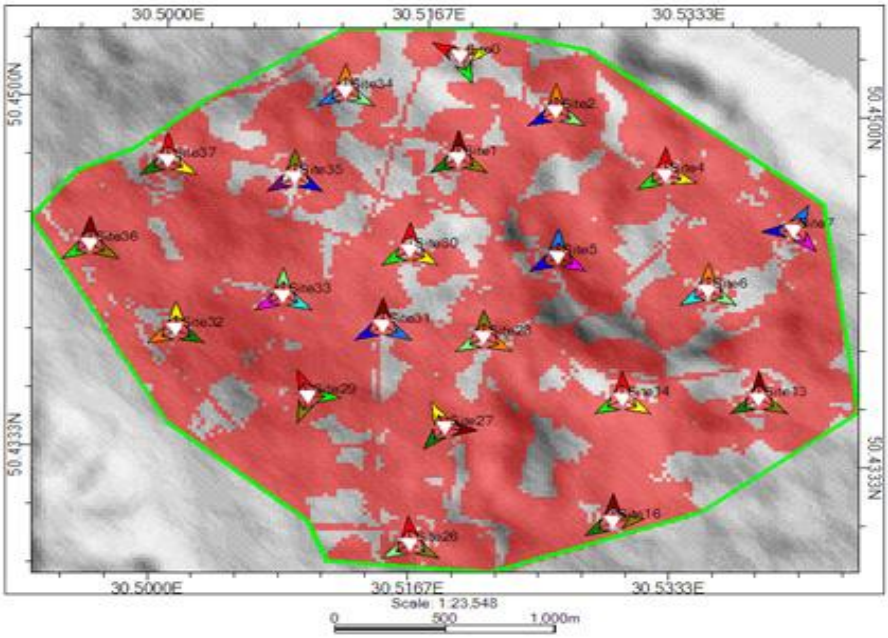


Рисунок 1.21 - РадиопокрытиеWiMax

Таблица 1.3 - Статистика радиопокрытия для обеих систем:

Система	Площадь	Фокусная зона
LTE	7,49 кв.км	98,5 %
WiMAX	5,85 кв.км	77 %

Оценка емкости и анализ пропускной способности соты проводится путем статистического моделирования в три этапа:

1. моделирование канального уровня – получение зависимости пропускной способности базовой/абонентской станции от отношения сигнал/шум на входе приемника;
2. моделирование системного уровня по методу Монте-Карло – получение функции распределения вероятности отношения сигнал/шум в соте, учитывающего мощность помех от соседних сот;
3. вычисление средней пропускной способности соты путем интегрирования характеристики канального уровня по плотности распределения отношения сигнал/шум в соте.

Пропускная способность соты LTE на линиях вниз и вверх выше, чем пропускная способность WiMAX.

Производительность сети: характеристики радиопокрытия и емкости сети LTE значительно выше характеристик WiMax.

Экосистема производителей: однотипность технологий LTE FDD и TDD и

возможность переиспользования технических решений крупного сотового рынка FDD для рынка ШБД гарантируют доступность, как сетевой инфраструктуры, так и терминального оборудования TD-LTE.

Таблица 1.4 - Средняя пропускная способность соты

Параметр	LTE/3GPP Rel.8	WiMAX/IEEE 802.16e
Конфигурация сети	15 МГц,коэф. переисп.частот1, ширина канала в секторе 15МГц,соотношение TDD 1:1, MIMO 2x2	15 МГц,коэф.переисп.частот 3,ширина канала в сект. 5МГц,соотношение TDD 3:2,MIMO 2x2
Средняя пропускная способность соты на линии вниз	11,8 Мбит/с (пиковая – 60 Мбит/с)	5 Мбит/с (пиковая – 13,5 Мбит/с)
Средняя пропускная способность соты на линии вверх	4,8 Мбит/с (пиковая – 20 Мбит/с)	1,5 Мбит/с (пиковая – 5 Мбит/с)

2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Расположение в сети и преимущества

Технология долгосрочной модернизации (LTE) - это следующий шаг на пути развития технологий 3G. LTE обеспечивает различные технические преимущества для сети радиодоступа (RAN), например одноуровневая структура сети, снижение задержек по времени, более высокубю скорость передачи пользовательских данных, улучшенную спектральную эффективность, оптимизированную поддержку услуги пакетной передачи данных, а также улучшенную емкость системы и зону покрытия. К тому же, LTE позволяет операторам использовать как существующие, так и новые спектральные ресурсы для услуг передачи данных и голоса [14].

2.1.1 Расположение в сети

eNodeB - это оборудование радиодоступа в системе LTE. eNodeB выполняет функции управления радиоресурсами (RRM), например управление радиоинтерфейсом, управление доступом, управление мобильностью, а также распределение ресурсов UE. Несколько eNodeB составляют развитую универсальную наземную сеть радиодоступа (E-UTRAN).На рисунке 2.1 показано расположение eNodeB в сети.

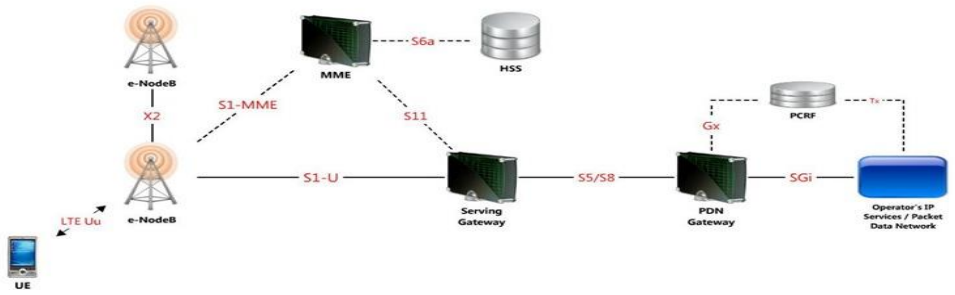


Рисунок 2.1 - Расположение eNodeB в сети

Описание элементов сети:
- eNodeB - E-UTRAN NodeB
- EPC - Развитая сеть пакетной передачи данных
- S-GW - Сервисный шлюз
- E-UTRAN - Развитая универсальная наземная сеть радиодоступа
- MME - Объект управления мобильностью
- UE - Оборудование пользователя

2.2 Базовая станция Huawei DBS3900

Сегодня сотовая связь развивается гигантскими темпами. Операторы, обгоняя конкурентов, предлагают много различных услуг. В строительство сетей 2G и 3G вкладываются большие деньги. Естественно, что сотовые операторы хотят эти затраты, как то оптимизировать, снизить, т.к. эти сети разнородные и строительство ведётся в обоих направлениях. Huawei предложили свой вариант решения проблемы, разработали контроллер базовых станций BSC6900, он работает одновременно в двух режимах, как GSM, так и UMTS. Китайцы также разработали базовую станцию Huawei DBS3900, которая тоже поддерживает двойной режим работы. Получается, что достаточно купить один контроллер и базовые станции DBS3900, и они будут обслуживать сеть GSM и UMTS (3G). Сокращение затрат ощутимо, даже при монтаже. Таким образом, это опять дало толчок к развитию Хуавэй оборудования. Эта базовая станция поддерживает работу по IP транспорту, что является очень важной характеристикой. Так же DBS3900 поддерживает плавный переход к сетям 4 поколения, LTE [15].

Рисунок 2.2 - Базовая станция Huawei DBS3900

DBS3900 имеет только 2 типа основных функциональных модулей, таким образом, значительно уменьшающ облечение в запасных частях и обслуживании. С превосходной приспособляемостью окружающей среды, основные модули можно легко приспособиться к приобъектным условиям для того чтобы достигнуть эффективного раскрытия, obviating комната оборудования. То есть, никакая дополнительная стоимость конструкции комната оборудования.

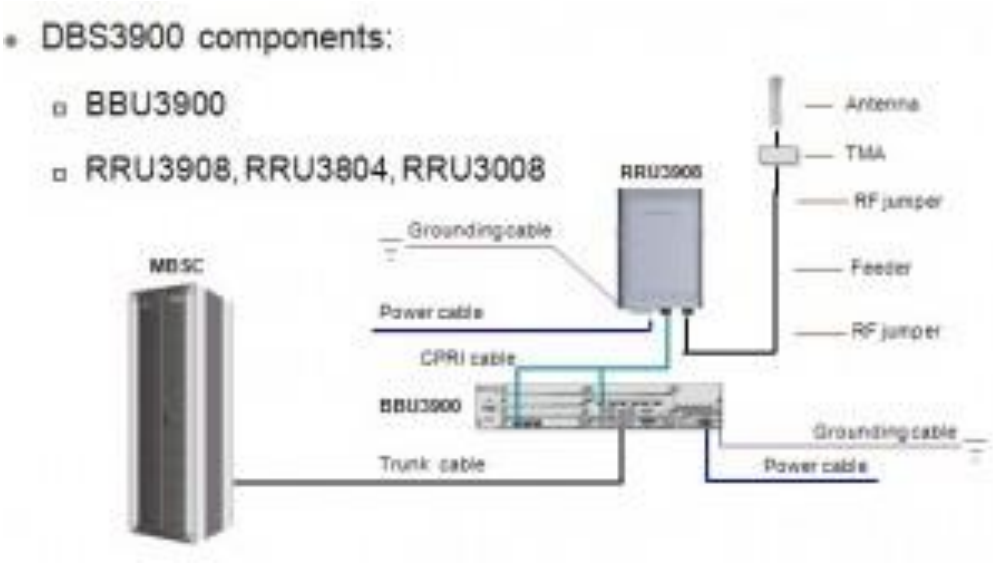


Рисунок 2.3 - Принципиальная схема Базовой станции DBS3900

Сама базовая станция DBS3900 состоит из трёх частей:

1. BBU- это основная часть БС (Обрабатывает информацию)
2. RRU- это передатчики TRx.
3. Антенна (Сектор, сота).

Секторы соединяются с RRU коаксиальными кабелями, так называемые джамперы. Блоки RRU размещаются на верху мачты, рядом с секторами. Это очень удобно, так как 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, релейка) и далее до контроллера базовой станции BSC6900 (через E1 по ATM или по IP).

Item	Specification
BBU3900 (GSM)	S24/24/24
BBU3900 (UMTS)	S8/8/8 1,536 CEs in the UL and 1,536 CEs + 15 × 24 HSDPA codes in the DL
BBU3900 (GSM+UMTS)	GSM S24/24/24+UMTS S8/8/8 1,536 CEs in the UL and 1,536 CEs + 15 × 24 HSDPA codes in the DL
RRU3908 (3GPP class2 GSM)	6TRX per RRU3908
RRU3908 (3GPP class2 GSM +UMTS)	G5U1 or G4U2
RRU3908 (3GPP class2 UMTS)	4 carriers per RRU3908
RRU3908 (ETSI GSM)	8 TRX per RRU3908
RRU3908 (ETSI GSM+UMTS)	G3U2
RRU3804	4 carriers per RRU3804

Рисунок 2.4 - Основные характеристики базовой станции DBS3900

RRU	Frequency band	RX band (MHz)	TX band (MHz)
RRU3908	900 MHz	890 to 915	935 to 960
		880 to 905	925 to 950
	850 MHz	824 to 849	869 to 894
	1800 MHz	1,710 to 1,755	1,805 to 1,850
		1,740 to 1,785	1,835 to 1,880
	1900 MHz	1,850 to 1,890	1,930 to 1,970
		1,870 to 1,910	1,950 to 1,990
RRU3804	Band I (2100 MHz)	1,920 to 1,980	2,110 to 2,170
	Band II (1900 MHz)	1,850 to 1,910	1,930 to 1,990
	Band IV (AWS)	1,710 to 1,755	2,110 to 2,155
	Band V/VI (850 MHz)	824 to 849	869 to 894

Рисунок 2.5 - Частотный диапазон

Усовершенствованная платформа BS, объединенная сеть 2G и 3G, совместное использование RAN и плавная модернизация DBS3900 LTE достигает плавной модернизации сети при совместном использовании аппаратной платформы и оборудования eNodeB четвертого поколения компании Huawei с DBS3900 GSM, DBS3900 UMTS или DBS3900 CDMA. Это позволяет снизить расходы на развертывание сайта LTE;

DBS3900 LTE поддерживает совместное использование сетей 2G или 3G, а также поддерживает хэндовер между LTE и PS-доменом GERAN/UTRAN/CDMA2000. Это упрощает процесс развертывания сети LTE в существующей сети 2G или 3G. DBS3900 LTE поддерживает совместное использование RAN. Различные операторы могут сообща использовать сеть RAN, что позволяет снизить капитальные расходы (CAPEX).

BBU3900 - блок управления основной полосой частот DBS3900 LTE. BBU3900 - это полностью готовое к использованию оборудование, относительно многомодовых приложений. Таким образом, BBU3900 поддерживает платы различных видов;

RRU - это удаленный радиоблок DBS3900 LTE. BBU3900 и RRU могут быть сконфигурированы соответствующим образом, согласно требованиям к величине емкости и зоне покрытия. Применив определенный подход при установке стека, может быть легко достигнуто увеличение емкости, при помощи механизма наложения модуля/платы, а не путем замены оборудования. Таким образом, расходы на модернизацию оборудования существенным образом снижаются. Большая емкость, широкий радиус действия и высокая пропускная способность;

DBS3900 LTE обладает большой емкостью, с отдельным eNodeB, который поддерживает максимум 3,600 пользователей в активном состоянии (с подключенным RRC). DBS3900 LTE имеет широкую зону действия. С такими возможностями, как наличие радиоприемника системы с разнесением и

множеством антенн, а также благодаря механизму межсотовой координации интерференции (ICIC) восходящего потока, DBS3900 LTE поддерживает максимальный радиус действия соты 100 км. DBS3900 LTE обеспечивает высокую пропускную способность. Благодаря разнообразным возможностям, таким как модуляция 64QAM высокого порядка, возможности множественного ввода/вывода (MIMO) в восходящем и нисходящем потоках и ICIC, максимальная пропускная способность DBS3900 LTE восходящего потока составляет 450 Мбит/с, а нисходящего потока - 300 Мбит/с. Усовершенствованная функция SON.

Автоматическое конфигурирование: DBS3900 LTE может выполнять автоматическое получение параметров соединения, выполнять загрузку ПО, конфигурирование данных, выполнять тестирование и выполнять отправку данных на EMS. Таким образом, для конфигурирования данных требуется меньшее количество времени, а также сокращается время на обработку, необходимое при запуске сайта. Таким образом, сокращаются эксплуатационные расходы. Автоматическая регулировка связей между соседними сотами (ANR): DBS3900 LTE имеет механизм автоматического обнаружения отсутствующих соседних сот. Также он может выполнять добавление или удаление соседних сот. Все эти механизмы улучшают скорость автоматического обнаружения и удаления соседних сот, а также позволяет снизить стоимость рабочей силы при планировании и оптимизации сети. Автоматическое обнаружение конфликтов между физическими идентификаторами сот (PCI), нерабочими сотами и неисправностями антенны: конфликты PCI, неработающие соты и неисправности антены система определяет автоматическию. Далее формируются отчеты о неисправностях. Все это позволяет снизить нагрузку и увеличить эффективность работы, чем при определении неисправностей вручную.

2.2.1 Архитектура

DBS3900 LTE имеет распределенную архитектуру. DBS3900 LTE включает два основных модуля: Блок обработки базовых частот (BBU3900) и удаленного радиочастотного блока (RRU). BBU3900 и RRU осуществляют взаимодействие посредством стандартизованного радио интерфейса общего пользования (CPRI) через оптический кабель.

Вспомогательные устройства DBS3900 LTE являются несущим элементом BBU3900 и RRU. Вспомогательные устройства предоставляют место для установки BBU3900 и электропитание для BBU3900 и RRU. В качестве вспомогательных устройств DBS3900 LTE используются усовершенствованный модуль питания с системой охлаждения (APM30H), статив для резервного аккумулятора (BBC), а также статив передачи (TMC). Комбинируя два основных функциональных модуля и дополнительное оборудование, можно

создавать различные варианты сайтов, которые удовлетворяют различным сценариям. Выполняет централизованное управление всем оборудованием DBS3900 LTE, относительно эксплуатации и техобслуживания (OM), а также обработки сигнализации.

2.2.2 Блок обработки базовых частот

BBU3900 - блок обработки базовых частот выполняет следующие функции:

- Предоставляет порты для связи между eNodeB и MME или S-GW а также выполняет обработку соответствующих стеков протоколов передачи;
- Предоставляет порты CPRI для взаимодействия с RRU и выполняет обработку сигналов базовых частот восходящего и нисходящего потоков;
- Выполняет централизованное управление всем оборудованием DBS3900 LTE, относительно эксплуатации и техобслуживания (OM), а также обработки сигнализации;
- Предоставляет канал OM для подключения к локальному терминалу техобслуживания (LMT) или iManager M2000;

BBU3900 имеет компактные размеры и составляет 19 дюймов в ширину и 2 U в высоту. Он может быть смонтирован как на внутреннюю стену автозала, так и в стандартный статив. На рисунке 2.6 представлен блок BBU3900.

