

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 ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА В
Г. ИСКИТИМ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

Выпускная квалификационная работа студента

очной формы обучения

**направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы
связи**

4 курса группы 07001209

Костромитинова Максима Константиновича

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

Рецензент
начальник производственно-
технической лаборатории
Белгородского ОРТПЦ
Огнев А.А.

БЕЛГОРОД 2016

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**
(НИУ «БелГУ»)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ
Направление подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
Профиль: «Системы радиосвязи и радиодоступа»

Утверждаю
Зав. кафедрой

« ____ » _____ 201_ г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Костромитинова Максима Константиновича

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема ВКР «Проектирование сети широкополосного радиодоступа в г. Искитим Новосибирской области»

Утверждена приказом по университету от « ____ » _____ 201_ г. № _____

2. Срок сдачи студентом законченной работы 06.06.2016

3. Исходные данные:

объект проектирования – город Искитим Новосибирской области;
тип проектируемой сети связи – мультисервисная сеть связи, LTE;
планируемое количество абонентов – 12500

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

- 4.1. Анализ инфраструктуры города Искитим Новосибирской области;
- 4.2. Обзор и основные характеристики сети LTE;
- 4.3. Расчет параметров проектируемой сети;
- 4.4. Расчет зон радиопокрытия сети LTE;
- 4.5. Выбор оборудования и типа линий связи;
- 4.6. Экологическая безопасность проекта;
- 4.7. Техничко-экономическое обоснование проекта;

5. Перечень графического материала:

- 5.1. Функциональная схема сети;
- 5.2. Проектируемая схема сети ШПД;
- 5.3. Зона радиопокрытия сети LTE (макросоты) в г.Искитим Новосибирской области;
- 5.4 Частотно-территориальный план сети;
- 5.5. Техничко-экономические показатели.

6. Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание принял
4.1. – 4.6	<i>Старший преподаватель каф. ИТСиТ Пеньков Е.П.</i>		
4.7	<i>канд. техн. наук старший преподаватель каф. ИТСиТ Болдышев А.В.</i>		

7. Дата выдачи задания _____ 25.04.2016 _____

Руководитель

*Старший преподаватель
кафедры Информационно-телекоммуникационных
систем и технологий»*

НИУ «БелГУ» _____ Е.П. Пеньков
(подпись)

Задание принял к исполнению _____
(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ИСКИТИМ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ.....	8
1.1 Экспликация объекта.....	8
1.2 Анализ состояния существующей сети связи г. Искитим.....	10
2. ОБЗОР И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТИ LTE.....	12
2.1 Краткое рассмотрение основных параметров технологии LTE.....	12
2.2 Сетевая архитектура стандарта LTE.....	13
2.3 Радиоинтерфейс сети LTE.....	15
2.4 Радиочастотный спектр технологии LTE.....	19
2.5 Взаимодействие стандарта LTE с UMTS/GSM и стандартами не-3GPP.....	20
2.6 Использование стандарта MIMO в сетях LTE.....	22
2.7 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE.....	23
3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ.....	25
3.1 Расчет частотных каналов.....	25
3.2 Определение размерности кластера	26
3.3 Расчет частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов БС.....	30
3.4 Расчет параметров трафика.....	31
3.5 Проверочный расчет помехоустойчивости для обеспечения работы сети.....	35
3.6 Расчет вероятности ошибки.....	36
3.7 Расчет эффективности радиоспектра.....	37

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						
Разраб.		<i>Костромитинов</i>			Проектирование сети широкополосного радиодоступа в г. Искитим Новосибирской области		Лит.	Лист	Листов	
Провер.		<i>Пеньков Е.П.</i>						2	87	
Рецензент		<i>Огнев А.А.</i>					<i>НИУ «БелГУ», гр.07001209</i>			
Н. контр.		<i>Пеньков Е.П.</i>								
Утв.		<i>Жилияков Е.Г.</i>								

4.	РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE.....	39
4.1	Расчет зон радиопокрытия.....	39
4.2	Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории г.Искитим.....	43
5.	ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТИПА ЛИНИЙ СВЯЗИ.....	46
6.	ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА.....	63
6.1	Электромагнитные излучения, их воздействие на организм человека и принципы гигиенического нормирования и защиты.....	63
6.2	Охрана труда при строительно-монтажных работах.....	66
6.3	Техника безопасности при эксплуатации антенно – мачтовых сооружений.....	66
7.	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....	69
7.1	Этап строительства сети LTE.....	69
7.1.1	Расчет капитальных вложений на первом этапе.....	69
7.1.2	Расчет годовых эксплуатационных расходов.....	72
7.1.3	Расчет тарифных доходов.....	77
7.1.4	Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации.....	79
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	86

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире бурно развиваются технологии широкополосной беспроводной связи. Беспроводные цифровые коммуникации очень быстро стали популярными. И этому способствует прогресс в микроэлектронике, который позволяет выпускать все более сложные средства беспроводной связи. Бум сотовой связи, сравнимый лишь с ростом производства ПК и развитием Интернета, не замедляется уже около 25 лет. Быстрыми темпами развиваются персональные и локальные сети, широко внедряются беспроводные сети регионального масштаба.

Такое увеличение объемов трафика в сетях связи говорит о повышении популярности высокоскоростных сервисов, которые связаны с передачей мультимедийной информации. Не удивительно, что операторы стараются как можно быстрее перейти к системам следующего поколения.

Традиционные проводные сети все еще составляют основу телекоммуникационной инфраструктуры и будут долго сохранять значимость. Но они развиваются слишком медленно и не всегда успевают за спросом. Построение таких систем характеризуется высокими первоначальными затратами, а срок окупаемости проекта довольно долг (многие годы).

Именно поэтому в современных системах связи все шире применяются технические решения, которые основаны на технологиях радиодоступа. Они во многом свободны от этих недостатков и требуют минимального времени развертывания. Благодаря этому достигается высокая экономическая эффективность, особенно на этапе создания базовой инфраструктуры.

В России распространение доступа к Интернету вызывает трудности, в основном, из-за обширности территории. В крупных городах центральной части нашей страны к глобальной сети может подключиться любой желающий, выбрав удовлетворяющий его тариф. Причем у городского

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

жителя есть выбор между проводным и беспроводным доступом. Но в некрупных населенных пунктах Новосибирской области дело обстоит намного хуже. Операторы связи не стремятся их более телефонизировать и обеспечивать услуги доступа в Интернет на более высоком уровне, а та связь, что предоставляется, зачастую вызывает нарекания. Обеспечение данной местности высокоскоростным выходом в сеть Интернет является одним из важных аспектов развития услуг широкополосного радиодоступа в России. Решение этой задачи приведет к повышению качества образования, а так же будет способствовать притоку молодых специалистов всех сфер деятельности.

Для решения данной проблемы можно пойти разными путями. Можно использовать для доступа в сеть Интернет спутниковую связь, организовать доступ с помощью проводных линий связи или с помощью мобильной связи. Спутниковый доступ не удовлетворяет скоростью и слишком дорог. Доступ с помощью проводных линий возможен только при наличии цифровых АТС, но по данным Федеральной службы государственной статистики за весну 2016 года цифровизация местности страны составила не более 65% и продвигается довольно медленными темпами. Доступ с помощью мобильной связи стал возможен благодаря стандартам EDGE/GSM и UMTS/HSPA. Но скорость первого слишком мала для комфортной работы в сети Интернет, а действие второго зачастую не распространяется на данную местность. Это происходит по двум причинам: во-первых, мобильные операторы, в первую очередь, стараются охватить городскую местность центральной части страны и, во-вторых, дальность действия сигнала в диапазоне 1920-2100 МГц не высока, поэтому, чтобы охватить большие территории придется строить огромное количество базовых станций, что экономически не выгодно.

Один из перспективных вариантов – это построение сетей сотовой подвижной радиосвязи четвертого поколения (4G). Самый подходящий стандарт 4G для решения этой задачи - это технология беспроводного

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

доступа LTE.

LTE (от англ. Long Term Evolution – эволюция в долгосрочной перспективе) – технология построения сетей беспроводной связи, созданная в рамках проекта сотрудничества в создании сетей третьего поколения 3GPP (3G Partnership Project). Основными целями разработки технологии LTE являются: снижение стоимости передачи данных, увеличение скорости передачи данных, возможность предоставления большего спектра услуг по более низкой цене, повышение гибкости сети и использование уже существующих систем мобильной связи. Главное отличие стандарта LTE от других технологий мобильной связи заключается в полном построении сети на базе IP-технологий. Радиоинтерфейс LTE обеспечивает улучшенные технические характеристики, включая максимальную скорость передачи данных более 300 Мбит/с, время задержки пересылки пакетов менее 5 мс, а также значительно более высокую спектральную эффективность по сравнению с существующими стандартами беспроводного мобильного доступа третьего поколения (3G).

В ВКР территориальным объектом, в котором предполагается планировать сеть LTE, выбран город Искитим Новосибирской области.

Целью выпускной квалификационной работы является приобретение практических навыков проектирования сетей широкополосного радиодоступа и предоставление современных мультисервисных услуг населению г. Искитим.

Основными задачами при построении сети являются:

- Анализ существующей сети связи и методов реализации абонентского доступа в сеть Интернет;
- Выбор варианта реализации абонентского доступа в сеть Интернет в г. Искитим Новосибирской области;
- Выбор принципа построения сети;
- Расчет нагрузок и зоны радио покрытия

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

- Выбор оборудования и расчет объема оборудования;
- Технико-экономическое обоснование проекта;
- Рассмотрение вопросов по экологии и безопасности жизнедеятельности;
- Разработка рекомендации по построению сети

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1. АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДА ИСКИТИМ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ

1.1 Экспликация объекта

Искитим— город в Новосибирской области Российской Федерации. Является административным центром Искитимского района. Образует городской округ город Искитим. Входит в Новосибирскую агломерацию.

Численность населения на 2016 год равна 57416 человек.

Площадь Искитима – 29,9 км².

Плотность застройки – в общем средняя, но есть и густонаселённые районы, образующие частный сектор в черте города.

Рельеф данной местности преимущественно равнинный. Есть незначительные повышения рельефа с максимальной высотой 1,5 – 2 метра. При планировании проектировании сети проблем, связанных с плохим распространением радиосигнала из-за рельефа, не найдено.

На территории города имеются большие запасы строительных камней, известняка и глинистого сланца. Поэтому основная специализация промышленных предприятий Искитима - производство строительных материалов, таких как щебень, известь, цемент, сборный железобетон, шифер, сэндвич-панели.

Основные предприятия города: цементный завод, шиферный завод (завод асбесто-цементных изделий), завод «Теплоприбор», опытный механический завод (закрит), комбинат строительных материалов, камнеобрабатывающий завод (ИскитимМраморГранит), два завода железобетонных изделий, асфальтный завод, известняковый карьер, Новосибирский завод искусственного волокна, мебельная фабрика (закрита), предприятие по изготовлению сэндвич-панелей. Имеются предприятия пищевой промышленности, такие как молочный комбинат, хлебокомбинат, кондитерская фабрика.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

В Искитиме 14 дневных общеобразовательных школ (в том числе 10 средних), одна вечерняя школа, филиал Новосибирского строительного колледжа, медицинский техникум, 2 школы искусств. Имеется несколько представительств вузов Новосибирска (филиал НГТУ, НГУЭУ, НГАСУ).

Также в нескольких километрах от Искитима находится учебный центр (полигон) Новосибирского военного института внутренних войск МВД РФ (НВИ ВВ МВД РФ).

Культурные учреждения Искитима: дворец культуры «Россия», МБОУ дополнительного образования детей «Детская музыкальная школа», МБОУ дополнительного образования детей «Детская школа искусств», парк культуры и отдыха им. И.В. Коротеева, МБУ ДК «Молодость», МБУ ДК «Октябрь», МБУ культуры «Искитимский городской историко-художественный музей», МБУ «Централизованная библиотечная система» (Центральная библиотека).

Спорткомплексы города: спорткомплекс «Заря», Бассейн «Коралл», спорткомплекс «ДЮСШ» (Детско-юношеская спортивная школа), спорткомплекс «Юбилейный».

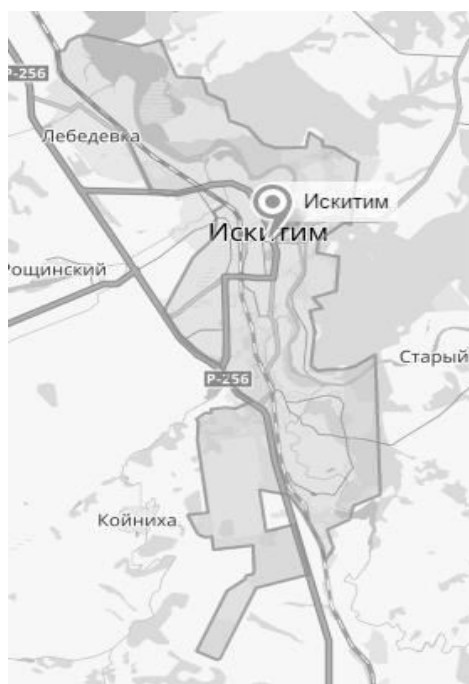


Рисунок 1.1 – Вид г. Искитим Новосибирской области

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1.2 Анализ состояния существующей сети связи г. Искитим

Для того, чтобы предлагаемый пакет услуг мультисервисной сети связи на базе LTE г. Искитим в новой проектируемой сети имел актуальность и были конкурентоспособными, требуется в начале проектирования проанализировать существующую сеть связи: определить действующих операторов связи и набор предоставляемых ими услуг, а так же выяснить технологии, на основе которых действующие операторы предоставляют свои услуги абонентам сети.

