

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**Кафедра информационно-телекоммуникационных
систем и технологий**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО
БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LTE –
ADVANCE В Г. УСИНСК РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи
заочной формы обучения, группы 07001364
Савченко Дмитрий Сергеевич

Научный руководитель
ст. преп. кафедры
Информационно-
телекоммуникационных
систем и технологий
НИУ «БелГУ» Пеньков Е.П.

Рецензент
Преподаватель БИК
Гордиенко Сергей Владимирович

БЕЛГОРОД 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ	
1.1 Экспликация объекта.....	7
1.2 Анализ состояния существующей сети связи г. Усинск.....	9
ГЛАВА 2. СТАНДАРТ LTE	
2.1 Переход от UMTS к LTE.....	12
2.2 Структура LTE.....	12
2.3 Радиочастотный спектр технологии LTE.....	15
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ	
3.1 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE.....	18
3.2 Описание технологии широкополосного радиодоступа LTE	18
3.3 Особенности радио интерфейса LTE	24
ГЛАВА 4. ПРОСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ	
4.1 Просчет частотных каналов	26
4.2 Определения размерности кластера	33
ГЛАВА 5. ПРОСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE	
5.1 Просчет зон радиопокрытия кластеров.....	35
5.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории г. Усинск	41
ГЛАВА 6. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТИПА ЛИНИЙ СВЯЗИ	
6.1 Базовая станция eNodeB.....	47
6.2 Компактная базовая станция Metro 9764.....	49
6.3 Alcatel-Lucent 9471 Wireless Manager Mobility.....	51
6.4 Service Router - Mobile Gateway 7750.....	53
ГЛАВА 7. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА	
7.1 Электромагнитные излучения, их воздействие на организм человека и принципы гигиенического нормирования и защиты.....	57
ГЛАВА 8. ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	
8.1 Расчет капитальных вложений в проект.....	60
8.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов.....	62

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб		<i>Савченко Д.С.</i>			Проектирование сети высокоскоростного беспроводного доступа на базе технологии LTE-Advance в г.Усинск Республики Коми	Лит.	Лист	Листов
Провер		<i>Пеньков Е.П.</i>					2	77
Рецензент		<i>Гордиенко С.В.</i>				<i>НИУ «БелГУ», гр. 07001364</i>		
Н. контр		<i>Пеньков Е.П.</i>						
Утв.		<i>Жуляков Е.Г.</i>						

8.3 Расчет тарифных доходов.....	70
8.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации.....	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	78

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		3

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема перехода от традиционных сетей с коммутацией каналов к сетям с коммутацией пакетов является одной из наиболее актуальных для операторов связи. Перспективные разработки в области IP-коммуникаций связаны с созданием комплексных решений, позволяющих при развитии сетей следующего поколения сохранять существующие подключения и обеспечить бесперебойную работу в любой сети телефонного доступа: на инфраструктуре медных пар, по оптическим каналам, на беспроводной (LTE,) и проводной (ETTN, PLC и т.д.) сети. Согласно концепции «неразрушающего» перехода к NGN, подобные решения должны позволять точно переводить отдельные сегменты на новые технологии без кардинальной смены всей структуры сети. В частности, решения для «неразрушающего» перехода к NGN должны отвечать следующим требованиям:

- интеграция в существующую сеть оператора, поддержка не только новой транспортной технологии, но и привычной модели управления;
- полностью модульная архитектура с возможностями географического распределения и резервирования;
- возможность гибкого увеличения производительности путем приобретения лицензий и добавления в систему серверов;
- возможность внедрения новых видов услуг в минимальные сроки;
- соответствие требованиям законодательства об архитектуре сети.

Главными характеристиками таких сетей являются возможность с одинаковым качеством передавать любые виды трафика, широкая полоса пропускания, пакетная коммутация и управляемость.

Сеть сетей следующего поколения как универсальная система, безусловно, проигрывает традиционной цифровой телефонной сети с коммутацией каналов в смысле качества передачи речевой информации: неизбежно сильно возрастают задержки, а узкополосные кодеки искажают звук. Однако, в большинстве случаев выигрыш от перехода к коммутации пакетов позволяет пренебречь

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		4

снижением качества передачи речи - практически все остальные приложения, не связанные с речевым общением между людьми, гораздо лучше реализуются в рамках сети с коммутацией пакетов.

На сегодняшний день увеличился спрос и популярность мобильных сервисов и приложений, так как растет зависимость от сети Интернет, различных сфер общества призывает к более надежной широкополосной связи, которой можно будет воспользоваться в любом месте и в любое время. Такой широкополосной связью называется связь четвертого поколения (4G), которая обеспечивающая высокую скорость передачи данных при общем снижении затрат на содержание телекоммуникационного оборудования. Главной технологией 4G является технология LongTermEvolution (LTE). Операторы сотовой связи модернизируют свои беспроводные инфраструктуры для поддержки стандарта LTE, который благодаря своим особенностям позволяет достаточно эффективно доставлять любое информационное наполнение ресурса потребителем.

ОАО «Мобильные Теле Системы» МТС и ОАО «Вымпелком» Билайн, лидеры на рынке в России и странах СНГ, в 2014 году был произведен успешный запуск в эксплуатацию первых сетей 4G в Республике Коми. Мобильная передача данных со скоростью до 75 Мбит/с были доступны жителям нескольких населенных пунктов Республике Коми, а точнее Сыктывкар, Ухта, Воркута. Из выше перечисленного мы наблюдаем, что расширение сети LTE на территории Республики Коми, где не были охваченных инфраструктурой 4G, является актуальной задачей.

Целью моей дипломной работы является предоставление абонентам г. Усинск Республики Коми современных мульти сервисных услуг посредством технологии беспроводного широкополосного доступа LTE Advance. Для реализации поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

- Анализ инфраструктуры населенного пункта и существующей сети связи;
- Выбор варианта реализации сети в г. Усинск Республики Коми;
- Выбор варианта проектирования сети;

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		5

Расчет нагрузок и зоны радио покрытия сети;

Выбор и расчет объема оборудования;

Технико-экономическое обоснование;

Данный дипломный проект состоит из 8 глав, посвященные решению поставленных задач. Имеется графическая часть, в ней в виде графических схем изображена существующая схема связи города Усинск, проектируемая схема организации сети связи и зоны радио покрытия сети.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		6

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1 Экспликация объекта

Усинск - город в Республики Коми, расположенный на реке Уса. Усинск расположен в 61 км от Северного полярного круга. В 757 километрах к северо-востоку от Усинска находится столица республики Коми, город Сыктывкар. Население города составляет около 40 000 чел. по результатам на 2016 год. От железнодорожной станции «Усинск» ходит поезд дальнего следования: Усинск—Москва. Курсируют пригородные поезда Усинск — Печора и Усинск — Сыктывкар. Площадь города в настоящее время составляет 30 564 км². Город Усинск, как и вся Республика Коми, находится в часовой зоне, обозначаемой по международному стандарту как Moscow Time Zone (MSK). Смещение относительно UTC +3:00. Через город проходят важные магистрали трубопроводного транспорта. В 60 км от города, с 2011 года заработал самый северный в мире нефтеперерабатывающий завод от компании «Енисей» мощностью 1 300 000 т. в год.

Промышленность

Промышленность Усинского района составляет более семидесяти процентов всей промышленности Республики Коми. Около 27 тысяч человек работают на 792 организациях и предприятиях различных форм деятельности. Основная отрасль в городе является добыча нефти и газа.

В настоящее время на территории Усинского района, ведется разработка нефтяных месторождений двумя крупными нефтяными компаниями: «Лукойл» и «Роснефть». По мимо них, на территории Усинского района ведут свою деятельность: Компания «Русвьетпетро», ООО «Енисей», ОАО «Комнедра»,

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		7

ООО НГК «Горный», ООО «Нобель Ойл» (КО) и другие Компании. Транспортировкой нефти занимается компания «Транснефть-Север». Так же присутствуют компании предоставляющие услуги при бурении скважин и добычи нефти: Nabors Drilling, Weatherford, Smith Siberian Services, Schlumberger, Halliburton, Группа ERIELL и Baker Hughes.

Инфокоммуникационная инфраструктура:

В настоящее время на территории города Усинск действуют четыре независимых оператора мобильной связи: МТС, Билайн, МегаФон и Tele2 которые предоставляют услуги мобильной связи и передачи данных третьего поколения.

Основной телекоммуникационный оператор фиксированной связи в г. Усинск - ОАО «Ростелеком». На данный момент ОАО «Ростелеком» предоставляет следующие услуги:

1. Стационарная аналоговая телефония;
2. Доступ в Интернет по технологии ADSL;
3. Доступ в сеть Интернет по технологии FTTB

В Республике Коми на сегодняшний день сеть 4G развернута во всех крупных районах области и покрывает более половины её населенной территории. Кроме того, высокоскоростной мобильный интернет в сети LTE доступен жителям пригородных городов г. Сыктывкар. В городе Усинск скоростная сеть 4G отсутствует.

Развитие и увеличение проникновения скоростного доступа в сеть Интернет в городах и населенных пунктах Республики Коми – одна из приоритетных задач в регионе. Технология четвертого поколения сотовой связи открывает новые возможности использования современных телекоммуникационных сервисов не только жителям г. Усинска, но и всей егообласти.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		8

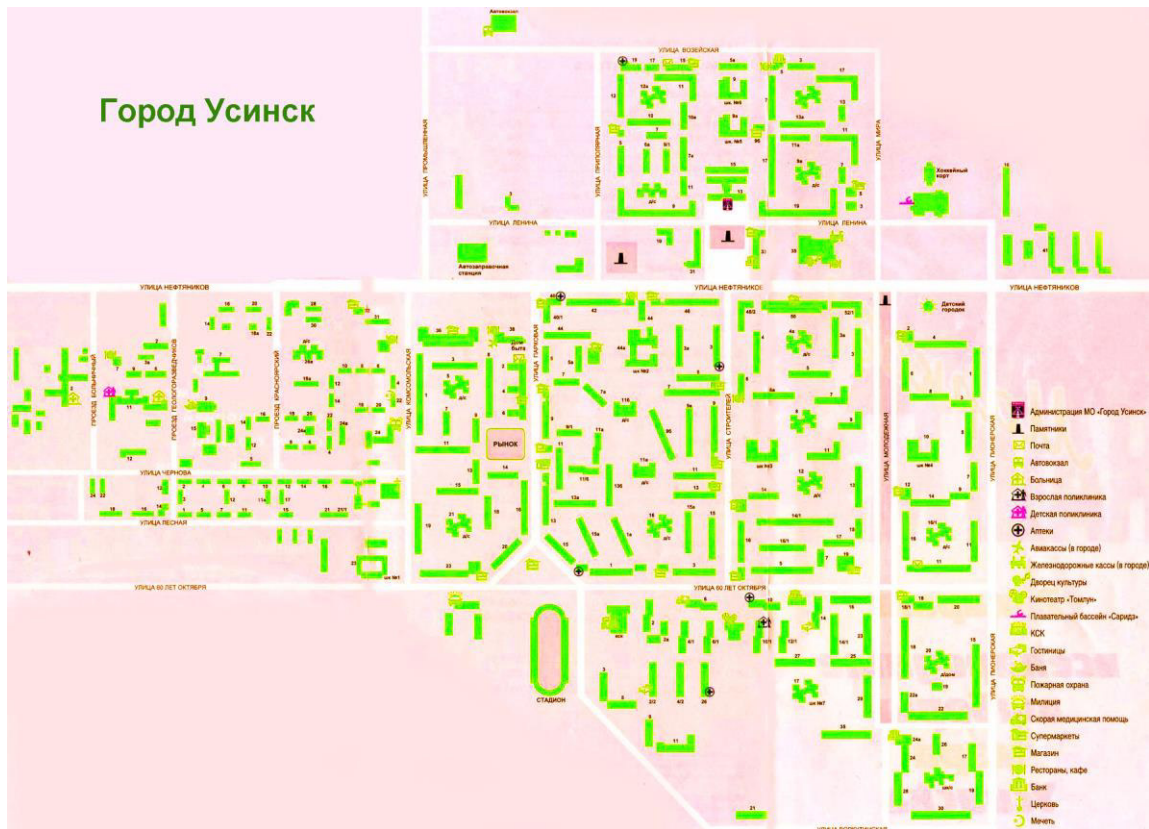


Рисунок 1.1 – г. Усинск Республики Коми

1.2 Анализ состояния существующей сети связи г. Усинск

Для того, что бы предлагаемый пакет услуг в проектируемой сети г. Усинск имел актуальность и был конкурентоспособным, необходимо в начале проектирования проанализировать имеющуюся сотовую сеть связи: выявить действующих операторов связи и набор предоставляемых ими услуг, а так же определить технологии, на основе которых действующие операторы предоставляют свои услуги абонентам сети.

Практически все абоненты мобильной связи имеют доступ к глобальной среде Internet посредством технологии HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access— пакетная передача данных от базовой станции к мобильному телефону) благодаря использованию 3G модемов у операторов мобильной связи «МТС», «Beeline», «Мегафон» и «Tele2». Вид существующей сети радиодоступа в г. Усинск представлена на рисунке 1.2.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		9

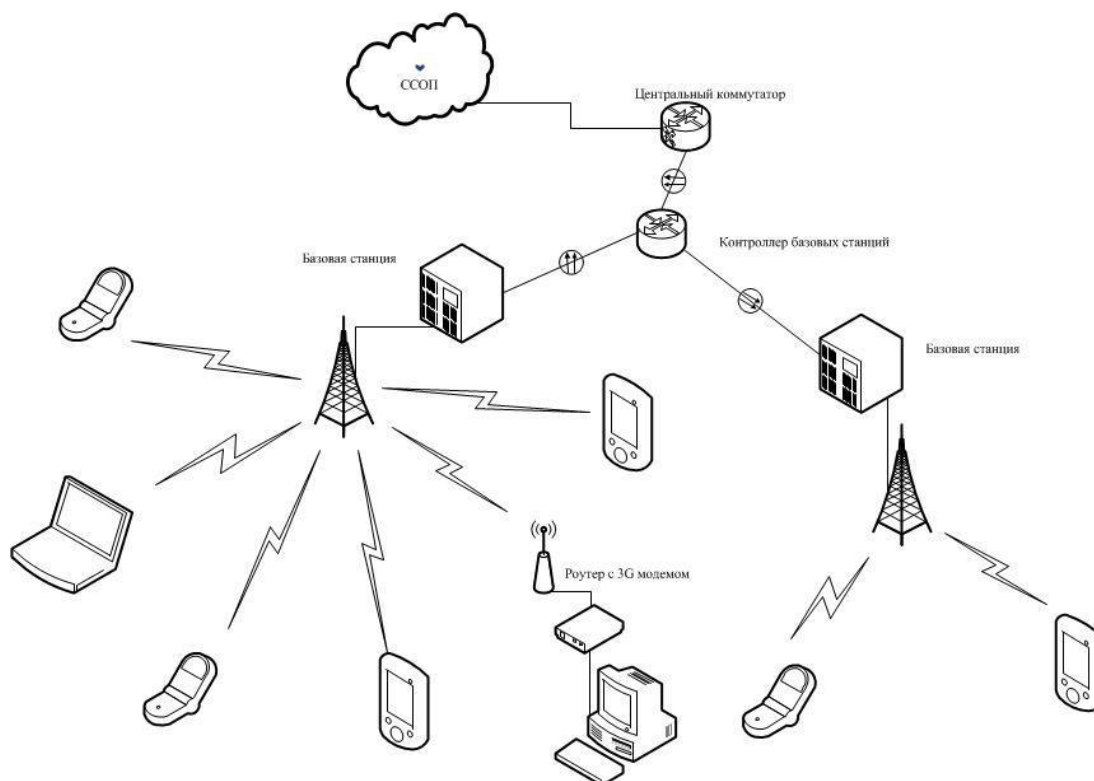


Рисунок 1.2 – Схема организации связи сотовых операторов на территории города Усинск Республики Коми

Однако предоставить качественные инфокоммуникационные услуги по технологии HSDPA всем жителям города операторы сотовой связи не могут, так как имеются ограничения на скорость передачи информации и качество мультимедийного сервиса.