Рисунок 2.6 - Внешний вид BBU3900

Конфигурация BBU3900 включает следующие платы:
- Основной блок обработки и передачи LTE (LMPT);
- Блок обработки базовых частот LTE (LBBP);
- Универсальный блок питания и интерфейсов контроля внешней среды (UPEU).

На рисунке 2.7 показана конфигурация плат BBU3900.

Рисунок 2.7 - Конфигурация плат BBU3900

Решение DBS3900+APM30H обладает следующими преимуществами:

- BBU3900 и оборудование передачи устанавливается в APM30H и RRU3201 устанавливается в непосредственной близости от антенны. Это позволяет сократить расходы на прокладку оптоволокна и улучшить зону покрытия системы;
- APM30H предоставляет пространство для установки BBU3900 и его защиту при использовании на открытом воздухе, а также обеспечивает питание –48В DC для BBU3900 и RRU. К тому же, APM30H имеет функцию управления аккумулятором, также выполняет мониторинг и защиту от перенапряжения;
- Все возрастающие требования к резервному питанию могут быть удовлетворены путем добавления BBC. Если резервное питание требуется больше 184 А-ч, то добавляются два BBC, как показано на рисунке 2.9. Далее формируются отчеты о неисправностях. Все это позволяет снизить нагрузку и увеличить эффективность работы, чем при определении неисправностей вручную, которые предоставляют достаточно большое количество для установки. RRU устанавливается в непосредственной близости от антенны.

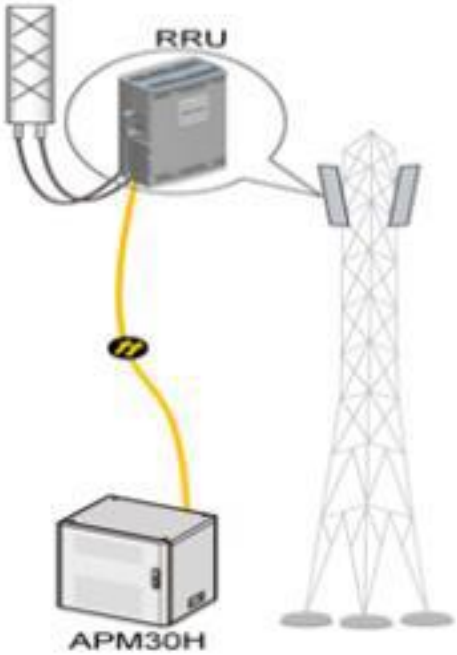


Рисунок 2.8 - Схема применения BBU+RRU+APM30H

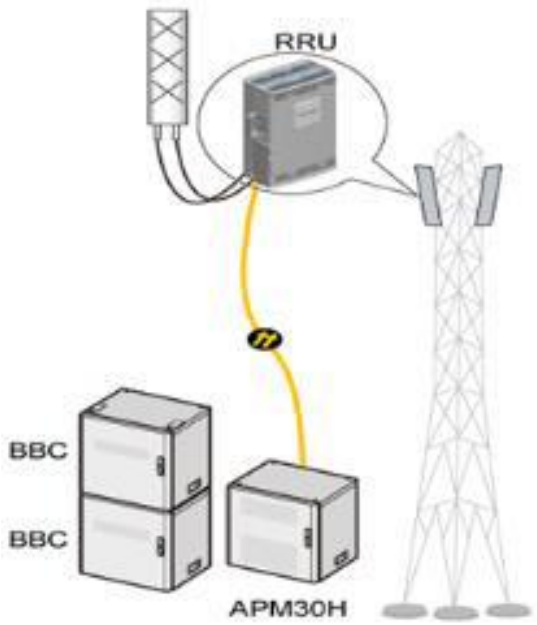


Рисунок 2.9 – Схема применения BBU+RRU+APM30H+2 BBC

BBU+RRU+TMC - Если новый внешний сайт DBS3900 LTE имеет питание –48В DC и требует большого пространства для установки, то применяется решение BBU+RRU+TMC, BBU3900 и оборудование передачи устанавливается в TMC, которые предоставляют достаточно большое количество для установки. RRU устанавливается в непосредственной близости от антенны. Это позволяет сократить расходы на прокладку оптоволокна и улучшить зону покрытия системы. На рисунке 2.10 показана схема применения BBU+RRU+TMC. Если резервное питание требуется больше 184 А-ч, то добавляются два BBC. Далее формируются отчеты о неисправностях.

Рисунок 2.10 - Схема применения BBU+RRU+TMC

BBU+RRU+19-дюймовый статив

Для совместного размещения DBS3900 LTE и базовых станций 2G или 3G, BBU3900 может быть установлен в стандартный статив, который имеет размеры 19-дюймов в ширину и 2 U в высоту для BBU3900. Блок RRU может быть установлен на крышу или мачту в непосредственной близости от антенны. Это решение BBU+RRU+19-дюймовый статив. К тому же, BBU3900 и RRU

могут использовать систему питания и систему передачи существующей базовой станции. Таким образом, операторы могут запустить услуги LTE на базе существующих сетей 2G или 3G с очень низкими затратами.

2.2.3 Усилитель мощности TriQuint TGA2450-SM для сетей LTE и W-CDMA

Рассчитаны на частотный диапазон 2110-2170 МГц. Компания TriQuint Semiconductor объявила о выпуске своего первого интегрированного усилителя мощности TGA2450-SM для «small cell» базовых станций и активных антенн. Решения small cell являются ключевыми компонентами в 3G/4G сетях мобильной связи, включая LTE.

Усилитель мощности Модуль представляет собой полностью интегрированное поверхностного монтажа 3-ступенчатого Усилитель мощности модуль, предназначенный для 3G и 4G небольших приложений база сотовой станции с 1 Вт RMS на антенны. Благодаря 20-контактный 20x20 мм пластиковый пакет, этот компактный 50Ω Усилитель мощности модуля меньше, чем традиционных дискретных решений компонентов и требует минимальных внешних компонентов. Конструкция включает в себя финальный этап Doherty для достижения высокой мощности добавленную эффективность 35% для всего модуля на 2,5 Вт средней мощности. TGA2450-SM поддерживает несколько режимов и несущих сигналы. Модуль включает в себя технологию устройства InGaP / GaAs HBT чтобы обеспечить сочетание высокой эффективности и совместимости DPD.

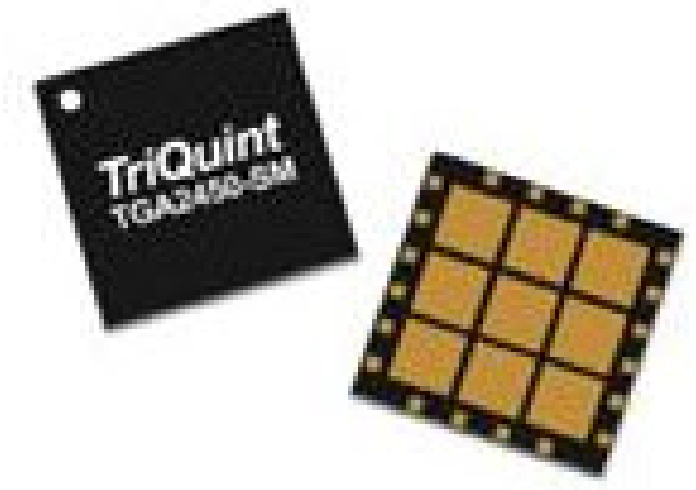


Рисунок 2.11 - Усилитель мощности TriQuint TGA2450-SM

	Частотный диапазон (ГГц)	Средняя выходная мощность (Вт)	PAR / P3dB (дБ) / (Вт)	Усиление (дБ)	Vcc / PAE	Линейность (дБ)	Корпус	Наименование
Усилитель мощности со схемой Догерти	2.11 - 2.17	2.5	7.5-8 / 18	35	18 & 5 / 35%	-55 ACLR	SMP	TGA2450-SM

Рисунок 2.12 – Основные характеристики

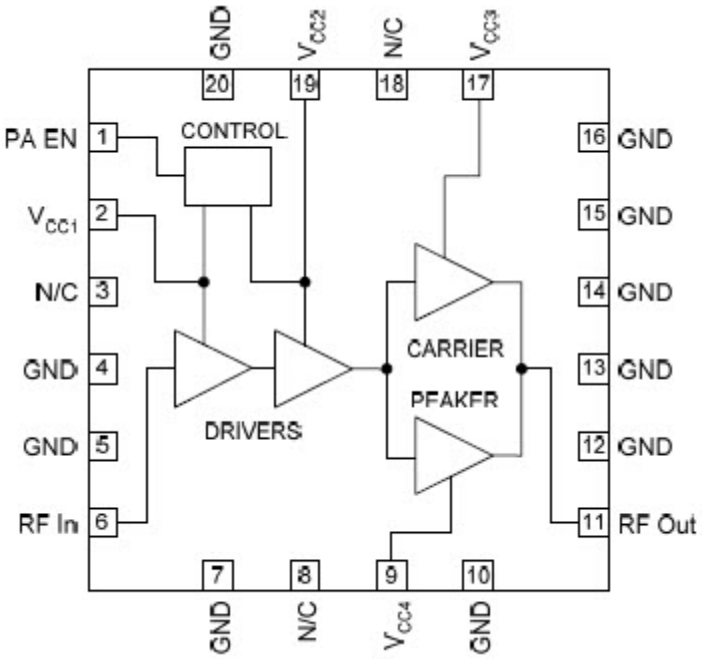


Рисунок 2.13 - Функциональная блок-схема

2.3 Описание трансмиссионной части оборудование

Устройство серии ATN является корпусным продуктом, используемым для многофункционального доступа на границе городской вычислительной сети (MAN). Устройства серий ATN и CX600 могут использоваться для построения сетей MAN с маршрутизацией сигнала, которые поддерживают сквозной пеленг FMC.

Принимая вызовы, стоящие перед службами связи относительно ресурсов, затрат и услуг на уровне доступа в процессе развития мобильных сетей, устройства серии ATN, в которых соблюдается концепция компании Huawei «Any Media», обеспечивают устойчивые решения IP RAN для

приложений стандартов 2G, 3G, и Long Term Evolution / «Долгосрочное развитие» (LTE). На рисунке 2.14 показан маршрутизатор ATN 950B.

Рисунок 2.14 - Вид маршрутизатора ATN 950B

Маршрутизаторы ATN 950B хорошо взаимодействуют с оборудованием от других поставщиков. Маршрутизаторы ATN 950B могут осуществлять связь с устройствами, выпущенными не компанией Huawei, осуществляя беспрепятственный доступ на границе сети. Все параметры Уровня 3, которыми обладают маршрутизаторы ATN 950B, предусматривают возможность взаимодействия с городской вычислительной сетью (MAN), надежно защищая инвестиции клиентов.

2.3.1 Характеристики соединения

Маршрутизатор ATN 950B обеспечивает следующие функции на интерфейсах Ethernet:

- Управление потоком данных и автоматическое согласование скоростей на интерфейсе Gigabit Ethernet;
- Группирование до 8 физических интерфейсов Ethernet;
- Сформированный интерфейс Eth-магистрали функционирует так же, как и общий интерфейс Ethernet во вспомогательных службах;
- Связывание интерфейсов на различных платах в единую Eth-магистраль;
- Маршрутизатор ATN 950B может автоматически выполнять активное/резервное переключение на интерфейсах-участниках Eth-магистрали, если состояние канала интерфейсов изменяется;
- Добавление или удаление интерфейсов-участников к интерфейсу Eth-магистрали или из нее;
- Маршрутизатор ATN 950B предусматривает интерфейс E1.

Интерфейс E1 поддерживает следующие протоколы передачи данных: PPP, ATM, TDM.

Интерфейс E1 поддерживает функцию кольцевой проверки интерфейса, включая локальную кольцевую проверку и дистанционную кольцевую проверку. Устройство серии ATN является корпусным продуктом, используемым для многофункционального доступа на границе городской вычислительной сети (MAN). Устройства серий ATN и CX600 могут

использоваться для построения сетей MAN с маршрутизацией сигнала, которые поддерживают сквозной пеленг FMC.

Принимая вызовы, стоящие перед службами связи относительно ресурсов, затрат и услуг на уровне доступа в процессе развития мобильных сетей, устройства серии ATN, в которых соблюдается концепция компании Huawei «Any Media», обеспечивают устойчивые решения IP RAN для приложений стандартов 2G, 3G, и Long Term Evolution / «Долгосрочное развитие» (LTE).

На рисунке 2.14 показан маршрутизатор ATN 950B. Маршрутизаторы ATN 950B могут осуществлять связь с устройствами, выпущенными не компанией Huawei, осуществляя беспрепятственный доступ на границе сети. Все параметры Уровня 3, которыми обладают маршрутизаторы ATN 950B, предусматривают возможность взаимодействия с городской вычислительной сетью (MAN), надежно защищая инвестиции клиентов.

2.4 Выбор оборудования электропитания

Электропитание оборудования базовой станции осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В. Питающее напряжение 220В взято с трансформаторной подстанции (ТП) и заведено в помещение для размещения оборудования базовой станции.

Питающее напряжение поступает в вводно-распределительное устройство, откуда питание подается на контур общего освещения, систему отопления, кондиционер и источник бесперебойного питания (ИБП) переменного тока.

ИПБ переменного тока включает в себя выпрямительно-зарядное устройство, блок аккумуляторных батарей и инвертор. От выпрямительно-зарядного устройства питание постоянного тока 48В подается на коммутатор «Huawei ME 3600 X 24CX», подзарядку аккумуляторных батарей и инвертор. Аккумуляторная батарея включается в работу в случае прекращения подачи питания от ТП. Инвертор преобразует постоянный ток напряжением 48 Ввпеременный ток напряжением 220В и питает радиомодули «Flexi Multi radio» (PM).

Для защиты внутреннего оборудования от перенапряжения в разрыв питающего кабеля ставятся грозоразрядники, соединенные с «землей» через заземляющую шину (ГЗШ).

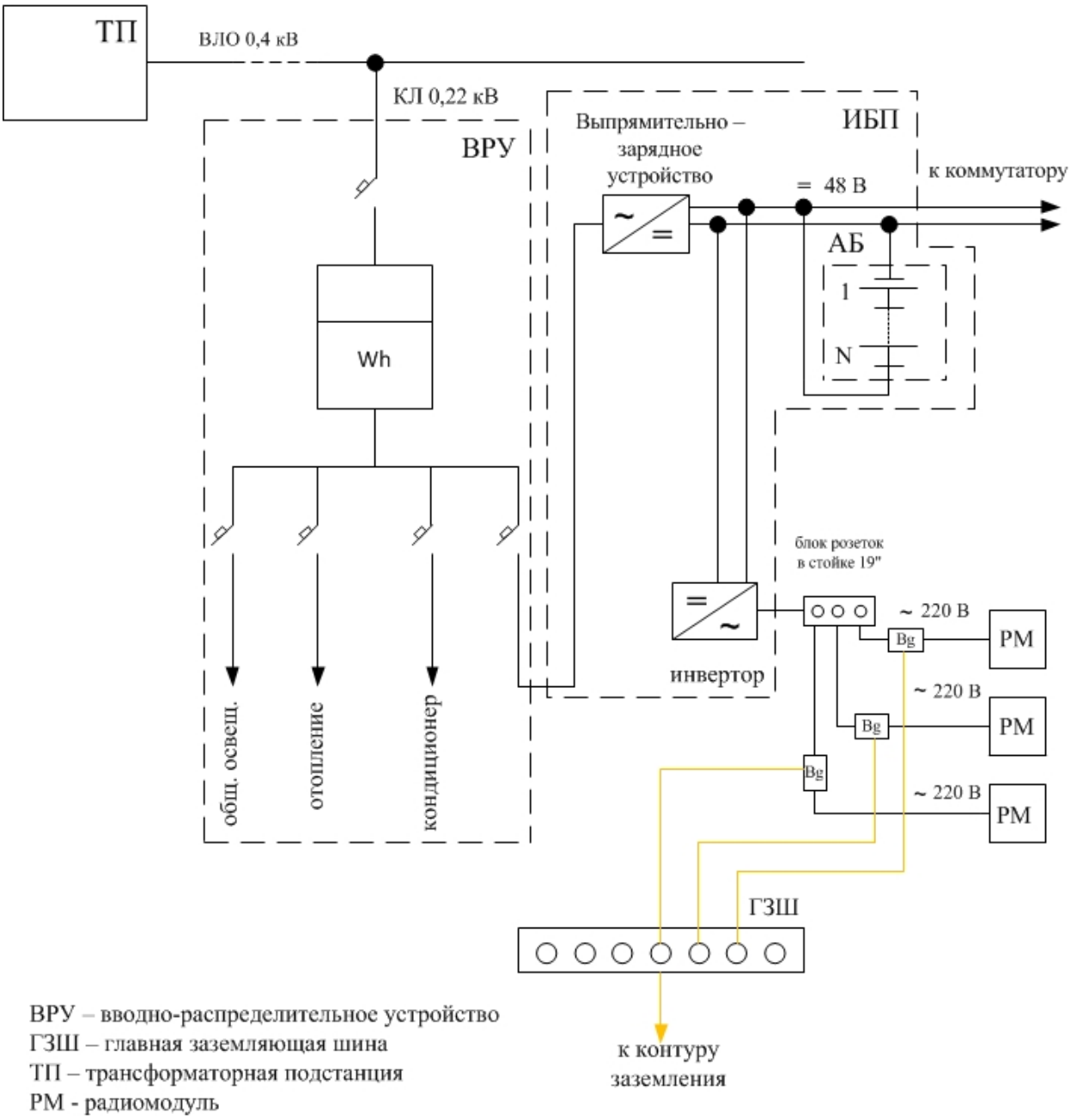


Рисунок 2.15 - Схема электропитания базовой станции

3 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

3.1 Расчет энергетического потенциала линии

Энергетический потенциал линии рассчитывает максимально допустимое затухание сигнала, называемоепотерей на трассе (распространения радиоволн), между антеннами мобильной и базовой станции. Максимальная потеря на трассе позволяет рассчитать максимальное покрытие территории соты с помощью различных моделей, типа Окумура-Хата, детерминированный метод и т.д. Расчет покрытия ячеек позволяет вычислить число необходимых базовых станций на искомую территорию. Энергетический потенциал линии указывает, насколько хорошо новые системы LTE радио будут работать, когда они развернуты на территории существующих базовых станций сайтов, которые предназначены для GSM и WCDMA.