В настоящее время в городе Искитим неплохо развит Интернет, проводное покрытие охватывает почти весь город, провайдеры предлагают безлимитные тарифы со скоростями до 100 Мбит/сек.

На данный момент в Искитиме насчитывается 6 интернет провайдеров. Оператором, в наибольшей мере предоставляющим услуги широкополосного доступа является ОАО «Ростелеком».

Среди провайдеров Искитима домашний интернет подключают 5 компаний, интернет в офис – 3, в частный сектор – 2, и обеспечивают мобильным интернетом 2 провайдера. Абоненты густозаселенного частного сектора 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» и «Теле2».

Однако предоставить качественные мультисервисные услуги связи по беспроводным информационным каналам всем жителям города операторы сотовой связи не могут, так как каналы связи в данной технологии недостаточно широкополосны, и передача мультимедийного контента затруднительна.

Для реализации современных мультисервисных услуг связи необходимо достаточно широкополосные частотные каналы, что не реализуемо в существующей кабельной системе. Прокладывать новую

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

кабельную инфраструктуру экономически не целесообразно, поэтому очевидно применение беспроводных технологий широкополосного доступа для реализации целей проекта. На данный момент таких технологий несколько и наиболее распространенные и перспективными считаются WiMAX стандарта IEEE 802.16e (Mobile WiMAX) и LTE Advance Release 8.0.

В связи с приведенными выше аргументами появляется необходимость разработать, а в дальнейшем реализовать из имеющихся на данный момент методов обеспечения беспроводной передачи данных современный вид абонентского доступа. В качестве используемой технологии была выбрана технология LTE.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

2. ОБЗОР И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИИ LTE

2.1 Краткое рассмотрение основных параметров технологии LTE

Стандарт LTE представляет собой обладающий большой гибкостью эфирный интерфейс. Тип сети носит название E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (развивающаяся универсальная наземная сеть радиодоступа). Ниже приведены основные параметры технологии LTE.

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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

- прямой канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM.
- обратный канал (UL): QPSK, 16 QAM.

12. Дуплексное разделение каналов: FDD, TDD.

2.2 Сетевая архитектура стандарта LTE

Архитектура сети LTE разработана таким образом, чтобы обеспечить поддержку пакетного трафика с «бесшовной» мобильностью, минимальными задержками доставки пакетов и высокими показателями качества обслуживания. Основной целью разработчиков стандарта LTE были максимально возможное упрощение структуры сети и исключение дублирующих функций сетевых протоколов, характерных для системы 3G UMTS.

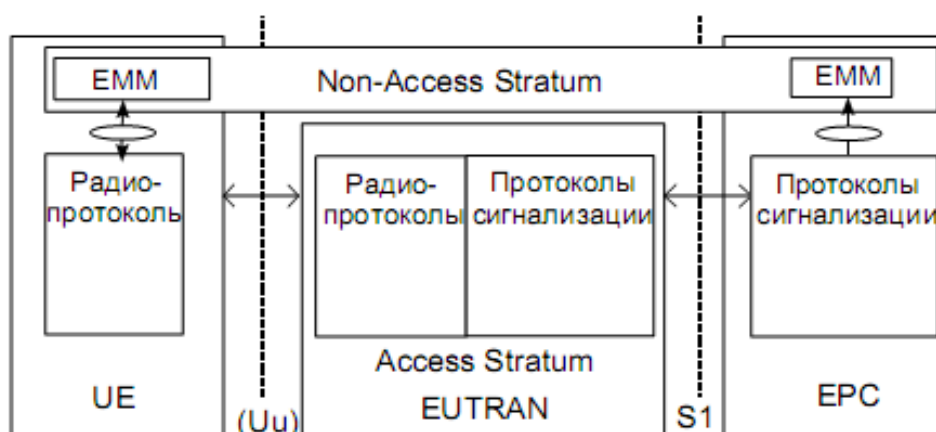


Рисунок 2.1 - Обобщенная структура сети LTE

В архитектуре стандарта LTE все сетевое взаимодействие происходит между двумя узлами: базовой станцией (eNB) и блоком управления мобильностью (MME), который включает в себя сетевой шлюз GW (Gateway).

На физическом уровне сеть LTE состоит из двух компонентов: сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE (System Architecture Evolution).

Сеть E-UTRAN состоит из базовых станций eNB. Базовые станции являются элементами полносвязной сети и соединены между собой по

принципу «каждый с каждым». На eNB в сетях LTE возложены следующие функции: управление радиоресурсами, шифрование потока пользовательских данных, маршрутизация в пользовательской плоскости пакетов данных по направлению к обслуживающему шлюзу, диспетчеризация и передача вызывной и вещательной информации, измерение и составление отчетов для управления мобильностью.

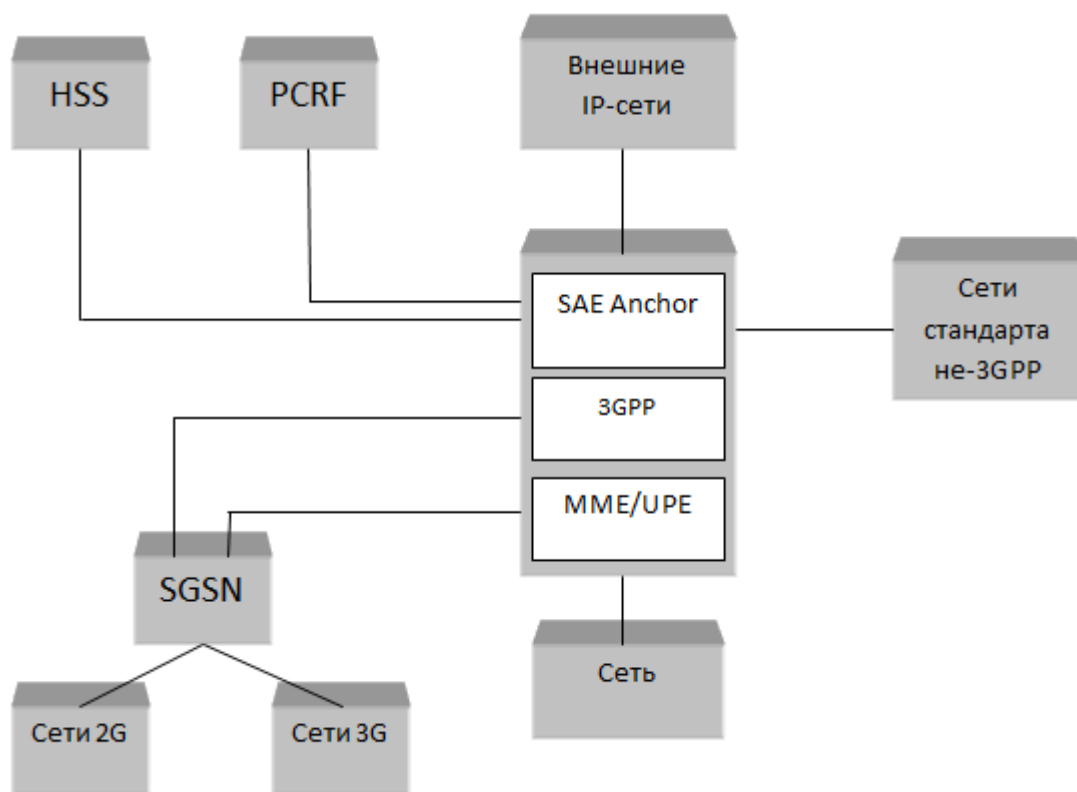


Рисунок 2.2 - Архитектура базовой сети SAE

Базовая сеть SAE, называемая еще EPC (Evolved Packet Core), содержит узлы MME/UE, состоящие из логических элементов MME и UE. Логический элемент MME (Mobility Management Entity) отвечает за решение задач управления мобильностью абонентского терминала и взаимодействует с базовыми станциями с помощью протоколов плоскости управления C-plane. Кроме этого, MME распределяет сообщения вызова (paging) к eNB, управляет протоколами плоскости управления, назначает идентификаторы абонентским терминалам, обеспечивает безопасность сети, проверяет подлинность сообщений абонентов и управляет роумингом.

Логический элемент UPE (User Plane Entity) отвечает за передачу данных пользователей согласно протоколам плоскости пользователя U-plane. Элемент UPE выполняет следующие функции: сжатие заголовков IP-протоколов, шифрование потоков данных, терминацию пакетов данных.

Архитектура базовой сети SAE представляет собой пакетный PS-домен системы LTE, который предоставляет как голосовые, так и всю совокупность IP-услуг на основе технологий пакетной коммутации данных. В основу базовой сети SAE положена концепция «все через IP» и то обстоятельство, что доступ к ней может осуществляться как через сети радиодоступа второго и третьего поколений (UTRAN/GERAN), так и через сети не-3GPP (WiMAX, Wi-Fi), а так же через сети, использующие проводные IP-технологии (ADSL+, FTTH).

2.3 Радиointерфейс сети LTE

Радиointерфейс сети LTE E-UTRAN поддерживает оба метода дуплексного разнесения каналов: частотный FDD и временной TDD. Функционирование сетей LTE может осуществляться в частотных диапазонах с различной шириной. Сигналы нисходящего и восходящего направлений могут занимать полосы от 1,4 до 20 МГц в зависимости от количества активных ресурсных блоков. Передача информации в восходящем и нисходящем направлениях организована в кадрах, длительность которых равна 10 мс. Кадры подразделяются на более мелкие временные структуры – слоты.

В режиме с частотным разнесением FDD кадр делится на 20 слотов, нумеруемые от нулевого до 19-го, каждый из которых имеет длительность 0,5 мс. В режиме FDD временной ресурс в пределах кадра разделен пополам для передачи в противоположных направлениях. Физические каналы в режиме FDD в противоположных направлениях имеют обязательный дуплексный разнос. Режим временного разнесения каналов TDD имеет

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

асинхронную природу. Передача данных в режиме TDD происходит одновременно в обоих направлениях в одном диапазоне частот.

Особенностью радиointерфейса в линии «вниз» сети E-UTRAN является использование технологии множественного доступа OFDMA – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением. Одна из основных целей использования технологии OFDMA является борьба с помехами, вызванных многолучевым распространением сигнала, так как OFDM-сигнал рассматривается как множество медленно модулируемых узкополосных сигналов, а не как один быстро модулируемый широкополосный сигнал. Технология OFDM основана на формировании многочастотного сигнала, состоящего из множества поднесущих частот. При формировании OFDM-сигнала поток последовательных информационных символов длительностью T_i/N разбивается на блоки, содержащие N символов; T_i – длительность одного символа. Блок последовательных информационных символов преобразуется в блок параллельных символов, в котором каждый информационный символ соответствует определенной частоте многочастотного сигнала.

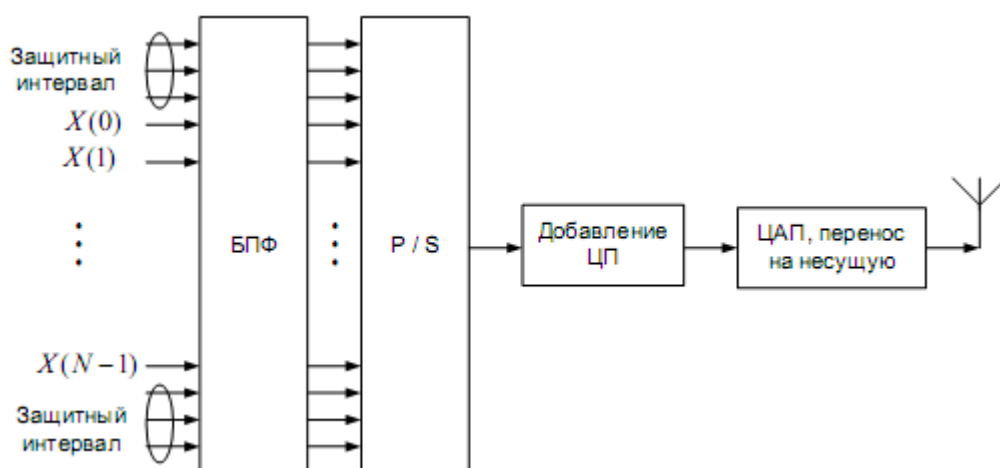


Рисунок 2.3 - Структурная схема формирования OFDM-сигнала

В линии «вниз» сети E-UTRAN применяют следующие виды модуляции: QPSK, 16 QAM, 64 QAM. При формировании OFDM/QAM-сигнала используется дискретное обратное быстрое преобразование Фурье

(ОБПФ). Формирование OFDM-сигнала в передатчике базовой станции сети LTE E-UTRAN показано на рисунке 2.3.

Для борьбы с межсимвольной интерференцией используются циклические префиксы ЦП (CP). Применяют короткие и длинные префиксы, длительность которых 4,7 мкс и 16,7 мкс соответственно.

Для линии «вниз» сети E-UTRAN определены три физические и четыре транспортных каналов:

- PDCCH (Physical Downlink Control Channel) – физический канал управления «вниз»;
- PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) – общий транспортный физический канал линии «вниз», предназначенный для передачи данных и мультимедиа с высокой скоростью;
- CCPCH (Common Control Physical Channels) – общий физический канал управления, передает служебную информацию;
- BCH (Broadcast Channel) – транспортный вещательный канал;
- PCH (Paging Channel) – транспортный канал вызова (пейджинга);
- DL-SCH (Downlink Shared Channel) – общий транспортный канал линии «вниз»;
- MCH (Multicast Channel) – транспортный канал вещания в группе.