Для реализации современных услуг связи необходимо иметь широкополосные частотные каналы, что не реализуемо в существующих радиосистемах. Прокладывать новую кабельную инфраструктуру экономически не целесообразно, поэтому очевидно применение беспроводных технологий широкополосного доступа для реализации целей проекта. На сегодняшний день таких технологий несколько и наиболее распространенные и перспективными считаются WiMAX стандарта IEEE 802.16e (Mobile WiMAX) и LTEAdvanced.

Выводы

Стандарт IEEE 802.16m будет полностью соблюдать все требования и спецификацию IMT-Advanced

Мобильный WiMAXrel 1.5 и LTE схожи по характеристикам. У одного и второго на базовой станции берется OFDMA с многоуровневой модуляцией и кодированием. В них используется MIMO большей кратности и уменьшение задержки. В них используется и FDD и TDD дуплексирование при ширине канала до 20 МГц. Максимальная скорость почти одинакова при одинаковых кратностях модуляции и скорости изменяемого кода.

Мобильный WiMAX выигрывает на два года по времени выхода на рынок и гладкую архитектуру сети.

Пропускная способность и спектральная эффективность мобильного WiMAX в релизе 2.0 имеет лучшие параметры, нежели LTE.

Мобильный WiMAX rel.2.0 совместим с релизами 1.0 и 1.5.

Инвестиции для преобразования сетей из 2G/3G в LTE и мобильный WiMAX примерно одинаковы.

Для построения обеих сетей требуется выделение частотного спектра, а также многорежимные абонентские устройства

В данном проекте мной был сделан выбор в стороны технологии LTE-Advance, так как реализация LTE-Advance будет проще на существующей инфраструктуре сетей 3 G.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		11

ГЛАВА 2. СТАНДАРТ LTE

2.1 Переход от UMTS к LTE.

Первая фаза стандарта LTE была разработана и завершена к 2008 г. Перед ним было развитие технологии HSPA (High Speed Packet Access) в стандарте UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) и мобильного WiMAXa. Технология OFDM была применена как в WiMAXa так и в LTE ,а из HSPAUMTS было позаимствовано адаптивное управление пакетной передачей в настоящее время с применением технологии HARQ, так же протокол уровня L2 и протокол L3. В связи с чем развитием стандартов 3GPP на пути к стандартам 4го поколения, стал LTE .Основное отличие LTE от UMTS из-за резкого увеличения рабочей полосы от 5 (3,84) МГц в UMTS до 10-20МГц в LTE , за счет чего и происходит увеличение скорости передачи во много раз. Первая спецификация LTE была представлена в Rel.8 3GPP, спустя время в развитии получает в Rel.9. В настоящее время LTE имеет спецификацию Rel.10 LTE-A (LTE – Advanced) , и максимальная сквозная пропускная способность увеличивается с 200 до 800 Мбит/с.

2.2 Структура LTE

Задачей технологии LTE является создание архитектуры пакетного радиодоступа для сети сотовой связи и беспроводного доступа на уровне стандарта WiMAX. В спецификациях E-UTRA мы можем наблюдать все основные сведения о технологии LTE (таб.2.1).

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		12

Таблица 2.1 Спецификация E-UTRA

Индекс спецификации	Содержание
TS36.1XX	Требования к оборудованию: абонентские и базовые станции, ретрансляторы.
TS36.2XX	Физический уровень
TS36.3XX	Уровни L2 и L3: MAC, RLC и RRC
TS36.4XX	Связи внутри структуры, включая eNB и MME
TS36.5XX	Тестирование

Версия Rel.8 сети LTE поддерживает скорость передачи вниз до 100 Мбит/с и вверх до 50Мбит/с в полосе 20 МГц, в плоскости управления снижаются задержки до 50-100 мс при переходе из неактивного или же спящего режима в режим выделенного канала, это позволяет вести обслуживание до 200 активных абонентов в соте. В LTE были реализованы задачи системной архитектуры эволюции SAE при передаче пакетного трафика. Архитектура E-UTRAN представлена на рисунке 2.1. В ней включено ядро пакетной сети EPC, усовершенствованные eNB и интерфейсы S1 и X2.

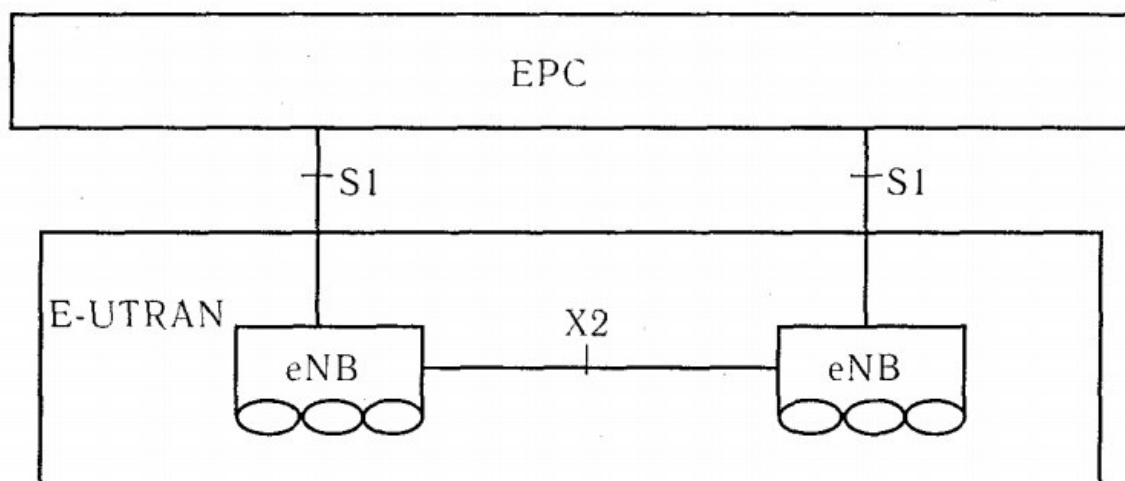


Рис. 2.1. Базовая архитектура сети E-UTRAN

EPC состоит из шлюзов доступа, которые для обслуживаемых ими eNB и абонентских устройств становятся S-GW. eNB собирает функции существующих

NodeB и контролеров RNC, относящиеся обработки пакетного трафика и выделение канального ресурса. Так же в E-UTRAN выдержан принцип логического разделения транспортных сетей передачи данных и сигнализации. Списки протоколов плоскости управления интерфейса S1: S1-MME и в пользовательской плоскости приведены на рисунке 2.2.

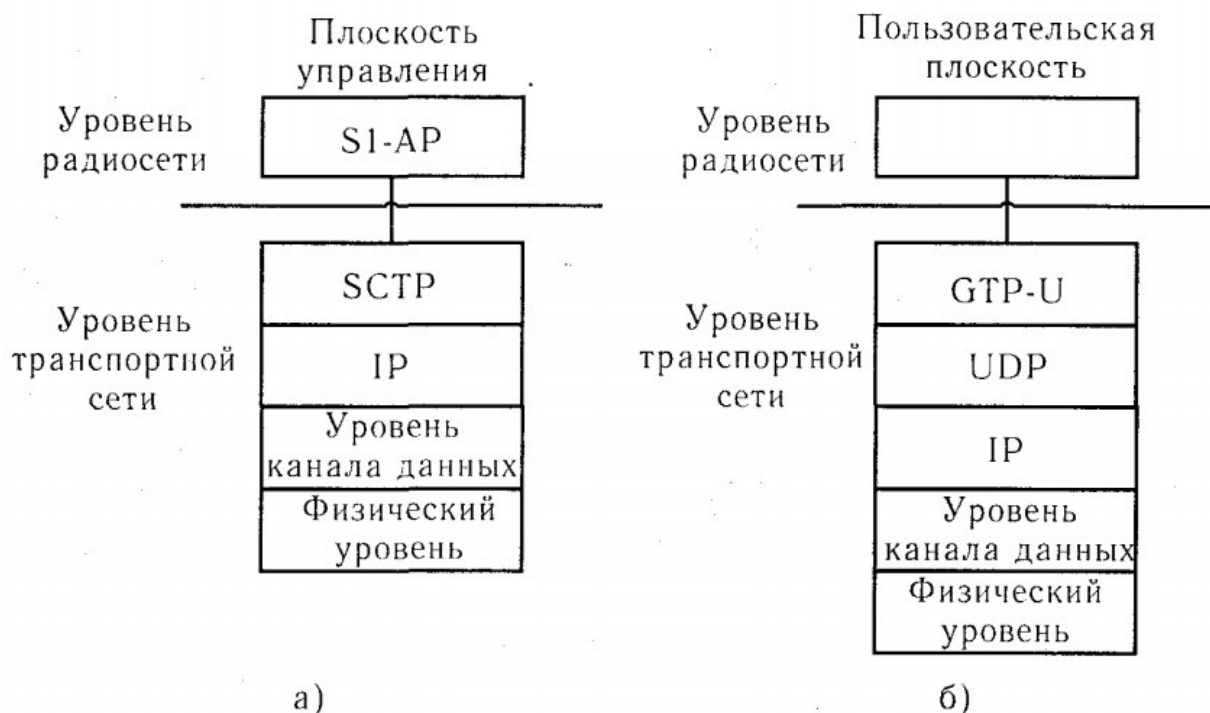


Рис. 2.2 - Интерфейс S1

Интерфейс X2 построен таким же образом (рис. 2.3).

На (рис. 2.4) мы можем увидеть логическую структуру совмещенной сети GSM/UMTS/LTE, а на (рис. 2.5) структура сети LTE. Ядро сети EPC состоит из обслуживаемого шлюза S-GW, для выхода на пакетные сети P-GW, структуры управления по протоколу Mobility Management MME, связанной с S-GW и eNodeB сигнальными интерфейсами. Толстыми линиями показаны соединения для передачи данных рис. 2.5, а тонкими сплошными линиями обозначены сигнальные соединения. Сигнальные соединения к опциональным функциональным узлам обозначены пунктиром: другим MME и PCRF. На домашний сервер HSS, MME имеет прямой выход, выполняющий все функции HLR сетей GE-RAN/UMTS.

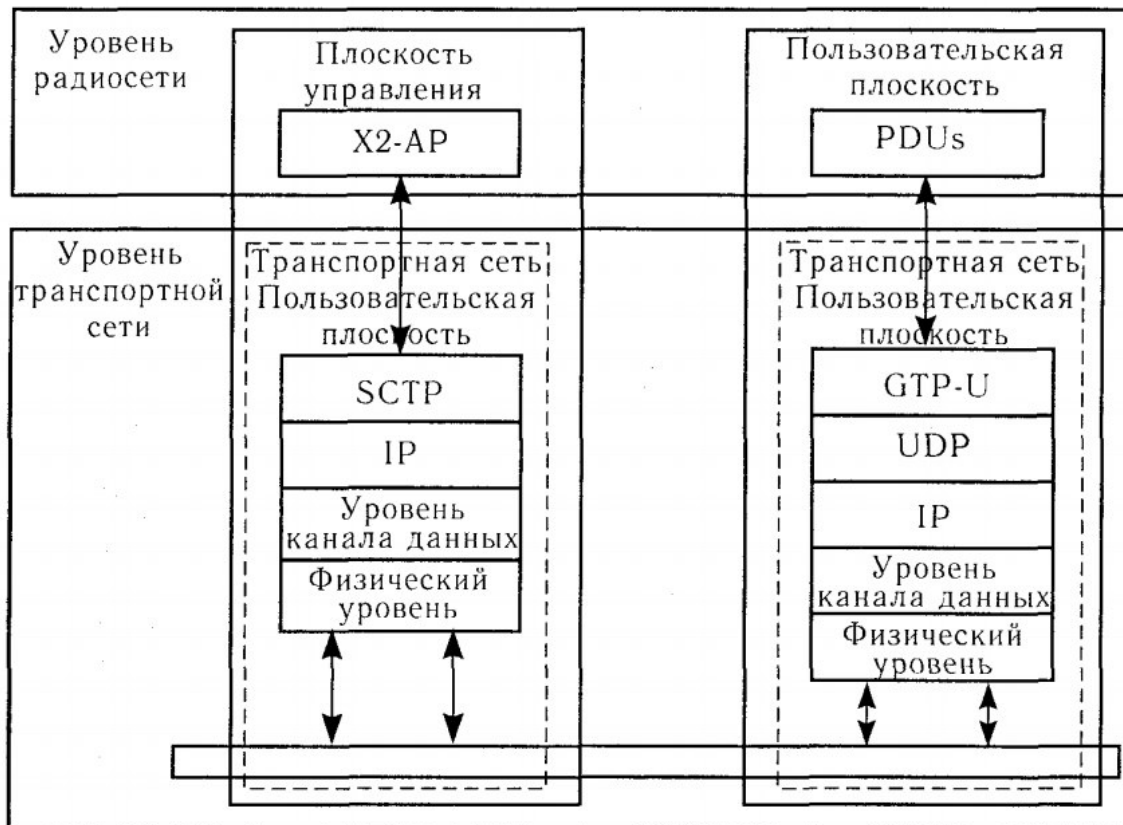


Рис. 2.3 - Интерфейс X2

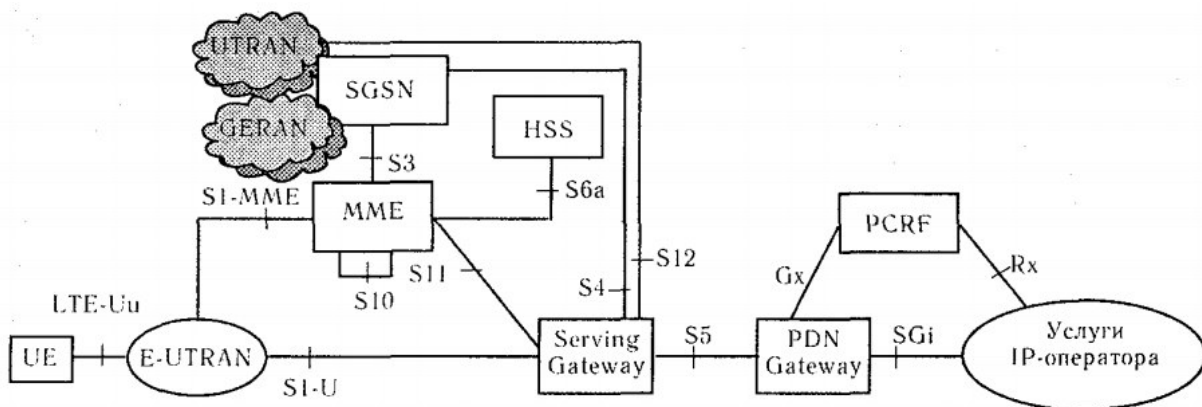


Рис.2.4 - Логическая структура сети GSM/UMTS/LTE

2.3 Радиочастотный спектр технологии LTE

Рабочими группами Партнерского проекта 3GPP и ETSI в технических спецификациях для LTE определены 17 полос радиочастот для режима

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

частотного дуплекса FDD и 8 полос для режима временного дуплекса TDD, которые показаны в таблице 2.2.

Из таблицы видно, что диапазоны, предназначенные для развития сетей LTE, уже освоены или осваиваются в России для работы сетей мобильной связи и беспроводного доступа различных технологий. Поэтому, создание в России LTE-сетей сопровождается трудностями с выбором и получением разрешения на использование частотного диапазона.

Таблица 2.2- Диапазоны частот для сети радиодоступа E-UTRA

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

Таким образом, будущее внедрения сетей LTE в России связано с необходимостью реформирования использования радиочастотного спектра на основе национальных процедур его высвобождения и перепланирования.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 января 2011 года № 57-р распределены полосы частот для перспективных радио технологий, включая LTE.

Это диапазоны 800 – 900 МГц; 2,3 – 2,4 ГГц; 2,5 – 2,7 ГГц. 8 сентября 2011 года на заседании Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) полосы радиочастот 791 – 862 МГц, 2500 – 2690 МГц, 2300 – 2400 МГц определены для создания на территории Российской Федерации сетей связи LTE и последующих его модификаций.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		17

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

3.1 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE

Так как у LTE высокая пропускная способность сети и повышенная скорость передачи данных, LTE имеет наиболее большой спектр по сравнению с сетями 2G/3G. А так же с переходом на концепцию «все через IP». Услуги предоставляемые сетью LTE выглядят так:

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

2.1 Принцип сетевой архитектуры сети LTE.