Параметры для расчета затуханий LTE на восходящем канале приводятся в таблице 3.1. В соответствующей таблице 3.2 представлены расчеты для нисходящего канала. Расчеты произведены с учетом выбора антенн конфигураций 2X2 на мобильной и базовой станциях [16].

Данный расчет произведен с учетом использования скорости передачи 64 Кбит/с. Чтобы гарантировать большую скорость, нужно учесть, что при низкой частоте передачи, большего количества сайтов, решения более мощных передатчиков антенн MIMO и т.д. показания лучше, а вследствие и скорость.

Таблица 3.1 - Энергетические параметры uplink

Наименование	Примечание	Ед. измерения	Значение
Необходимая скорость передачи данных		Кбит/с	12.2
Число ресурсных блоков			1
Используемая полоса пропускания	12 поднесущих по 15 КГц	КГц	180
Сигнал/шум		дБ	-3.6
Значение шума eNodeB		дБ	3.0
Чувствительность eNodeB	Минимальный необходимый уровень сигнала	дБм	-122.1
Усиление антенны	Усиление трехсекторной антенны	дБ	16
Потери на кабеле и коннекторе	Зависит от типа оптоволокна, длины и частоты	дБ	0.5

Продолжение таблицы 3.1

Наименование	Примечание	Ед.измерения	Значение
Потери тела	3 дБ припередачи речи (МТ возле головы) и 0 дБ для информации	дБ	3
Дополнительные потери		дБ	0
Вероятность покрытия		%	95
Shadowing margin	МТ может перейти в соседнюю соту	дБ	8.6
Усиление хэндофа		дБ	3.6
Fast Fading Margin		дБ	0
Penetration Margin	Зависит от глубины покрытия (внутри, снаружи помещения)	дБ	17
Interference margin	Потери на интерференцию возникают при увеличении шума МТ, которые в свою очередь возникают из-за интерференции от других абонентов	дБ	3.0
Мощность передатчика МТ		дБм	23
Усиление антенны МТ		дБ	0
Общее затухание	Path Loss	дБ	132.6
Радиус покрытия		км	1.667

Таблица 3.2 - Энергетические параметры downlink

	Обозначение	Примечание	Значение
a	Tr_pow	Максимальная передающая мощность базовой станции	46 dBm
b	BS_ant_gain	Коэффициент усиления антенны БС	16 dB
c	Cable loss	Потери кабеля (зависят от типа кабеля, применяемого между RF и BBU в базовой станции. В нашем случае- оптоволоконный кабель)	0.5
e	UE_RF_noise	RF шуммобильноготерминала	6 dB
f	Term_noise	Шум БС рассчитывается как k(коэффициент Больцмана)*T(290K)*п/п (20 МГц).	-100.9

Продолжение таблицы 3.2

	Обозначение	Примечание	Значение
g	e+f		-95 dB
h	SNR	Отношение сигнал/шум	-9 dB
i	g+h		-104 dB
j	Interf_margin	Потери на интерференцию возникают при увеличении шума МТ, которые в свою очередь возникают из-за интерференции от других абонентов	3 dB
k	Cont_channel_overhead	Потери PDCCH,PBCH,PHICH	0.5
l	UE_ant_gain	Коэффициент усиления антенны мобильной станции	0 dBi
m	Body loss	Потери на тело (вследствие близкого расположения терминала к голове человека)	3
	Итого		143

Общее затухание по энергетическим характеристикам рассчитывается[17]

$$PathLoss=P_{maxTX}+Txgain-Txloss+Rxgain-Rxloss-BodyLoss-Penetration-Sensitivity-InterfMarin-ShadowingMargin+HOGain \quad (3.1)$$

Для восходящего направления:

$PathLoss_{UL}$=23+16-3-0.5+3-3-17+122.1-3-8.6+3.6+3=132.6 дБ

Для нисходящего направления:

$PathLoss_{DL}$=46+16-3-0.5+3-3-17+122.1-3-8.6+3.6+3=155.6 дБ

3.2 Расчет радиуса покрытия

Существует достаточно большое количество эмпирических моделей предсказания потерь при распространении сигналов для различных типов местности. Наиболее известной и используемой является модель предсказания Окумура и Хата в случае изотропных (идеальных всенаправленных), имеющих коэффициенты усиления, равные 1, антенн базовой станции и подвижного объекта.

Данными формулами можно пользоваться, если выполняются следующие условия [18]:

- f_0: от 150 до 1500 МГц;
- h_b: от 30 до 200 м; возможно расширение диапазона (от 1,5 до 400 м);
- h_m: от 1 до 10 м;
- r: от 1 до 20 км; возможно расширение диапазона (от 2м до 80 км).

Полученные результаты расчета сводят в таблицу.

Применяется метод Окумура-Хата. Существует 4 модели Хата: открытая, сельская местность, малонаселенный город и мегаполис. Она используется для диапазона частот от 500 МГц до 2000 МГц и рассчитывает общее затухание

$$PathLoss_{UL} = 69.55 + 26.16\log10\ (f_{kMz})_13.82\log_M\ (h) - a\ (h_m) + [44.9 - 6.55\log_M\ (h)]^{**}\log_w\ (d_{km}) - K \quad (3.2)$$

где $PathLoss_{UL}$ - это общее затухание;
f_{MHz} -частота несущей в МГц;
h_b - высота базовой станции в метрах;
h_m - высота мобильной станции в метрах;
a (h_m) and K - это характеристики окружающей среды.

Причем радиус покрытия в нисходящем канале не ограничивается, для типичных выходных мощностей eNodeB (10-40 Вт) и сценарий развертывания с мощностью мобильного терминала в 23 дБ, энергетический потенциал линии связи ограничен только в восходящем канале.

Радиус покрытия d_{km} может быть рассчитан как (рисунок 3.1)[8]:

Вид местности	a(h)	K
Открытая	$[1.1log_{10}(f_{MHz}) - 0.7] - [1.56log_{10}(f_{MHz}) - 0.8]$	$4.78[log_{10}(f_{MHz})]^2 - 18.33log_{10}(f_{MHz}) + 40.94$
Сельская		$2[log_{10}(f_{MHz}/28)]^2 + 5.4$
Малонаселенный город		0
Мегаполис	$3.2[log_{10}(11.75h_m)]^2 - 4.97$	0

Рисунок 3.1 – Параметры для расчета радиуса покрытия

Формула для расчета максимальной дальности связи одной БС:

$$d_{km} = 10^{\left(\frac{L_{hata} - 69.55 - 26.16\log_{10}(f_{MHz}) + 13.82\log_{10}(h_b) + a(h_m) + K}{44.9 - 6.55\log_{10}(h_b)}\right)} \quad (3.3)$$

Для открытой местности

$$a(hm) = (1.1\log(700) - 0.7) - (1.56\log(700) - 0.8) = -1.209$$
$$k = 4.78 \cdot \log(700)^2 - 18.33 \cdot \log(700) + 40.94 = 27.481$$

$$d = 10^{\frac{132.6 - 69.55 - 26.16\log(700) + 13.82\log(30) - 1.209 + 27.481}{44.9 - 6.55\log(30)}} = 10.053$$

Для сельской местности

$$k = 2 \cdot \log(700/28)^2 + 5.4 = 9.308$$

$$d = 10^{\frac{132.6 - 69.55 - 26.16\log(700) + 13.82\log(30) - 1.209 + 9.308}{44.9 - 6.55\log(30)}} = 3.065$$

Территория маленького города

$$d = 10^{\frac{132.6 - 69.55 - 26.16\log(700) + 13.82\log(30) - 1.209}{44.9 - 6.55\log(30)}} = 1.668$$

Для мегаполиса

$$a(hm) = 3.2 \cdot \log(11.75 \cdot 1.5)^2 - 4.97 = -0.919 \cdot 10^{-3}$$

$$d = 10^{\frac{143 - 69.55 - 26.16\log(700) + 13.82\log(30) - 0.000919}{44.9 - 6.55\log(30)}} = 1.805$$

Таблица 3.3- Расчет радиуса покрытия

Параметры	VoIP AMR 12.2	PS 256 Кбит/с	PS 1 Мбит/с	PS 2 Мбит/с
Необходимая скорость передачи данных	12.2	256	1000	2000
Число ресурсных блоков	1	5	16	32
Использ. Полоса пропускания	180	900	2880	5760
Сигнал/шум	-3.6	-1.1	-1.1	-1.1
Значение шума eNodeB	3.0	3.0	3.0	3.0

Продолжение таблицы 3.3

Параметры	VoIP AMR 12.2	PS 256 Кбит/с	PS 1 Мбит/с	PS 2 Мбит/с
Чувствительность eNodeB	-122.1	-105.5	-95.444	-89.424
Усиление антенны	16	16	16	16
Потери на кабеле и коннекторе	0.5	0.5	0.5	0.5
Потери тела	3	0	0	0
Дополнительные потери	0	0	0	0
Вероятность покрытия	95	95	95	95
Shadowing margin	8.6	8.6	8.6	8.6
Усиление хэндофа	3.6	3.6	3.6	3.6
Fast Fading Margin	0	0	0	0
Penetration Margin	17	17	17	17
Мощность передатчика МТ	23	23	23	23
Усиление антенны МТ	0	0	0	0
Общее затухание	132.6	119	108.9	102.9
Радиус покрытия	1.805	0.742	0.39	0.26

Таблица 3.4- Сравнение радиуса для различных типов местности

Радиус покрытия	VoIP AMR 12.2	PS 256 Кбит/с	PS 1 Мбит/с	PS 2 Мбит/с
открытая местность	10.053	4.132	2.149	1.452
сельская местность	3.065	1.26	0.655	0.443
малонаселенный город	1.668	0.686	0.357	0.241
мегаполис	1.805	0.742	0.386	0.261

Здесь приводится сравнение использования более низких частот LTE и высших, точнее 700 МГц и 2600 МГц (таблица 3.5, графическое представление – рисунок 3.2).. Поэтому чтобы сохранить нужное значение усиления антенны, достаточно физически увеличить размер антенны. Оптимальные габариты 2,5 м в длину на базовой станции и внешняя антенна на мобильном терминале [18].

Таблица 3.5- Сравнение радиуса для частот 700 и 2500 МГц

Радиус покрытия, км	700 МГц	2500 МГц
Открытая местность	10.053	3.794
Сельская местность	3.065	1.156
Малонаселенный город	1.668	0.629
Мегаполис	1.805	0.681

По данному графику можно сделать вывод о целесообрзности использования частот в 700 МГц для обеспечения большего покрытия БС и меньшего затухания при удалении от базовой станции.

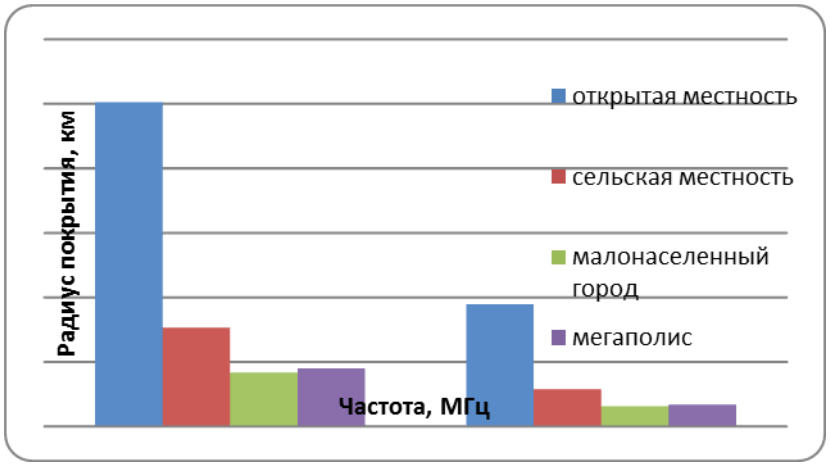


Рисунок 3.2 - Сравнение значений радиуса покрытия для частот 700 МГц и 2600 МГц

3.3 Расчет пиковой скорости передачи

Скорости передачи, как в нижнем направлении, так и в верхнем, рассчитываются на базе стандартов 3GPP. В зависимости от количества передатчиков и приемников антенн MIMO, скорость рассчитывается по-разному. В данном проекте используется антенна MIMO конфигурации 2x2. По таблице 3.5: Modulation and TBS index table for PDSCH выбирается значение I_{TBS} в зависимости от типа модуляции (QPSK, QAM-16, QAM-64). Затем в таблице 3.4 по числу ресурсных блоков (N_{PRB}= 100) и I_{TBS} выбирается искомое значение пиковой теоретической скорости [18].

В LTE применяется модифицированный алгоритм – частичное управление мощностью FPC (Fractional Power Control). Пороговое отношение сигнал/шум меняется для пользователей в зависимости от их положения внутри соты: чем ближе UE к базовой станции, тем выше порог отношения сигнал/шум как критерий регулировки мощности.

Следовательно, вблизи базовой станции UE работает с более высоким отношением сигнал/шум, с более высокой скоростью кодирования и кратностью модуляции, а значит, с более высокой спектральной эффективностью. Кроме того, работая с повышенной мощностью, UE может справляться с внутрисистемной интерференцией – подавлять соканальные помехи. Преимущества низких частот изменились, так как низким частотам характерно меньшее значение усиления антенны

Таблица 3.6- Modulation and TBS index table for PDSCH

MCS Index I_{MCS}	Modulation Order Q_m	TBS Index I_{TBS}
0	2	0
1	2	1
2	2	2
3	2	3
4	2	4
5	2	5
6	2	6
7	2	7
8	2	8
9	2	9
10	4	9
11	4	10
12	4	11
13	4	12
14	4	13
15	4	14
16	4	15
17	6	15
18	6	16
19	6	17
20	6	18
21	6	19
22	6	20
23	6	21
24	6	22
25	6	23
26	6	24
27	6	25
28	6	26
29	2	reserved
30	4	
31	6	

Таблица 3.7- Нахождение пиковых скоростей

I_{TBS}	N_{PRB}									
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
0	2536	2536	2600	2600	2664	2664	2728	2728	2728	2792
1	3368	3368	3368	3496	3496	3496	3496	3624	3624	3624
2	4136	4136	4136	4264	4264	4264	4392	4392	4392	4584
3	5352	5352	5352	5544	5544	5544	5736	5736	5736	5736
4	6456	6456	6712	6712	6712	6968	6968	6968	6968	7224
5	7992	7992	8248	8248	8248	8504	8504	8760	8760	8760
6	9528	9528	9528	9912	9912	9912	10296	10296	10296	10296
7	11064	11448	11448	11448	11448	11832	11832	11832	12216	12216
8	12576	12960	12960	12960	13536	13536	13536	13536	14112	14112
9	14112	14688	14688	14688	15264	15264	15264	15264	15840	15840
10	15840	16416	16416	16416	16992	16992	16992	16992	17568	17568
11	18336	18336	19080	19080	19080	19080	19848	19848	19848	19848
12	20616	21384	21384	21384	21384	22152	22152	22152	22920	22920
13	23688	23688	23688	24496	24496	24496	25456	25456	25456	25456
14	26416	26416	26416	27376	27376	27376	28336	28336	28336	28336
15	28336	28336	28336	29296	29296	29296	29296	30576	30576	30576
16	29296	30576	30576	30576	30576	31704	31704	31704	31704	32856
17	32856	32856	34008	34008	34008	35160	35160	35160	35160	36696
18	36696	36696	36696	37888	37888	37888	37888	39232	39232	39232
19	39232	39232	40576	40576	40576	40576	42368	42368	42368	43816
20	42368	42368	43816	43816	43816	45352	45352	45352	46888	46888
21	45352	46888	46888	46888	46888	48936	48936	48936	48936	51024
22	48936	48936	51024	51024	51024	51024	52752	52752	52752	55056
23	52752	52752	52752	55056	55056	55056	55056	57336	57336	57336
24	55056	57336	57336	57336	57336	59256	59256	59256	61664	61664
25	57336	59256	59256	59256	61664	61664	61664	61664	63776	63776
26	66592	68808	68808	68808	71112	71112	71112	73712	73712	75376

Результаты занесем в таблицу 3.8.