В линии «вверх» радиointерфейса сети LTE E-UTRAN используется технология SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) – множественный доступ с мультиплексированием с частотным разнесением передачи на одной несущей. Схема передачи данных с помощью технологии SC-FDMA показана на рисунке 2.4.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

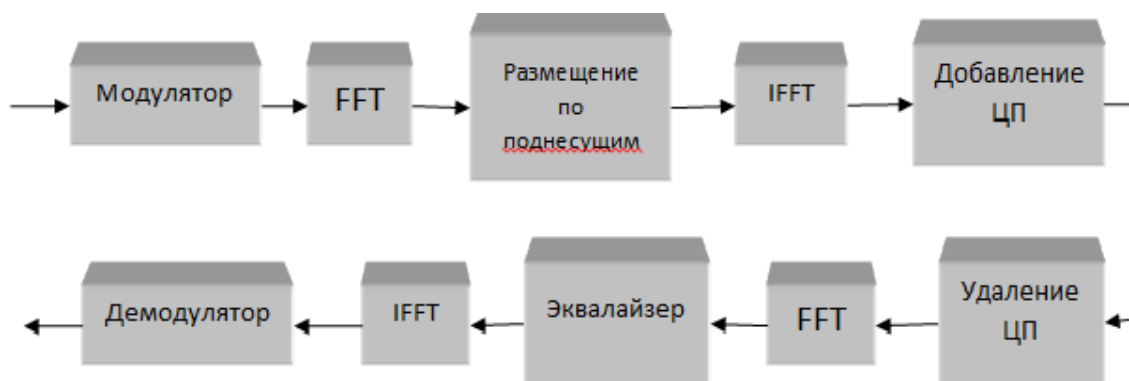


Рисунок 2.4 - Передача данных с помощью технологии SC-FDMA

Для исключения взаимного влияния пользователей в линии «вверх» сети E-UTRAN вводятся циклические префиксы, а также используются эффективные эквалайзеры в приемных устройствах.

Распределение частотного ресурса между абонентами осуществляется ресурсными блоками, каждому из которых соответствует полоса частот 180 кГц, что при разносе между соседними поднесущими частотами в 15 кГц соответствует 12 поднесущим.

Максимальное количество доступных ресурсных блоков зависит от выделения системе диапазона частот, значение которого может достигать до 20 МГц. В линии «вверх» сети LTE E-UTRAN используются три физических и два транспортных каналов:

- PRACH (Physical Random Access Channel) – физический канал произвольного доступа;
- PUCCH (Physical Uplink Control Channel) – физический канал управления «вверх»;
- PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) – физический распределительный транспортный канал линии «вверх»;
- RACH (Random Access Channel) – транспортный канал случайного доступа;
- UL-SCH (Uplink Shared Channel) – совмещенный канал линии «вверх».

2.4 Радиочастотный спектр технологии LTE

Рабочими группами Партнерского проекта 3GPP и ETSI в технических спецификациях для LTE определены 17 полос радиочастот для режима частотного дуплекса FDD и 8 полос для режима временного дуплекса TDD, которые показаны в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Диапазоны частот для сети радиодоступа E-UTRA

Номера рабочих диапазонов	Диапазон частот, МГц		Вид дуплекса
	Линия «вверх» (UL)	Линия «вниз» (DL)	
1	2		3
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

Окончание таблицы 2.1

1	2	3
37	1910 – 1930	TDD
38	2570 – 2620	TDD
39	1880 – 1920	TDD
40	2300 – 2400	TDD

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. 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 радиотехнологий, 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.

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

Поддержка мобильности абонентского терминала при его перемещении из зоны обслуживания одной сети в зону обслуживания другой – является важной задачей, возникающей при взаимодействии сети LTE с сетями мобильной связи стандартов 3GPP (UMTS/GSM/HSPA+). Взаимодействие сети LTE с сетями 3GPP заключается в обеспечении дискретной мобильности

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

(роуминга) и обеспечения непрерывной мобильной связи (хэндовера).

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

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

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

Взаимодействие сети LTE с сетями не-3GPP разделяется на взаимодействие с сетями с гарантированной безопасностью – «надежными» и взаимодействие с сетями с негарантированной безопасностью – «ненадежными». В качестве «надежных» сетей могут выступать присоединенные сети других стандартов (cdma2000, WiMAX), в качестве «ненадежных» - публичные IP-сети Интернета. Взаимодействие сети LTE с «надежными» сетями стандартов не-3GPP осуществляется посредством шлюза P-GW, взаимодействие с «ненадежными» сетями – посредством

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

шлюза ePDG.

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

- протоколы управления мобильностью на базе хостов - НВМ (Host Based Mobility) – MIPv4, DSMIPv6;
- протоколы управления мобильностью на базе сети – NBM (Network Based Mobility) – PMIPv6.

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

2.6 Использование технологии MIMO в сетях LTE

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

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

В первом случае различные передающие антенны передают различные части блока информационных символов или различные информационные

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

блоки. Передача данных ведется параллельно с двух или с четырех антенн. На приемной стороне производится прием и разделение сигналов различных антенн. Во втором случае, со всех передающих антенн осуществляется передача одного и того же потока данных с использованием схем предварительного кодирования.

Антенные конфигурации технологии MIMO могут принимать симметричные (2×2, 4×4) и несимметричные (1×2, 2×4) значения. На рисунке 2.7 показана структурная схема MIMO-системы с двумя передающими и двумя принимающими антеннами, реализованная по принципу пространственно-временного кодирования.

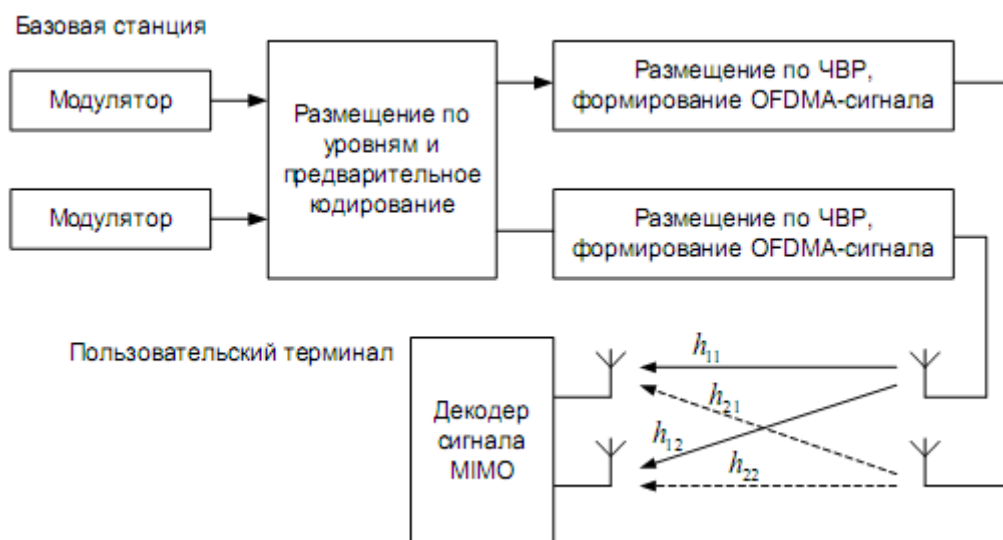


Рисунок 2.5 - Структурная схема MIMO-системы 2×2

2.7 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE

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

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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

Процесс планирования радиосетей LTE имеет ряд отличий от процесса планирования других технологий беспроводного радиодоступа. Основное 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 в максимальной близости друг от друга с целью закрыть каждой eNB как можно большую плотность абонентов. 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 1900 – 1980 МГц для восходящего и 2110 – 2170 МГц для нисходящего канала вполне подойдет для выполнения этой задачи. Тип дуплекса выбран частотный – FDD.

3.1 Расчет частотных каналов

Общее число частотных каналов, выделенных для развертки сотовой сети связи в данном месте, определяется по следующей формуле:

$$N_k = \text{int}(\Delta F / F_k) \quad (3.1)$$

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

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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

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.

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

3.2 Определение 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 (соканальные 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 несекторизованными сотами таких близкорасположенных станций шесть, при наличии 3-х секторов в соте – две, 6-ти секторов – одна (рис. 3.1). 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 (3.2).

$$q = D/R_0 = \sqrt{3C} \quad (3.2)$$

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 ($M=1$)

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$\beta_1 = \beta_2 = (q-1)^{-4}; \beta_3 = \beta_{41} = q^{-4}; \beta_5 = \beta_6 = (q+1)^{-4}, \quad (3.3)$$

для сот с тремя секторами

$$\text{при } M=3 \quad \beta_1 = (q+0.7)^{-4}; \beta_2 = q^{-4}, \quad (3.4)$$

для сот с шестью секторами

$$\text{при } M=6 \quad \beta_1 = (q+1)^{-4}. \quad (3.5)$$

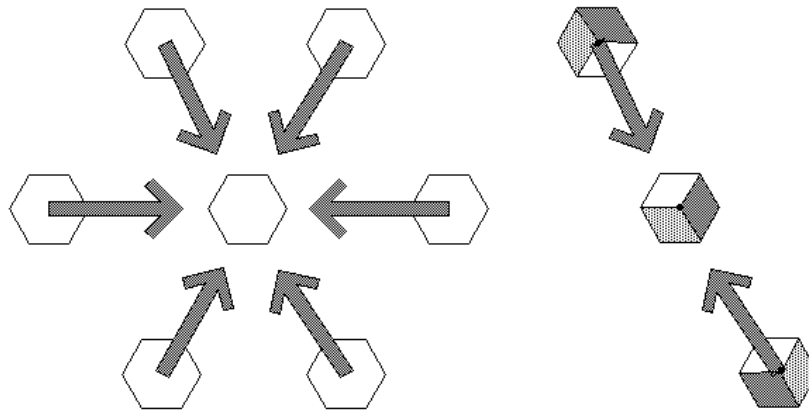


Рисунок 3.1 – Помехи от мешающих станций.

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. Локальное среднее полезного сигнала и каждой отдельной помехи является случайной величиной с логнормальным распределением с плотностью вероятности:

$$W(x_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i x_i} \text{EXP} \left[-\frac{(\ln x_i - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2} \right] \quad x_i \geq 0 \quad (3.6)$$

$$W(x_i) = 0 \quad x_i < 0,$$

где x_i – локальное среднее мощности (или амплитуды) сигнала или отдельной помехи,

μ_i - математическое ожидание величины x_i ,

σ_i - среднеквадратичное отклонение величины $\ln x_i$, которое определяется по формуле: $\sigma_i = \sqrt{(\overline{\ln x_i})^2 - \mu_i^2}$. На практике x_i и σ_i выражают в децибелах:

$x_i[\text{дБ}] = 10 \lg x_i$, $\sigma_i[\text{дБ}] = 10 \lg e^{\sigma_i}$. Приравнивая абсолютные значения x_i и σ_i , получим:

$$x_i = e^{x_i[\text{нат}]} = 10^{0.1x_i[\text{дБ}]}, \quad e^{\sigma_i[\text{нат}]} = 10^{0.1\sigma_i[\text{дБ}]}.$$

Следовательно, натуральные значения $x_i[\text{нат}] = \ln(x_i)$ и $\sigma_i[\text{нат}]$, используемые в (6), связаны с соответствующими значениями в децибелах масштабным множителем $\gamma = 0.1 \ln 10$. Переходя к расчёту в логарифмах, введя $y_i = \ln x_i$, в соответствии с (3.6) для величины y_i получаем нормальное распределение с плотностью вероятности:

$$W(y_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left[-\frac{(y_i - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right] \quad (3.7)$$

где y_i - отношение сигнал/помеха; $\mu_i = \mu_{\text{сигнала}} - \mu_e = 10 \lg\left(\frac{1}{\beta_e}\right)$;

$$\sigma_i^2 = \sigma^2 + \sigma_e^2;$$

$$\beta_e = \sum_{i=1}^n \beta_i \exp\left[\gamma^2(\sigma^2 - \sigma_e^2)/2\right]; \quad \gamma = 0.1 \lg\left(\frac{1}{\beta_e}\right).$$

$$\mu_e = \ln \sum_{i=1}^n \beta_i + (\sigma^2 - \sigma_e^2)/2;$$

$$\sigma_e^2 = \ln\left[1 + (e^{\sigma^2} - 1) \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^n \beta_i\right)^2}\right];$$

Таким образом, в (3.7) можно выражать y_i , μ_i и σ_i в децибелах.

Проведенные исследования показали, что распределение суммы ограниченного числа помех, распределённых по логнормальному закону, также можно считать логнормальным. Это позволяет использовать выражение (3.7) для расчета вероятности невыполнения условия

$$C/\Pi > (C/\Pi)_{\text{доп}},$$

где $(C/\Pi)_{\text{доп}} = \rho = 13$ дБ для стандарта LTE (QAM). При этом в (3.7)

y_1 – отношение (C/Π) в децибелах,

μ_1 – медианное значение отношения (C/Π) в децибелах,

σ_1 – среднеквадратичное отклонение отношения (C/Π) в децибелах.

Вероятность невыполнения требования обеспечения заданного отношения $(c/\Pi)_{\text{доп}}$ в точке приема зависит от размерности кластера и определяется по формуле:

$$P(C) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \int_{-\infty}^{c/n} \exp\left[-\frac{(y_i - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right] dy \quad (3.8)$$

Вводя новую переменную $z = \frac{y_i - \mu_i}{\sigma_i}$ и, учитывая симметрию

функции $P(C)$ относительно оси ординат получаем:

$$P(C) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{z'}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (3.9)$$

$$\text{где } z = \frac{\mu_i - \left(\frac{c}{n}\right)}{\sigma_i} = \frac{10\lg\left(\frac{1}{\beta_e}\right) - \left(\frac{c}{n}\right)}{\sqrt{\sigma^2 + \sigma_e^2}}.$$

Анализ показывает, что вероятность $P(C)$ убывает с ростом размерности кластера. При этом одновременно падает частотная эффективность сети. Оцениваются различные варианты кластера и выбирается оптимальный.