Основными принципами построения сетевой архитектуры LTE-SAE представлена общая опорная точка и узел шлюза (GatewayNode, GW) для всех остальных технологий доступа. На базе IP реализуется протокол во всех

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		18

интерфейсах. Интеграция технологий доступа, не относящихся к 3GPP, выполняется на базе IP как в сети, так и у абонента.

В архитектуре используется переход на меньшее количество узлов, сниженное с четырех до двух. Используется разделение функций интерфейса сети радиодоступа RAN-CN, основывается на сходстве как у WCDMA/HSPA. Плоскость управления и плоскость пользователя изменяются между шлюзом и системой управления мобильностью (MME). Шлюз, он выполняет функции устройства сети пакетных данных (PDN), так и сервисного шлюза, конфигурируется под выполнение обеих ролей или какой-нибудь одной из них. PDN-шлюз используется как общая опорная точка для всех остальных технологий доступа. Этим в границах одной или нескольких технологий доступа обеспечивается стабильная точка присутствия для всех пользователей на основе IP, вне зависимости от мобильности.

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

Главной составной частью архитектуры SAE является EvolvedPacketCore (EPC). EPC служит эквивалентом сети GPRS. Компонентами EPC являются:

- MME (узел управления мобильностью — MobilityManagementEntity) — Для сети доступа LTE , MME считается главным контролирующим модулем. За процедуры обеспечения мобильности отвечает именно он, хэндовера, слежения и пейджинга UE (пользовательские уст-ва — UserEquipment). MME применяется в процессах активации или деактивации сетевых ресурсов, он же отвечает за выбор SGW для UE при хэндовере внутри LTE со сменой узла ядра сети (CoreNetwork — CN) или при начальном подключении. За аутентификацию пользователя (при взаимодействии с HSS) отвечает именно он. Non-AccessStratum — NAS - сигнализация слоя без доступа, этот узел отвечает за генерацию и распределение временных идентификаторов для UE и оканчивается в MME. Для проверки авторизации, UE применяется для доступа к сервис-

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		19

провайдером мобильных сетей (PublicLandMobileNetwork — PLMN) и роуминговые ограничения производятся для UE. Заключительной точкой сети для шифрования или защиты целостности сигнализации NAS является MME и за управление безопасностью отвечает он. MME обеспечивает узаконенный перехват сигнализации. С помощью интерфейса S3 установленный к MME от SGSN, предоставляет плоскость функций контроля для обеспечения мобильности между LTE и сетями доступа 2G/3G. MME так же соединен интерфейсом S6a с домашним HSS для роуминга UE.

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

- PGW (пакетный шлюз - PacketDataNetworkGateway): Пакетный шлюз обеспечивает соединение от UE к внешним пакетным сетям данных, являясь точкой входа и выхода трафика для UE. UE может иметь одновременно соединение с более чем одним PGW для подключения к нескольким сетям. PGW выполняет функции защиты, фильтрации пакетов для каждого пользователя, поддержку биллинга, узаконенного перехвата и сортирование пакетов. Другая важная роль PGW — являться узлом управления мобильностью между 3GPP и не-3GPP технологиями, такими как WiMAX и 3GPP2 (CDMA 1X и EvDO).

- SGW (сервисный шлюз — ServingGateway): Смысл SGW в том, что он сделан для обработки и маршрутизации пакетных данных попадающих из/в подсистему базовых станций. SGW компьютеризирует и отправляет пакеты с пользовательской информацией, одновременно осуществляя роль узла управления мобильностью (mobilityanchor) для пользовательской информации при хэндовере между базовыми станциями (eNodeB), в том числе узел управления мобильностью сетями среди другими технологиями 3GPP и сети LTE. SGW вводит нисходящий канал данных (DownLink — DL) и совершает

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		20

пейджинг, когда UE волен и не занят вызовом, если требуется передача данных по DL в направлении UE. SGW хранит и управляет состоянием UE. Во время незаконного перехвата им так же предоставляются пользовательские сведения.

2.2 Распределение интеллекта в LTE-SAE

Для соблюдения требований к увеличению пропускной способности и уменьшению времени отклика, а также для перехода к all-IP сети, необходимо использовать новый подход к структуре сети.

Ранее сеть радиодоступа 3G состояла из Node B (базовых станций) и Контроллеров Радиосети (Radio Network Controllers — RNC). Несколько Node B были подключены по принципу «звезда» к RNC, который нес основную нагрузку по управлению радио ресурсом. В свою очередь, RNC были подключены к ядру сети и через него соединялись между собой.

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

eNB подключаются непосредственно к шлюзу основной сети через новый «интерфейс S1». В дополнение к нему, новые NB соединяются с соседними eNB по принципу сети через «интерфейс X2». Это обеспечивает гораздо более высокий уровень прямого взаимодействия. Данное подключение, также позволяет направлять многие вызовы напрямую, поскольку большое количество звонков и соединений в сети предназначаются для мобильных устройств в той же или соседних сотах. Новая структура позволяет направлять вызовы по более короткому маршруту и с минимальным использованием ресурса ядра сети.

В дополнение к реализации 1 и 2-го уровней OSI, eNB управляет рядом других функций, которые включают в себя контроль радио ресурсов (включая

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		21

управление доступом), балансировку нагрузки и управление мобильностью, включая принятие решений о хэндовере для мобильных пользователей или оборудования (UE).

Дополнительные уровни гибкости и функциональности означают, что новые станции eNB являются более сложными, чем станции UMTS или базовые станции предыдущих поколений. Однако новая структура сети SAE позволяет обеспечить производительность гораздо более высокого уровня. В дополнение, гибкость, заложенная в eNB, позволяет им поддерживать дальнейшее расширение функциональности для перехода от LTE к LTE Advanced.

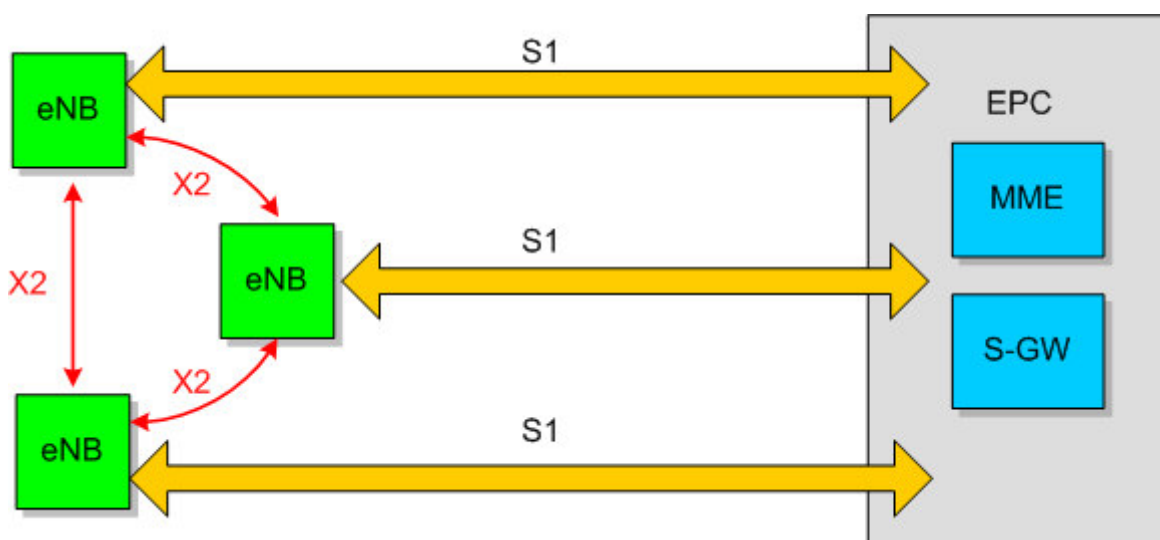


Рисунок 3.1 – Логическая архитектура LTE

По степени эволюции беспроводных технологий их функциональность дополнялась: появились распределенный радио контроль (DistributedAccessControl) и плоскость полезных данных IP (IP BearerPlane). eNBs на базовых станциях представляют собой конечные точки IP с поддержкой плоскости полезных данных IP. В этой плоскости передается пользовательский трафик через туннели GTP и сигнальный трафик через туннели SCTP. eNBs, служащие в качестве конечных точек IP, отображают пользовательский трафик на несущие потоки IP (S1) между контроллерами eNBs и S-GW/MME. Если пользователь перемещается в другую соту, то интерфейс несущего IP-потока

(X2) между eNBs разных сот можно использовать для обмена протокольными сообщениями для координации эстафетной передачи между соседними узлами

На рисунке 3.1 изображен интерфейс X2 между eNBs, а также представлен интерфейс S1 между eNBs и контроллерами. Предполагается, что интерфейс S1 будет выполнен в основном по соединениям «точка – точка» между eNB и контроллерами, хотя возможны и соединения «точка — множество точек». Стандартно интерфейс X2 реализуется по многоточечным соединениям между подмножеством соседних ячеек, обычно находящихся в одной подсети IP. Их количество может достигать 32 и даже 64, однако, как ожидается, в типичной функциональной модели будет не более 4–16 ячеек.

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

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

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

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		23

3.4 Особенности радио интерфейса LTE

С одной стороны, в основе радио интерфейса LTE лежит все тот же принцип OFDM. При этом множественный доступ в нисходящем канале LTE достигается за счет применения тщательно доработанной версии OFDM, получившей название множественного доступа с ортогональным разделением частот (OFDMA). Данный метод позволяет закреплять отдельные поднесущие за разными пользователями. Это облегчает обслуживание многих абонентов, работающих с низкими скоростями, а также позволяет использовать частотные скачки для смягчения эффектов узкополосного многолучевого распространения.

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

SC-FDMA восходящего канала представляет собой гибридную схему передачи, которая сочетает низкие значения PAPR, присущие системам с одной несущей, таким как GSM и CDMA с гибким распределением частот OFDM. Алгоритм генерации сигнала SC-FDMA показаны на рисунке 3.2, который является фрагментом одного из рисунков отчета 3GPP TR 25.814 об исследовании физического уровня LTE [7].

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		24

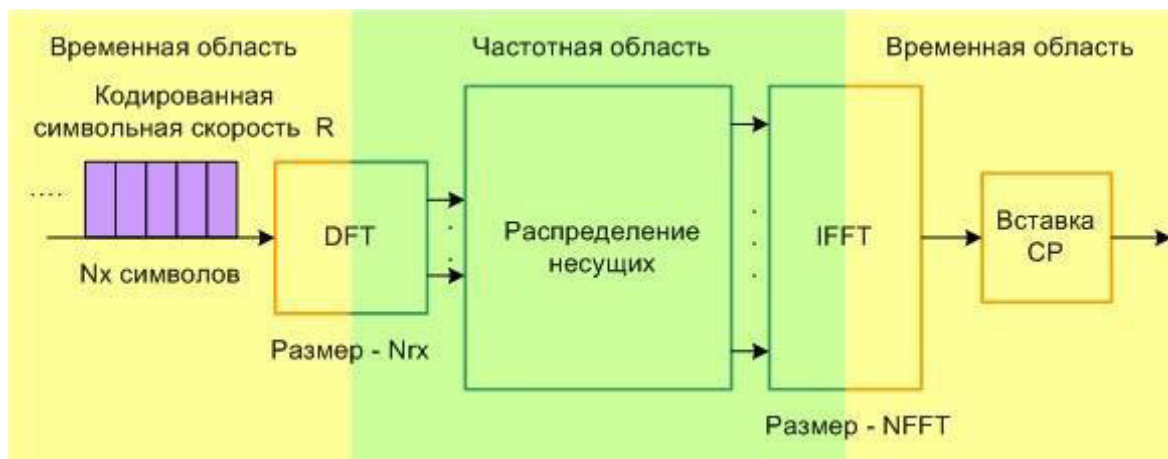


Рисунок 3.2 – Генерация сигнала SC-FDMA

В левой части рисунка 3.2 символы данных изображены во временной области. Символы преобразуются в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье и затем, в частотной области, они распределяются в нужные места общего спектра несущей. Затем их необходимо снова преобразовать во временную область, чтобы перед передачей добавить к ним циклический префикс. Альтернативное название технологии SC-FDMA — распределенная OFDM с дискретным преобразованием Фурье (DFT-SOFDM).

ГЛАВА 4. ПРОСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

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

- формирование максимальной площади покрытия;
- обеспечение требуемой емкости.

Планирование радиосети LTE будет производиться в городской местности, а это значит, что плотность абонентов будет высокая и базовые станции должны устанавливаться на максимальной близости друг от друга с целью закрыть каждой eNB как можно большую территорию. В связи с этим нужно подобрать соответствующий частотный диапазон. В данном случае нужно руководствоваться правилом, что чем ниже частота, тем больше распространение радиосигнала. Частотный диапазон 880 – 915 МГц для восходящего и 925 – 960 МГц для нисходящего канала вполне подойдет для выполнения этой задачи. Тип дуплекса выберем частотный – FDD.

4.1 Просчет частотных каналов

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

Спектральная эффективность систем мобильной связи представляет собой показатель, вычисляемый как отношение скорости передачи данных на 1 Гц

									Лист
									26
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.012.ПЗВКР				

используемой полосы частот (бит/с/Гц). Спектральная эффективность является показателем эффективности использования частотного ресурса, а также характеризует скорость передачи информации в заданной полосе частот.

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

Средняя спектральная эффективность для сети LTE, ширина полосы частот которой равна 20 МГц, для частотного типа дуплекса FDD на основании 3GPP Release 9 для разных конфигураций MIMO, представлена в таблице 4.2. Емкость, или пропускную способность, сети оценивают, базирясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях. В Табл. 4.1 приведены значения средней спектральной эффективности соты LTE FDD в макросети для двух случаев, специфицированных 3GPP как сценарий 1 (расстояние между сайтами 500 м), и сценарий 3 (расстояние между сайтами 1732 м) [1]. В обоих случаях характеристики оценивались для диапазона 2 ГГц, полосы канала 10 МГц (10 + 10 МГц в дуплексе), при потерях на проникновение в здание 20 дБ, в среднем при 10 активных пользователей в соте.

Таблица 4.1 – Средняя спектральная эффективность в макросети

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)	
		Сценарий 1	Сценарий 3
L	U 1x2	0.735	0.681
	1x4	1.103	1.038
L	D 2x2	1.69	1.56
	4x2	1.87	1.85
	4x4	2.67	2.41

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

$$R = \gamma \cdot \Delta F; \quad (4.2)$$

γ – средняя спектральная эффективность, бит/с/Гц;

ΔF – ширина канала в МГц, ($\Delta F = 10$ МГц);

Для линии DL:

$$R_{DL} = 3.43 \cdot 10 = 34.3 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL:

$$R_{UL} = 1.82 \cdot 10 = 18.2 \text{ Мбит/с.}$$

Для системы TDD можно принять спектральную эффективность равной аналогичным значениям для системы FDD, а при расчете пропускной способности учитывать долю длительности кадра на линии вверх или вниз. Например, рассчитаем среднюю пропускную способность соты на линии вниз при конфигурации кадра 1:

$$R_{TDD} = \gamma_{FDD \text{ average}} \cdot \Delta F \cdot T_{\%} = 1,69 \cdot 20000 \cdot 0,54 = 18,25 \text{ Мбит/с,}$$

где $\gamma_{FDD \text{ average}}$ - средняя спектральная эффективность, ΔF - ширина канала, $T_{\%}$ - доля длительности кадра на линии вверх или вниз.

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

$$R_{eNB} = R_{\frac{DL}{UL}} \cdot 3; \quad (4.2)$$

Для линии DL: $R_{eNB.DL} = 34.3 \cdot 3 = 102.9 \text{ Мбит/с.}$

Для линии UL: $R_{eNB.UL} = 18.2 \cdot 3 = 54.87 \text{ Мбит/с.}$

Результаты расчета пропускной способности трехсекторных базовых станций приведены в Табл. 4.2.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		28

Таблица 4.2 – Средняя пропускная способность трехсекторной БС

Конфигурация системы	FDD 10+10 МГц		TDD 20 МГц (конф. кадра 1)		TDD 20 МГц (конф. кадра 2)	
	D L	U L	D L	U L	D L	U L
Соотношение длительности кадров	1 00%	1 00%	5 4%	4 2%	7 4%	2 3%
Спектральная эффективность, бит/с/Гц	1 ,69	0, 735	1 ,69	0, 735	1 ,69	0, 735
Средняя пропускная способность соты, Мбит/с	1 6,9	7, 35	1 8,25	6, 32	2 5,01	3, 38
Средняя пропускная способность БС, Мбит/с	5 0,7	2 2,05	5 4,75	1 8,96	7 5,04	1 0,14

По диаграммам на рис. 4.1 можно сравнить среднюю пропускную способность и площадь покрытия трехсекторного сайта для 3 рассмотренных конфигураций системы LTE (по данным из табл. 4.1 и табл. 4.2). Если пропускная способность на линии вниз в системах FDD и TDD с конфигурацией кадра 1 примерно одинаковая, то радиопокрытие различается уже заметно.