Таблица 3.8- Расчет пиковых скоростей при ширине п/п 20 МГц

Направление	MIMO схема	Модуляция	Пиковая скорость передачи, Кбит/с
			20 МГц
			100 ресурсных блоков
DL	2x2	64-QAM	150552
UL	2x2	16-QAM	61152

3.4 Расчет затуханий при распространении для LTE

Для определения потерь при распространении для LTE применим модель COST 231. Данная модель – это расширенная модель Okumura (Hata) на частотный диапазон от 1,5 до 2,5 ГГц. В этом диапазоне использование других моделей распространения приводит к недооценке затухания сигнала. Модель COST231 справедлива для несущих частот в диапазоне от 1,5 до 2,5 ГГц, при высоте антенны базовой станции от 30 до 200 м, высоте антенны подвижной станции от 1 до 10 м и расстоянию между ними от 1 до 20 км [19].

Модель позволяет оценивать затухание по формуле

$$\overline{PL} = 46.3 + 33.9\log_{10}f - 13.82\log_{10}h_b + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}d - a(h_m) + C_F \quad (3.4)$$

где CF – постоянная: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью CF = 0 и для центров крупных городов CF = 3.

Поправка для антенны мобильной станции находится как:

$$a(h_m) = (1.11\log_{10}f - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}f - 0.8) \quad (3.5)$$

Подставив значения получим:

$$a(h_{m)} = (1.11\log_{10}(2.5 \cdot 10^9) - 0.7) \cdot 1.5 - (1.56\log_{10}(2.5 \cdot 10^9) - 0.8) = 0.737$$
дБ

$$PL = 46.3 + 33.9\log_{10}(2.5 \cdot 10^9) - 13.82\log_{10}(32) + \left(44.9 - 6.55\log_{10}(32)\right) \cdot \log_{10}(d) - 0.737 + 3$$

Построим зависимость уровня затухания от дальности связи:

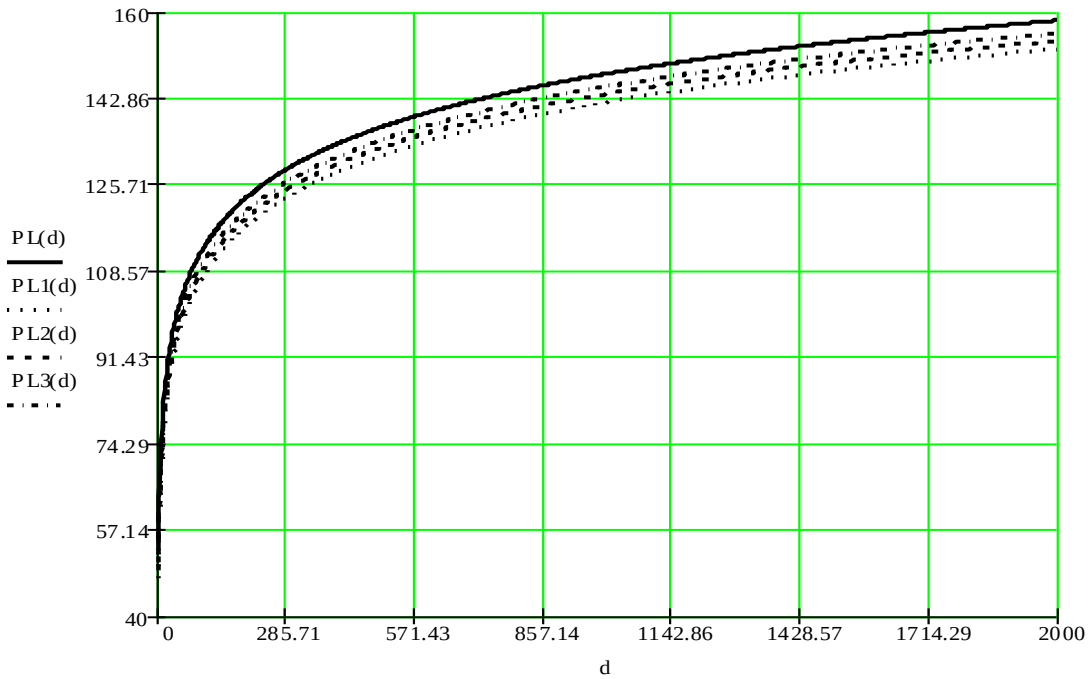


Рисунок 3.3 – Зависимость потерь при распространении от расстояния для LTE

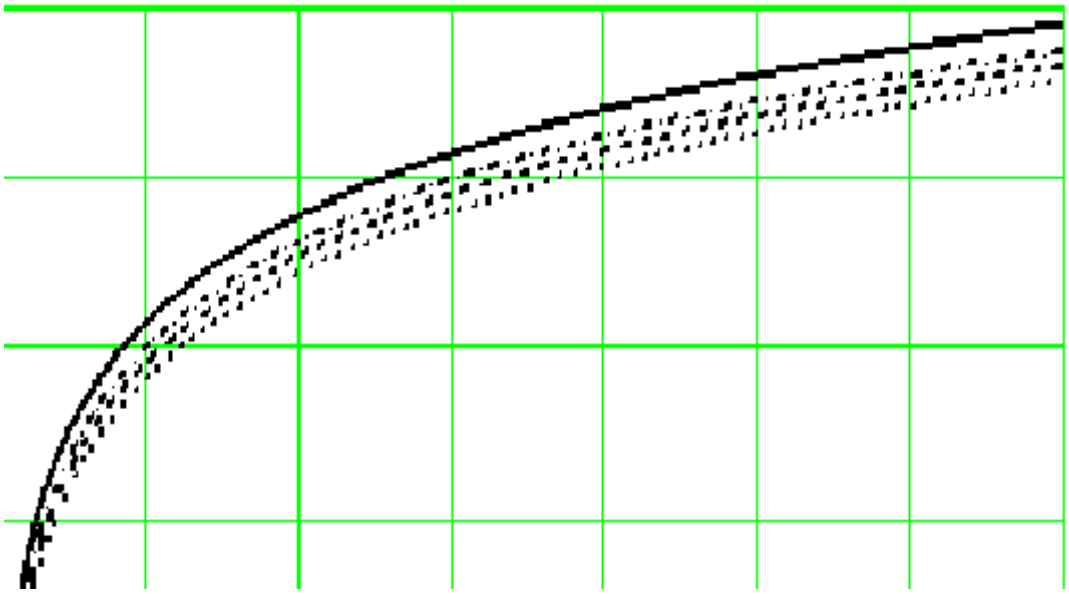


Рисунок 3.4 – Зависимость потерь при распространении от расстояния для LTE (в увеличенном виде)

3.5 Сравнение дальности связи LTE и WiMAX

Для большей наглядности сведем обе зависимости, рассчитанные выше в один график, и определим выигрыш в затухании:

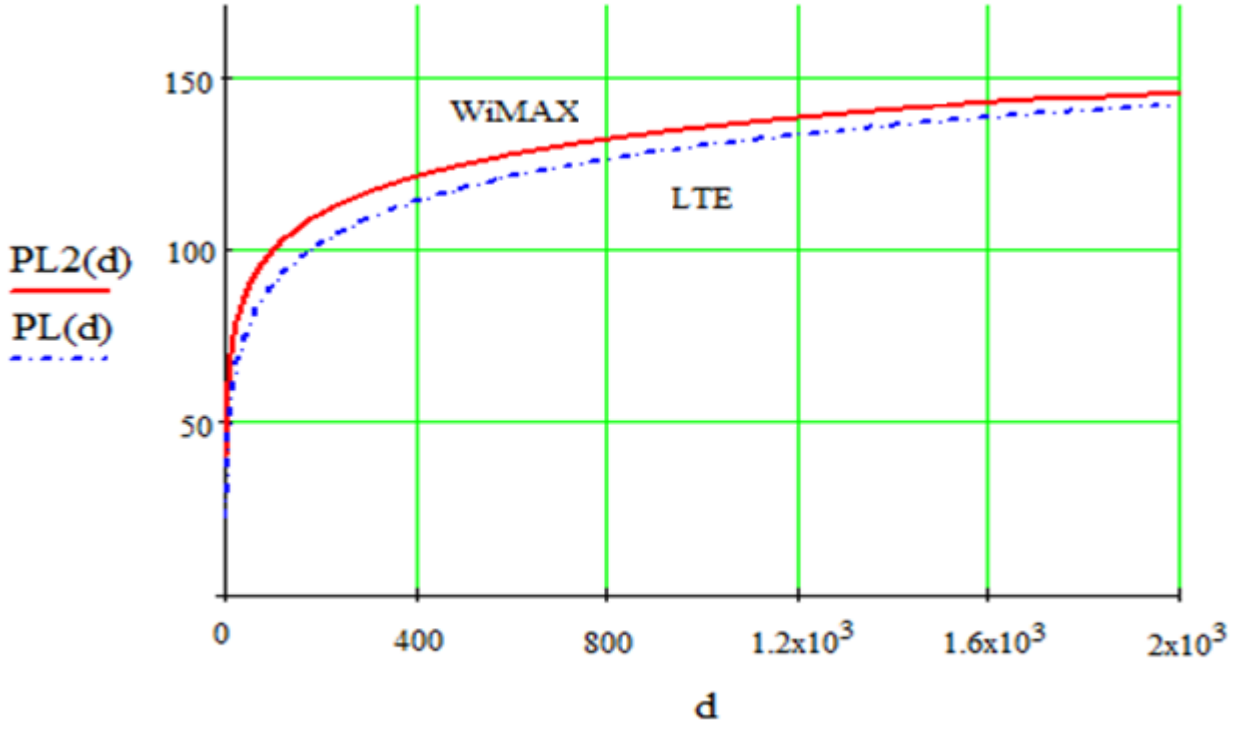


Рисунок 3.5 – Сравнение потерь при распространении WiMAX и LTE

PL(d) – зависимость для WiMAX, PL2(d) – зависимость для LTE

Из графика видно, что технология WiMAX обеспечивает проигрыш в 5.108 дБ по сравнению с LTE, это означает, что одинаковое качество связи обеспечивается на большем расстоянии у LTE. Например, пусть необходимый уровень затухания будет равным 135.35 дБ, тогда:

WiMAX:

$$PL = 80.41 + 10log_{10}\left(\frac{d}{100}\right) + 0.58 + 1.35 + 5.5 = 135.35\,дБ$$

d1=1130 м

LTE:

$$PL2 = 46.3 + 33.9log_{10}(2.5 \cdot 10^9) - 13.82log_{10}(32) + \left(44.9 - 6.55log_{10}(32)\right) \cdot log_{10}(d) - 3.737 = 135.35\ дБ$$

d2=1500 м

Получим, что при потерях при растпространении в 135.35 дБ технология LTE обеспечивает дальность связи на 370 м больше, чем технология WiMAX.

3.6 Оценка параметров качества передачи данных

Произведем расчет оптимальной длины пакета, времени задержки, а также различных параметров оценки качества в программной среде Borland Pascal 7.0. Окно программы приведено на рисунке 3.6, исходные данные на рисунке 3.7, результаты расчета для LTE – на рисунке 3.8.

Листинг программы расчета в среде Borland Pascal приведен в приложении А.

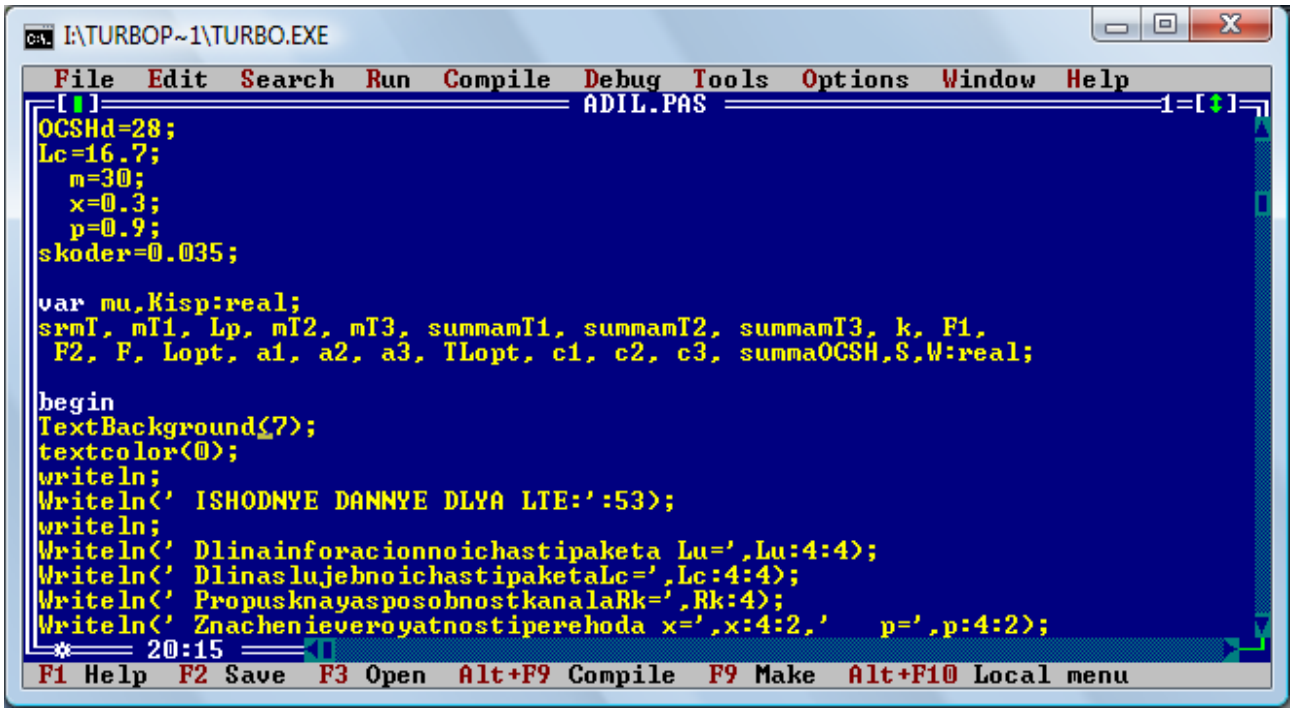


Рисунок 3.6 – Расчет в программной среде Borland Pascal 7.0

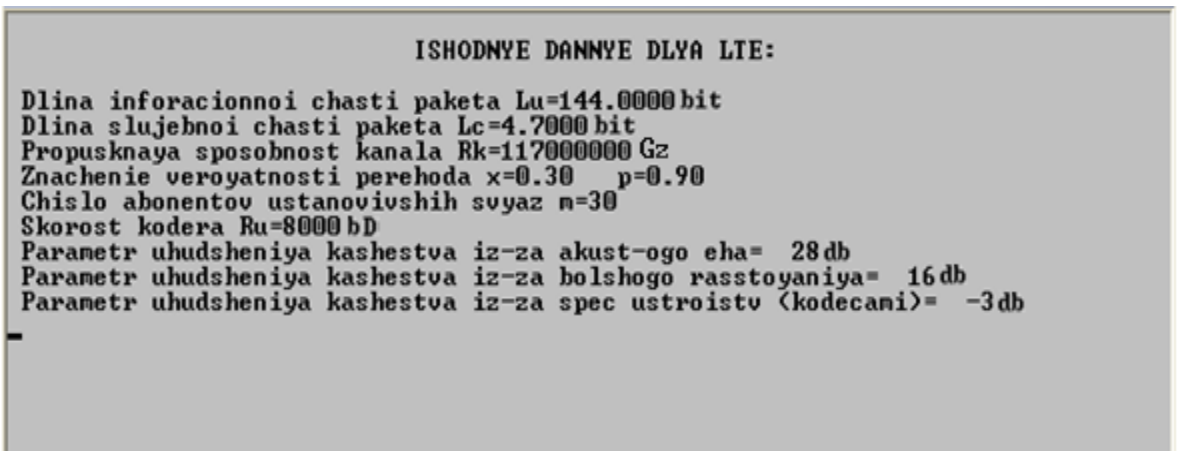


Рисунок 3.7 – Исходные данные расчета LTE

```
                    RASCHET:
Vremya peredachi paketa mu =0.00000137 sec
Kefficient ispolzovaniya Kisp =0.00114459
Srednee vremya zapazdyvaniya Msr(T) =0.00000108 sec
Srednee vremya zaderjki pri pribytii paketov po zakonu M/D/1 m(T) =0.00000103sec
Srednee vremya zaderjki pri pribytii paketov po zakonu M/M/1 m(T) =0.02009901sec
Srednee vremya zaderjki pri pribytii paketov po zakonu M/G/1 m(T) =0.01507138sec
Rezultiruyushaya zaderjka pri pribytii paketov po zakonu M/D/1 m(T) =0.05508853sec
Rezultiruyushaya zaderjka pri pribytii paketov po zakonu M/M/1 m(T) =0.07518651sec
Rezultiruyushaya zaderjka pri pribytii paketov po zakonu M/G/1 m(T) =0.07015888sec
Optimalnaya dlina informacionnoi chasti paketa Lopt =0.01936038
Optimalnoe vremya zapazdyvaniya 0.00001879 sec
Summarnoe otnoshenie signal/shum summOCSH =  2.5647db
Slogovaya razborchivost S = 11.9174
Razborchivost slov W =  1.0464
```

Рисунок 3.8 – Результаты расчетов программы для LTE

3.7 Исследование балансировки нагрузки

Рассматривается два метода балансировки нагрузки по компонентным несущим. Метод выделения пользователю всех СС агрегирует все компонентные несущие в единый логический канал. Такой метод оптимально распределяет нагрузку и, таким образом, достигается наилучшая производительность. Агрегирование компонентных несущих поддерживается только с 10-релиза 3GPP, т.е. только для подсистем LTE-Advanced.