Рассмотрим случай для направленной антенны, у которой угол диаграммы направленности $\varphi = 120^\circ$, $N_S = 3$, $M = 2$ и $\beta_1 = (q + 0,7)^{-4}$,

$$\beta_2 = q^{-4}.$$

Выберем значение $C = 4$.

$$q = \sqrt{3 \cdot 4} = 3,464.$$

Определим α_e^2

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0,23^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp(0,23^2 \cdot 5^2) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^2 \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^2 \beta_i \right)^2} \right\} = 17,682 \text{ дБ.}$$

Вычислив квадратный корень из получившегося значение получаем

$$\alpha_e = \sqrt{17,682} = 4,025 \text{ дБ.}$$

Отсюда следует:

$$\alpha_p = \sqrt{5^2 + 4,025^2} = 6,533 \text{ дБ.}$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^2 \beta_i \right) \exp \left[\frac{0,23^2 (5^2 - 4,025^2)}{2} \right] = 0,012 \text{ дБ.}$$

Теперь вычислим нижнюю границу Q-функции:

$$X_1 = \frac{10 \lg(1/0,012) - 10}{6,533} = 1,384.$$

Этому значению в таблице соответствует величина, равная 0,0838.

Считая по формуле (3.9), получаем

$$p(C) \approx 0,0838 \cdot 100 = 8,38.$$

Получившееся значение немного меньше $\frac{P_c}{P_{III}}(\rho_0)$, отсюда вытекает,

что данный тип антенны является оптимальным.

3.3 Расчет частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов БС

Число частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов в одном секторе, определяется по формуле:

$$N_{\text{к.сек}} = \left[\frac{N_{\text{к}}}{(N_{\text{кл}} \cdot M_{\text{сек}})} \right], \quad (3.10)$$

где $N_{\text{к}}$ – общее число каналов;

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

$M_{сек}$ – количество секторов eNB, принятое 3, так как eNB будет 3-х секционной.

$$N_{к.сек} = \left[\frac{395}{(3 \cdot 3)} \right] \approx 44 (\text{канала}).$$

3.4 Расчет параметров трафика

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

$$N_{кт.сек} = N_{кт1} \cdot N_{к.сек}, \quad (3.11)$$

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

$$N_{кт.сек} = 1 \cdot 44 \approx 44 (\text{каналов}).$$

В соответствии с моделью Эрланга, представленной в виде графика на рисунке 3.2, определим допустимую нагрузку в секторе одной соты $A_{сек}$ при допустимом значении вероятности блокировки равной 1% и рассчитанным выше значением $N_{кт.сек}$. Определим, что $A_{сек} = 48$ Эрл.

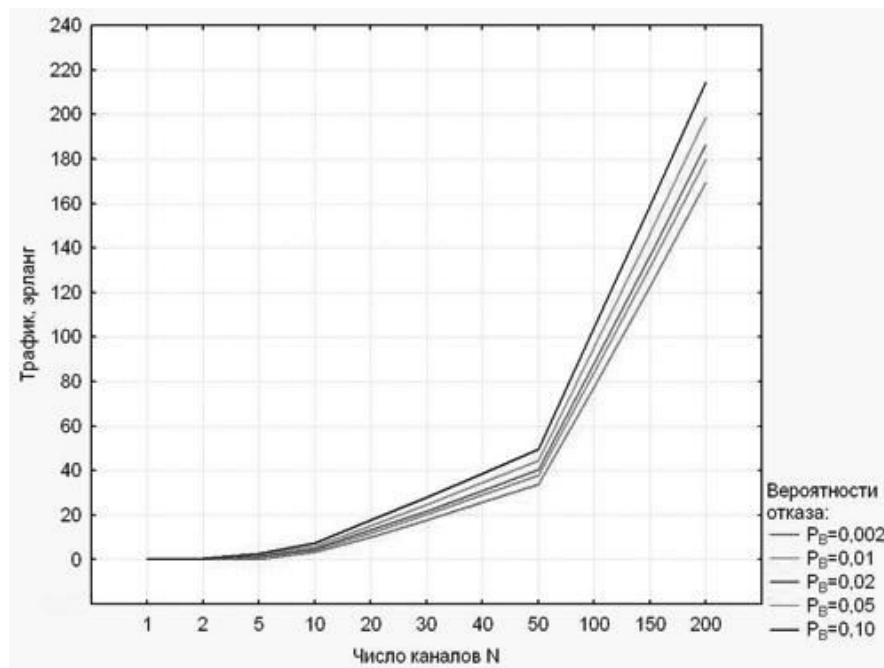


Рисунок 3.2 – Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки

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

$$N_{аб.eNB} = M_{сек} \cdot \left[\frac{A_{сек}}{A_1} \right], \quad (3.12)$$

где A_1 – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение A_1 может составлять (0,04...0,2) Эрл. Так как проектируемая сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение A_1 примем равным 0,19 Эрл. Таким образом:

$$N_{аб.eNB} = 3 \cdot \left[\frac{48}{0,19} \right] \approx 758 \text{ (абонентов).}$$

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

$$N_{eNB} = \left[\frac{N_{аб}}{N_{аб.eNB}} \right] + 1 \quad (3.13)$$

где $N_{аб}$ – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов составит 11500 человек, так как определим их как 20% от общей численности населения. Тогда:

$$N_{eNB} = \left[\frac{11500}{758} \right] + 1 \approx 16 (eNB).$$

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

$$R_N = (R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL}) \cdot N_{eNB}, \quad (3.14)$$

Максимальную пропускную способность, или емкость, сети оценивают, опираясь на средние значения спектральной эффективности соты в заданных условиях. Спектральная эффективность систем подвижной связи представляет собой показатель, считающийся как отношение скорости передачи на 1 Герц используемой полосы частот (бит/с/Гц). Эффективность является показателем использования данного ресурса, и отражает скорость передачи данных в данной полосе частот. Спектральная эффективность рассчитывается как отношение к скорости передачи информации всех абонентов сети в определенной территориальной области (соте, зоне) на 1 Гц полосы частот (бит/с/Гц/сота), а также как отношение максимальной способности сети к ширине полосы одного канала. Принятый спектральный показатель для сети LTE, ширина полосы частот которой равна 20 МГц, для частотного типа дуплекса FDD на основании 3GPP Release 8 для разных конфигураций MIMO, показана в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Средняя спектральная эффективность для сети LTE

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)
UL	1x2	1,254
	1x4	
DL	2x2	2.93
	4x2	3,43
	4x2	4,48

Для системы FDD средняя пропускная способность 1 соты eNB может быть получена умножением ширины канала на спектральную эффективность:

$$R=S*W \quad (3.15)$$

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

W – ширина канала (МГц); $W = 10$ МГц.

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

Промежуточная пропускная способность eNB вычисляется умножением пропускной способности 1-го сектора на количество секторов базовой станции; число секторов eNB возьмем равное 3, тогда:

$$R_{eNB} = R_{DL} / R_{UL} * 3 \quad (3.16)$$

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

Поэтому формула 3.14 выглядит так:

$$R_N = (102,9 + 54,87) 16 \approx 2524,32 \text{ (Мбит/с).}$$

Далее следует проверочная оценка емкости проектируемой сети и сравним с рассчитанной. Усредненный трафик одного абонента в ЧНН:

$$R_{Т.ЧНН} = \frac{T_T \cdot q}{N_{ЧНН} \cdot N_d}, \quad (3.17)$$

где T_m - средний трафик одного абонента в месяц, $T_m = 10$

Гбайт/мес;

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

q – коэффициент для местности, $q = 4$;

$N_{\text{ЧНН}}$ – число ЧНН в день, $N_{\text{ЧНН}} = 10$;

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

$$R_{\text{т.ЧНН}} = \frac{10 \cdot 4}{7 \cdot 30} = 0,2 \text{ (Мбит/с)}$$

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

$$R_{\text{общ./ЧНН}} = R_{\text{т.ЧНН}} \cdot N_{\text{акт.аб}}, \quad (3.18)$$

где $N_{\text{акт.аб}}$ – число активных абонентов в сети; определим число активных абонентов в сети как 80% от общего числа потенциальных абонентов $N_{\text{аб}}$, то есть $N_{\text{акт.аб}} = 9200$ абонентов.

$$R_{\text{общ./ЧНН}} = 0,2 \cdot 9200 = 1840 \text{ (Мбит/с)}.$$

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

Величину радиуса покрытия одной БС можно определить, используя выражение

$$R = \sqrt{1,21 \frac{S_0}{N_{\text{BTS}} \cdot \pi}}, \quad (3.19)$$

$$R = \sqrt{1,21 \frac{280}{43 \cdot \pi}} = 1,584 \text{ км}$$

3.5 Проверочный расчет помехоустойчивости для обеспечения работы сети

Расчет величины защитного расстояния

Величина защитного расстояния между BTS с одинаковыми частотными каналами определяется соотношением

$$D = R\sqrt{3 \cdot C}, \quad (3.20)$$

$$D = 1,584\sqrt{3 \cdot 4} = 5,486 \text{ км}.$$

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Расчет уровня сигнала на входе приемника

Необходимую мощность на входе приемника P_{npMS} при $h_{BST} = const$ и $P_{ndBTS} = const$ определяют, пользуясь так называемым первым уравнением передачи.

$$P_{npMS} = P_{ndBTS} + G_{BTS} - 70 - 26,16 \lg(f, \text{МГц}) + \\ + 13,82 \lg(h_{BTS}, \text{м}) - [45 - 6,55 \lg(h_{BTS}, \text{м})] \cdot \lg(R, \text{км}) - \alpha_{\phi BTS}, \text{дБ}, \quad (3.21)$$

где G_{BTS} - коэффициент усиления антенны базовой станции, дБ;

f - средняя частота выделенного диапазона частот;

P_{ndBTS} - мощность передатчика BTS, дБВт;

$\alpha_{\phi BTS} = l_{\phi} \cdot \alpha_0$ - потери в фидере BTS, дБ;

l_{ϕ} - длина фидера, которая может быть равной или больше высоты подвеса антенны BTS;

α_0 - погонное ослабление фидера, дБ/м.

$$P_{npMS} = -110 + 11 - 70 - 26,16 \lg(950) + \\ + 13,82 \lg(30) - [45 - 6,55 \lg(30)] \cdot \lg(1,584) - 2 = 15,536 \text{ дБВт}.$$

3.6 Расчет вероятности ошибки

Для определения вероятности ошибки, когда MS находится на границе зоны обслуживания BTS, необходимо использовать соотношение

$$P_{ош} \approx \frac{1}{(\sqrt{3} \cdot C - 1)^{2 \cdot k}}, \quad (3.22)$$

$$P_{ош} \approx \frac{1}{(\sqrt{3} \cdot 4 - 1)^{2 \cdot 3}} = 2,304 \cdot 10^{-5}$$

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

3.7 Расчет эффективности использования радиоспектра

Важным параметром сотовой сети связи является эффективность использования радиоспектра γ , обусловленная числом активных абонентов на 1 МГц полосы частот на передачу (или прием) BTS, то есть

$$\gamma = \frac{N_a}{\Delta F}, \quad (3.23)$$

где полоса частот на передачу (или прием) $\Delta F = F_k \cdot N_{KBTS} \cdot C$, число

активных абонентов $N_a = N_{KBTS} \cdot N_{BTS} = N_{KBTS} \cdot 1,21 \cdot \left(\frac{R_0}{R}\right)^2$.

$$\gamma = 1,21 \cdot \frac{R_0^2}{R^2 \cdot F_K \cdot C}, \quad (3.24)$$

где R_0 - радиус территории, которая обслуживается, ($S_0 = \pi \cdot R_0^2$).

Отсюда

$$\gamma = 1,21 \frac{S_0/\pi}{R^2 \cdot F_K \cdot C} = 1,21 \frac{S_0}{\pi \cdot R^2 \cdot F_K \cdot C}, \quad (3.25)$$

$$\gamma = 1,21 \frac{280}{\pi \cdot 1,584^2 \cdot 2,5 \cdot 10^4 \cdot 4} = 4,3 \cdot 10^{-4}.$$

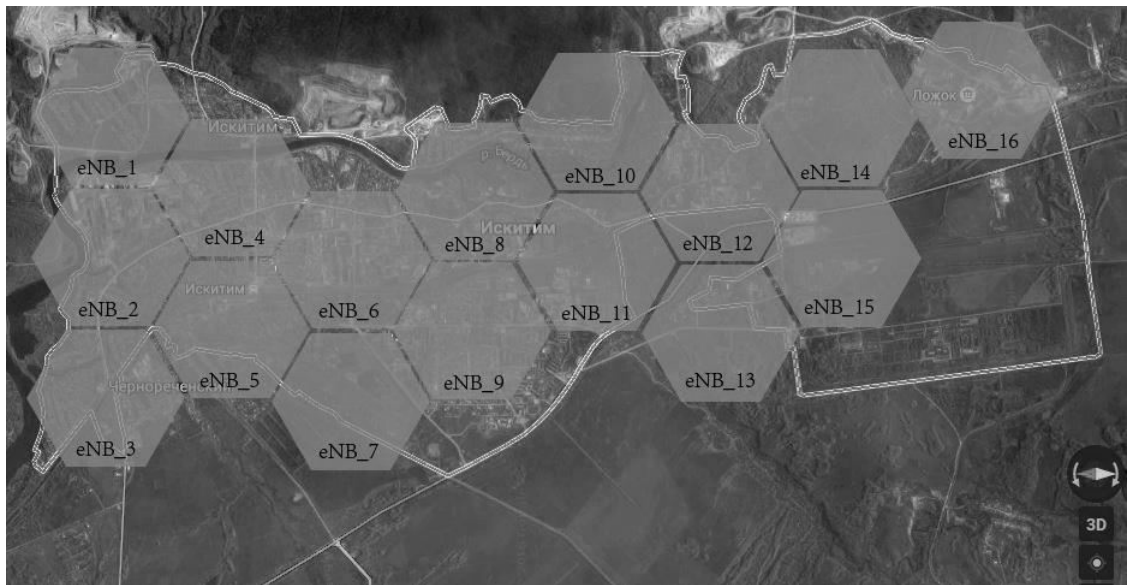


Рисунок 3.3 – Проектируемая схема сети 4G/LTE

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

4. РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE

4.1 Расчет зон радиопокрытия

Анализ зон радиопокрытия начнется 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.