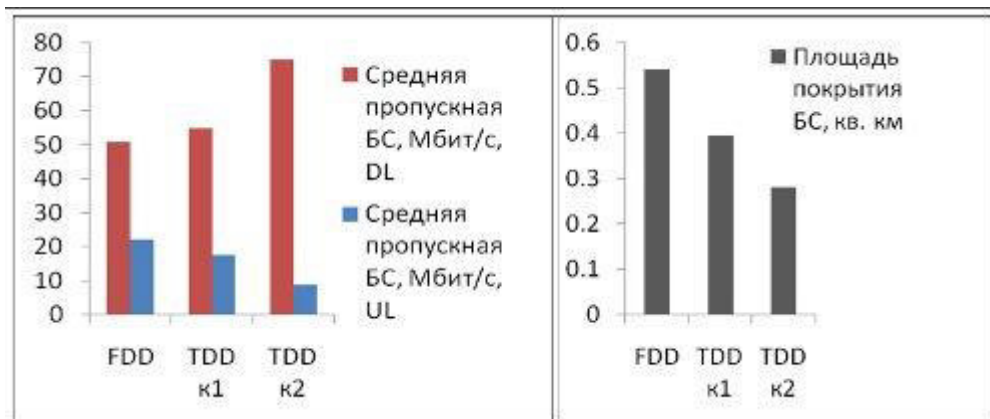


Рисунок 4.1 – Сравнение пропускной способности и площади покрытия трехсекторной БС при разных конфигурациях системы LTE

Универсального рецепта по выбору конфигурации системы LTE не существует. Если тип дуплекса определяется отсутствием или наличием парного спектра у оператора, то на выбор конфигурации кадра в TDD могут повлиять требования как к радио покрытию, так и к пропускной способности.

Чем больше а симметрия кадра TDD и больше длительность кадра на линии вниз, тем, к сожалению, больше ограничения по площади радиопокрытия.

Следующим этапом будет определение количества сот в планируемой сети LTE.

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

$$N_k = \text{int}(\Delta F / F_k), \quad (4.3)$$

Где $\text{int}(x)$ – целая часть числа x ;

Где ΔF - полоса частот, выделенная для работы сети и равная 71 МГц;

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

$$N_k = \text{int}\left(\frac{71000}{180}\right) = 395.$$

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

$$N_{k_сек} = \text{int}(N_k / N_{кк} \times M_{сек}); \quad (44.4)$$

Где N_k – общее число каналов;

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

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

$$N_{k_сек} = \text{int}(395 / 3 \times 3) = 43;$$

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

$$N_{км.сек} = N_{КТ1} \times N_{км.сек}; \quad (4.5)$$

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		30

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

$$N_{kt.сек} = 1 \times 43 = 43;$$

В соответствии с моделью Эрланга, представленной в виде графика на рисунке 4.2, определим допустимую нагрузку в секторе одной соты $A_{сек}$ при допустимом значении вероятности блокировки равной 1% и рассчитанным выше значении $N_{kt.сек}$. Определим, что $A_{сек} = 36$ Эрл.

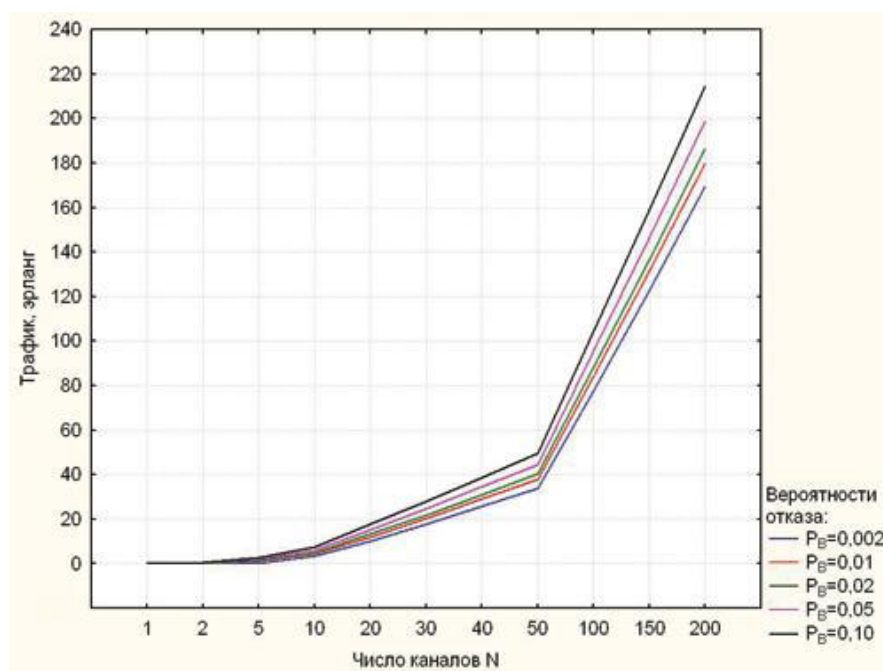


Рисунок 4.2 – Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки

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

$$N_{аб.еNB} = M_{сек} \tag{4.6}$$

где A_I – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение A_I может составлять (0,04...0,2) Эрл. Так как проектируемая сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение A_I примем равным 0,142 Эрл. Таким образом:

$$N_{аб.еNB} = 3 \cdot \left[\frac{36}{0,2} \right] \approx 550 (\text{абонентов}).$$

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

$$N_{eNB} = \left[\frac{N_{аб}}{N_{аб.е}} \right] \quad (4.7)$$

Где $N_{аб}$ – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определим как 15 % от общего числа жителей, в соответствии со среднестатистической начальной нагрузкой. Общее число жителей г. Усинск, по последним данным на 2015 год составляет примерно 40 000 человек. Таким образом, количество потенциальных абонентов составит 6000 человек, тогда:

$$N_{eNB} = \left[\frac{6000}{550} \right] + 1 \approx 12 (eNB).$$

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

$$R_N = (R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL}) \cdot N_{eNB} \quad (4.8)$$

$$R_N = (102,9 + 54,87) \cdot 12 \approx 1893,24 (\text{Мбит/с}).$$

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

$$R_{т.чнн} = \frac{T_m \cdot q}{N_{чнн} \cdot N_{д}} \quad (4.9)$$

Где T_m – средний трафик одного абонента в месяц, $T_m = 30$ Гбайт/мес;

q – коэффициент для местности, $q = 2$;

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

$N_{д}$ – число дней в месяце, $N_{д} = 30$.

$$R_{т.чнн} = \frac{30 \cdot 2}{7 \cdot 30} (\text{Мбит/с})$$

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

$$R_{общ./чнн} = R_{т.чнн} \cdot N_{акт.аб}, \quad (4.10)$$

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		32

где $N_{акт.аб}$ – число активных абонентов в сети; определим число активных абонентов в сети как 70% от общего числа потенциальных абонентов $N_{аб}$, то есть $N_{акт.аб} = 4200$ абонентов.

$$R_{общ./ЧНН} = 0,25 \cdot 4200 = 1050 \text{ (Мбит/с)}.$$

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

4.2 Определения размерности кластера

Основанием для выбора кластера является выполнение условия, при котором отношение сигнал/помеха (С/П) в точке приёма превышает минимально допустимую величину сигнал/шум в течении времени. Помехи создают, прежде всего, станции соседних кластеров, работающие на частоте основного канала (со канальные помехи).

Для выбора кластера необходимо также задать требования к вероятности события, когда отношение сигнал/помеха в точке приема окажется ниже порогового. Эта величина оценивает устойчивость связи при перемещении подвижного абонента в зоне обслуживания сети. Обычно эту вероятность задают на уровне 0,1.....0,15.

В кластерах с не секторизованными сотами таких близкорасположенных станций шесть, при наличии 3-х секторов в соте – две, 6-ти секторов – одна (рис. 4.3). Уровень помех зависит от размерности кластера C ($C=3,4,6,7$), радиус сот R_0 и расстояния между сотами с повторяющимися частотами D и связан с защитным соотношением (4.11).

$$q = D / R_0 = \sqrt{3C} \quad (4.11)$$

В большинстве случаев распространения сигналов в наземных системах связи с подвижными объектами обратно пропорционально d^4 , где d – расстояние от источника сигнала. . Таким образом, можно оценить относительный уровень помех по основному каналу приёма для абонентской станции (MS), находящейся на границе соты, которая составляет для сот с ненаправленной антенной ($M=1$)

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		33

$$\beta_1 = \beta_2 = (q-1)^{-4}; \beta_3 = \beta_{41} = q^{-4}; \beta_5 = \beta_6 = (q+1)^{-4}, \quad (4.12)$$

для сот с тремя секторами

$$\text{при } M=3 \quad \beta_1 = (q+0.7)^{-4}; \beta_2 = q^{-4}, \quad (4.13)$$

для сот с шестью секторами

$$\text{при } M=6 \quad \beta_1 = (q+1)^{-4}. \quad (4.14)$$

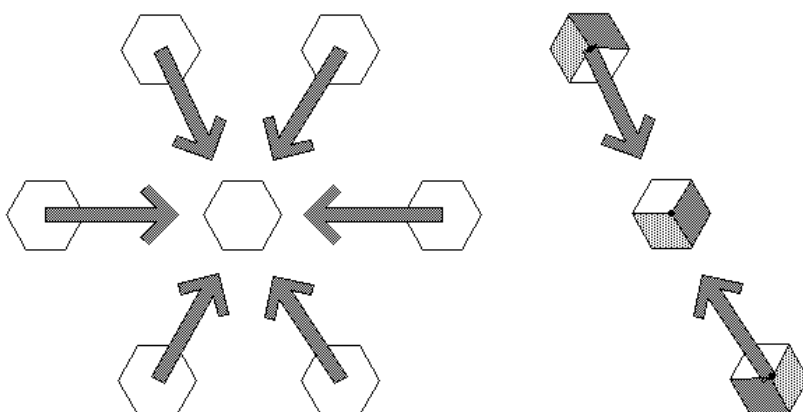


Рисунок 4.3 – Помехи от мешающих станций.

Таким образом, в несекторизованных сотовых структурах и в структурах с 3-мя секторами соканальная помеха является суммой шести или 2-х мешающих сигналов соседних кластеров.

ГЛАВА 5. ПРОСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE

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

Планирование радиосети LTE будет производиться в городской местности, а это значит, что плотность абонентов будет высока, а базовые станции должны устанавливаться на максимальном удалении друг от друга с целью закрыть собой как можно большую территорию. В связи с этим нужно подобрать соответствующий частотный диапазон. В данном случае нужно руководствоваться правилом, что чем ниже частота, тем дальше распространение радиосигнала. Частотный диапазон 880 - 915 МГц вполне подойдет для выполнения этой задачи. Тип дуплекса выбирается частотный – FDD.

5.1 Просчет зон радиопокрытия кластеров

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

Для того, чтобы обеспечить связь в помещении, необходимо добавить в энергетический бюджет запас на проникновение радиоволн в помещение M_{Ind} .

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		35

Для диапазона 2500 МГц могут использоваться следующие типовые значения запаса на проникновение:

- 22 дБ в условиях плотной городской застройки;
- 17 дБ в условиях средней городской застройки;
- 12 дБ в условиях редкой застройки (в пригороде);
- 8 дБ в сельской местности (на открытой местности в автомобиле).

Поскольку зоны радиопокрытия соседних сот, как правило, перекрываются, то при возникновении глубоких замираний в обслуживаемой соте АС может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема. Этот эффект можно интерпретировать как выигрыш от хэндовера G_{HO} .

Из двух значений МДП, полученных для UL и DL, выбирают минимальное, по которому производят дальнейший расчет радиуса соты. Ограничивающей линией по дальности связи, как правило, является линия вверх.

Для расчета дальности связи в данном случае используется модель распространения радиоволн COST231-Nata [3], высота подвеса антенн БС принята равной 30 м. Результаты представлены на рисунке 5.1.

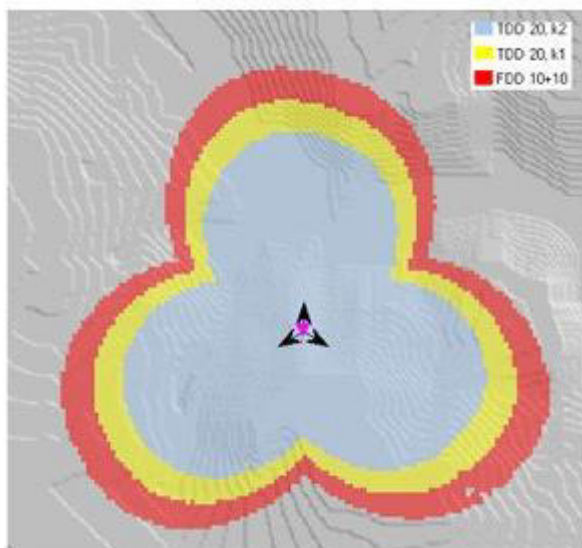


Рисунок 5.1 – Сравнение радиопокрытия трехсекторной БС FDD и TDD

Наилучшим радиопокрытием при одной и той же гарантированной скорости передачи данных на линии вверх обладает система FDD. Для того, чтобы передать один и тот же поток данных в трех рассмотренных системах, на линии вверх приходится выделять разное количество частотных ресурсов (в обратной зависимости от длительности кадра), поскольку длительности кадров на линии вверх различаются: 10 мс – в случае FDD; 4 мс – в случае TDD, конф.1; 2 мс – в случае TDD, конф.2. Но чем больше частотных ресурсов выделяется пользователю, тем выше мощность тепловых шумов во входных цепях приемника, и хуже его чувствительность.

Однако, в рассмотренных случаях в системе TDD можно гарантировать более высокую пропускную способность на линии вниз по сравнению с системой FDD, благодаря асимметрии кадров DL и UL, см.

Принцип расчета МДП показан на рисунке 5.2.

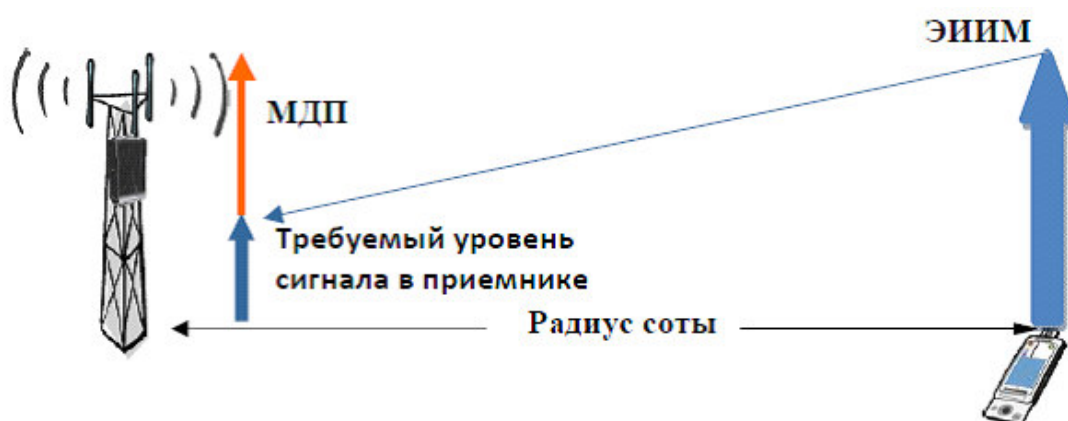


Рисунок 5.2 - Принцип просчета МДП

При просчетах будем использовать следующие параметры:

- системная полоса: 20 МГц; для FDD = 10/10 (DL/UL);
- eNB – на каждом секторе один TRX, выходная мощность TRX = 40 Вт (46 дБм); работает на линии DL в режиме MIMO 2x2;
- UE – абонентский терминал – USB-модем, класс 4 – ЭИИМ 33 дБм;
- соотношение длительности кадров DL/UL: 100%/100%.