Основная идея балансировки нагрузки методом PP с прикреплением пользователя к одной компонентной несущей в том, что вновь поступивший в систему пользователь прикрепляется к той СС, которая меньше всех загружена. В случае, когда наименьшая нагрузка приходится на несколько компонентных несущих, вновь поступивший пользователь прикрепляется к одной из них равновероятно. Таким образом, данный метод тоже обеспечивает неплохую балансировку нагрузки между компонентными несущими.

Характерная особенность адаптивных многоскоростных систем (АМС) в том, что интенсивность обслуживания пользователей зависит от состояния системы. Если в момент поступления пользователя на обслуживание система находится в состоянии (т.е. ширина частотного канала разделена на k пользователей), то АМС-система перераспределяет частотный ресурс между $k+1$ пользователями. По завершении обслуживания происходит обратный процесс: освободившийся частотный ресурс распределяется между оставшимися пользователями.

Для расчета выгоды от применения планировщика FDPS используется

следующее приближение (формула 3.7)

$$G(k)=\begin{cases}1, & k=1\\ 0.11\cdot\ln(k)+1.1, & 1<k<13\\ 1.38, & k>13\end{cases} \tag{3.7}$$

где k – число обслуживающихся пользователей (состояние системы). Тогда суммарная скорость передачи в системе в состоянии К равна $C\dfrac{G(k)}{G(\infty)}$, а скорость передачи данных на каждого пользователя – $\dfrac{C}{k}\dfrac{G(k)}{G(\infty)}$.

При сравнении рассмотренных методов балансировки нагрузки на компонентные несущие учитывались два критерия: суммарная пропускная способность сети и средняя пропускная способность на пользователя.

Суммарная пропускная способность сети вычисляется по формуле (3.9), а средняя пропускная способность на пользователя по формулам 3 и 4 для метода выделения пользователю всех СС и балансировки методом RR с прикреплением пользователя к одной компонентной несущей соответственно.

$$C_{u}=\lambda F(1-\pi) \tag{3.8}$$

$$C^{1}_{польз}=\sum_{k=0}^{v}p_k C_{польз}(k)=\sum_{k=0}^{v}p_k\,\frac{C}{k}\frac{G(k)}{G(\infty)} \tag{3.9}$$

$$C^{2}_{польз}=\sum_{k\in S}p(k)C_{польз}(k)=\sum_{k\in S}p(k)\frac{\sum_{i=0}^{n}C_i\dfrac{G(k_i)}{G(\infty)}}{k}, \tag{3.10}$$

где р – предложенная нагрузка,

k - число обслуживающихся пользователей.

Численный эксперимент проводился со следующими начальными данными. Четыре компонентные несущие по 10 МГц каждая дают суммарную пиковую скорость передачи данных С=49 Мбит/с. В системе одновременно может обслуживать не более v=50 пользователей, средний объем данных F, передаваемых пользователем, равен 2 Мбит.

На рисунке 3.9 показана зависимость пропускной способности соты от предложенной нагрузки. График показывает, что пропускная способность системы практически инвариантна относительно методов балансировки нагрузки, только при сильных перегрузках (р>1) проявляется небольшое преимущество (0,2 %) метода выделения всех компонентных несущих каждому пользователю. А значит, то же самое можно сказать и про вероятность блокировки системы.

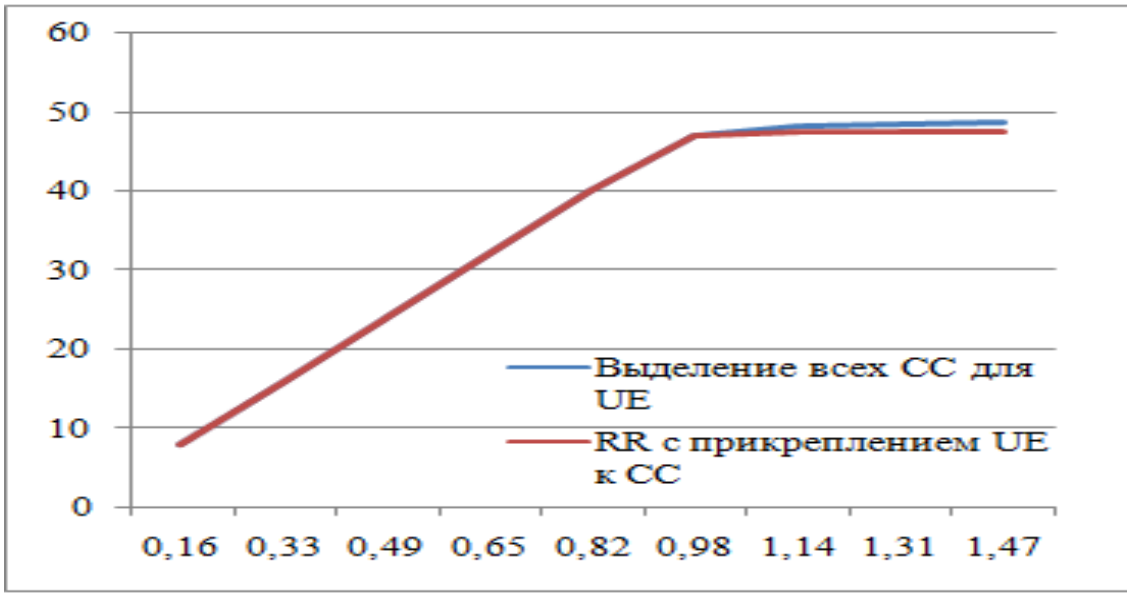


Рисунок 3.9 – зависимость пропускной способности соты от предложенной нагрузки

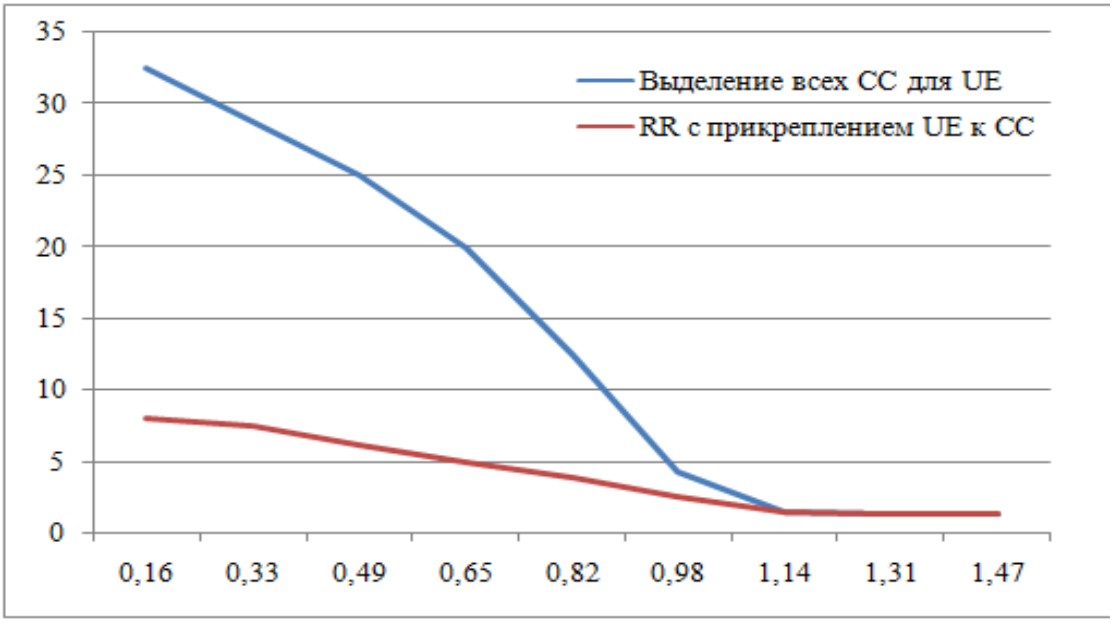


Рисунок 3.10 – Зависимость средней пропускной способности на одного пользователя от предложенной нагрузки

На рисунке 3.10 представлена зависимость пропускной способности на одного пользователя от предложенной нагрузки. На графике видно, что метод выделения всех CC пользователю позволяет достичь очень весомого улучшения (200-300%) этого параметра эффективности при низких и средних нагрузках. Однако выгода от применения этого метода уменьшается с увеличением нагрузки и при сильных перегрузках исчезает полностью.

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Анализ условий труда технического персонала

В дипломной работе мы проводим исследование параметров передачи данных в сетях LTE. Технология LTE, разработанная консорциумом 3GPP, является одной из наиболее перспективных для развертывания сетей широкополосной связи четвертого поколения. Она обеспечивает операторам сетей высокую операционную совместимость и низкую стоимость обслуживания, а потребителям – новый уровень широкополосного мобильного радиодоступа.

Для исследования необходимы данные, расчеты, снятые с персонального компьютера. Для нормальной работы компьютеру нужен постоянный ток, а на вход блока питания (БП) подается переменный ток напряжением 220 В. В блоке питания переменный ток преобразуется в постоянный. Средняя мощность современных БП составляет от 300 до 500 Вт.

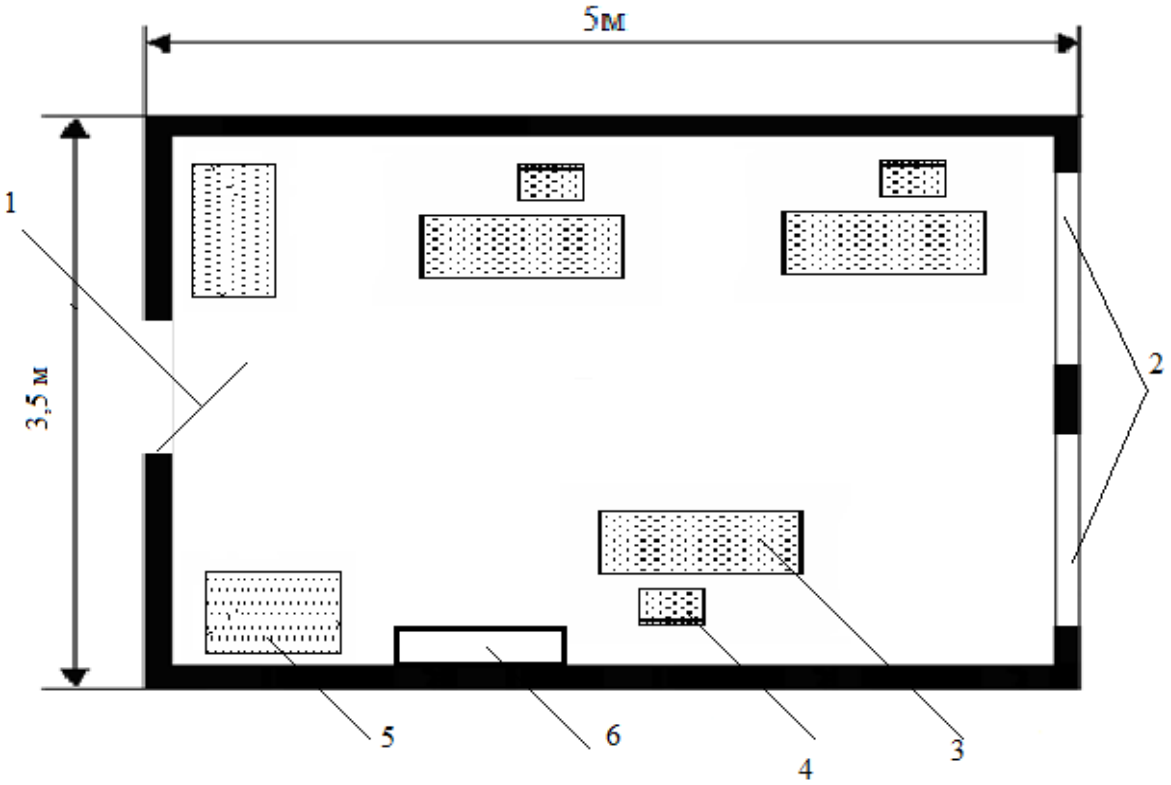
БП вырабатывает следующие напряжения:

- основное стабилизированное напряжение +5 В (сила тока 10–50А);
- (+12) В (сила тока 3,5–15А) – для питания двигателей устройств и интерфейсных цепей;
- (–12) В (сила тока 0,3–1А) – для питания интерфейсных цепей;
- (–5) В (сила тока 0,3–0,5А) – обычно не используется, оставлено для совместимости со стандартом ISA Bus);
- (+3,3) В – для питания ОЗУ.

Помещение, для которого будут производиться расчеты, представляет собой операторскую комнату. Операторская находится на первом этаже здания, которая имеет размеры 5х3,5х2,8 (м). Здание расположено в г. Алматы, который имеет 44 географическую широту. На южной стороне операторской расположены 2 окна, каждое площадью 1,2 м^2. Для обеспечения искусственного освещения используются люминисцентные лампы. Также имеется кондиционер для поддержания необходимого микроклимата. В операторской находится 3 рабочих стола, на которых расположены персональные компьютеры, необходимые для работы операторов. На рисунке 4.1 приводится план помещения.

На предприятии установлена восьмичасовая продолжительность рабочего дня. В соответствии со статьей 1 Закона РК “О труде в РК”, рабочее время - это время, в течение которого работник в соответствии с актами работодателя и условиями индивидуального трудового договора выполняет трудовые обязанности. Актами работодателя или коллективным договором может быть

установлена 5-дневная или 6 дневная рабочая неделя. При шестидневной рабочей неделе продолжительность ежедневной работы не может превышать 7 часов, а при пятидневной рабочей неделе - 8 часов. Рабочий день нормальной продолжительности рассчитан на рабочих и служащих, работающих в условиях, не требующих повышенного физического и нервно-интеллектуального напряжения.



1 – дверь, 2 – окна, 3 – стол, 4 – стул, 5 – шкаф, 6- кондиционер

Рисунок 4.1 – План помещения

Зрительные работы на персональном компьютере имеют разряд IV (б).

Кроме того на длительную работоспособность влияет состояние воздушной среды в рабочем помещении. Организм человека постоянно находится в режиме теплового обмена с окружающей средой. На тепловое состояние организма оказывают влияние параметры микроклимата, а также физическая нагрузка - величина и интенсивность мышечной работы, связанной с трудовой деятельностью. Тяжесть физической работы определяется общими энергозатратами. Для широко внедряемых ныне операторских профессий энергозатраты в единицу времени составляют 80...200 Вт. В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 при работах средней тяжести, 1 (б), температура воздуха на рабочем месте должна составлять 17 – 23 °С, относительная влажность воздуха – не более 75 %, скорость движения воздуха – не более 0,3 м/с. Для поддержания микроклимата на производстве используется кондиционер. Система кондиционирования воздуха, помимо выполнения задач вентиляции и отопления, позволяет создать благоприятный микроклимат в летний, жаркий

период года, благодаря использованию в своем составе фреоновой холодильной машины. Задача кондиционирования воздуха состоит в поддержании таких параметров воздушной среды, при которой каждый человек благодаря своей индивидуальной системе автоматической терморегуляции организма чувствовал бы себя комфортно, то есть не замечал влияния этой среды.