Принцип расчета МДП показан на рисунке 4.1.

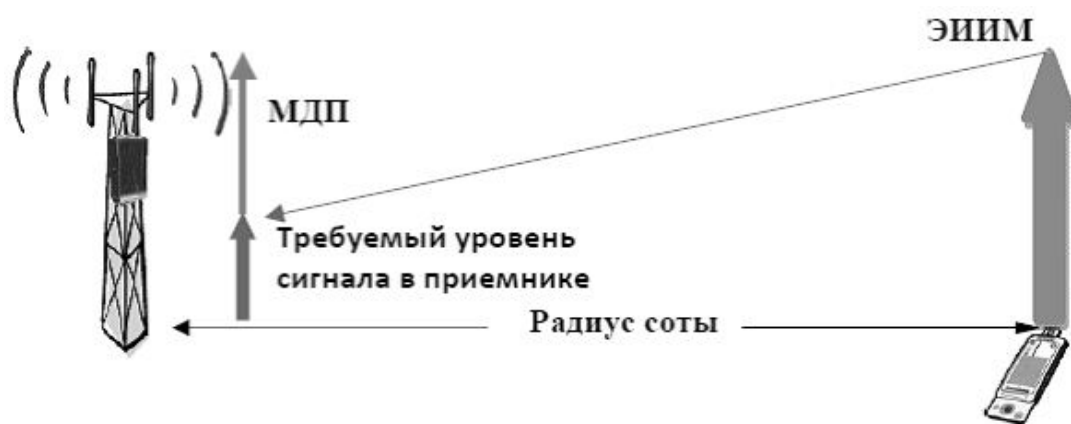


Рисунок 4.1 - Принцип расчета МДП

При расчетах будем использовать следующие параметры:

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

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

$$L_{\text{МДП}} = P_{\text{эиим.прд}} - S_{\text{ч.пр}} + G_{\text{А.пр}} - L_{\text{Ф.пр}} - M_{\text{прон}} - \\ - M_{\text{пом}} - M_{\text{затен}} + G_{\text{хо}} \quad (4.1)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

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

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

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 (4.2) и (4.3), 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:

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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

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

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

$$L_r = 69,5 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg h_t) \cdot \lg d \quad (4.4)$$

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;
- $h_t = 72$ метра;
- $h_r = 3$ метра.

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

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg f_c - 0,7) \cdot h_r - (1,56 \cdot \lg f_c - 0,8) \quad (4.5)$$

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

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

Вычислив из формул (4.1 – 4.3) радиус соты, получим, что $d \approx 9$ км.

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

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot d^2, \quad (4.6)$$

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{6}}{8} \cdot 9^2 \approx 22,2 \text{ (км}^2\text{)}.$$

4.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории г. Искитим

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

В первую очередь, нужно составить ситуационный план размещения базовых станций eNB на территории района планирования сети. Целью проектирования не является полный радиоохват территории города. Главное в данной работе – это обеспечение устойчивым радиосигналом густонаселенных частных секторов. 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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

планирования составляет 16 штук. Таким образом, строится сеть, все eNB которой 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»);
- линия «вниз» поддерживает технологию MIMO4×2;
- пропускная способность: линия «вниз» - 102,9 Мбит/с, линия «вверх» - 54,87 Мбит/с.

Зона радиопокрытия для макро базовых станций представлена на рисунке 4.2.

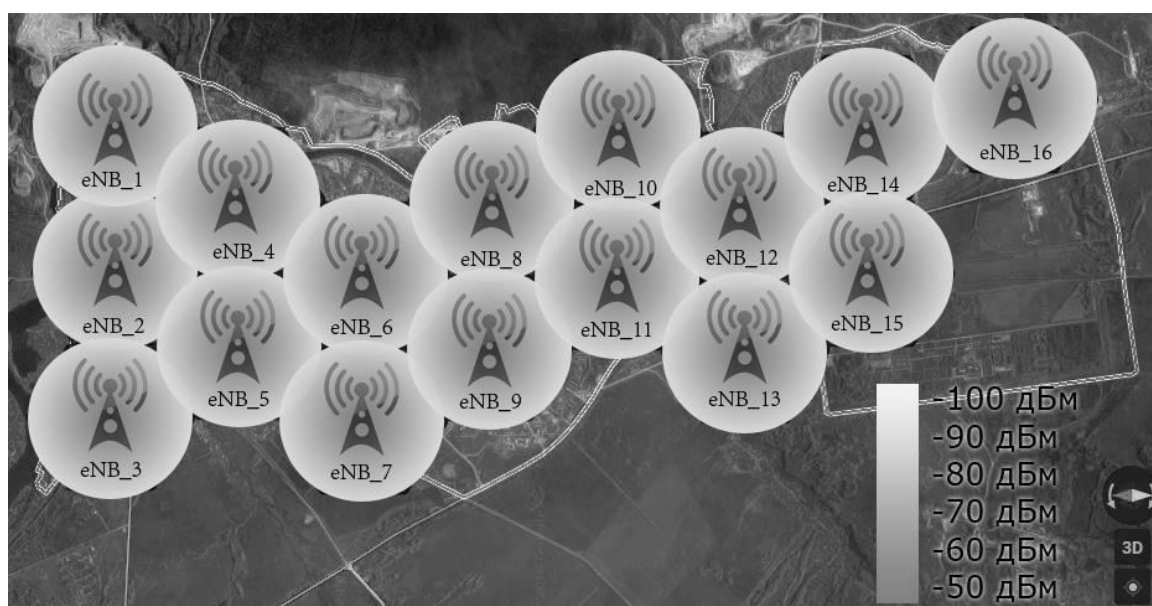


Рисунок 4.2 – Зона радиопокрытия сети LTE (макросоты) в г. Искитим Новосибирской области

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. Частотно-территориальный план сети представлен на рисунке 4.3

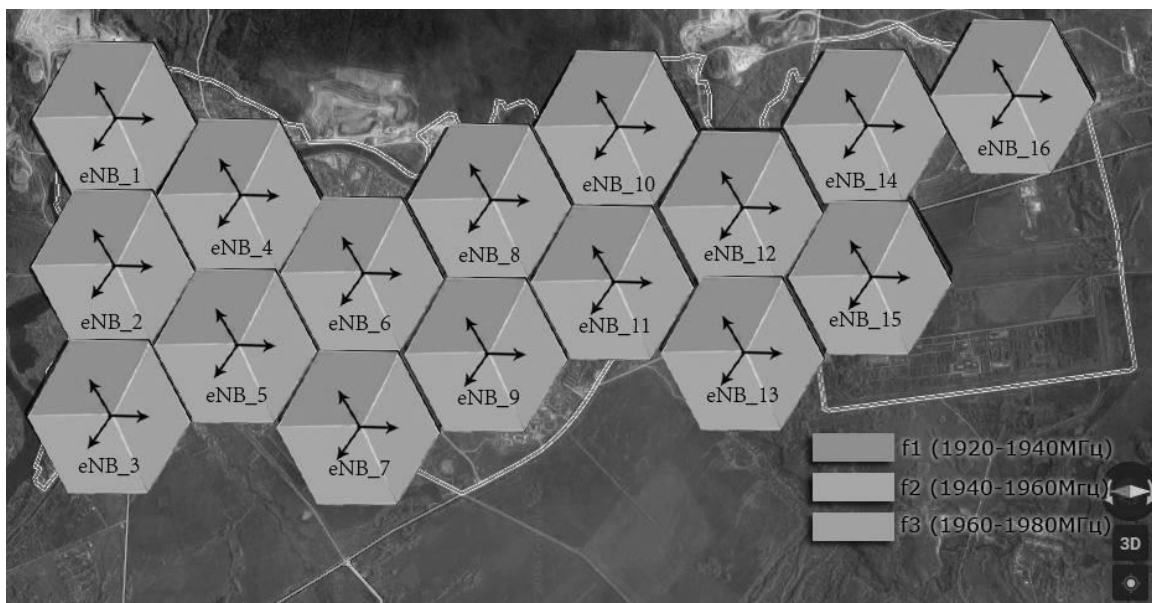


Рисунок 4.3 – Частотно-территориальный план сети.

5. 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. Искитим потребуется 16 базовых станций типа «макро». Также для мест с большой концентрацией абонентов это центр города и многоэтажная застройка планируется организовать дополнительно 17 пикосот. Пропускная способность каждой eNB на начальном этапе функционирования сети составит 158 Мбит/с, а всей сети LTE в г. Искитим 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 компания Ericsson.

Базовые станции макросот RBS 6101 соединяются по оптическим каналам с EPC на базе SSR-8000. Радиоблок RRU (Radio 2217) и антенна находятся на мачте, причем RRU оптическим кабелем соединен с RBS 6101. Часть сети состоящая из пикосот на базе RBS-6302 реализована в следующем порядке. К сети EPC подключается RBS 6601 (распределенная базовая станция) а к данному блоку по оптическим волокнам подключаются базовые станции с радиопередатчиками формата AIR RBS-6302.

Сервисные шлюзы (S-GW, P-GW, SIP, SGSN) реализованы на модулях SSR-8000 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.

Важно отметить, что с помощью технологии SRVCC реализованной в EPC с помощью SSR-8000 имеется возможность обеспечить передачу голосового трафика в сетях LTE.

При нахождении абонента в зоне обслуживания сети LTE передача голоса будет реализовываться на основе SIP телефонии, а если он

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

переместиться в зоне, где обслуживание LTE сети отсутствует, то произойдет мгновенное переключения и перемаршрутизация голосового трафика на сеть мобильной связи поколения 3G. Общая схема организации связи представлена на рисунке 5.1.

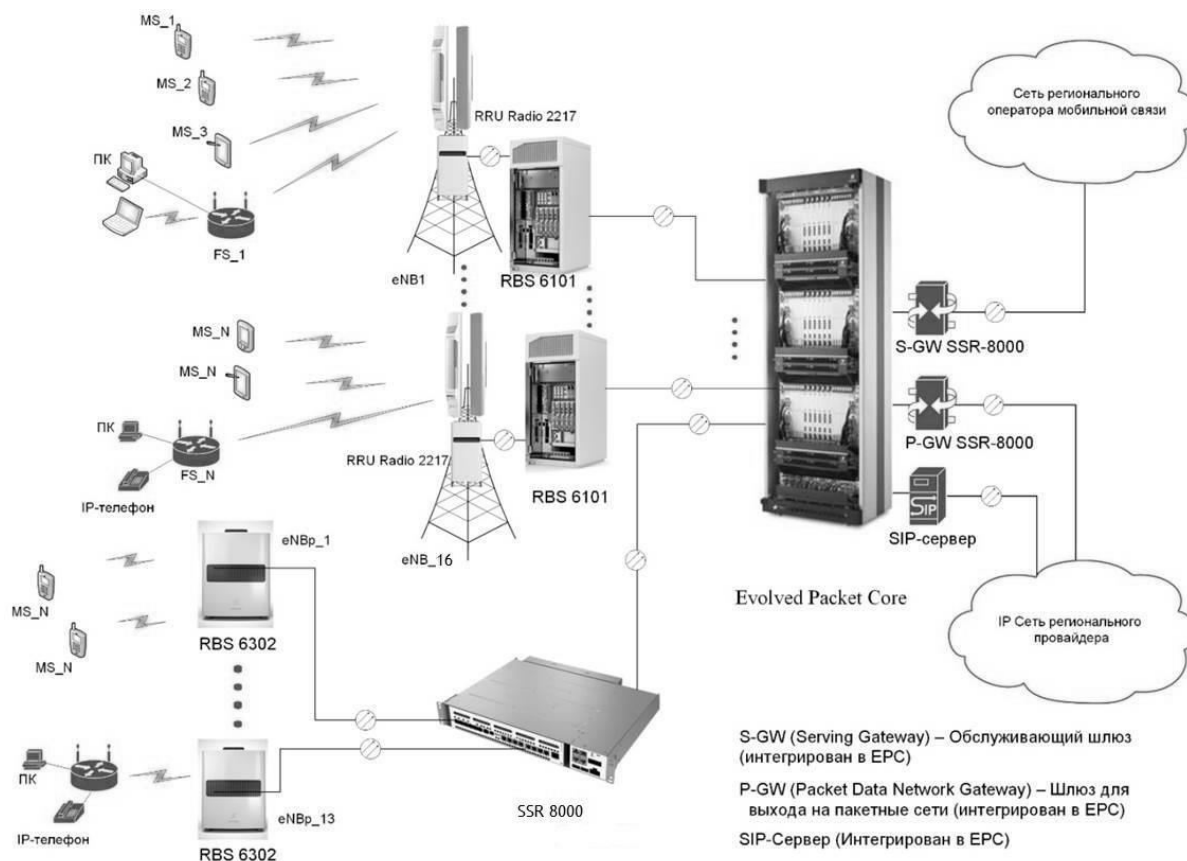


Рисунок 5.1 - Проектируемая схема организации связи сети LTE в г. Искитим

Оборудование Evolved Packet Core (EPC)

Для организации транспортной сети LTE выбор делается в пользу оборудования компании Ericsson. В линейке продуктов данной компании есть высокопроизводительный сетевой узел, представляющий собой совокупность основных сервисов SGSN и MME. Высокая производительность SGSN-MME включает в себя широкий спектр клиент-востребованных функций и позволяет добиться высокой в обслуживании производительности (ISP) В условиях высокой интенсивности трафика. SGSN-MME включает в себя функциональные возможности SGSN для GSM, доступ WCDMA, мобильность управления организацией

(MME), функциональные возможности для LTE и Evolved Packet Core (EPC). EPC сетевая архитектура может быть реализована через обновление программного обеспечения для установленных SGSN узлов, что означает, что предыдущие инвестиции в GSM / WCDMA защищены. В компании Ericsson есть уникальный опыт от развертывания и функционирования коммерческих сетей LTE / EPC. Ericsson запустила первую в мире коммерческую сеть LTE / EPC в Европе и самую большую в мире сеть в США. Они также создали большое количество действующих коммерческих и предварительно коммерческих сетей LTE / EPC во всем мире.