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

$$L_{МДП} = P_{эиим.прд} - S_{ч.пр} + G_{А.пр} - L_{Ф.пр} - M_{прон} - M_{пом} - M_{затен} + G_{хо} \quad (5.1)$$

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

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

$G_{А.прд}$ – коэффициент усиления антенны передатчика, $G_{А.прд}$:

DL = 18 дБи, UL = 0 дБи;

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

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

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

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

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

$$P_{эиим.прд} = P_{вых.прд} + G_{А.прд} - \quad (5.2)$$

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

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		38

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

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

$$S_{\text{ч.пр}} = P_{\text{тш.пр}} + M_{\text{осш.пр}} \quad (5.3)$$

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

$M_{\text{осш.пр}}$ – требуемое отношение сигнал/шум приемника. Значение $M_{\text{осш.пр}}$ взято для модели канала «EnhancedPedestrianA5».

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

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

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

С учетом полученных результатов по формулам (5.2) и (5.3), рассчитаем значение МДП:

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		39

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

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

$$L_z = 69,5 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg h_t) \cdot \lg d \quad (5.4)$$

где f_c – частота от 150 до 1500 МГц;

h_t – высота передающей антенны (подвеса eNB) от 30 до 300 метров;

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

d – радиус соты от 1 до 20 км;

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

Произведем выбор параметров для расчетов:

- $f_c = 800$ МГц;
- $h_t = 32$ метра;
- $h_r = 3$ метра.

Найдем поправочный коэффициент $A(h_r)$ по формуле:

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg f_c - 0,7) \cdot h_r - (1,56 \cdot \lg f_c - 0,8) \quad (5.5)$$

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg 800 - 0,7) \cdot 3 - (1,56 \cdot \lg 800 - 0,8) = 3,751$$

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		40

Вычислив из формул (4.1 – 4.5) радиус соты, получим, что $d \approx 3,5$ км.

Рассчитаем площадь S_{eNB} покрытия трех секторного сайта по формуле:

$$S_{eNB} = 9 \quad (5.6)$$

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 3,5^2 \approx 23,76 \text{ (км}^2\text{)}.$$

5.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории г. Усинск

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

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

Минимальное количество макро базовых станций eNB, необходимых для обеспечения устойчивым радиосигналом районов на территории планирования составляет 12 штук, согласно проведённым расчетам. Таким образом, все eNB имеют следующие характеристики:

- мощность каждого передатчика – 40 Вт;
- высота подвеса антенны – 32 метра;
- число приемопередатчиков TRX – 3 (по одному на каждый сектор);
- системная полоса для одного сектора – 20 МГц (10 МГц для линии «вверх» и 10 МГц для линии «вниз»);

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		41

- линия «вниз» поддерживает технологию MIMO4x2;

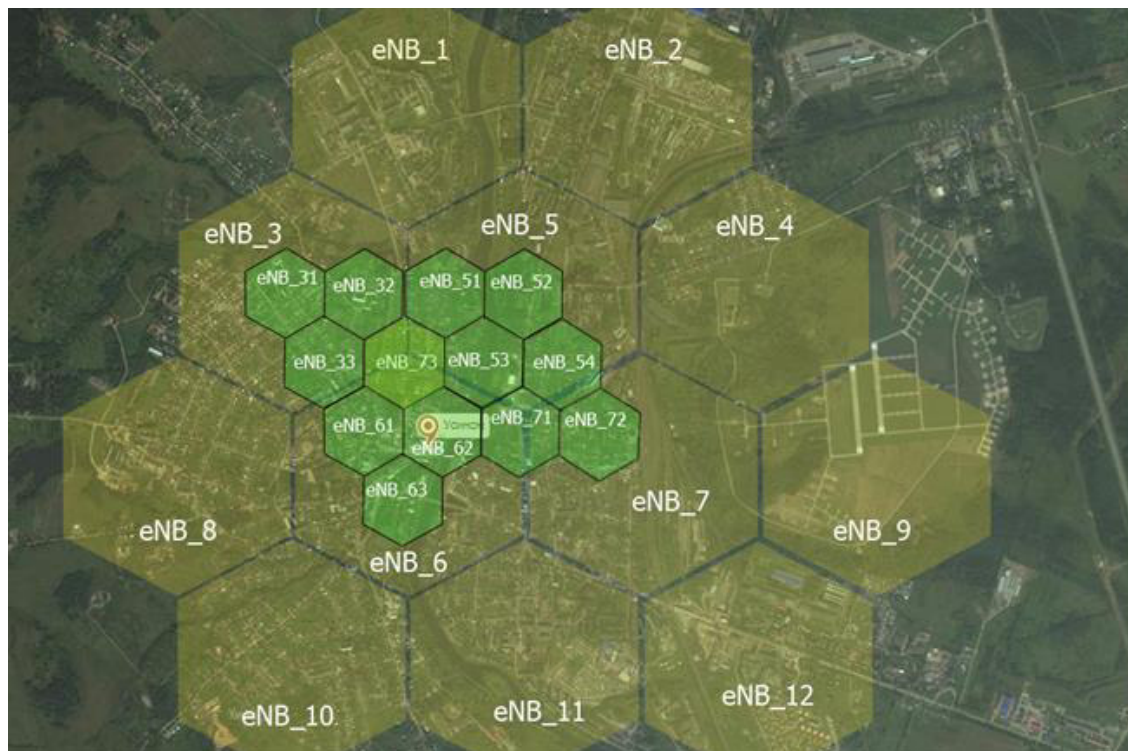


Рисунок 5.3 – Ситуационный план размещения сот в г. Усинск Республики Коми

На рисунке 5.3 представлен ситуационный план размещения базовых станций LTE (eNB) на территории города Усинск Республики Коми. Согласно проведенного расчета был определен радиус действия одной базовой станции который составил ≈ 1 км. Далее базовые станции размещались согласно сотовой структуре. Из схемы видно, что 12 базовых станций, размещенных на территории города Усинск, таким образом, что покрывают все территорию города.

Необходимо отметить, что в многоквартирной застройке города планируется использовать базовые станции формата «микро». Это сделано для обеспечения большей пропускной способности сети и уверенного приема в местах с большой концентрацией абонентов.

На рисунке 5.4 изображен сотовый план микросоты в микрорайоне с многоэтажной застройкой.

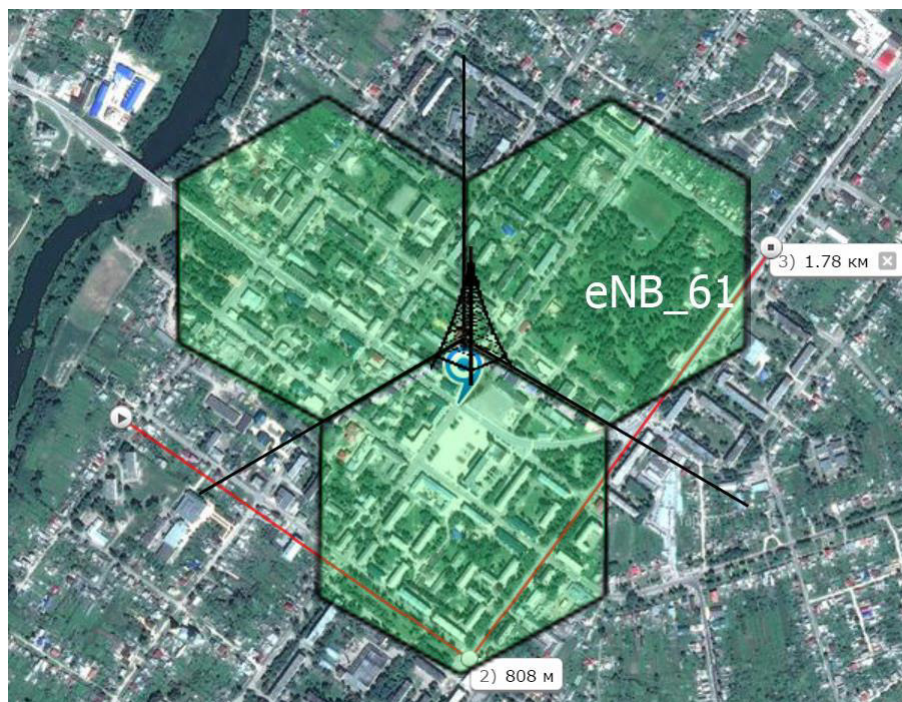


Рисунок 5.4 – Ситуационный план размещения сот в г. Усинск Республики Коми

В качестве рабочих частот в этих сотах выбирается рабочая частота диапазона 2 ГГц, так как в данном случае можно организовать больше свободных радиоканалов для абонентов, а большая площадь покрытия не требуется. Данная микросота реализуется с помощью одной базовой станции и тремя секторными антеннами с распределенным азимутом 120 градусов.

Зона радиопокрытия всей сети LTE представлена на рисунке 5.5. На основании расчетов распространения радиоволн по модели Okumura были получены значения напряженности поля в заданной точке пространства. На основании этих данных строилась зона радиопокрытия базовой станции как окружность определенного радиуса. При удалении от базовой станции на величину радиуса, напряженность поля составляет величину близкую к порогу чувствительности абонентского приемника, что соответствует окончание зоны обслуживания (радиопокрытия). Таким образом, подобные действия выполнялись для всех 12 базовых станций и в результате представлены на одном рисунке 5.5.

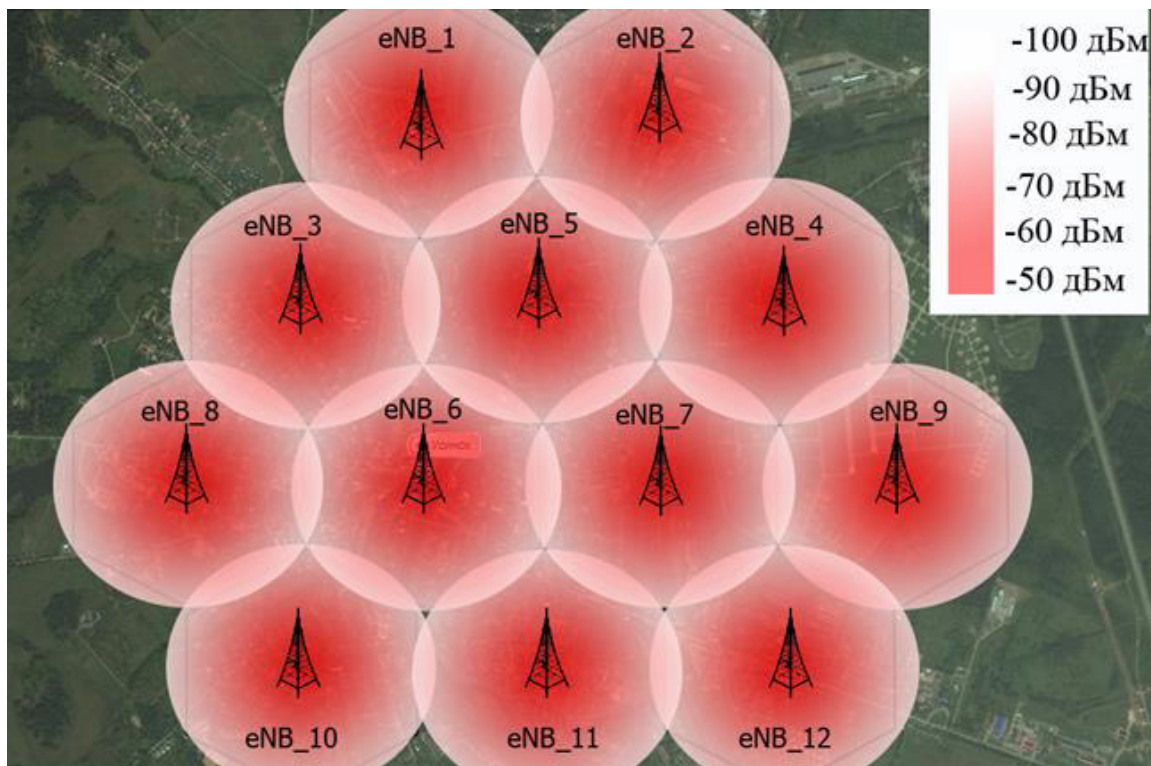


Рисунок 5.5 – Зона радиопокрытия сети LTE (макросоты) в г. Усинск Республики Коми

Зона радиопокрытия для микросот вычислялась аналогичным образом, что и зона РП для обычных базовых станций. Разница заключалась в значении несущей частоты сигнала (2-2,1 ГГц) и соответственно мощности излучаемого сигнала такой базовой станцией.

Как показали расчеты радиус зоны радиопокрытия соответственно меньше, чем при использовании обычных БС, однако практически все два жилых микрорайона покрываются микросотами, что дает запас по производительности порядка 2000 абонентов. Зоны радиопокрытия для жилых микрорайонов города Усинск представлены на рисунках 5.6 и 5.7.

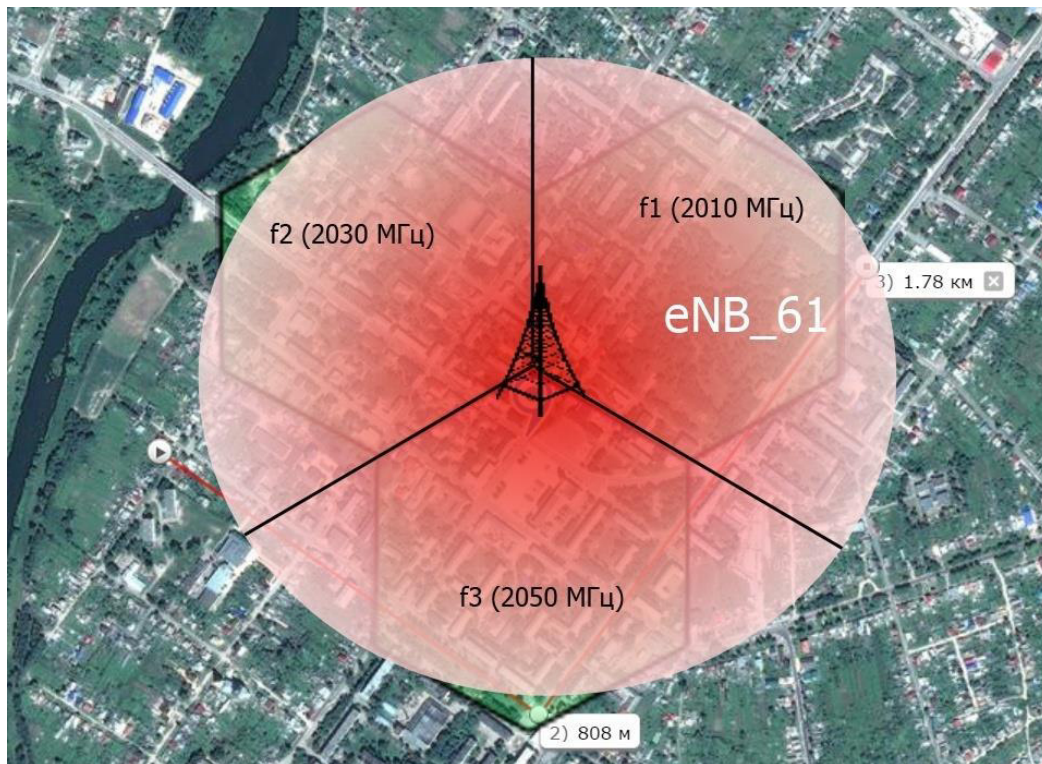


Рисунок 5.6 – Зона радиопокрытия сети LTE (микросоты) в г. Усинск Республики Коми

Для обеспечения электромагнитной совместимости радиосредств, необходимо выполнить частотно-территориальное планирование. Частотно-территориальный план сети LTE в городе Усинск представлен на рисунке 5.7