Проанализировав условия труда технического персонала операторского отдела, в данном разделе мы будем решать следующие задачи:
- произведем расчет естественного и искусственного освещения;
- устройство и расчет системы кондиционирования воздуха.

4.2 Выбор и расчет системы производственного освещения

4.2.1 Расчет естественного освещения

Помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь естественное освещение.

При проектировании новых помещений, при реконструкции старых, при проектировании естественного освещения помещений судна и других объектов необходимо определить площадь световых проемов, обеспечивающих нормированное значение КЕО в соответствии с требованиями СНиП РК 2.04-05-2002 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования».

Рассчитаем систему общего искусственного освещения для операторской комнаты, площадью S=5*3,5=17,5 м^2, высотой Н=2,8 м, с побеленным потолком и светлыми стенами с закрытыми белыми шторами. Рабочая поверхность расположена на высоте $h_{раб}$=0,8 м. Источники света газоразрядные лампы. Номинальная мощность – 40 Вт, номинальный световой поток – 3120 лм.

Освещение считаем по методу коэффициента использования светового потока, который предназначен для расчета общего освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов. Высота начала окна $h_{н.ок}$ = 1 м. Разряд зрительной работы IV, б. Расстояние до рядом стоящего здания Р = 18 м. Высота окна $h_{ок}$ = 1,5 м, высота начала окна $h_{н.ок.}$ = 0,8 м.

Расчет заключается в предварительном определении площади световых проемов при боковом и верхнем освещении по следующим формулам:

при боковом освещении:

$$100 \cdot \frac{S_0}{S_n} = \frac{e_n K_з \eta_0}{\tau_0 r_1} K_{зд}, \qquad (4.1)$$

при верхнем освещении:

$$100 \cdot \frac{S_0}{S_n} = \frac{e_н K_з \eta_ф}{\tau_0 r_2 K_ф} K_{зд}, \qquad (4.2)$$

где S_0 – площадь световых проемов при боковом освещении, м^2;
$S_п$ – площадь пола помещения, м^2;
$e_н$ – нормируемое значение КЕО;
$К_з$ – коэффициент запаса, принимают по таблице 3.11 в [20];
η_0 – световая характеристика окон, принимают по таблице 3.2 в [20];
τ_0 – общий коэффициент светопропускания;
r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении, благодаря свету, отраженному от поверхности помещения и подстилающего
$К_{зд}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями, принимают по таблице
$S_ф$ – площадь световых проемов (в свету) при верхнем освещении, м^2;
$\eta_ф$ – световая характеристика фонаря или светового проема в плоскости покрытия, принимают по таблице
r_2 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении, благодаря свету, отраженному от поверхности помещения, принимают по таблице;
$К_ф$ – коэффициент, учитывающий тип фонаря, принимают по таблице.

Определим площадь пола помещения:

$$S_п=L\cdot B \quad (4.3)$$

$S_п = 5\cdot 3{,}5 = 17{,}5$, м^2

Нормируемое значение КЕО, e_N, для зданий, располагаемых в различных районах, следует определять по формуле:

$$e_N = e_н\cdot m_N, \quad (4.4)$$

где m_N – коэффициент светового климата, определяемый из таблицы 3.1 в [20].

Учитывая заданный световой пояс, приняв ориентацию световых проемов на Юг, определим:

$m_N = 0{,}65$

Учитывая IV разряд зрительных работ, найдем:

$e_н = 1{,}5$

Следовательно:

$e_N= 1{,}5\cdot 0{,}65=0{,}975$

Учитывая тип помещения, найдем коэффициент запаса с помощью таблицы 3.11 в [20]:

$К_з=1{,}2$

Для определения световой характеристики η_0 необходимо рассчитать отношение длины помещения (L) к его глубине (l = B-1) и отношение глубины помещения к расчетной высоте ($h_{расч}$):

$$\frac{L}{B-1}=\frac{5}{3.5\text{-}1}=2, \text{м}$$

Найдем $h_{расч}$:

$$h_{расч}=h_{ок}+h_{н.о.}-h_{р.пов.} \quad (4.5)$$

где $h_{ок}$ – высота окна;
$h_{н.о}$ – расстояние до начала окна;

$h_{р.пов}$ – высота рабочей поверхности.

$h_{расч}$=1,5+0,8-0,8=1,5 м

Тогда отношение глубины помещения к расчетной высоте будет равно:

$$\frac{B-1}{h_{расч}}=\frac{3.5-1}{1,5}=1.7$$

Учитывая найденные отношения, примем световую характеристику η_0 по таблице 3.2 из [20]:

η_0=9

Общий коэффициент светопропускания, τ_0, рассчитывают по формуле:

$$\tau_0=\tau_1\cdot\tau_2\cdot\tau_3\cdot\tau_4\cdot\tau_5, \qquad (4.6)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала, принимаемый по таблице 6 из [20]. Так как в качестве светопропускающего материала используется листовое тройное стекло, то: τ_1=0,75;

τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема. τ_2 определяется с учетом использования деревянных раздельных переплетов: τ_2=0,6;

τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях железобетонной и деревянной формы равен 0,8;

τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах, при убирающихся регулируемых жалюзях и шторах он равен 1.

Следовательно:

τ_0=0,75·0,6·0,8·1=0,36

Коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении, благодаря свету, отраженному от поверхности помещения и подстилающего слоя, примыкающего к зданию, r_1, определяют по таблице 3.9 из [20].

Для этого следует учесть:

- отношение глубины помещения к расчетной высоте (1,7, м);
- отношение глубины помещения к ширине (0,7, м);
- отношение длины помещения к глубине (2, м);
- средневзвешенный коэффициент отражения потолка, стен и пола $\rho_{ср}$=0,5.

r_1=1,7

Учитывая отношение:

$$\frac{P}{H}=\frac{18}{5}=3,6,$$

где Р – расстояние между рассматриваемым и противостоящим зданием,
Н – высота здания.

Найдем коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями, $К_{зд}$=1

Зная значение всех параметров, рассчитаем площадь боковых проемов при естественном освещении по следующей формуле:

$$S_0 = \frac{S_п \cdot e_N \cdot K_з \cdot \eta_0}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{зд} \qquad (4.7)$$

$$S_0 = \frac{17.5 \cdot 0,975 \cdot 1,2 \cdot 9}{100 \cdot 0,36 \cdot 1,7} \cdot 1 = 3, м^2$$

В офисном помещении с параметрами 5х3,5х2,8 для обеспечения нормированного значения КЕО, e_N=0,975 при IV характеристике зрительных работ требуется площадь световых проемов равная 3 $м^2$. Так как высота окна – 1,5 м, то длина окна будет равна:

$$L_{ок} = \frac{3}{1,5} = 2, м$$

что соответствует длине помещения – 5 метрам. Здесь имеется, введу общая длина окон на одну сторону здания. А там соответственно можно расположить нужное количество окон.

Вывод: существующая площадь окон составляет 2,4 $м^2$, что на 0,6 меньше вычисленной площади. Это освещение является недостаточным для работы в операторской. Поэтому необходимо произвести расчет искусственного освещения.

4.2.2 Расчет искусственного освещения

Для помещений, в которых предусматривается общее равномерное освещение горизонтальных поверхностей, освещение рассчитывают методом коэффициента использования светового потока.

По этому методу расчетную освещенность на горизонтальной поверхности определяют с учетом светового потока, падающего от светильников непосредственно на поверхность и отраженного света от стен, потолка и самой поверхности. Так как этот метод учитывает долю освещенности, создаваемую отраженным световым потоком, его применяют для расчета помещений, где отраженный световой поток играет существенную роль, т.е. для помещений со светлыми потолками и стенами при светильниках рассеянного, отраженного света.

Индекс помещения рассчитывается из выражения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)_л}, \qquad (4.8)$$

где А – длина освещаемой поверхности, А = 5, м;
В – ширина освещаемой поверхности, В = 3,5, м;
h – высота свеса 0 т.к. h =2,8 м.

$h_р = h - h_{раб} - h_{св,}$ (4.9)

$h_р = 2,8 - 0,8 - 0 = 2$ м

Тогда

$$i = \frac{5 \cdot 3.5}{2 \cdot (5 + 3.5)} = 1.03$$

Исходя из данных коэффициент отражения потолка и пола по данным СНиП РК 2.04.-05.2002 $\rho_{ср}$ = 70%, т.к. потолок беленный и также стены с закрытыми белыми шторами и далее выбираем коэффициент использования светового потока, учитывая индекс помещения i = 1,03, коэффициент использования светового потока η = 0,47 [20].

Количество ламп рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot K_з}{Ф_Л \cdot \eta \cdot n}, \quad (4.10)$$

где E – освещенность, для IV (б) разряда работ нормируемая освещенность по таблице 3.12 [20] – 200 лк;

n – количество ламп в светильнике, n = 2;

Фл – номинальный световой поток одной лампы, используются светильники типа ПВЛМ 2х40, Фл = 3120 лм;

η – коэффициент использования светового потока. При коэффициентах отражения $\rho_{пот}$ = 70%, $\rho_{ст}$ = 50%, $\rho_{пол}$ = 30%, при индексе помещения i = 1,03, η = 47%; [21]

S – освещаемая площадь, S = 17,5, м²;

z – коэффициент неравномерности освещения, z = 1,1.

Для помещений общественных зданий (рабочих помещений) при искусственном освещении газоразрядными лампами, исходя их СНиП РК 2.04-05-2002, коэффициент запаса $К_з$ = 1,2.

Подставляя цифровые значения, получаем:

$$N = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 17.5 \cdot 1,2}{3120 \cdot 2 \cdot 0,47} = 2$$

Рассчитаем расстояние между светильниками по формуле:

$L_{A,B} = \lambda \cdot h_р$ (4.11)

Примем λ = 1,2, тогда:

$L_A = 1,2 \cdot 2 = 2,4$ м

Далее найдем расстояние до стены по следующей формуле:

$l_{а,в} = (0,3 \div 0,5) \cdot L_{A,B}$ (4.12)

$l_а = 0,5 \cdot 2,4 = 1,2$м

Расстояние L_b в нашем случае отсутствует, так как имеется всего 2 светильника. Расстояние l_b примем равным 1,9 м, так как длина светильника составляет 1,2 м, а ширина помещения равна 3,5 м. Схема размещения

светильников приведена на рисунке 4.2.

Вывод: операторская комната имеет небольшую площадь, равную 17,5 м^2, поэтому как видно из расчетов, для обеспечения освещенности 200 лк достаточно 2 светильника типа ПВЛМ 2х40. Таким образом, при недостаточном естественном освещении, в вечернее время, искусственное освещение будет обеспечивать необходимую освещенность.

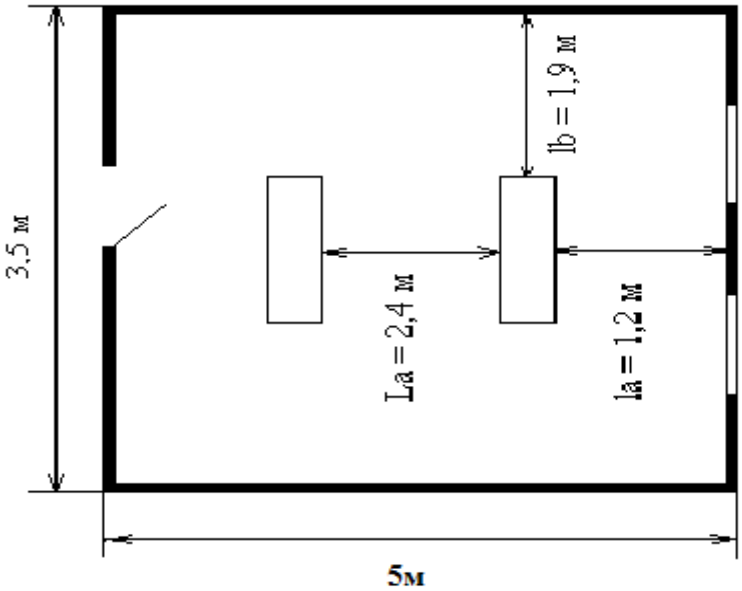


Рисунок 4.2 – Схема размещения светильников

4.3 Расчет системы кондиционирования воздуха

В операторском помещении находится 3 рабочих места (мужчин - 2, женщин - 1). Для поддержания необходимого состояния воздушной среды используется система кондиционирования воздуха. Для правильного выбора кондиционера необходимо:

- рассчитать тепловые нагрузки в помещении внутренние и наружные;
- рассчитать количество воздуха, необходимого для подачи в помещение;
- по найденному значению количества воздуха подобрать соответствующую модель кондиционера.

Определим внутренние тепловые нагрузки в помещении. В первую очередь определяем теплопоступления от оборудования. В операторской имеется 3 персональных компьютера (ПК) мощностью 0,5 кВт/ч. Теплопоступления определим по формуле:

$$Q_{об} = P_{об} \cdot \eta \,, \qquad (4.13)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием кВт/ч;

η - коэффициент перехода в помещение тепла, для ПК $\eta = 0.86$.

Общая мощность равна:

$P_{об} = 3 \cdot 0.5 = 1.5$, $кВт$.

Теплопоступления от оборудования:

$Q_{об} = 1.5 \cdot 0.86 = 1{,}29, кВт.$

Теплопоступления от ламп определяются по формуле:

$$Q_{осв} = \alpha \cdot \mathrm{N}_{осв} \cdot \beta \cdot \cos\varphi, \quad (4.14)$$

где α - коэффициент перехода электрической энергии в тепловую, для люминисцентных ламп α = 0,7;cosφ = 0,7;

$\mathrm{N}_{осв}$ - мощность лампы, хорошего освещения помещений $\mathrm{N}_{осв} = 40$ Вт/м^2;

$Q_{осв} = 40 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0.7 \cdot 0.7 \cdot 1 = 78{,}4$ Вт.

Теплопоступления от людей определим следующим образом:

$$Q_л = n \cdot q_{явн} \quad (4.15)$$

где $q_{явн}$ - явное тепло от человека, принято считать, что женщины выделяют 85 % тепла от нормы тепло выделений взрослого мужчины (положение сидя) для теплого периода – 61 Вт, для холодного периода – 82 Вт (таблица 8 в [18]);

n – количество людей (мужчин – 2; женщин – 1).

На летний период теплопоступления от людей будут равны:

$Q_л = (2 \cdot 61 + 1 \cdot 61 \cdot 0{,}85) = 0{,}174$ кВт.

Также по формуле (4.3) рассчитаем теплопоступления от людей в зимний период:

$Q_л = (2 \cdot 82 + 1 \cdot 82 \cdot 0{,}85) = 0{,}234$ кВт.

Определим теплопоступления от через остекление по формуле:

$$Q_p = m \cdot F(q^{I} + q^{II})\beta \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (4.16)$$

где m - количество окон в помещении, 2;

F - площадь окон, F = 3 м^2;

β- коэффициент теплопропускания для штор и жалюзей - 0,15 (таблица 4 в [1]);

q^{I}, q^{II} - тепловые потоки от прямой и рассеянной радиации Вт/м^2, принимаются для расчетного часа суток в зависимости от географической широты, равны соответственно для Ю – 288 и 85 (таблица 5 в [1]);

K_1 – коэффициент затемнения остекления деревянными переплетами - 0,65 (таблица 6 в [22]);

K_2 – коэффициент для умеренного загрязнения остекления, 0,9.

$Q_p^{Ю} = 2 \cdot 3 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}9 \cdot (288 + 85) = 0.196, кВт;$

Теплопоступления и теплопотери в результате разности температур:

$$Q_{отд} = V_{пом} \cdot X_0 \cdot (t_в - t_н) \quad (4.17)$$

где $t_в$ - температура внутреннего помещения, 20 ^{0}С;

$t_н$ - наружная температура воздуха, (-26)^{0}С;

$V_{пом}$ - объем помещения, м^3 (длина – 5, ширина – 3,5 м, высота – 2,8 м);

X_0 – удельная тепловая характеристика, 0,42 Вт/м^3 ^{0}С.