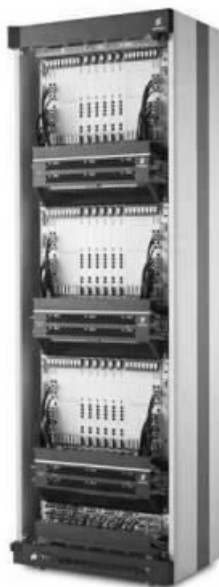


Рисунок 5.2 – Внешний вид EPC.

Ключевые особенности

Объект управления мобильностью (SGSN-MME) обеспечивает переключение пакетов данных и управления мобильностью / сессии в GSM, WCDMA и LTE сетях. Он имеет отличные, проверенные Интернет-провайдерами широкие функциональные возможности, которые оптимизируют работу сети и минимизируют общую стоимость эксплуатации. SGSN обновляется за счет гладкого обновления

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

программного обеспечения сервера SGSN-MME для Evolved Packet Core сетей. SGSN-MME поддерживает тройной доступ 3GPP, GSM, WCDMA и LTE и может быть включен в SGSN-MME состав. Опираясь на проверенное программное обеспечение и функциональность, новая платформа SGSN-MME MkVIII компании Ericsson позволяет расширить возможности для удовлетворения даже самых агрессивных прогнозов роста трафика в сетях широкополосного радиодоступа. Данный сетевой узел обеспечивает отличную масштабируемость, которая поддерживает 18 миллионов пользователей на узел и до 1152000000 пользователей при использовании в объединенной конфигурации. Ключевые особенности и характеристики включают в себя:

- GSM, WCDMA, LTE двойной или тройной доступ;
- SGSN-MME база для GSM, WCDMA и LTE;
- Поддержка HSPA;
- 3G Direct Tunnel (3GDT);
- Поддержка All-IP и SIGTRAN;
- Безграничная мобильность для всех типов радиодоступа;
- Высокая емкость, однослотовой разъема
 - Масштабируется до 18 MSAU;
 - Малый размер (0,0024 квадратных метров на 100 тыс. подключенных пользователей);
 - Низкое энергопотребление (~ 50 Вт на 100 тыс прикрепленных пользователей).

SGSN-MME оснащен многоцелевыми аппаратными средствами, обеспечивая экономичный переход к Evolved Packet Core архитектуре (как определено в 3GPP). Благодаря мощной аппаратуре, миграция и преобразование SGSN с Mobility Management (MME) возможно при обновлении программного обеспечения. Компания Ericsson - первая компания, которая сделала эту эволюцию в сторону архитектуры на

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

сетевой IP-основе. В апреле 2008 года была реализована функция 3G Direct Tunnel в торговой сети. 3G Direct Tunnel позволяет пускать трафик в обход SGSN-MME, что значительно увеличивает пропускную способность сети и позволяет SGSN функционировать в качестве сервера сигнализации MME. Такие функции реализованы в SGSN только с помощью программного обеспечения.

Технология SRVCC - Standardized Single Radio Voice Call Continuity

Технология автоматической бесшовной передачи текущей сессии (хендовер), стандартизированная Консорциумом 3GPP. Позволяет операторам бесшовно передавать голосовой трафик из сетей LTE в сети GSM и WCDMA. Одна из ключевых технологий для обеспечения непрерывности соединений при выходе абонента из зоны действия сети LTE.

С высокой производительностью, масштабируемость (до 18 MSAU), небольшие размеры и низкое энергопотребление платформы SGSN-MME, можно оптимизировать работу и управлять растущими объемами трафика в мобильной широкополосной системе связи. SGSN-MME разработана для внедрения новых функций, способствующих снижению затрат и увеличению доходов.

Ericsson Evolved Packet шлюз (EPG), вместе с SGSN-MME, является важным компонентом Evolved Packet Core (EPC). Это является частью решения Ericsson для быстрого развертывания масштабируемой и надежной сети LTE.

Сервис-провайдеры используют EPG в качестве шлюза между ядра их мобильной пакетной сетью и другими сетями пакетной передачи данных, таких как Интернет, корпоративные сети и частные сети передачи данных.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

EPG может быть развернут в следующих режимах или их сочетаниях:

1. Функциональность только GGSN;
2. Комбинированное использование S-GW и PDN-GW;
3. Как комбинированный GGSN, так и Обслуживающий PDN GW.

Перспективность

Пользователям, имеющим Ericsson EPG, которые используют M120 или M320 платформы для своих сетей 3GPP могут легко перейти на LTE с помощью обновления программного обеспечения. Существующие клиенты, которые требуют более высокую масштабируемость могут заменить вышеупомянутые платформы на семейство продуктов SSR 8000. Этот подход сохраняет оперативность и особенности паритета при сохранении клиентской системы интеграции, так как все существующие интерфейсы других основных узлов пакетной сети сохраняются.

Такая высокая производительность EPG поддерживает предыдущие беспроводные технологии 3GPP (2G, 2G + и 3G), в дополнение доступ на основе технологий не стандартизованных 3GPP, (CDMA, Wi-Fi точек доступа). Она может поддерживать все из них, то есть, мульти-доступ, одновременно.

Построение LTE сети с Ericsson EPG, работающий на SSR 8000, предлагает возможность интегрировать другие услуги в том же узле, что и требования рынка, таких как Wi-Fi шлюз, EPDG и Multi-Service прокси для веб-контента оптимизации загрузки, а также SIP сервер для реализации услуг IP-телефонии.

Ericsson EPG проста в управлении, обладает высокой производительностью, масштабируемостью и высокой доступностью. Ключевые особенности и характеристики включают в себя:

- многоуровневые услуги с настройкой динамических QoS на устройствах конечных пользователей;

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

- встроенная функциональность по глубокой проверке пакетов (DPI);
- надежность Телеком-класса с полной устойчивости сессий;
- масштабируемость 30М IP сессий и 60 млн носителей;
- масштабируемость транзакций в секунду: 300К + - это очень важный показатель для стабильности LTE сети;
- пропускная способность выше 100 Гбит;
- низкая потребляемая мощность - 40 Вт на 100 тыс PDP;
- полное соответствие со стандартами 3GPP.

С высокой пропускной способностью, расширенные функциональные возможности и низкая потребляемая мощность EPG делают его идеальным для обработки растущего мобильного широкополосного трафика, что позволяет операторам заработать на своих инвестициях.

Base Station (BS) eNB

Разработанное компанией семейство базовых станций RBS 6000 предназначено для удовлетворения все более сложных задач, стоящих перед операторами сегодня. Базовые станции предлагают плавное, интегрированное решение отвечающее требованиям завтрашнего дня.

Макро соты

Соты, обеспечивающие макро покрытие территории это основной строительный блок в эффективной радиосети. Макро-соты характеризуются масштабируемостью, гибкостью и централизованным управлением и эффективно используют выделяемое для них пространство.

RBS 6000 включает в себя полный спектр макро базовых станций для различных приложений. Они являются масштабируемыми с точки зрения мощности, в то же время сохраняя отличные возможности охвата, который является одним из ключевых параметров семейства RBS 6000.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Серия RBS 6000 предназначена для поддержки гибкого набора технологий GSM, WCDMA, LTE и CDMA в рамках одной и той же базовой станции.

Удаленные соты

В удаленных сотах радио устройства базовой станции отделены от основного набора устройств. Части радио предпочтительно располагается рядом с антеннами, или интегрированы в саму антенну, чтобы свести к минимуму потери в фидере. Основной набор устройств (основной блок) расположены там, где он больше подходит с точки зрения установки и доступности. Главное удаленные соты снижают потери в фидере и позволяют системе использовать одни и те же высокопроизводительные функции сети при более низкой выходной мощности, тем самым снижая энергопотребление и как следствие капитальные и эксплуатационные расходы.

В макро RBS можно использовать основной блок (main unit) конфигурации удаленной соты.

Удаленные радио в главной удаленной конфигурации могут быть двух типов: Удаленный радио модуль (RRU) и антенна с встроенным радио модулем (AIR). Удаленные радио модули предназначены для установки рядом с антеннами, и могут монтироваться либо на стене или опоре. В AIR модуле, с другой стороны, радио модуль и антенны объединены в одном устройстве и устанавливаются на месте обычной антенны. И RRU и AIR доступны в различных вариантах, в зависимости от диапазона частот, мощности и выходной мощности.

Гибридные соты

Благодаря модульной конструкции RBS 6000, макро- и удаленные соты могут быть объединены. В этом случае макро базовая станция может также выступать в качестве основного устройства в удаленной конфигурации сети. Это дает прекрасную возможность для добавления

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

нового частотного диапазона и / или стандарта радио в существующей соте.

Основные блоки могут быть установлены в существующей шкафу макро- и подключены к удаленному радио модулю с помощью волоконно-оптических и силовых кабелей. Удаленные радио модули могут быть RRU или AIR модули. Источник питания для удаленных радиостанций в некоторых случаях, предусмотрен в распределительном шкафу.

Соты малого радиуса

Добавление небольших сот является одним из трех компонентов в инструментах гетерогенных сетей (HetNet). Для этой цели, RBS 6000 также включает в себя ряд продуктов, поддерживающих присоединение таких маленьких сот. Продукты имеют выходную мощность и емкость, подготовленную для применения, а также ненавязчивый дизайн, что делает их идеальными для установки практически в каждой среде или здании.

Ericsson RBS 6101

Малая открытая базовая станция



Рисунок 5.3 – Внешний вид RBS 6101.

Ericsson RBS 6101 является небольшой, мульти-стандартной, открытой макро базовой станцией. Она может быть сконфигурирована как традиционная макро базовая станция, как система поддержки сот и как основной модуль для удаленных сот или вообще быть скомбинированной макро- и удаленных сот в гибридной архитектуре сети.

Описание продукта

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

RBS 6101 обеспечивает полную соту в одном шкафу, поддерживая широкие конфигурации радиointерфейса в одном или нескольких стандартов радиосвязи. Базовая станция может быть использована во всей радиосети, где охват и емкость имеют важное значение для успешного развертывания или расширения сети. Подходит для развертывания типичных сот, городских сот с установкой на крышах зданий и сельских открытых участках.

Она может быть сконфигурирован как полная макро сота с установленными внутри радио модулями. Используется в качестве макро-соты, RBS 6101 может быть оборудована, для обеспечения практически любых комбинаций цифровых и радио модулей, делающие доступными все соответствующие стандарты радиосвязи и полосы частот. RBS 6101 также может быть использована в качестве основного устройства в удаленной соте.

Здесь радио модули устанавливаются удаленно, с тем чтобы обеспечить лучший энергетический бюджет радиолинии. Удаленные радио связаны с волоконно-оптическим CPRI интерфейсом. RBS 6101 также обеспечивает питание до девяти удаленных радиостанций.

Эти два типа конфигураций, макро и удаленные соты, могут быть объединены в 6101 шкафу. В этих гибридных конфигурациях RBS 6101 оснащен как внутренними радио модулями, так и внешними радио модулями.

RBS Модули

Модульная конструкция из RBS 6000 базовых станций означает, что блоки могут быть использованы в различных конфигурациях в семействе RBS 6000. Это дает преимущества с точки зрения логистики, монтажа и доступности к основным узлам системы.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Удаленный радиоблок (RRU)

Удаленный радиоблок (RRU) предназначен для установки рядом с антеннами, и может быть закреплен на стене или опоре. Устройства поддерживают мульти-стандартные операции, которая означают, что они могут работать на режимах GSM, WCDMA или LTE на тот же RRU оборудовании. Два стандарта могут работать одновременно на каждом блоке.

RRU доступен в различных моделях: поддержка одного передатчика на сектор до восьми передатчиков на сектор от 10 до 160 Вт.

Antenna Integrated Radio (AIR)

Архитектура AIR аналогично в RRU исключением того, что все компоненты монтажа оборудования для одной ячейки или сектора соты объединены в единый блок. Это устройство заменяет антенну, RRU, усилитель (TMA) и фидерные перемычки. AIR также может действовать в качестве обычной пассивной антенны на второй полосе частот, в то же время будучи интегрированной радио/антенной на первой полосе.