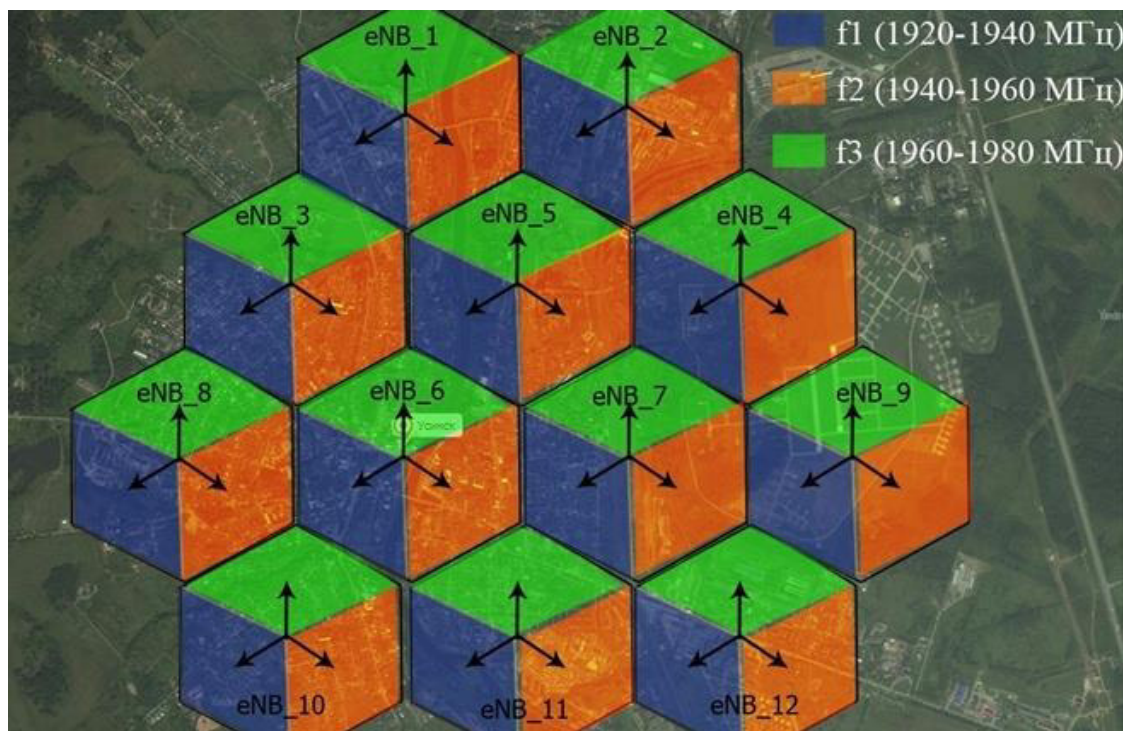


Рисунок 5.7 – Частотно-территориальный план сети

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

11070006.11.03.02.012.ПЗВКР

Лист

45

Указанные в плане частоты соответствуют выбранному 8 диапазону,
т.е. $f_1=880$ МГц, $f_2=895$ МГц, $f_3=915$ МГц.

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

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		46

ГЛАВА 6. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТИПА ЛИНИЙ СВЯЗИ

Согласно рассчитанной емкости сети, информационной нагрузке по определению зон радиопокрытия, для организации широкополосного доступа по технологии LTE в г. Усинск потребуется 12 базовых станций типа «макро». Также для мест с большой концентрацией абонентов это центр города и многоэтажная застройка планируется организовать дополнительно 5 микросот. Пропускная способность каждой eNB на начальном этапе функционирования сети составит 158 Мбит/с, а всей сети LTE в г. Усинск 1,106 Гбит/с. После запуска сети в работу наступает этап оптимизации сети, в ходе которого пропускная способность базовых станций может быть увеличена способом размещения дополнительных радиомодулей. Для реализации сети ШПРД выбран производитель оборудования франко-американская компания Alcatel-Lucent.

6.1 Базовая станция eNodeB

Новая платформа подойдет для перехода к сетям NGN, внедрению NFV и 5G.



Рисунок 6.1 – Внешний вид Alcatel-Lucent 9926 eNodeB

Базовая станция Alcatel-Lucent 9926 eNodeB представляет собой интегрированную платформу, предназначенную для быстрого развертывания LTE сетей. Новый BBU отличается пониженным на 50% энергопотреблением и почти втрое большей емкостью, поддерживая до 24 сот и 16 тысяч подключений на один BBU. Устройство поддерживает режимы LTE-TDD и LTE-FDD.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		47

Новый BBU можно использовать вместе с уже установленными BBU. Новинка разработана с тем, чтобы оператор мог внедрить централизованную сетевую архитектуру, что позволит оператору поддерживать сети NGN, виртуализацию RAN или vRAN, а также переходить к развертыванию сети 5G.

Спецификация цифрового BBU:

- две новые платы на базе FreescaleQorIQQonverge B4860;
- BBU поддерживает до 24 сот (полностью нагруженных при использовании 20 МГц) на базе компактного шасси d2U;
- увеличена емкость BBU на 260%, энергопотребление снижено на 50%;
- поддерживает бизнес-модель RAN sharing;
- оптимизирован для LTE-A, поддерживает агрегацию частот между FDD и TDD
- обратная совместимость с существующим шасси BBU Alcatel-Lucent и существующими платами;
- совместимость с архитектурой виртуализации RAN и объединением BBU в пулы;
- новые цифровые BBU уже внедрены в масштабных коммерческих сетях TDD LTE;

Спецификация радиочастотной платформы:

- новый усилитель мощности и технологии фильтрации, разработанный для соответствия общим интерфейсам, позволяющий быстрое внедрение в новых частотных диапазонах;
- малый форм-фактор, стандартизованные радиоинтерфейсы, сниженный вес, что позволяет быстро устанавливать новую платформу;
- поддержка широкополосности / двухдиапазонности позволяет обеспечивать поддержку работы с несколькими полосами и несколькими диапазонами на отдельном радиоблоке;
- удаленное конфигурирование ПО, управляющего режимами передачи (2T2R, 4T4R, 8T8R), что позволяет операторам работать в условиях изменяющихся рыночных требований;

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		48

- высокая выходная мощность (до 160 Вт) и поддержка работы с полосой до 194 МГц), что значительно увеличивает гибкость внедрения;
- PIM-free blind mate connections, что позволяет оператору легко подключать различные сочетания радиопередатчиков для того, чтобы поддерживать различные конфигурации активных антенн;
- эффективная по цене поддержка оптимизированных маломощных радиоинтерфейсов при работе с распределенными антенными системами (DAS);
- "Reliability/FailSafe" - поддержка резервирования на случай сбоев ПО в усилителях мощности на случай, если один из них отказывает;
- поддержка бизнес-моделей RAN sharing;
- платформа TDD уже внедрена в коммерческой сети, а FDD платформа будет внедрена на коммерческой сети в 1q2015.



а) Радиочастотный блок (RRU)

б) Приемно-передающая антенна

Рисунок 6.2 – Элементы eNodeB Alcatel-Lucent 9926a) RRU; б) Антенна

6.2 Компактная базовая станция Metro 9764

Alcatel-Lucent 9764 Compact метро (CMCO) является малогабаритной, высоко производительной eNB, которая может быть развернута в сложных условиях, чтобы улучшить зону покрытия LTE и производительность сети. Это часть концепции микро сот.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		49

Компактный форм-фактор (~ 6 л) 9764, связанные с набором опций, таких как внешняя антенная опора, позволяет обеспечивать быстрое и недорогое внедрения сот даже в условиях плотной городской застройки, где доступ к оборудованию является не только трудным но и сопровождается проблемой внешнего вида городской инфраструктуры. 9764 может быть легко интегрирован с городской «мебелью», в том числе на автобусных остановках и рекламных вывесках. 9764 доступен для многочисленных FDD и TDD видов дуплекса и поставляется с 3 выходными конфигурациями питания: 2x1W, 2x2W, и 2x5 Вт.



Рисунок 6.3 – Внешний вид микросоты Alcatel-Lucent 9764 Compact

Преимущества и особенности

-Ультра-компактный форм-фактор (всего 6 литров на 2x1 и 2x2W продукции, 8 литров для продуктов 2x5 Вт);

-Интегрированные направленные антенны и поддержка для подключения внешних антенн или распределенных антенных систем;

- Электрические или оптические GbE интерфейсы, Малый форм-фактор подключаемых модулей для многократного транзита данных;

- Максимально способность по производительности LTE в общественных местах для улучшения качества;

- поддержка около 200 активных пользователей в соте;

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		50

- Опционально встроенная точка доступа Wi-Fi;
- До 150 Мбит пропускная с конфигурациями при 2x2 MIMO;
- Имеет поддержку разных производителей HetNet, для развертывания под макро сеть любого производителя;
- Сетевые возможности самоорганизации, такие как автоматический поиск соседей, методы ослабления помех и управления движением маршрутизацией;
- Безграничная мобильность в макро сети;
- Имеет поддержку и готовность работать в LTE Advanced;
- Поддержка функции агрегации полос с адаптивной архитектурой;

6.3 Alcatel-Lucent 9471 WirelessManager Mobility

Alcatel-Lucent 9471 Менеджер Wireless Mobility (WMM) является комбинированный объектом управления мобильностью и обслуживания поддержки GPRS узла (MME / SGSN) в пакетном ядре сети (EPC). Он обеспечивает сигнализацию, производительность и абонентскую масштабируемость, необходимые для современных мобильных услуг и обеспечивает большой потенциал для поддержки больших масштабов формата макро и метро для развертывания сотовой сети.

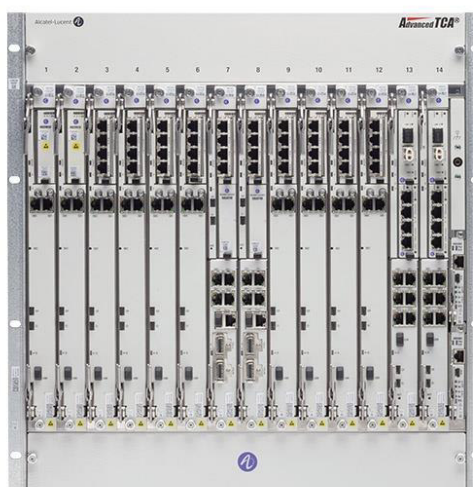


Рисунок 6.4 – Внешний вид Alcatel-Lucent 9471

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		51

Проверенная на практике программное обеспечение с богатым набором функций позволяет использовать новые сети LTE для дополнительного дохода в виде продажи услуг IMS, а также значительно снизить сетевой трафик сигнализации. Улучшенная защита, контроль перегрузки и восстановления сессия именно те возможности, которые обеспечивают высокую надежность и производительность.

9471 WMM работает на высоком уровне масштабируемости, вычислительных платформ с учетом ее дальнейшей эволюции для поддержки сетевых функций виртуализации. Эта гибкость развертывания защищает инвестиции, путем снижения риска перехода на NFV.

Преимущества и особенности:

- Снижает затраты и обеспечивает защиту инвестиций;
- Сочетает в себе SGSN и MME на (ATCA) платформе промышленного стандарта вычислений;
- Может обслуживать общую базу данных UE с общими ресурсами для сетей 2G / 3G, а также абоненты / LTE 4G;
- Высокая производительность и масштабируемость;
- Промышленный стандарт x86 и ATCA на базе платформы поддерживают сети масштаба макро, метро, и микро сот;
- Распределенная архитектура обработки с высокой производительностью многоядерных процессоров обеспечивает высокую абонентскую емкость и масштабируемость;
- В сочетании MME / SGSN с абонентским гибким лицензированием упрощает планирование и проектирование даже при изменении технологии 2G / 3G / LTE;
- Проверенная на практике программное обеспечение, которое было внедрено в крупнейшие мировые LTE сети демонстрирует надежность;
- Снижение сигнализации сети и улучшение пользовательской надежности;

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		52

- Расширенные возможности восстановления сессии поддерживают непрерывность обслуживания абонентов;
- Платформа для миграции в NFV и виртуальные MME и SGSN функции для улучшения использования сети и операционной эффективности.

6.4 ServiceRouter - MobileGateway7750

7750 SR высокопроизводительный мобильный шлюз, гибкая и подвижная платформа, оптимизированная для предоставления следующего поколения ультра-широкополосных мобильных услуг с исключительной производительностью и масштабируемостью. Мобильные функции шлюза, поддерживаемые 7750 SR и включают в себя:

- o Сотовые шлюзы для сетей доступа сотовой радиосвязи;
- o Надежный gatekeeper беспроводного доступа (TWAG) для 3GPP сетей доступа;
- o EvolvedPacket Шлюз передачи данных (EPDG) для ненадежных сетей (не-3GPP).

Сотовые шлюзы

Для LTE и сетей радиодоступа 2G / 3G , 7750 SR функционально MobileGateway может выступать в качестве шлюзаобслуживания (SGW), PDN Gateway (Шлюз PGW) и / или шлюз узел поддержки GPRS (GGSN) либо отдельно, либо в комбинации.

Шлюз Trusted Wireless Access (TWAG)

При развертывании в режиме TWAG, 7750 SR поддерживает межсетевые сессии преемственность между пакетной транспортной сетью и доверенной сетью радиодоступа Wi-Fi, которые поддерживают возможности 3GPP включающие доступ к сети, безопасную аутентификацию, шифрование. TWAG поддерживает широкий диапазон возможностей аутентификации для обеспечения предоставления услуг мобильной связи надежным Wi-Fi сегментам.

EvolvedPacket Шлюз передачи данных (EPDG)

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		53

7750 как EPDG дает операторам возможность расширить свое присутствие, обеспечивая доставку услуг мобильной пакета по надежной сети доступа, в том числе жилых, общественных и корпоративных точек доступа Wi-Fi. Это обеспечивает непрерывность сеанса при переходе от сотовой сети к сетям не - 3GPP и поддерживает ряд механизмов аутентификации.



Рисунок 6.5 – Внешний вид Alcatel-Lucent7750

Преимущества и особенности:

Обеспечение ультра-широкополосных услуг мобильной связи с масштабируемостью и производительностью

- Поддержка передовых высоких приоритетов каждого потока пакетов (классификация, фильтрации, расширенный QoS, и т.д.) Используя FP сети Alcatel-Lucent;

- Расширенная (слой 3-7) обработка плоскости данных с применением AssuranceAlcatel-Lucent (AA), обеспечивающая работу приложений и абонента на уровне политики право применения;

Упрощение сети, снижение затраты

- Единая платформа и программное обеспечение операционной системы (SR OS) оказание поддержки:

- Шлюз для сотовых систем (SGW, PGW, GGSN)

- Шлюз доступа Trusted Wireless (TWAG)

- EvolvedPacket Шлюз передачи данных (EPDG)
- Политики и наборы команд по обеспечению соблюдения (PCEF)
- Использование Security (IPSec);
- шлюз для Wi-Fi WLAN сетей;
- Обеспечение конвергенции фиксированной и мобильной широкополосной связи.

- Упрощенная операции трансляции пакетов ServiceAware управления с 5620 ServiceAwareManager (SAM)

Гибко наращивать возможности и производительность в мобильной сети

- Проверенная технология масштабирования ультра-широкополосных услуг мобильной связи без снижения производительности всей сети и огромного количества потоков услуг пакетной передачи IP;
- Гибкость для поддержки сетевых функций виртуализации (NFV) с виртуализованных MobileGateway (VMG).

Базовые станции макросот Alcatel-Lucent 9926 соединяются по оптическим каналам с EPC на базе Alcatel-Lucent 9471 WMM. Радио блок RRU и антенна находятся на мачте, причем RRU оптическим кабелем соединен с 9926. Часть сети, состоящая из микросот на базе 9764 Compact реализована в следующем порядке. К 9926 подключается 9764 Compact (микро базовая станция) оптическим волокном и устанавливается в заданное место, например устанавливается на фасад здания.

Сервисные шлюзы (S-GW, P-GW, SIP, SGSN) реализованы на модуле 7750 ServiceRouter и входят в состав EPC. Аппаратура на которой реализована EPC имеет в своём составе оптические интерфейсы для подключения к внешним сетям и для подключения базовых станций.