$Q_{отд}$=0 – для теплого периода времени.

$$Q_{отд} = 5 \cdot 3{,}5 \cdot 2.8 \cdot 0{,}42 \cdot (20 - (-26)) = 0{,}947, кВт$$

Определим тепловой баланс в помещении:

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_{осв} + Q_л + Q_р - Q_{отд} \quad (4.18)$$

Для летнего периода тепловой баланс равен:

$$Q_{изб\ летн} = 1{,}29 + 0{,}0784 + 0{,}174 + 0{,}196 - 0 = 1{,}738, кВт$$

Для зимнего периода:

$$Q_{изб.зимн} = 1{,}29 + 0{,}0784 + 0{,}234 + 0{,}196 - 0{,}947 = 0{,}851, кВт$$

Теплонапряженность воздуха:

$$Q_н = \frac{Q_{изб} \cdot 860}{V_п} \quad (4.19)$$

$Q_н \le 20$ ккал/м^3 $\Rightarrow$ Δt =6 ^{0}С;

$Q_н \succ 20$ ккал/м^3 $\Rightarrow$ Δt =8 ^{0}С.

Учитывая, что $Q_{изблет} \succ Q_{избзим}$, то для расчета будем использовать $Q_{изб}$ для летнего периода:

$$Q_н = \frac{1{,}738 \cdot 860}{49} = 30{,}5 \text{ ккал/м}^3.$$

Так как $Q_н$ = 30,5 > 20 ккал/м^3 → Δt = 8 ^{0}С.

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

$$L = \frac{(Q_{изб} \cdot 860)}{c \cdot \Delta t \cdot \gamma}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (4.20)$$

где С – теплоемкость воздуха, 0,24 ккал/кг^{0}С;

Δt - выбираем в зависимости от теплонапряженности воздуха $Q_н$;

γ- удельная масса приточного воздуха, 1,206 кг/м^3.

$$L = \frac{(1{,}738 \cdot 860)}{0{,}24 \cdot 8 \cdot 1{,}206} = 645{,}5, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Определяем кратность воздухообмена по следующей формуле:

$$n = \frac{L}{V_п} \quad (4.21)$$

$$n = \frac{645{,}5}{49} = 13, \quad 1/ч$$

По рассчитанному значению расхода воздуха выбираем один настенный кондиционер фирмы DELONGHI серии CP40 .

Управление работой настенного кондиционера производится с дистанционного пульта, который позволяет задать режим работы кондиционера: обогрев, охлаждение, осушку, вентиляцию, ночной режим. Задать требуемую температуру, которую должен поддерживать автоматически; выбрать режим работы кондиционера: настроить таймер, который включит или выключит кондиционер в заданное время; автоматически регулировать положение направляющих шторок и изменить, таким образом, направление воздушного потока.

Приведем его параметры:

- электрическое питание: 230/1/50;
- расход воздуха внутреннего блока: макс. – 640;
- производительность по холоду: 5073 Вт;
- потребляемая электрическая мощность: 1603 Вт;
- удаление влаги(max): 2,2 л/4;
- производительность по теплу: 5542 Вт;
- размеры: высота – 967 мм, ширина – 300, глубина – 195.

Расположение кондиционера приводится на рисунке 4.1.

Вывод: согласно расчетам, для создания удовлетворительного климата и обеспечения благоприятных условий воздушной среды в операторской, подходит кондиционер сплит-системы. Преимуществом таких кондиционеров является относительная простота конструкции, позволяющая получить достаточно низкую стоимость при быстрой и легкой установке кондиционера. Недостатком является невозможность подачи в помещение свежего воздуха.

.

5 БИЗНЕС-ПЛАН

5.1 Цели и обоснование проекта

Основой экономической эффективности технологии LTE является низкая стоимость, быстрота развертывания, широкие функциональные возможности по передаче трафика данных, IP-телефонии, видео и т.д. Технология LTE одна из самых быстрорастущих телекоммуникационных направлений.

В данной работе представлен проект модернизации базовой станции LTE (4G) в городе Алматы.

Основным плюсом LTE сети является скорость передачи данных, которая является весьма высокой и превышает 100 мбит/с до 1 Гбит/с (в сравнении - 144кбит/с – 2 Мбит/с. у 3G). Благодаря такой скорости передачи загрузка и пересылка мультимедиа данных, является буквально секундным делом. Ещё одно важное преимущество – возможны режимы видеоконференции и видеотрансляции.

Конечно, 4G подразумевает переход современных технологий на новый этап развития, однако вместе с этим появлением данных сетей потребуется полностью менять техническое оснащение и ПО, а это всегда связано с большими материальными затратами. Для того чтобы эту технологию отработать, как следует, открываются экспериментальные сети в некоторых районах города.

Настоящий бизнес-план предусматривает расширение существующей базовой станции стандарта UMTS до стандарта LTE, способной эффективно работать в условиях существующей конкуренции. Базовая станция располагается на многоэтажном здании, антенные установки вынесены на высоту 53 м.

Основными целями бизнес-плана являются:

- создать удобства и преимущества, связанные с локальной мобильностью;
- завоевание рынка сбыта;
- получение прибыли.

5.2 Резюме

Мобильная связь рассматривается в настоящее время как необходимость, а технологии мобильной связи являются наиболее востребованными и быстро

растущими.

Технология LTE, разработанная консорциумом 3GPP, является одной из наиболее перспективных для развертывания сетей широкополосной связи четвертого поколения. Она обеспечивает операторам сетей высокую операционную совместимость и низкую стоимость обслуживания, а потребителям – новый уровень широкополосного мобильного радиодоступа.

Общая сумма капитальных вложений на разработку и выполнение данного проекта составит 12541848,20 тенге.

Экономическая эффективность 6,02. Срок окупаемости проекта составит не более 2 месяцев.

Реализация данного бизнес-плана позволит компании занять значительную часть рынка услуг проектирования сетей связи, быстро возвратить инвестиции, позволит получить стабильный и хороший доход.

Выбранная в ходе разработки продукция HUAWEI будет служить намного дольше своих конкурентов и нам не придется платить за замену более быстро изнашиваемого оборудования каждые 5 лет.

5.3 Компания и отрасль

АО «Казахтелеком», национальный оператор связи Казахстана и одна из самых динамично развивающихся телекоммуникационных компаний на постсоветском пространстве, предоставляет широкий спектр инфокоммуникационных услуг.

51% акций АО «Казахтелеком» принадлежит государству в лице Фонда национального благосостояния «Самрук-Казына». В структуру Группы компаний АО «Казахтелеком» входят: АО «АЛТЕЛ» (100%), АО «НУРСАТ» (77,08%), ООО «Сигнум» (100%), ТОО «ВОСТОКТЕЛЕКОМ» (100%), ТОО «KT Cloud Lab» (100%), ТОО «Radio Tell» (100%), ООО «Online.kg» (100%) (по состоянию на 31.03.2012 г.). Сегодня Группа компаний АО «Казахтелеком» охватывает все основные целевые рынки потребителей инфокоммуникационных услуг.

5.4 Анализ рынка телекоммуникаций

Среди всех стран СНГ Казахстан входит в тройку лидеров по уровню проникновения услуг сотовой связи, объему выручки рынка, а также по средней стоимости одной минуты разговоров по мобильной связи. Рейтинговое агентство «Эксперт РА Казахстан» изучила рынок сотовой связи стран содружества в период с 2010 по 2013 год.

Несмотря на то, что в 2009 году произошло замедление роста, Казахстан

сегодня является быстрорастущим рынком в области телекоммуникаций. Позитивный рост на рынке связи объясняется ростом экономики Казахстана и государственными реформами в секторе телекоммуникаций. В 2004 году правительством Казахстана было заложено основание для либерализации и развития рынка телекоммуникаций.

Конкурентная ситуация в Казахстане за рассмотренный период улучшилась, однако на показателях оценки концентрации рынка это еще отразилось не столь существенно. С 2008 по 2012 год доля операторов «GSM Казахстан» и «Алтел» уменьшилась, на 4,2 п.п. и 1,1 п.п., соответственно. В то время как ОАО «Кар-Тел» увеличил свою долю на 3,4 п.п., и лишь появившийся в 1 квартале 2011 года оператор «Tele2» уже имеет долю от общей абонентской базы страны в размере 1,8% (Таблица 5.1). Такое долевое распределение абонентов среди игроков рынка не может положительным образом сказаться как на стоимости услуг связи, так и на конкурентной среде.

Таблица 5.1 – Структура рынка сотовой связи

Оператор	Доля рынка по числу активных абонентов	Доля рынка по доходам
GSM Казахстан	47.2%	52%
«Кар-Тел»	47%	42%
«Алтел»	5%	4%
Tele2	1.8%	2%

5.5 Менеджмент

АО «Казахтелеком» – крупнейший оператор связи Республики Казахстан, имеет региональные подразделения в каждой области страны и предоставляет широкий спектр инфокоммуникационных услуг по всей территории Казахстана.

Создание системы менеджмента качества (СМК) на основе международных стандартов ИСО 9001 является важнейшим фактором динамичного развития компании, усиления ее позиции на телекоммуникационном рынке Республики Казахстан, укрепления доверия пользователей телекоммуникационных услуг. СМК рассматривается как действенный инструмент анализа требований пользователей к спектру услуг, организации их предоставления, построению и постоянному совершенствованию эффективных внутренних и внешних бизнес-процессов.

5.6 Стратегия маркетинга

Для продвижения товаров на рынке предполагается использовать следующие виды рекламы:
- средства массовой информации;
- рекламные щиты, плакаты, прайс-листы;
- ежегодные выставки;
- сеть Интернет.

Рыночные возможности фирмы определяются максимальным количеством клиентов, потребности которых фирма может удовлетворить за определенный период времени.

При создании имиджа престижной компании необходимо поддерживать цены на относительно высоком уровне, но на уже существующие услуги, типа мобильный Интернет, универсальная услуга связи, цены не должны быть выше, чем у конкурентов. На новые виды услуги они могут быть максимально высоки. Ценовая политика фирмы должна строиться на принципе: высокое качество – высокая цена.

1. Средние валовые издержки для производства (услуги) в минуту. (Постоянные затраты + переменные затраты) 1 количество рабочих часов.
2. Цены конкурентов (таблицы 5.2, 5.3):

На сегодня на рынке Казахстана существуют четыре сотовые компании, три из них работают в цифровом стандарте GSM (K'Cell, Beeline, Tele2) и компания "Алтел" (с торговой маркой "DALACOM") - в стандарте CDMA evdo 2000.

Таблица 5.2 – Тарифы на эфирное время компании "Kcell" (KcellConnect).[14]

Эфирное время	Шаг биллинга,секунд	Тенге за минуту
Все входящие		0
Исходящий мобильный	1	11
Исходящий на Город	1	11
Исходящий на GSM (других операторов)	1	11
SMS исходящий (Dalacom, Pathword, Beeline, Tele2)	1 сообщение	12,33
SMS исходящий (K-cell, Activ)	1 сообщение	7
Интернет (1 Мб)	1 мб	20,16

Таблица 5.3 – Тарифы сотовых компаний [22]

Компании	Абонент-ская плата	Стоимость звонкавну три сети за мин в тенге стоимость/ шаг	Стоимость звонка на городской номер за мин в тенге стоимость/ шаг	Стоимость звонка на другие сотовые компании в республике за мин в тенге стоимость/ шаг	SMS стоимость/со общение
K-Cell	-	11/1с.	11/ 1с.	11/1с.	7
Beeline	-	8 /1с.	16 /1с.	16/1с.	7
Tele2	-	11/1с.	11/1с	11/1с	8

5.7 Производственный план

Реализация проекта производится по этапам, которые представлены в таблице 5.4

Таблица 5.4 - Этапы проектирования

Наименование этапов	Исполнители
Разработка проекта построения сети	Инженер по планированию сети
Монтаж оборудования	Инженеры (Главный инженер, инженер отдела обслуживания базовых станций)
Настройка системы	Инженеры (Главный инженер, инженер отдела обслуживания базовых станций))
Сдача в эксплуатацию	Инженеры (Главный инженер, инженер отдела обслуживания базовых станций)

5.8 Организационный план

Организационный план является неотъемлемой частью бизнес-плана.

В данном проекте будет произведен расчет затрат на покупку, доставку, установку и запуск оборудования сотовой связи стандарта LTE, производства компании HUAWEI. Выбор именно этого производителя оборудования обусловлен относительно недорогой стоимостью оборудования, хорошими техническими характеристиками, совместимостью с оборудованием других производителей, гарантийный срок обслуживания 3,5 года.

Для осуществления данного проекта необходимо будет установить в городе Алматы на пересечении улиц Жарокова – Левитана, одну центральную станцию (BSC). В первый год работы компании данное оборудование не будет нуждаться в модернизации и увеличении числа станций. По данным акимата в Бостандыкском районе проживает 400 000 жителей. В зону покрытия базовой станции расположенной в этом районе, попадают различные бизнес центры, отели, развлекательные центры, поэтому можно считать, что новой услугой сотовой связи заинтересуется около 4000 или 1% наиболее активных абонентов, а это молодежь, бизнесмены.

5.9 Финансовый план

Экономическая целесообразность внедрения сотовой связи стандарта LTE для пользователей заключается в низких тарифах на предлагаемые услуги потребителю.

Целью определения расходов (эксплуатационных затрат) является расчет их необходимой величины для обеспечения нормальной производственной и коммерческой деятельности предприятия.

Нужно рассчитать все финансовые затраты для внедрения одной БС системы LTE.

Для расчета необходимы следующие данные:

Площадь, которую сможет покрыть одна базовая станция стандарта LTE 5км

Численность активных пользователей 4 тыс. чел.;

Согласно прайс-листу АО «HUAWEI» стоимость базовой станции HUAWEI™ MBS 9100 (Node B) составит 65 тыс. долл. = 11 831 932.27 тенге [23].

Для анализа существующей потребности населения в услугах сотовой связи, а также для прогнозирования увеличения числа абонентов целесообразно установить одну базовую станцию, с перспективой увеличения числа базовых станций по мере необходимости.

Капитальные вложения - это совокупность затрат на создание новых, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение предприятий. Они включают средства, связанные с проведением строительно-монтажных работ, приобретением оборудования, кабельной продукции, их транспортировкой и монтажом на месте эксплуатации.

5.9.1 Расчет общих капитальных вложений на оборудование сети

Капитальные вложение включают в себя стоимость оборудования, монтажных работ и транспортных услуг.

Общие капитальные вложения:

$$K = K_O + K_M + K_{TP}, \quad (5.1)$$

где K_O-затраты на оборудование;

K_M – капитальные вложения на монтажные работы;

K_{TP}- капитальные вложения на транспортные расходы (1% от стоимости оборудования)

$$K_{TP} = K_O \cdot 0{,}01 = 118319{,}322 \ \textit{тенге} \quad (5.2)$$

Таблица 5.5 Капитальные вложения на приобретение оборудования(все расчеты определяются укрупненным методом)

Капитальные вложения	Наименование закупаемых товаров, работ и услуг	Сумма планируемая для закупки с учетом НДС
Затраты на оборудование	Базовая станция HUAWEI™ MBS 9100 (eNodeB)	11 831 932,27
Капитальные вложения на монтажные работы	монтажные материалы и услуги по установке оборудования 5% от стоимости оборудования	591 596,61
Капитальные вложения на транспортные расходы	1% от стоимости оборудования	118 319,322

Общие капитальные вложения	12 541 848,20

Подставим значения $К_О$=11 831 932,27тг, $К_М$=591 596,61тг, $К_{ТР}$= 118 319 тг в формулу 5.1, и получим:

К = 11831932,27+591596,61+118319,322 = 12 541 848,20 тенге.

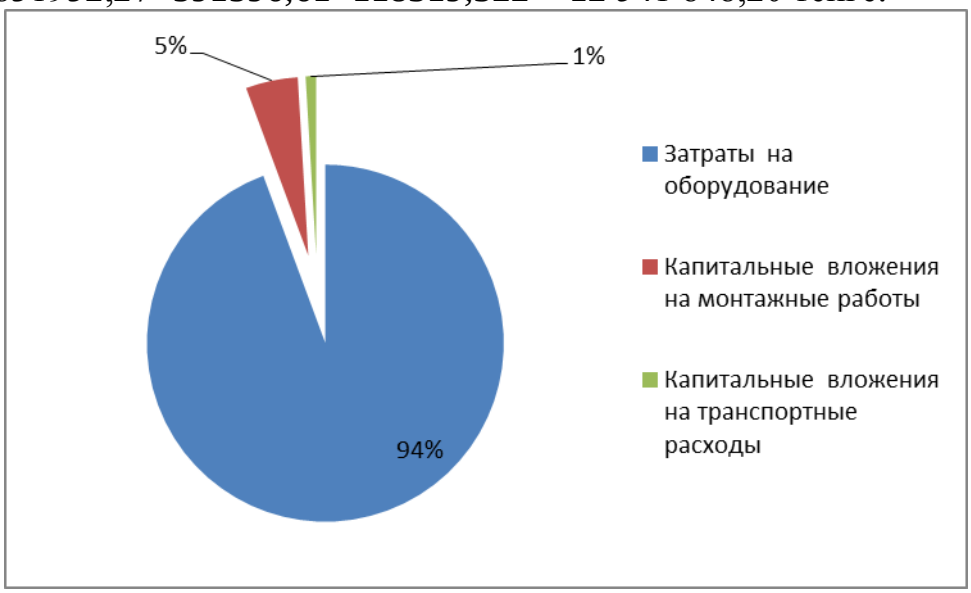


Рисунок 5.1 Структура капитальных вложений

5.9.2 Расчет эксплуатационных затрат

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

$$Э_р=ФОТ+О_{сн}+А_0+Н_р+ Пч.+С_{ЭЛ}+М \quad (5.3)$$

где ФОТ - фонд оплаты труда всех работников предприятия;
$О_{сн}$-социальный налог;
М - материальные затраты и запасные части (расходы на запасные части и текущий ремонт составляют 0,5% от капитальных вложений);
Э - затраты на электроэнергию;
Ао- амортизационные отчисления;
ч-платежи за использование частот;

Н - накладные расходы (косвенные расходы, сюда можно отнести все неучтенные расходы - управленческие, хозяйственные, затраты на обучение кадров, транспортные расходы).