Установка уменьшенных модулей AIR в соте позволяет:

- Снизить затраты на соте;
- Упрощается поиск новых сот или обновление существующих сот (зонирования и юрисдикционные согласования);
- Установленный в мачте снижает требования по общей нагрузке ветра для мачты.

Благодаря тесной интеграции имеет лучшую производительность радио интерфейса и улучшенное радио покрытие внутри помещений.

Одна единица AIR может реализовывать один активный диапазон частот в одном секторе. AIR модуль поддерживает стандарты GSM, WCDMA и LTE. Каждый блок AIR может поддерживать один или комбинацию из двух стандартов.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56



Рисунок 5.4 – Внешний вид блоков RRU и AIR.

Ericsson RBS 6601

Эрикссон RBS 6601 является очень небольшим закрытым модулем удаленной соты, который может быть вставлен в стандартную 19-дюймовую стойку или существующую RBS макро.

RBS 6601 обеспечивает решение очень сложных сот, когда доступно минимальное пространство, например, в помещениях городских сот или в помещениях.

Концепция удаленной соты обеспечивает те же возможности высокопроизводительных сетей как макро базовые станции, но с более низким потреблением энергии и меньшими требованиями для развертывания соты.

Радио модули, подключенные к основному блоку RBS 6601 могут быть либо дистанционными радио модулями (RRU), которые предназначены для простого развертывания, предпочтительно близко к антенне на стене или башне установки, тем самым минимизируя потери в фидере. Другой вариант заключается в использовании Antenna-Integrated Radio (AIR), где модули радио и антенна, объединены в единый блок, установленный в обычном месте для антенны.



Рисунок 5.5 – Внешний вид SSR 8000.

Сотовые RBS решения

Решения компании Ericsson для сотовых систем (RBS) основаны на линейке вспомогательных для RBS продуктов, необходимых для полного создания и эксплуатации сотовых сетей с высоким качеством и оптимальной производительности сети.

Основные преимущества решений RBS , являются:

Продукты прошедшие предварительные испытания

Все продукты в составе решений RBS были проверены и задокументированы вместе с базовыми станциями для гарантии, что не существует никаких слабых связей и проблем адаптации при установке соединения с сетью. Это гарантирует, что время задержки минимизируется, а также не возникает проблем при установке на оборудование.

Глобальные услуги

Служба Global Services имеет уникальный, всеобъемлющий набор, поддерживающий и оптимизирующий сотовые продукты и решения от Ericsson. Это приводит к поддержке и формированию нового поколения развития телекоммуникационной индустрии, предоставляя нашим клиентам полный спектр услуг; от установки до управляемых услуг.

Заказ на основе потребностей клиента

Компания имеет прямые поставки, которые адаптированы для решения центральных, региональных и местных потребностей. Процесс

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

заказа очень прост; с запросом необходимо предоставить только некоторые основные характеристики для требуемой функциональности.

Системная проверка продуктов

Дело в том, что в наборе решений и продуктов RBS предлагаются только товары, которые уже проверены, означающее, что установка и испытания будут проходить быстрее и время, необходимое для развертывания соты, может быть существенно снижено. Решения RBS делают все компоненты для совместной работы, что даёт более быстрый ролл-аут и сокращает время окупаемости.

Продукты из раздела сотовых RBS решений:

- Антенные системы (антенны, ТМА, фильтры, фидеры);
- Установочные материалы и инструменты;
- Питание для наружного и внутреннего RBS;
- Позиционирование и синхронизация
- Передача;

Ericsson Media Gateway for Mobile Networks M-MGW

M-MGW обеспечивает экономически эффективное решение медиа-плоскости для применения в мобильной сети, предлагая поддержку безопасного IP-транспорта и голоса HD по всем интерфейсам. Он также обеспечивает поддержку облегчения миграции к VoLTE и IMS только с обновлением программного обеспечения и добавлением отдельных приложений.

Описание продукта

Media Gateway для сетей мобильной связи (M-MGW) является высоко производительный медиа продукт используемый на глобальном уровне почти в 400 сетях. Это решение для таких проблем с которыми операторы сталкиваются сегодня и в будущем, например, как

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

оптимизировать затраты на голосовые продукты и как защитить доходы в меняющихся условиях телефонии.

Экономическая эффективность достигается за счет эффективного внедрения в сеть для обмена и использование сетевых ресурсов наилучшим образом. М-MGW поддерживает IP-транспорта на всех интерфейсах, позволяющих максимально из одного конца в другой конец обеспечить качественную передачу голоса HD с эффективным использованием полосы пропускания. Поддержка М-MgW IP включает также интерфейс для GSM радио и интерфейса VoIP в IMS и других внешних мобильных и фиксированных сетей).

Уникальный подход сводит все функции плоскости медиа информации в одну, позволяя М-MgW быть доказательством перспективности решения при внедрении VOLTE и IMS услуг. М-MGW может поддерживать не только применение MgW но и применение BGF предлагая обеспечение безопасного IP-транспорта к внешним сетям, а также поддержку MRFP и MRFC приложений, предлагающих реализовывать объявления и конференц-связи в мультимедийной среде. Поддержка HD перекодирования видео в М-MGW позволяет реализовать такие услуги, как видеоконференцсвязь с HD качеством и т.п.

Совместное размещение речи формата HD и услуг HD видео позволяет использовать установленную базу MGW для мультимедийных услуг. Это помогает уменьшить количество медиа плоскостей и промежуточных узлов в сети и обеспечивает лучшую эффективность использования ресурсов сети и энергопотребления.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

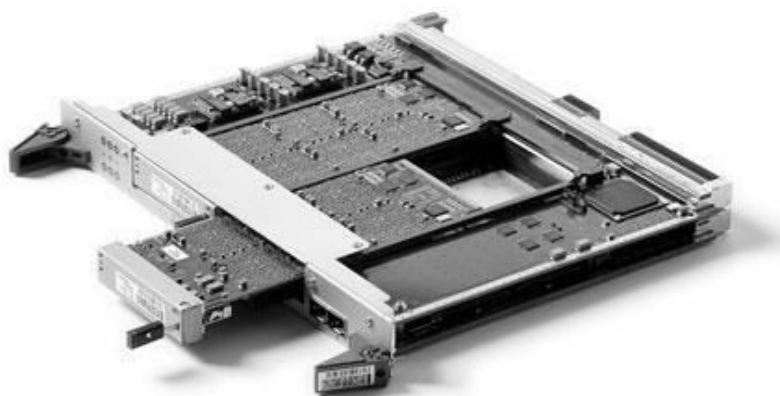


Рисунок 5.6 – Внешний вид блока Media Gateway.

Система радио-релейной связи MINI-LINK PT

Система MINI-LINK PT является открытым продуктом и оптимизирована для пакетных сетей, с использованием Radio Ethernet протокола. MINI-LINK PT может быть легко развернута в отдельно стоящих местах и/или конечных объектов, где имеется соединение Ethernet. Кроме того, систему можно развернуть в сочетании с другими MINI-LINK узлами, например, MINI-LINK SP & MINI-LINK TN. Различные продукты MINI-LINK PT оптимизированы для различных сценариев и задач. MINI-LINK PT 2020, идеально подходит для создания радиомостов прямой видимости. Основные удаленные, микро / пико-соты в традиционном диапазоне частот, 6-42 ГГц. MINI-LINK PT 3060 предназначена для малых сот в виде резервного канала или основного между eNB соединения с инновационным дизайном и охватывает нелицензионную полосу на несущей 60 ГГц.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61



Рисунок 5.7 – Внешний вид блоков RRU и AIR.

Таким образом для реализации сети широкополосного радиодоступа в г. Искитим выбрано оборудование компании Ericsson. Выбор именно этого производителя обусловлен тем, что в нем имеется полный спектр необходимого оборудования для реализации современной, масштабируемой и высокопроизводительной сети связи. Также оборудования данного производителя сертифицировано для использования на территории РФ.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

6. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА

6.1 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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

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,

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

обменных процессов, воспроизводительной функции и др. Влияние на иммунную систему выражается в снижении фагоцитарной активности нейтрофилов, изменениях комплиментарной активности сыворотки крови, нарушении белкового обмена, 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.

Многочисленные 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. 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.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

6.2 Охрана труда при строительномонтажных работах.

Оборудование компании «Ericsson», которое используется в данной ВКР, имеет сертификат соответствия, содержащий требования безопасности.

Согласно СН и П 12-03-01 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» запрещается размещать оборудование и производить его монтаж и настройку в помещениях, где не закончены ремонтно-строительные работы.

В производственных помещениях распаковка оборудования запрещается. Распаковка должна производиться в помещении, расположенном смежном или поблизости от производственных помещений. Для распаковки может быть использован коридор или другое помещение.

В соответствии с требованиями ПУЭ, ГОСТ 12.2.007.0-75 («ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности») металлические части оборудования, которые вследствие повреждения изоляции могут оказаться под электрическим напряжением выше 42 В переменного тока и выше 110 В постоянного тока, должны быть заземлены.

При проведении строительномонтажных работ должен использоваться электроинструмент с напряжением 42 В. При работах на высоте используются стремянки. При обслуживании и ремонте электроустановок запрещается применение металлических стремянок.

Все работы должны производиться согласно документу «Правила по охране труда при работах на телефонных станциях и телеграфах» ПОТ РО-45-007-96.

6.3 Техника безопасности при эксплуатации антенно – мачтовых сооружений.

В данной ВКР предусмотрена высота подвеса антенн на высоте 32 м.

К работам на высоте допускаются лица, которым разрешена работа на высоте. Работы на конструкциях, не имеющих ограждения, а также работы,

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

связанные с выходом за пределы ограждений, должны выполняться верхолазами. К самостоятельным верхолазным работам допускаются, лица (рабочие и инженерно-технические работники) не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр и признанные годными, имеющие стаж верхолазных работ не менее одного года и тарифный разряд не ниже третьего.

Верхолазными считаются работы, выполняемые на высоте более 5 м от поверхности земли, перекрытия или рабочего настила, над которыми производятся работы непосредственно с конструкций при монтаже или ремонте, при этом основным средством, предохраняющим работающих от падения с высоты, является предохранительный пояс.

При работах на опоре в опасную зону разрешается входить только лицам, непосредственно связанным с работой, при условии использования защитных касок. Опасная зона вокруг мачт и башен определяется при эксплуатации и ремонте расстоянием от центра опоры (мачты, башни), равным 1/3 ее высоты.

Подъем людей на антенно-мачтовые сооружения запрещается:

- при неснятом напряжении свыше 42 В;
- во время грозы и при ее приближении;
- при гололеде, сильном дожде, снегопаде или тумане;
- при не пристегнутом к люльке карабине предохранительного пояса;
- при скорости ветра выше 12 м/с, в темное время;
- на подъемном устройстве, срок очередного испытания которого истек;
- на бракованных канатах; при неисправной лебедке;
- без защитной каски и предохранительного пояса.

Антенщику - мачтовому разрешается выполнять ремонтные работы на опоре лишь после того, как он прикрепится к ее конструкциям предохранительным поясом. Красить опоры следует с лестниц, подмостей или с люльки.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Антенщики-мачтовики должны работать в защитных касках и специальной обуви (сапоги, ботинки без металлических гвоздей и подковок и с нескользящими подошвами).

Работы на АМС должны выполняться не менее чем двумя мачтовиками, один из которых является наблюдающим. Наблюдающий должен находиться от центра основания опоры на расстоянии не ближе одной трети ее высоты и иметь при себе монтерский пояс, а в случае работ на деревянных опорах - и когти.

Сварочные работы разрешается производить с инвентарной люльки подъемного устройства при условии подвески люльки к грузовому канату.

Во время грозы и при ее приближении запрещается находиться около заземлителей. Работы на антенном поле необходимо прекратить, а людей перевести в помещение. На местах установки заземлителей должны быть установлены предупредительные плакаты «Стоять! Напряжение».

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

7. ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

В данной главе ВКР проводится технико-экономическое обоснование организации беспроводного доступа в г. Искитим с использованием технологии LTE.

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

- капитальные вложения;
- эксплуатационные расходы;
- тарифные доходы;
- фондоотдача, себестоимость услуг и рентабельность проекта;
- прибыль и срок окупаемости проекта.

7.1 Этап строительства сети LTE

На этапе строительства сети LTE в г. Искитим планируется реализовать мероприятия:

- строительство радиобашни, установка БС, установка контейнера для размещения оборудования БС, ввод в эксплуатацию БС;
- строительство волоконно-оптической линии связи на участках;
- установка маршрутизатора «Cisco 7603 OSR» в помещении АТС;
- установка мультисервисной платформы «CiscoASR 5000 PCS3» в помещении ОПТС, подключение сети EPCLTE к внешним сетям;

7.1.1 Расчет капитальных вложений на первом этапе

Капитальные вложения и ввод в эксплуатацию нового оборудования

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

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.

Определим затраты на прокладку кабеля.

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

$$C_{\Sigma} = C_{ок} * L_{ок}, \quad (7.1)$$

где $C_{ок}$ – цена прокладки 1 км оптического кабеля в трубе, $C_{ок} = 45000$ руб.;

$L_{ок}$ – длина прокладываемого оптического кабеля, $L_{ок} = 12$ км.

$$C_{\Sigma} = 45000 * 12 = 540000 \text{ (руб.)}$$

Расчет капитальных вложений на первом этапе приведен в таблице 7.1.

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%).