Общая схема организации связи представлена на рисунке б.6.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		55

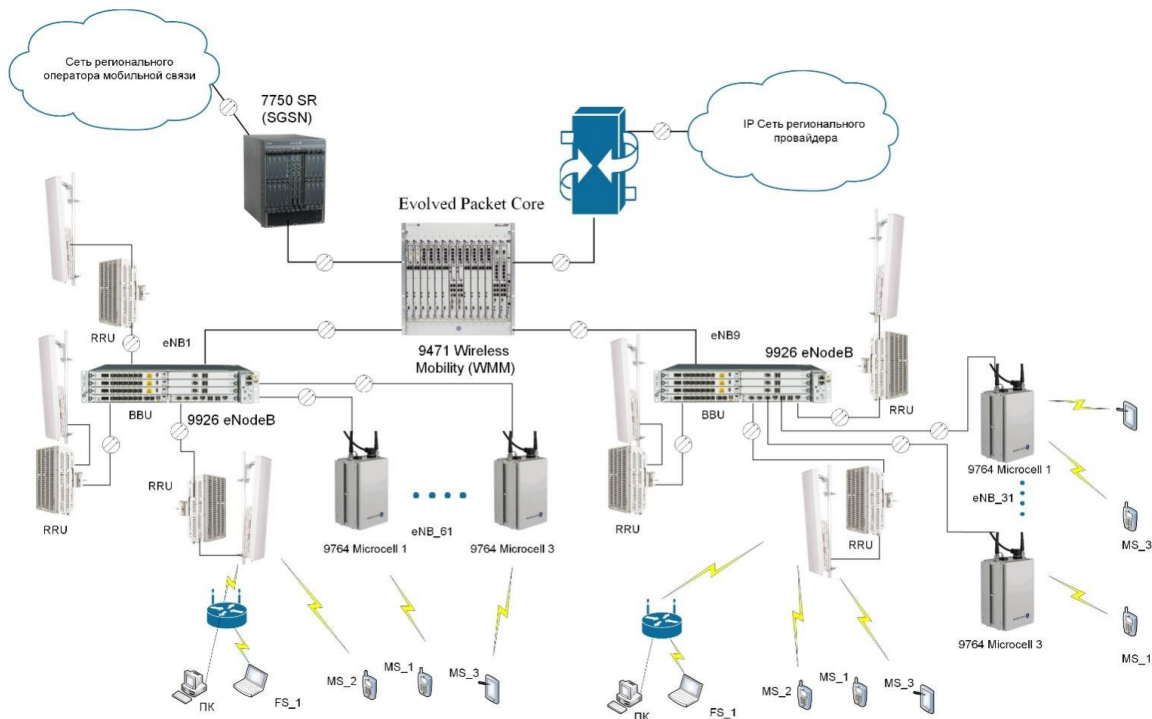


Рисунок 6.6 – Проектируемая схема организации связи сети LTE в г. Усинск

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

11070006.11.03.02.012.ПЗВКР

Лист

56

ГЛАВА 7. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА

7.1 Электромагнитные излучения, их воздействие на организм человека и принципы гигиенического нормирования и защиты

Среди различных физических факторов окружающей среды, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на человека и биологические объекты, большую сложность представляют электромагнитные поля неионизирующей природы, особенно относящиеся к радиочастотному излучению.

Электромагнитные поля - это особая форма существования материи, характеризующаяся совокупностью электрических и магнитных свойств. Основными параметрами, характеризующими электромагнитное поле, являются: частота, длина волны и скорость распространения.

Природные источники электромагнитных полей делят на две группы. Первая - поле Земли - постоянное электрическое и постоянное магнитное поле. Вторая группа - радиоволны, генерируемые космическими источниками (Солнце, звезды и т.д.), атмосферные процессы - разряды молний и т.д.

Естественное электрическое поле Земли создается избыточным отрицательным зарядом на поверхности; его напряженность обычно от 100 до 500 В/м. Грозовые облака могут увеличивать напряженность поля до десятков, а то и сотен кВ/м.

Антропогенные источники делятся на 2 группы:

1. Источники низкочастотных излучений (0 - 3 кГц). Эта группа включает в себя все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (линии электропередачи, трансформаторные подстанции, электростанции, различные кабельные системы), домашнюю и офисную электро и электронную технику, в том числе и мониторы ПК, транспорт на

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		57

электроприводе, ж/д транспорт и его инфраструктуру, а также метро, троллейбусный и трамвайный транспорт.

2. Источники высокочастотных излучений (от 3 кГц до 300 ГГц). К этой группе относятся функциональные передатчики - источники электромагнитного поля в целях передачи или получения информации. Это коммерческие передатчики (радио, телевидение), радиотелефоны (авто-, радиотелефоны, радио СВ, любительские радиопередатчики, производственные радиотелефоны), направленная радиосвязь (спутниковая радиосвязь, наземные релейные станции), навигация (воздушное сообщение, судоходство, радиоточка), локаторы (воздушное сообщение, судоходство, транспортные локаторы, контроль за воздушным транспортом). Сюда же относится различное технологическое оборудование, использующее СВЧ-излучение, переменные (50 Гц - 1 МГц) и импульсные поля, бытовое оборудование (СВЧ-печи), средства визуального отображения информации на электронно-лучевых трубках (мониторы ПК, телевизоры и пр.).

Степень биологического воздействия электромагнитных полей на организм человека зависит от частоты колебаний, напряженности и интенсивности поля, режима его генерации (импульсное, непрерывное), длительности воздействия.

Первичным проявлением действия электромагнитной энергии является нагрев, который может привести к изменениям и даже к повреждениям тканей и органов. Механизм поглощения энергии достаточно сложен. Наиболее чувствительными к действию электромагнитных полей являются центральная нервная система (субъективные ощущения при этом - повышенная утомляемость, головные боли и т. п) и нейроэндокринная система.

С нарушением нейроэндокринной регуляции связывают эффект со стороны сердечно-сосудистой системы, системы крови, иммунитета, обменных процессов, воспроизводительной функции и др. Влияние на иммунную систему выражается в снижении фагоцитарной активности нейтрофилов, изменениях комплиментарной активности сыворотки крови, нарушении белкового обмена,

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		58

угнетении Т-лимфоцитов. Возможны также изменение частоты пульса, сосудистых реакций. Описаны изменения кроветворения, нарушения со стороны эндокринной системы, метаболических процессов, заболевания органов зрения.

В результате длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли, наступает расстройство нервной системы и др.

Многokратные повторные облучения малой интенсивности могут приводить к стойким функциональным расстройствам центральной нервной системы, стойким нервно-психическим заболеваниям, изменению кровяного давления, замедлению пульса, трофическим явлениям (выпадению волос, ломкости ногтей и т. п.).

В зависимости от диапазона частот в основу гигиенического нормирования электромагнитных излучений положены разные принципы. Критерием безопасности для человека, находящегося в электрическом поле промышленной частоты, принята напряжённость этого поля. Гигиенические нормы для персонала, который систематически находится в этой зоне, установлены ГОСТ 12.3.002-75 («ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности»).

Для постоянного магнитного поля предельно-допустимым уровнем на рабочем месте является напряжённость, которая не должна превышать 8 кА/м.

Защита организма человека от действия электромагнитных излучений предполагает снижение их интенсивности до уровней, не превышающих предельно допустимые. Защита обеспечивается выбором конкретных методов и средств, учетом их экономических показателей, простотой и надежностью эксплуатации.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		59

ГЛАВА 8. ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

8.1 Расчет капитальных вложений в проект

Капитальные вложения и ввод в эксплуатацию нового оборудования складываются из следующих составляющих:

- стоимость оборудования;
- установка и монтаж оборудования;
- стоимость строительно-монтажных работ (СМР);
- транспортные расходы.

В данном проекте все затраты по финансированию ввода в эксплуатацию сети LTE предусматривается за счет собственных средств провайдера услуг.

Затраты на прокладку кабеля (C_{Σ}) рассчитаем по формуле:

$$C_{\Sigma} = C_{ок} * L_{ок}, \quad (8.1)$$

где $C_{ок}$ – цена прокладки 1 км оптического кабеля в трубе, $C_{ок} = 800\,000$ руб;

$L_{ок}$ – длина прокладываемого оптического кабеля, $L_{ок} = 8$ км.

$$C_{\Sigma} = 800\,000 * 8 = 6\,400\,000 \text{ (руб.)}$$

Расчет капитальных вложений на первом этапе приведен в таблице 8.1.

Стоимость установки и настройки оборудования рассчитывается в процентах от итога стоимости сетевого оборудования. Стоимость СМР дополнительного оборудования рассчитывается в процентах от итога стоимости дополнительного оборудования. Интервал определяется в зависимости от сложности работ (15 – 30%).

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		60

Таблица 8.1 – Расчет капитальных вложений на первом этапе

Наименование и техническая характеристика оборудования, типы выполняемых работ	Количество	Цена единицы с НДС 18%,руб.	Стоимость итого, руб.
Сетевое оборудование			
Базовая станция Alcatel-Lucent 9926 eNodeB - RRU производитель «Alcatel-Lucent»; (в комплекте) Антенна приемо-передающая (в комплекте).	12	500000	6 000 000
Базовая станция Alcatel-Lucent 9764 Compact Metro	5	240 000	1 200 000
Комплект электроснабжения БС	12	60 500	726 000
Вспомогательные компоненты для монтажа	12+5	20000	300 000
Evolved Packet Core (EPC) Alcatel-Lucent 9471 Wireless Manager Mobility	1	450000	450 000
7750 Service Router - Mobile Gateway	1	70 000	70 000
MediaGateway	1	170000	170 000
Программное обеспечениеММЕ	1	650 000	650 000
Кабель оптическийОКСТМ-10-01-0,22-4Е(1.5)	10 км	20 000	200 000
Монтаж оптического кабеля [19]	10 км.	800 000	8 000 000
Итого			17 766 000
Тара и упаковка		0,5%	88 830
Транспортные расходы		4%	710 640
Заготовительно-складские расходы		1%	177 660
Установка и настройка		15%	2 664 900
Сумма			3 642 030
Дополнительное оборудование			
Установочно-монтажные комплекты	12	160 000	1 920 000
Антенно фидерные тракты, сигнализация и РРЛ	12	25 000	300 000
Контейнер цельнометаллический для размещения оборудования eNB, производитель ООО «ПМК»	12	42 000	504 000
ИБП Liebert«GXT2-1500 RT230»	12	15 000	180 000
Блок грозозащиты	12	2 000	24 000
Сплит-система «HitachiLury RAS/RAC-0,8 LH1/LH2»	12	8 500	102 000
Конвектор «Timit W4CT 1104D 1500W»	12	3 000	36 000
Итого			3 066 000
Тара и упаковка		0,5%	15 330
Транспортные расходы		4%	122 640
Заготовительно-складские расходы		1%	306 600
СМР		15%	459 900
Итого			903 870
ИТОГО по смете			25 377 900
Не учтенное оборудование		10%	2 537 790
Разовая плата за спектр для РЭС (60 МГц)			900 000
ВСЕГО			26 531 679

Тара и упаковка составляют 0,5%, транспортные расходы – 4%, заготовительно-складские расходы – 1% от стоимости оборудования. Стоимость неучтенного оборудования – 10% от общей стоимости оборудования.

Общие капитальные вложения на организацию сети связи в городе Усинск составили $K = 26\,531\,679$ руб.

На этапе реализации сети LTE в г. Усинск планируется реализовать мероприятия:

- строительство радио башни, установка БС, установка контейнера для размещения оборудования БС, ввод в эксплуатацию БС;
- строительство волоконно-оптической линии связи на участках;
- установка БС «Alcatel-Lucent 9926 eNodeB» на территории г. Усинск;
- установка мультисервисной платформы «Alcatel-Lucent 9471 WirelessManagerMobility» в помещении ОПТС, подключение сети EPCLTE к внешним сетям;
- пуско-наладочные работы.

8.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Эксплуатационными расходами ($P_{эк}$) называются текущие расходы предприятия на производство услуг связи. В состав эксплуатационных расходов входят все расходы на содержание и обслуживание сети. Эксплуатационные расходы по своей экономической сущности выражают себестоимость услуг связи в денежном выражении. В связи эксплуатационные расходы рассчитываются на основе группировки затрат по экономическим элементам, принятой для всех отраслей экономики предприятий всех форм собственности:

- затраты на оплату труда работников;
- страховые взносы в государственные внебюджетные фонды;
- амортизационные отчисления;

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		62

- материальные затраты;
- прочие расходы;

Затраты на оплату труда

Для расчета годового фонда заработной платы необходимо определить численность штата производственного персонала. Выбранное в дипломном проекте оборудование не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала. Поэтому вся группа по обслуживанию оборудования будет состоять из ниже перечисленных специалистов для аварийно-профилактических работ. В таблице 8.2 приведен рекомендуемый состав обслуживающего персонала.

Таблица 8.2 – Состав обслуживающего персонала

Наименование должностей	Оклад, руб.	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Инженер по обслуживанию и мониторингу сети	45 000	1	45 000
Электромеханик	26000	2	52 000
Монтажник высотник	40 000	2	80 000
Итого (ФЗП)		5	177 000

Величину общего годового фонда оплаты труда (ΦOT_2) можно рассчитать по формуле:

$$\Phi OT_2 = \Phi ЗП \cdot N_m \cdot Пр \cdot K_p \cdot K_{вр}, \quad (8.2)$$

где $\Phi ЗП$ – основной фонд заработной платы, $\Phi ЗП = 177\ 000$ руб.;

N_m – количество месяцев в году, $N_m = 12$;

$Пр$ – размер премии, $Пр = 1,3$ (30%);

K_p – районный коэффициент, $K_p = 1,15$;

$K_{вр}$ – коэффициент, учитывающий доплату за работу с вредными условиями труда, $K_{вр} = 1,04$.

$$\Phi OT_2 = 177000 * 12 * 1,3 * 1,15 * 1,04 = 3302395,2 \text{ (руб.)}.$$

Страховые взносы (CB) в государственные внебюджетные фонды составляет 30% от ΦOT :

$$CB = \Phi OT_2 \cdot 0,3$$

$$CB = 3302395,2 * 0,3 = 990718,56 \text{ (руб.)}$$

Амортизационные отчисления.

Амортизационные отчисления (A) на полное восстановление производственных фондов определяются по формуле:

$$A = K_{осн.i} \cdot H_{a.i}, \quad (8.3)$$

где $K_{осн.i}$ – первоначальная стоимость основных фондов ($K_{осн.i}$ состоит из затрат на оборудование);

$H_{a.i}$ – норма амортизационных отчислений основных фондов, $H_{a.i} = 5\%$.

$$A = 15\,369\,790 * 0,05 = 768\,489,5 \text{ (руб.)}$$

Материальные затраты

Величина материальных затрат (M_3) включает в себя оплату электроэнергии для производственных нужд, затраты на материалы и запасные части. Составляющие материальных затрат определяются по формуле:

$$M_3 = Z_{эи} + Z_m, \quad (8.4)$$

где $Z_{эи}$ – затраты на оплату электроэнергии;

Z_m – затраты на материалы и запасные части.

Затраты на оплату электроэнергии определяются в зависимости от мощности оборудования по формуле:

$$Z_{эи} = T \cdot 24 \cdot 365 \cdot P, \quad (8.5)$$

где T – тариф на электроэнергию, $T = 3,99$ руб./кВт/час;

P – мощность оборудования, для $eNBP = 1,35$ кВт.

$$Z_{эи} = 3,99 * 24 * 365 * 1,35 = 47\,185,74 \text{ (руб.)}$$

Затраты на материалы и запасные части составляют 1 % от капитальных вложений K и определяется по формуле:

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		64

$$Z_m = K \cdot 0,01 \quad (8.6)$$

$$Z_m = 26\,531\,679 \cdot 0,01 = 265\,316,79 \text{ (руб.)}$$

Величина общих материальных затрат составит:

$$M_3 = 47\,185,74 + 265\,316,79 = 312\,502,53 \text{ (руб.)}$$

Аренда места подвеса для базовой станции на радиобашне у операторов подвижной сотовой связи. Общая стоимость аренды мест подвеса определяется по формуле:

$$Z_{\text{общ. ар.}} = Z_{\text{ар}} \cdot N_{\text{ар}}, \quad (8.7)$$

где $Z_{\text{ар}}$ – стоимость одного места подвеса в год, $Z_{\text{ар}} = 300\,000$ руб.