Фонд оплаты труда (ФОТ), определяется числом работников предприятия и их заработной платой:

$$ФОТ=З\text{п}_{ср} \cdot Ч \cdot 12 \quad (5.4)$$

Количество обслуживающего персонала, согласно нормативу численности штата центра технической эксплуатации радиорелейных линий (РРЛ) и спутниковых систем связи это 2 инженера.

средняя заработная плата $ЗП_{ср}$

$ЗП_{ср}$=90 000 тенге

$ФОТ=90000 \cdot 2 \cdot 12$ =2 160 000 тенге

Отчисления на социальный налог напрямую зависят от фонда оплаты труда. На сегодня действующие нормы отчислений характеризуются следующими данными: социальный налог составляет 11% от ФОТ, за вычетом отчислений в пенсионный фонд в размере 10% от фонда оплаты труда.

$$О_{сн}=0{,}11\ (ФОТ-О_{пф})=0{,}11 \cdot 0{,}9\,ФОТ \quad (5.5)$$

$O_{сн}= 0{,}099 \cdot 2160000 =$ 213 840 тенге

Амортизационные отчисления на систему связи возьмем 15% от капитальных вложений:

$$A_0 = \frac{H_a(\%) \cdot K_{вл}}{100} \quad (5.6)$$

$$A_0 = \frac{15 \cdot 12541848{,}20}{100} = 1881277 \ \ тенге$$

Накладные расходы составляют обычно 75% от ФОТ.:

H_p=0,75 · ФОТ = $0.75 \cdot 2160000 =$ 1 620 000 тенге.

Затраты на аренду частоты $З_{част.}$ = 13 918 450 тенге в год.

Затраты на электроэнергию рассчитаем по следующей формуле:

$$С_{ЭЛ} = W \cdot T \cdot S \quad (5.7)$$

где W- потребляемая мощность, одна базовая станция 3 кВт;
Т - количество часов работы Т=8760 ч/год;

S - стоимость киловатт-часа электроэнергии S=17тг/кВт-час:

$С_{ЭЛ}$ = 3 · 8760 · 17= 446 760 тенге

Затраты на материалы и запасные части принимают в размере 5% от стоимости системы:

М = 12541848,20 · 0,05 = 627 092,4 тенге

Таким образом

Эр=2 160 000+213 840+1 881 277+1 620 000+13 918 450+446 760+
+627 092,4 = 20 867 419,4тенге.

Таблица 5.6 Структура эксплуатационных расходов

Наименование	Абсолютная величина, тыс. тенге	Удельный вес, %
Фонд оплаты труда (ФОТ)	2160	10,35
Отчисления на социальныйналог, $О_{сн}$	213	1,02
Амортизационные отчисления, $А_0$	1881	9,01
Накладные расходы, $Н_р$	1622	7,77
Затраты на аренду частоты, $З_{част.}$	13918	66,69
Затраты на электроэнергию, $С_{ЭЛ}$	446	2,13
Затраты на материалы и запасные части, М	627	3,00
Итого:	20867	100

Рисунок 5.2 Структура эксплуатационных расходов

5.9.3 Расчет доходов от предоставления услуг сотовой связи

Расчет доходов от предоставления услуг сотовой связипроизводится как ожидание по результатам маркетингового анализа и планирования. Приблизительная численность абонентов в первый год составит: 4000 абонентов. Данные приведем в таблицу 5.7.

Согласно проведенного социологического опроса: в среднем каждый абонент тратит в месяц 3000 тенге на услуги сотовой связи из которых, 1500 тенге на исходящие звонки, 250 тенге на отправку SMS (коротких сообщений), 250 тенге на отправку MMS, 1000 тенге за доступ в Интернет.

Следовательно, ежемесячно каждый из абонентов в среднем пользуется:

услугами исходящих звонков с продолжительностью разговора $T_{исх}$:

$$T_{исх} = G_{исх} / N_{исх}, \quad (5.8)$$

где $G_{исх}$– предполагаемая сумма, затрачиваемая абонентом на исходящие звонки;

$N_{исх}$ – тариф одной минуты исходящего звонка;

$T_{исх}$ = 1500 / 11= 136,36 минут (возьмем $T_{исх}$=136 минут = 2 ч. 16 мин.);

Рассчитаем объем исходящих звонков в минутах

$V_{исх}$ = 136·4000 =544 000 минут;

- услугами отправки коротких сообщений SMS:

$T_{sms} = G_{sms} / N_{sms}$,

где G_{sms} – предполагаемая сумма, затрачиваемая абонентом на SMS;

N_{sms}– тариф отправки одного SMS;

T_{sms} – количество исходящих смс сообщений;

T_{sms} = 250 / 7 = 35 штук;

Рассчитаем объем переданных СМС сообщенний

V_{sms} = 35·4000 = 140 000 штук;

– услугами информации (прогноз погоды, анекдоты, гороскоп, игры):

T_{inf}= G_{inf} / N_{inf}, (5.9)

где G_{inf}– предполагаемая сумма, затрачиваемая абонентом на передачу мультимедийных MMS сообщений;

N_{inf} – тариф передачи одного MMS с нужной информацией;

T_{inf} – количество информационных (MMS) сообщений;

T_{inf} = 250 / 7 = 35 штук;

Рассчитаем объем переданных MMSсообщений

V_{inf} = 35·4000 = 140 000 штук;

– услугами доступа в интернет:

T_i = Gi / Ni, (5.10)

где G_i – предполагаемая сумма, затрачиваемая абонентом на получение информации посредством доступа в Интернет;

N_i – тариф использования шлюза Интернет;

T_i– колличество скаченной информации

T_i = 1000 / 20,16 = 50 Мб (не все абоненты пользуются услугами мобильного интернета, но некоторые будут использвать его как основной способ подключения к интернету)

Рассчитаем объем скаченной информации

V_i50·4000 = 200 000 Мб.

5.9.4 Расчет ожидаемых годовых доходов

Доход от реализации услуг:

$D_{реал}$ = *D*исх + *D*sms + *D*inf + *D*i (5.11)

от услуг исходящих звонков :

$D_{исх}$ = 12 ·$V_{исх}$ · $T_{исх}$ (5.12)

где $T_{исх}$- тариф за одну минуту исходящего звонка

$V_{исх}$ – объем продаж единиц в месяц;

$D_{исх}$= 12 · 544 000 · 11 = 71 808 000 тенге;

от услуг отправки SMS:

*D*sms = 12 ·Vsms · Tsms (5.13)

где Vsms – объем продаж единиц SMS в месяц;

Tsms – тариф за отправку одного SMS.

*D*sms = 12 ·140000 · 7 = 11 760 000 тенге;

от услуг передачи мультимедийных MMS:

*D*inf = 12 ·Vinf · Tinf,

где Vinf – объем продаж единиц информационных MMS в месяц;
Tinf – тариф за передачу одного мультимедийного MMS

*D*inf = 12 ·140 000 · 7 = 11 760 000 тенге;

от услуг использования Интернета:

*D*i = 12 ·Vi · Ti (5.14)

где Vi – объем продаж мегабайт трафика в месяц;
Ti – тариф за один мегабайт трафика.

*D*i = 12 ·200 000 · 20.16 = 48 384 000 тенге;

Таким образом доход от реализации услуг: $D_{реал}$ =71 808 000+ 11760000+ 11 760 000+ 48 384 000= 143 712 000 тенге

Прибыль от основной деятельности характеризует результативность хозяйственной деятельности предприятия, она определяет эффект его работы как разницу между полученными доходами от реализации услуг и средствами, израсходованными в процессе создания услуг.:

$Пр_{осн.}=D_{осн.}=D_{реал}- Э_{Р}$ (5.15)

$Пр_{осн.}=D_{осн.}=D_{р\ ал}- Э_{Р}$=143 712 000 – 2 086 419=122 844 581 тенге

Таблица 5.7 – Расчет доходов от предоставления услуг сотовой связи

Наименование услуги	Тариф	Объем продаж в месяц, единицы	Ожидаемые годовые доходы, тенге
Исходящийзвоноквнутри сети	11 тг./мин.	544000	71 808 000
Отправкакоротких сообщений SMS	7 тг/шт.	140000	11 760 000
Отправка мультимедийный сообщений MMS	7 тг/шт.	140000	11 760 000
Доступ в интернет	20,16 тг/Мб.	200000	48 384 000
Итого			143 712 000

Получаемые предприятием доходы подлежат налогообложению, при котором определенная их часть перечисляется в бюджет в соответствии с действующим законодательством.

Корпоративный налог определяется по следующей формуле:

$Ю_{н}= Н_{ст}*Пр_{осн,}$ (5.16)

$Н_{ст}$–ставка подоходного налога на прибыль юридического лица– 20%

$Ю_н = Н_{ст} * Пр_{осн.} = 0{,}2 \cdot 122\,844\,581$ =24 568 916тенге

Прибыль после налогообложения рассчитывается по формуле:

$Пр_{п/нал/обл.} = Пр_{осн.} - Ю_н$ (5.17)

$Пр_{п/нал/обл.} = Пр_{осн.} - Ю_н$=122 844 581 - 24 568 916=98 275 664 тенге.

$Пр_{п/нал/обл.} = Пр_{чист.ост.врасп.пред}$

Прибыль оставшаяся в распоряжении предприятия включает в себя:

1. Средства накопления (75% от чистой прибыли, в распоряжении предприятия);
2. Средства потребления (20% от чистой прибыли, в распоряжении предприятия);
3. Резервные средства (5% от чистой прибыли, в распоряжении предприятия).

Средства накопления

$ФН$=0,75*Пр $_{п/нал/обл}$ (5.18)

$ФН$=0,75*Пр $_{п/нал/обл}$= $0{,}75 \cdot 98\,275\,664$ = 73 706 748тенге

Ожидаемые чистые поступления (ОЧД)-средняя сумма денежного потока в периоде:

$ОЧД = ФН + А_0$; (5.19)

$ОЧД$=73 706 748 +1 881 277=75 588 025тенге

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

$$Т_{ок.} = \frac{Квл}{ОЧД}, \quad (5.20)$$

$К_{вл}$-это сумма инвестиционных средств, направляемых на реализацию инвестиционного проекта.

$Т_{ок.}$= 12541848/75 588 025 =0,166 года= 1,99 месяца

Экономическая эффективность:

$$E=\frac{1}{Tок} \quad (5.21)$$

E=1/0,166=6,02

Так как расчет срока окупаемости услуг в сети LTE составил меньше года, то расчета показателей дисконтированной стоимости проекта, рентабельности инвестиций, внутренней нормы доходности и дисконтированного срока окупаемости не требуется.

Вывод:

Технико-экономическое обоснование подтверждает, что данный проект является экономически выгодным и эффективным.

В данном разделе я описываю выгодность моего проекта, провел статистический анализ населения города Алматы Бостандыкского района, провел маркетинговый анализ желания населения на приобретения моих услуг. После экономических расчетов, было выяснено, что срок окупаемости меньше года из этого следует, что рентабельность моего проекта больше 1, следовательно, теоретически, это будет выгодным вложением денег. Конечно, капитальные затраты огромные, но и прибыль после года будет хорошей, стабильно возрастающей.

Таблица 5.8– Технико-экономические показатели модернизации БС

Показатели	Сумма, в тенге
Капитальные вложения на технику	12 541 848,20
Эксплуатационные расходы	20 867 419,4
Прибыль от основной деятельности	122 844 581
Экономическая эффективность	6,02
Чистый доход от реализации услуг	98 275 664

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной работе были рассмотрены параметры передачи данных в сетях LTE. Проведено аналитическое исследование частотного диапазона, показаны достоинства данной технологии. Результаты расчета показывают, что данная сеть имеет множество преимуществ в сравнении с другими технологиями 4G, такими как WiMax.

Движущейся силой развития мировой инфокоммуникационной индустрии является потребность человека в перфонифицированных мультисервисных услугах в любое время и в любом месте. Это основопологающий фактор для становления информационного общества. Технология LTE, скорость доступа более 100 Мбит/с сочетается с приемлемыми экономическими, техническими и функциональными свойствами.

В результате выполнения дипломного проекта, были исследованы параметры передачи данных в сетях LTE. Сеть была построена на оборудовании HUAWEI, также выполненная полная настройка необходимых компонентов сети. Техническое задание проекта полностью выполнено.

Во второй главе было рассмотрено основное оборудование сети, составлены планы сети, упрощающие настройку, а так же логическая топология.

Третья глава посвящена расчету энергетического потенциала линии, радиуса покрытия, пиковой скорости передачи, затуханий при распространении для LTE в среде Borland Pascal.

В четвертой главе были рассмотрены вопросы охраны труда, а именно: анализ условий труда, выявление опасных и вредных производственных факторов, анализ существующего искусственного освещения и расчет системы кондиционирования помещения в котором будет проходить рабочий процесс.

В пятой главе произведен расчет себестоимости проекта, а также экономический эффект от внедрения новой системы. Рассчитанный срок окупаемости составит меньше 1 года. Экономическа эффективность равна 6,02.

Выгоду от внедрения новой системы можно оценить по следующим критериям:

- высокое качество оборудования HUWAEI;
- простота внедрения;
- отказоустойчивость сети;
- возможность изменения конфигурации;
- продолжительность срока службы составит до 8 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура//М.: Эко-Трендз, 2010

2. Гольдштейн Б.С., Елагин В.С. Законный перехват сообщений: подходы ETSI, Calea и СОРМ//Вестник связи/-2007.№3

3. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Минаев И.В. Сравнительный анализ спектральной эффективности систем UMTS и LTE// Мобильные телекоммуникации. – 2008. - №2

4. LTE характеристики, http://ru.wikipedia.org/wiki/LTE

5. Самуйков К.Е., Сопин Э.С. К анализу методов балансировки нагрузки несущей в системах LTE-Advanced//«Инфокоммуникационно-управленческие сети. Расчет и оптимизация систем связи».М.: – 2010.

6. Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия 4G. – М.: Техносфера, 2009, 472 с.

7. Билайн, http://www.beeline.kz/

8. Телеком, http://www.telecom.kz/

9. Проект 4G, http://www.kursiv.kz/projections-and-prospects-2012/4g/ 1195218282-o- srokax.html

10. Тихвинский В.О., LTE открывает эру мобильных инноваций, Итоги MWC-2011: ISSN 0013-5771, «Электросвязь», №3, 2011

11. Публикации об LTE, http://www.vokrugsveta.ru/publishing/876.htm

12. Samuel C. Yang CDMA RF system engineering, Boston, London, 2004 y.

13. Телеком, http://www.telecom.kz/index.php?uin=1234705796

14. Казахтелеком, http://www.keycentury.kz/ru/kazahtelecom

15. Глушко В.И., Уродливченко В.П., Костин А.Н. Возможности использования частотного ресурса для внедрения в России сетей LTE: ISSN 0013-5771. «Электросвязь», №9, 2010

16. Абдимуратов Ж.С., Манабаева С.Е. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела «Расчет производственного освещения» в выпускных работах для всех специальностей. Бакалавриат – Алматы: АИЭС, 2009. – 20 с.

17. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Под ред. Г.М. Кнорринга. Л., «Энергия», 1976. – 384 с. с ил.

18. Т. Е. Хакимжанов. Расчет аспирационных систем. Дипломное проектирование. Для студентов всех форм обучения всех специальностей. - Алматы: АИЭС, 2002. – 30 с.

19. Маринченко А.В. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2007. – 360 с.

20. СНиП РК 2.04-05-2002 «Естественное и искусственное освещение. Общие требования».

21. Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. «Методические указания для

экономической части выпускной работы». АИЭС - 2008 г.
22. Голубицкая Е.А. Экономика связи. Учебник для студентов ВУЗов. - М.: ИРКАС,2006.
23. Фурсов В.Г. «Экономика и менеджмент в схемах» Москва 2007г.
24. Orgtech, http://dvfu.ru/meteo/intra/Orgtech.htm