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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 7.1 – 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 «RBS-6101», производитель «Ericsson»	16	460000	7360000
Базовая станция «RBS-6302», производитель «Ericsson»	17	270000	4590000
Распределенная БС RBS-6601	1	420000	420000
RRU «Radio 2217» производитель «Ericsson»	48	73000	3504000
Антенна приемо-передающая производитель «Ericsson»	48	25000	1200000
Вспомогательные компоненты для монтажа	48	8000	384000
Evolved Packet Core (EPC)	1	465000	465000
Evolved Packet шлюз (EPG) SSR-8000	1	1650000	1650000
Media Gateway	1	170000	170000
Программное обеспечение шлюзов, SIP, MME	1	820000	820000
Итого			20563000
Тара и упаковка		0,5%	102815
Транспортные расходы		4%	822520
Заготовительно-складские расходы		1%	205630
Установка и настройка		15%	3084450
Сумма			4215415
Дополнительное оборудование			
Установочно-монтажные комплекты	16	150000	2400000
Антенно фидерные тракты, сигнализация и РРЛ	16	15000	240000
Контейнер цельнометаллический для размещения оборудования eNB, производитель ООО «ПМК»	16	18000	288000
ИБП Liebert«GXT2-1500 RT230»	16	30000	480000
Блок грозозащиты	16	1500	24000
Сплит-система «Hitachi Luxury RAS/RAC-0,8 LH1/LH2»	16	8000	128000
Конвектор «Timit W4CT 1104D 1500W»	16	2500	40000
Итого			3600000
Тара и упаковка		0,5%	18000
Транспортные расходы		4%	144000
Заготовительно-складские расходы		1%	36000
СМР		15%	540000
Итого			738000
ИТОГО по смете			29116415
Неучтенное оборудование		10%	2911641,5
С _Σ	12 км.	45000	540000
ВСЕГО			32568056,5

Общие капитальные вложения на организацию сети связи на первом этапе составляют $K = 32568056,5$ руб.

7.1.2 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;
- материальные затраты;
- прочие расходы;
- отчисления на НИОКР.

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 7.2 приведен рекомендуемый состав обслуживающего персонала.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

Таблица 7.2 – Состав обслуживающего персонала

Наименование должностей	Оклад, руб.	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Ведущий инженер	22000	1	22000
Инженер по обслуживанию сети	13000	1	13000
Электромеханик	12000	1	12000
Монтажник высотник	12000	2	24000
Итого (ФЗП)		5	71000

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

$$\Phi OT_2 = \Phi ЗП \cdot N_m \cdot Pr \cdot K_p \cdot K_{вр}, \quad (7.2)$$

где $\Phi ЗП$ – основной фонд заработной платы, $\Phi ЗП = 71000$ руб.;

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

Pr – размер премии, $Pr = 1,25$ (25%);

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

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

$$\Phi OT_2 = 71000 \cdot 12 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1,04 = 1273740 \text{ (руб.)}$$

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

$$СВ = \Phi OT_2 \cdot 0,3 \quad (7.3)$$

$$СВ = 1273740 \cdot 0,3 = 382122 \text{ (руб.)}$$

Амортизационные отчисления.

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

$$A = K_{осн.i} \cdot H_{a.i}, \quad (7.4)$$

где $K_{осн.i}$ – первоначальная стоимость основных фондов ($K_{осн.i}$ приравнивается к капитальным вложениям);

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

$$A = 32568056,5 * 0,05 = 1628402,825 \text{ (руб.)}.$$

Материальные затраты.

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

$$M_z = Z_{эн} + Z_m, \quad (7.5)$$

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

Z_m – затраты на материалы и запасные части.

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

$$Z_{эн} = T \cdot 24 \cdot 365 \cdot P, \quad (7.6)$$

где T – тариф на электроэнергию, $T = 3,09$ руб./кВт/час;

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

P – мощность оборудования, для eNB $P = 1,07$ кВт.

$$Z_{эн} = 3,09 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1,07 = 28963,188 \text{ (руб.)}.$$

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

$$Z_m = K \cdot 0,01 \quad (7.7)$$

$$Z_m = 32568056,5 \cdot 0,01 = 325680,565 \text{ (руб.)}.$$

Величина общих материальных затрат составит:

$$M_3 = 28963,188 + 325680,565 = 354643,753 \text{ (руб.)}.$$

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

$$Z_{общ. ар.} = Z_{ар} \cdot N_{ар}, \quad (7.8)$$

где $Z_{ар}$ – стоимость одного места подвеса в год, $Z_{ар} = 120000$ руб.

$N_{ар}$ – количество арендуемых мест подвеса, $N_{ар} = 16$.

$$Z_{общ. ар.} = 120000 \cdot 16 = 1920000 \text{ (руб.)}.$$

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:

$$Z_{пр} = 0,4 \cdot \Phi OT \quad (7.9)$$

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

$$Z_{np} = 0,4 \cdot 1273740 = 509496 \text{ (руб.)}$$

Затраты на аренду частотного ресурса будут составлять:

$$Z_{част} = 1\,789\,200 \text{ (руб.)}$$

Так как:

$$Z_{част} = C_P \times K_{\text{ДИАП}} \times K_{\text{РЧ}} \times K_{\text{ТЕХ}} \quad (7.10)$$

где:

$Z_{част}$ – затраты на аренду частотного ресурса, руб;

C_P - ставка разовой платы;

$K_{\text{ДИАП}}$ - коэффициент, учитывающий используемый диапазон радиочастот;

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

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

Высчитывается по формуле:

$$K_{\text{ТЕХ}} = K_{\text{ПЕРСП}} \times K_{\text{РЕГ}} \times K_{\text{СОЦ}} \quad (7.11)$$

$K_{\text{ПЕРСП}}$ - коэффициент, учитывающий перспективность технологии, применяемой при использовании радиочастотного спектра.

В случае применения радиотехнологий стандарта LTE и его последующих модификаций коэффициент $K_{\text{ПЕРСП}} = 0,1$.

$K_{\text{РЕГ}}$ - коэффициент, учитывающий интенсивность использования соответствующих выделенных полос радиочастот в субъекте (части субъекта) Российской Федерации. (Для Новосибирской области 1,8)

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

$K_{COЦ}$ - коэффициент, учитывающий степень социальной направленности внедрения технологии.

При использовании технологии LTE $K_{COЦ} = 1$.

Таким образом:

$$K_{tex} = 0.1 * 1,8 * 1 = 0,18$$

Следовательно:

$$P_p = C_p * K_{DIAП} * K_{Pч} * K_{TEX} = 70\,000 * 2 * 71 * 0,18 = 1\,789\,200 \text{ руб.}$$

Результаты годовых эксплуатационных расходов приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Виды расходов	Сумма расходов, руб.
Фонд оплаты труда годовой (ΦOT_2)	1273740
Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды (CB)	382122
Амортизационные отчисления (A)	1 628 402,83
Материальные затраты (M_3)	354643,753
Аренда мест подвеса БС ($Z_{обц.ар}$)	1920000
Прочие расходы ($Z_{пр}$)	509496
Аренда частоты	1 789 200
ВСЕГО	7857604,583

Таким образом, общие эксплуатационные расходы равны $7857604,583 \approx 8$ млн. руб.

7.1.3 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. Искитим составляет 57416 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 65%

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

$$N_{аб.инт} = (57416/3) \cdot 0.65 = 12440 \text{ (человек).}$$

Предполагаемые тарифные планы по предоставлению доступа в сеть Интернет с помощью USB-LTE модемов показаны в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – 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	-	25	300
T2	до 1 Мбит/с	400	-	25	300
T3	до 2 Мбит/с	450	-	20	240
T4	до 4 Мбит/с	500	50 Гб	15	180
T5	до 6 Мбит/с	550	70 Гб	15	150

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

$$D_1 = \sum_i T_i \cdot N_i \cdot 12, \quad (7.12)$$

где T_i – стоимость тарифного плана;

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

$$D_1 = [350 \cdot 300 + 400 \cdot 300 + 450 \cdot 240 + 500 \cdot 180 + 550 \cdot 180] \cdot 12 = [105000 + 120000 + 108000 + 90000 + 99000] \cdot 12 = 522000 \text{ (руб.)}$$

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

$$D_2 = N_{аб.унт} \cdot (Z_n - Z_3), \quad (7.13)$$

где Z_n – стоимость продажи одного USB-LTE модема, $Z_n = 2999$ руб.;
 Z_3 – закупочная цена одного USB-LTE модема, $Z_3 = 2000$ руб.

$$D_2 = 12440 \cdot (2999 - 2000) = 12427560 \text{ (руб.)}$$

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

$$D_{общ} = D_1 + D_2 \quad (7.14)$$

$$D_{общ} = 522000 + 12427560 = 12949560 \text{ (руб.)}$$

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

$$NPV = PV - IC \quad (7.15)$$

где PV – денежный доход,

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

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

$$PV = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} \quad (7.16)$$

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

i – норма дисконта,

T – количество лет, для которых производится расчет.

$$IC = \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}} \quad (7.17)$$

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 пяти крупнейших российских банков, включая Сбербанк РФ. Она составляет приблизительно 10 % и формируется в основном под воздействием внутренних рыночных факторов.

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

Таблица 7.6 – Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта

Год	P	PV	I	IC	NPV
1	2	3	4	5	6
0	0	0	42 214 861	42214861,08	-42214861,08
1	5880000	5 345 455	7857605	49358137,98	-44012683,43
2	12936000	16 036 364	7857605	55852026,06	-39815662,43

Окончание таблицы 7.6

1	2	3	4	5	6
3	30576000	39 008 565	7857605	61755560,68	-22746995,7
4	74092000	89 614 398	7857605	67122410,34	22491987,58
5	132300000	171 762 289	7857605	72001364,58	99760924,39
6	275184000	327 096 483	7857605	76436777,52	250659705,4
7	523908000	595 944 126	7857605	80468971,1	515475155,2

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:

$$PP = T + NPV_n / (|NPV_{n-1}| + NPV_n) \quad (7.18)$$

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.

$$PP = 4 + 22491987,58 / (22746995,7 + 22491987,58) = 4,5 \text{ года.}$$

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

$$PI = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} / \sum_{n=1}^m \frac{IC_n}{(1+i)^{n-1}} \quad (7.19)$$

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

$$PI = 74092000 / 67122410,34 = 1,1$$

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Так как полученный $IP > 1$ и равен 1,1 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 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:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (7.20)$$

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

$$I_1 = 10; NPV_1 = 22491987,58$$

$$I_2 = 20; NPV_2 = -1648003,82$$

$$IRR = 10 + \frac{22491987,58}{22491987,58 - (-1648003,82)} (20 - 10) = 19,3 \%$$

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

Согласно расчётам, внутренняя норма доходности проекта составляет 19,3 %, 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 7.7.

Таблица 7.7-Технико-экономические показатели

Показатели	Значение
Емкость сети (USB/моб.), абонентов	12440
Пропускная способность сети, Гбит/с	2524,32
Количество базовых станций стандарта LTE, шт.	16
Капитальные вложения общие, руб.	32 568 056,5
Годовые эксплуатационные расходы руб.	7 857 604,583
Срок окупаемости капитальных затрат, лет	4 года 6 месяцев
Рентабельность по чистой прибыли, %	12,5
Численность персонала, человек	5
IRR,%	19,3

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данного дипломного проекта была разработана мультисервисная сеть связи с организацией широкополосного доступа в городе Искитим Новосибирской области. Все поставленные задачи для достижения этой цели были решены. Был проведен анализ существующей сети, в ходе которого было определено предполагаемое количество абонентов сети – 11500 пользователей. Было решено предоставлять абонентам такие основные услуги Triple Play Services, такие как услуги IP телефонии, IP телевидения и предоставления доступа к глобальной сети Internet.

Для предоставления всего перечня услуг проектируемой МСС были выбраны технологии «Gigabit Ethernet» – для организации транспортной сети, и технология беспроводной передачи данных «LTE» – для частного сектора. Сеть построена на оборудовании фирмы-производителя «Ericsson».

Для предоставления услуг мультисервиса было решено арендовать каналы у местного оператора связи «Ростелеком» на первоначальном этапе реализации проекта.

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 32568056,5 рублей. Так же были определены рентабельность проекта и чистый доход.

Мультисервисная сеть 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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

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

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

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. Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009.
3. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
4. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010.
5. Кааринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. – М.: Техносфера, 2007.
6. Печаткин А. В. Системы мобильной связи. Часть 1. – РГАТА, Рыбинск, 2008.
7. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.
8. 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.
9. Трибушная В.Х. Учебно-методическое пособие для выполнения раздела «Технико-экономическое обоснование дипломного проекта» - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. – 25 с.
10. ГОСТ 464-79, «Заземления для стационарных установок проводной связи, радиорелейных станций, радиотрансляционных узлов и антенн систем коллективного приема телевидения».
11. РД 45.162-2001. Комплексы сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования.

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

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

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

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

15. Stefania Sesia. LTE. The UMTS Long Term Evolution. From Theory to Practice. – John Wiley Ltd, 2009.

16. 3GPP TS 36 104: «E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 8). April 2011.

17. Технические характеристики RBS-6101 и RBS-6302 [Электронный ресурс]/ Официальный сайт в сети Интернет компании «Ericsson»/ URL: <http://www.ericsson.com/ru/products/1/61546.html> (дата обращения 10.06.2016)

18. Информация о 4G: WiMAX и LTE [Электронный ресурс]/ Сайт о технологиях средств связи/ URL: <http://www.tssonline.ru/articles2/fix-op/wimax-vs-lte-revoluciya-ili-evoluciya> (дата обращения 08.05.2016)

19. Актуальные новости из мира мобильных технологий [Электронный ресурс]/ Мобильный форум России/ URL: <http://www.mforum.ru/news/article/1167506437.htm> (дата обращения 23.04.2016)

					11070006.11.03.02.111.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

Выпускная квалификационная работа выполнена мной совершенно самостоятельно. Все использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

«___» _____ г.

(подпись)

(Ф.И.О.)