$N_{\text{ар}}$ – количество арендуемых мест подвеса, $N_{\text{ар}} = 12$.

$$Z_{\text{общ. ар.}} = 300\,000 \cdot 12 = 3\,600\,000 \text{ (руб.)}$$

Прочие расходы

Прочие расходы предусматривают общие производственные и эксплуатационно-хозяйственные расходы, ремонт и обслуживание зданий, некоторые виды налогов, страхование имущества, расходы на рекламу, аудит и представительские расходы. Прочие расходы рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 \cdot \Phi OT \quad (8.8)$$

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 \cdot 3302395,2 = 1\,320\,958,08 \text{ (руб.)}$$

Расчет за пользование спектром

Размеры разовой платы за использование радиочастотного спектра для радио технологий сотовой связи устанавливаются применительно к каждой полосе радиочастот, выделенной решением ГКРЧ и (или) указанной в лицензии по каждому субъекту (части субъекта) Российской Федерации, указанному в решении ГКРЧ или лицензии, для иных технологий - применительно к каждому выдаваемому разрешению, и рассчитываются по следующей формуле:

$$P_P = C_P \times K_{\text{диап}} \times K_{\text{рч}} \times K_{\text{тех}}; \quad (8.9)$$

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		65

где:

P_P - размер разовой платы, руб.;

C_P - ставка разовой платы, руб.;

$K_{\text{ДИАП}}$ - коэффициент, учитывающий используемый диапазон радиочастот (для проектируемой сети LTE коэффициент равен – 2 [19]);

$K_{PЧ}$ - коэффициент, учитывающий количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов);

$K_{\text{ТЕХ}}$ - коэффициент, учитывающий технологию, применяемую при использовании радиочастотного спектра;

Коэффициент, учитывающий количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов) для РЭС, в том числе РЭС радио технологий сотовой связи и технологий, для которых в разрешении указана полоса радиочастот, вычисляется следующим образом:

$$K_{PЧ} = \sum N; \quad (8.10)$$

Где: $K_{PЧ}$ - коэффициент, дифференцируемый от количества используемых радиочастот (радиочастотных каналов);

N - количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов).

Расчет количества N для радио технологий сотовой связи и иных технологий, для которых полоса радиочастот указана в разрешении, проводится по формуле:

$$N = \Delta F (\text{МГц}) / 1 \text{ МГц}, \quad (8.11)$$

где:

ΔF - полоса радиочастот, выделенная пользователю радиочастотным спектром (суммарная ширина полосы неповторяющихся радиочастотных каналов), или полоса радиочастот, указанная в разрешении.

Тогда $N = 60 (\text{МГц}) / 1 \text{ МГц} = 60$.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		66

Коэффициент, учитывающий технологию, применяемую при использовании радиочастотного спектра, для радио технологий сотовой связи рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{TECH} = K_{ПЕРСП} \times K_{РЕГ} \times K_{СОЦ}; \quad (8.12)$$

$K_{ПЕРСП}$ - коэффициент, учитывающий перспективность технологии, применяемой при использовании радиочастотного спектра (для LTE систем – 0,1).

$K_{РЕГ}$ - коэффициент, учитывающий интенсивность использования соответствующих выделенных полос радиочастот в субъекте (части субъекта) Российской Федерации и сформированный на основании плотности населения на территории субъекта (части субъекта) Российской Федерации, степени развития сетей подвижной радиотелефонной связи и степени экономического развития субъекта (части субъекта) Российской Федерации (Для Республики Коми $K_{рег}=1$)[19];

$K_{СОЦ}$ - коэффициент, учитывающий степень социальной направленности внедрения технологии (для LTE системы - 1).

Таким образом коэффициент $K_{TECH} = 0,1 * 1 * 1 = 0,1$.

$$P_p = 120\,000 \times 2 \times 60 \times 0,1 = 1440000 \text{ руб.}$$

Разовая плата за спектр включена в смету первоначальных затрат в таблице 7.1 и в ежегодные платежи она не входит так как в случае продления срока действия, переоформления и (или) внесения изменений в решения ГКРЧ, не связанных с изменением условий использования полос радиочастот, разовая плата не взимается. (п. 4 в ред. Приказа Минкомсвязи России от 04.09.2014 N 279).

Размеры ежегодной платы для радиотехнологий сотовой связи устанавливаются применительно к каждой полосе радиочастот, выделенной решением ГКРЧ и (или) указанной в лицензии по каждому субъекту (части субъекта) Российской Федерации, указанному в решении ГКРЧ или лицензии,

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		67

для иных технологий - применительно к каждому разрешению, и рассчитываются по следующей формуле:

$$P_{\Gamma} = \sum_{i=1}^4 P_{\Gamma(KB)}^i, \quad (8.13)$$

где:

$$P_{\Gamma(KB)} = C_{\Gamma}/4 \times K_{\text{ДИАП}} \times K_{\text{РЧ}} \times K_{\text{ТЕХ}} \times \text{ДР}/\text{ДК}; \quad (8.14)$$

P_{Γ} - размер ежегодной платы, руб.;

$P_{\Gamma(KB)}$ - размер ежегодной платы за квартал, руб.;

C_{Γ} - ставка ежегодной платы, руб. (300 000 руб.) [19]

ДР - количество дней действия разрешения в течение оплачиваемого квартала (91);

ДК - количество дней в оплачиваемом квартале (в среднем 91).

Коэффициенты применяются в отношении каждой радиочастоты (радиочастотного канала) и (или) полосы радиочастот.

Тогда

$$P_{\Gamma(KB)} = 300\,000/4 \times 2 \times 60 \times 0,1 \times 91/91 = 900\,000$$

Ежегодные затраты в квартал на аренду частотного ресурса шириной 60 МГц. будут составлять 900 000 рублей.

Результаты годовых эксплуатационных расходов приведены в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Виды расходов	Сумма расходов, руб.
Фонд оплаты труда годовой (ΦOT_2)	3 302 395,2
Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды (CB)	990 718,56
Амортизационные отчисления (A)	768 489,5
Материальные затраты (M_3)	312 502,53
Аренда мест подвеса БС ($Z_{\text{общ.ар}}$)	3 600 000
Прочие расходы ($Z_{\text{пр}}$)	1 320 958,08
Аренда стоты в квартал	2 700 000
ВСЕГО	12 995 063,87

Таким образом, общие эксплуатационные расходы равны 12 995 063,87 ≈ 13 млн.руб.

8.3 Расчет тарифных доходов

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

Население в г. Усинск составляет 40 000 человек. Рассчитаем примерное количество подключившихся абонентов к проектируемой сети для доступа к сети Интернет через USB-LTE модем ($N_{аб.инт}$), учитывая коэффициент проникновения услуги 45 %

Так как USB-LTE модем обычно покупается один или два на семью, а семья состоит в среднем из четырех человек, то $N_{аб.инт}$ примет следующее значение:

$$N_{аб.инт} = (40000/4)*0.45 = 4\ 500 \text{ (человек).}$$

Предполагаемые тарифные планы по предоставлению доступа в сеть Интернет с помощью USB-LTE модемов показаны в таблице 8.4.

Таблица 8.4 – Предполагаемые тарифные планы и их стоимость

Тарифный план	Скорость подключения	Стоимость тарифа, руб./мес.	Порог	Доля абонентов от $N_{аб.инт}$, %	Примерное число подключившихся пользователей
T1	до 500 кбит/с	350	8 Гб	15	675
T2	до 1 Мбит/с	650	15 Гб	25	1125
T3	до 2 Мбит/с	800	30 Гб	40	1800
T4	до 4 Мбит/с	950	50 Гб	15	675
T5	до 6 Мбит/с	1200	70 Гб	5	225

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

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		69

$$D_1 = \sum_i T_i \cdot N_i \cdot 12, \quad (8.10)$$

где T_i – стоимость тарифного плана;

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

$$D_1 = [350 \cdot 675 + 650 \cdot 1125 + 800 \cdot 1800 + 900 \cdot 675 + 1200 \cdot 225] \cdot 12 = \quad (8.12)$$

$$= 39\,420\,000 \text{ (руб.)}$$

Доход от продажи USB-LTE модемов (D_2) находим по формуле:

$$D_2 = N_{аб.умт} \cdot (Z_n - Z_3), \quad (8.11)$$

где Z_n – стоимость продажи одного USB-LTE модема, $Z_n = 2\,600$ руб.;

Z_3 – закупочная цена одного USB-LTE модема, $Z_3 = 1\,900$ руб.

$$D_2 = 4500 \cdot (2600 - 1900) = 3\,150\,000 \text{ (руб.)}$$

Общий тарифный доход от услуг связи сети LTE рассчитывается по формуле:

$$D_{общ} = D_1 + D_2 \quad (8.13)$$

$$D_{общ} = 39\,420\,000 + 3\,150\,000 = 42\,570\,000 \text{ (руб.)}$$

8.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации

Срок окупаемости – временной период, когда реализованный проект начинает приносить прибыль, превосходящую ежегодные затраты.

Для оценки срока окупаемости можно воспользоваться принципом расчёта чистого денежного дохода (NPV), который показывает величину дохода на конец i -го периода времени. Данный метод основан на сопоставлении величины исходных инвестиций (IC) с общей суммой дисконтированных чистых денежных поступлений (PV) за весь расчетный

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		70

период. Иными словами, этот показатель представляет собой разность дисконтированных показателей доходов и инвестиций, рассчитывается по формуле:

$$NPV = PV - IC \quad (8.14)$$

где: PV – денежный доход;

IC – отток денежных средств в начале n-го периода.

$$PV = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n}, \quad (8.15)$$

где: P_n – доход, полученный в n-ом году,

i – норма дисконта,

T – количество лет, для которых производится расчет.

$$IC = \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}}, \quad (8.16)$$

Где I_n – инвестиции в n-ом году,

i – норма дисконта,

m – количество лет, в которых производятся выплаты.

Ставка дисконта может быть рассчитана различными способами, наиболее простым является кумулятивный, при котором в качестве нее выбирается средняя ставка по долгосрочным валютным депозитам и составляет приблизительно 20 %. Данная ставка формируется в основном под воздействием внутренних рыночных факторов.

Параметр P показывает прибыль, полученную за некоторый год, без учета предыдущих лет.

Таблица 8.6 – Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта

Год	P	PV	I	IC	NPV
0	0,00	0,00	36348351,80	36348351,80	-36348351,80
1	42570000,00	21937500,00	13000000,00	44765018,47	-22827518,47
2	39420000,00	38062500,00	13000000,00	51778907,36	-13716407,36
3	39420000,00	51500000,00	13000000,00	57623814,76	-6123814,76
4	39420000,00	62697916,67	13000000,00	62494570,94	203345,73
5	39420000,00	72029513,89	13000000,00	66553534,41	5475979,48

Как видно из таблицы, положительная разница между доходами и расходами появляется на 4 году. Точный срок окупаемости приведен ниже.

Точный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

$$PP = T + NPV_n / (|NPV_{n-1}| + NPV_n), \quad (8.17)$$

где T – значение периода, когда чистый денежный доход меняет знак с «-» на «+»;

NPV_n – положительный чистый денежный доход в n году;

NPV_{n-1} – отрицательный чистый денежный доход по модулю в n-1 году.

$$PP = 4 + 203345,73 / (6123814,76 + 203345,73) = 4,03 \text{ года.}$$

Индекс рентабельности представляет собой относительный показатель, характеризующий отношение приведенных доходов приведенным на ту же дату инвестиционным расходам и рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} / \sum_{n=1}^m \frac{IC_n}{(1+i)^{n-1}}, \quad (8.18)$$

$PI > 1$, то проект следует принимать; если $PI < 1$, то проект следует отвергнуть; если $PI = 1$, то проект ни прибыльный, ни убыточный.

$$PI = 72029513,89 / 66553534,41 = 1,08$$

Так как полученный $PI > 1$ и равен 1,08 то проект является рентабельным.

Внутренняя норма доходности (IRR) – норма прибыли, порожденная инвестицией. Это та норма прибыли, при которой чистая текущая стоимость инвестиции равна нулю, или это та ставка дисконта, при которой

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		72

дисконтированные доходы от проекта равны инвестиционным затратам. Внутренняя норма доходности определяет максимально приемлемую ставку дисконта, при которой можно инвестировать средства без каких-либо потерь для собственника.

IRR должен быть выше средневзвешенной цены инвестиционных ресурсов:

$$IRR > i$$

где i – ставка дисконтирования

Расчет показателя IRR осуществляется путем последовательных итераций. В этом случае выбираются такие значения нормы дисконта i_1 и i_2 , чтобы в их интервале функция NPV меняла свое значение с «+» на «-», или наоборот. Далее по формуле делается расчет внутренней нормы доходности:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1), \quad (8.19)$$

где i_1 – значение табулированного коэффициента дисконтирования, при котором $NPV > 0$; i_2 – значение табулированного коэффициента дисконтирования, при котором $NPV < 0$.

$$I_1 = 20; NPV_1 = 5475979,48$$

$$I_2 = 35; NPV_2 = -4922457,93$$

$$IRR = 20 + \frac{5475979,48}{5475979,48 - (-4922457,93)} (35 - 20) = 27,89 \%$$

Согласно расчётам, внутренняя норма доходности проекта составляет 27,89 %, что значительно больше значения цены капитала, за которое принято 10 %, что означает, что проект выгоден в реализации и функционировании.

Результаты произведённых расчётов технико-экономических показателей сводим в таблице 8.7.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		73

Таблица 8.7-Технико-экономические показатели проекта

Показатели	Значение
1. Количество планируемых абонентов	6000
2. Пропускная способность сети, Гбит/с	12,104
3.Количество базовых станций стандарта LTE, шт.	12+5
4. Капитальные вложения общие, руб.	26 531 679
6. Годовые эксплуатационные расходы руб.	13000000
10. Срок окупаемости капитальных затрат, лет	4 года
11. Индекс рентабельности, %	1,08
12. Численность персонала, человек	5
13. Внутренняя норма доходности IRR, %	27.89

Полученные технико-экономические показатели свидетельствуют о том, что данный проект предоставления беспроводного доступа по технологии LTE в г. Усинск является экономически эффективным и его реализация целесообразна.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		74

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной квалификационной работы была разработана беспроводная сеть широкополосного доступа в городе Усинске Республики Коми. Все поставленные задачи и цель были выполнены в полном объеме. Был проведен анализ существующей сети, в ходе которого было определено предполагаемое количество абонентов сети – 6000 пользователей. Было решено предоставлять абонентам основные инфокоммуникационные услуги такие как пакетная передача речи; передача Интернет-файлов; доставка электронной почты; передача мультимедийных сообщений; мультимедийное вещание, включающее в себя потоковые услуги, услуги по загрузке файлов, телевизионные услуги; потоковое видео; VoIP и высококачественные видеоконференции; онлайн-игры через мобильные и фиксированные терминалы различных типов; мобильные платежи с высокой передачей реквизитов и идентификационной информации.

Сеть построена на оборудовании фирмы-производителя «Alcatel-Lucent».

При проектировании были рассчитаны капитальные затраты на реализацию проекта, которые складывались из затрат на приобретение оборудования и строительства волоконно-оптических и кабельных линий связи, а также антенно-мачтовых сооружений. Первоначальные капитальные затраты составили около 26 500 000 рублей. Так же были определены рентабельность проекта и чистый доход.

Сеть широкополосного радиодоступа на начальном этапе проектировалась из расчета покрытия всей территории предполагаемого расположения абонентов. В дальнейшем при увеличении числа пользователей сети возможно добавление оборудования доступа, так как при проектировании

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		75

использовались технологии и принципы построения, обеспечивающие гибкость и масштабируемость сети.

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		76

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. – М: Горячая линия – Телеком, 2007.
2. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
3. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.
4. Севастьянов Б.В., Лисина Е.Б. Учебно-методическое пособие для выполнения раздела «Безопасность и экологичность проекта» в дипломном проектировании. - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. – 61 с.
5. Болдышев А.В. Учебно-методическое пособие для выполнения раздела «Технико-экономическое обоснование дипломного проекта» - Белгород: Изд-во НИУ БелГУ, 2012. – 25 с.
6. ГОСТ 464-79, «Заземления для стационарных установок проводной связи, радиорелейных станций, радиотрансляционных узлов и антенн систем коллективного приема телевидения».
7. РД 45.162-2001. Комплексы сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования.
8. Абдул Базит. Расчет сетей LTE. – Хельсинский технологический университет, 2009.
9. Официальный сайт компании «Alcatel» [Электронный ресурс] //Alcatel.com оборудование EPC. 2015. Дата обновления: 15.03.2015. URL:<http://www.alcatel-lucent.com>(дата обращения 15.04.2015г).
10. Официальный сайт компании «AllLines» [Электронный ресурс] // Дата обновления: 08.02.2015. URL:<http://www.all-lines.ru/lvs-cena> (Дата обращения 05.05.2015г.)

					11070006.11.03.02.012.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		77