

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 АБОНЕНТСКОГО
ДОСТУПА СЕЛА БЕХТЕЕВКА КОРОЧАНСКОГО РАЙОНА**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи
заочной формы обучения, группы 07001364
Старченко Евгении Павловны

Научный руководитель
канд. техн. наук, доцент кафедры
Информационно-
телекоммуникационных
систем и технологий
НИУ «БелГУ»
Урсол Д.В.

Рецензент
Главный инженер
АО НПП «СПЕЦ-РАДИО»
Даукаев М.М

БЕЛГОРОД2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА.....	6
1.1 Описание района для проектирования.....	6
1.2 Анализ состояния существующей сети связи села Бехтеевка Корочанского района.....	8
2. СРАВНЕНИЕ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ СТАНДАРТА 4G (LTE и WiMAX).....	10
2.1 Сравнительный анализ стандартов LTE-A и WiMAX-2.....	10
2.2 Структура сети LTE.....	14
2.3 Принцип организации радиointерфейса LTE.....	16
2.4 Использование MIMO в технологии LTE.....	17
2.5 Специфика MIMO в системах LTE.....	20
2.6 Требования по реализации режимов MIMO в LTE.....	23
2.7 Широкополосные услуги TriplePlay.....	23
2.8 Услуги предоставляемые сетями LTE.....	24
3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ.....	26
4 ВЫБОР И РАСЧЕТ ОБЪЕМА ОБОРУДОВАНИЯ.....	31
4.1 Выбор оборудования для проектируемой сети.....	31
4.2 Комплекс eCNS600.....	35
4.3 Базовая станция Huawei DBS3900.....	36
4.4iManager M2000.....	40
5 АНАЛИЗ РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE.....	42
5.1 Расчет зон радиопокрытия.....	42

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>			
Изм	Лист		Подпись	Дата				
Разработал	<i>Старченко Е.П.</i>				Проектирование сети широкополосного абонентского доступа села Бехтеевка Корочанского района	Лит.	Лист	Листов
Проверил	<i>Урсол Д.В.</i>						2	72
Рецензент	<i>Цаукаев М.М.</i>					<i>НИУ «БелГУ», зр.07001364</i>		
Н. контр.	<i>Урсол Д.В.</i>							
Утвердил	<i>Жуляков Е. Г.</i>							

5.2 Частотно-территориальное планирование.....	45
5.3 Расчет электромагнитной совместимости базовых станций.....	47
6 ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....	50
6.1 Расчет годовых эксплуатационных расходов.....	50
6.2 Затраты на оплату труда.....	52
6.3 Амортизационные отчисления.....	53
6.4 Материальные затраты.....	53
6.5 Прочие расходы.....	54
6.6 Ежегодные выплаты за использование радиочастотного спектра.....	55
6.7 Расчет тарифных доходов.....	58
6.8 Оценка показателей экономической эффективности проекта.....	59
7 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА.....	64
7.1 Воздействие радиочастотного поля на организм человека.....	64
7.2 Охрана окружающей среды на предприятии связи.....	65
8 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	71

ВВЕДЕНИЕ

В 21 веке технический прогресс привёл к появлению и распространению новых технологий передачи и доступа к информации, они замещают устаревшие технологий новыми, которые расширяют спектр сервисов и пользовательских услуг. Беспроводные технологии широкополосного доступа являются наиболее перспективными, достоинством данных сетей является оперативность внедрения и доступная стоимость. Однако у этих сетей есть свои недостатки, это сложность с получением частотного ресурса, имеющего лицензионные ограничения. Многие страны имеют безлицензионные частотные полосы для передачи информации, однако в России все частотные полосы в обязательном порядке должны быть лицензированы.

Потребности абонентов с каждым годом все больше растут, для этого требуются более быстрые сети связи для передачи данных и мультимедиа контента. На различных узлах сетей связи увеличивается скорость информации, поэтому необходимо использовать более качественные и широкополосные каналы связи. Вводом в эксплуатацию оптических линий связи, обеспечивающих скорость передачи информации более 10Гбит/с, была решена проблема, возникшая на этапе передачи по транспортным каналам. Однако на этапе доступа абонента к сети связи дела значительно хуже. Основной проблемой здесь является большое количество и протяженность линий абонентского доступа, требующие замены для обеспечения возрастающей потребности абонентов в услугах связи. В небольших населенных пунктах с низкой плотностью населения эта проблема проявляется особенно остро. Использование стационарных линий абонентского доступа ограничивает пользователей в передвижении. Решением этой проблемы может стать использование беспроводных технологий доступа.

В основном, операторы сотовой связи для обеспечения широкополосным радиодоступом с целью поддержки услуг 3G использует технологию WCDMA.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Данная технология обеспечивает скорость доступа до 2 Мбит/с на коротких расстояниях и 384 Кбит/с на больших с полной мобильностью. Однако для доступности современных услуг связи, данной скорости обмена информации недостаточно. Наиболее перспективным вариантом обеспечения сельской местности высокоскоростным доступом в сеть Интернет является построение широкополосной сети абонентского доступа. У данных сетей большие скорости передачи информации до 100 Мбит/с, что является их преимуществом. Низкий уровень капитальных вложений при строительстве так же играет огромную роль в выборе данных сетей.

Тема моей выпускной квалификационной работы «Проектирование сети широкополосного абонентского доступа села Бехтеевка Корочанского района» является актуальной.

Целью данной работы является предоставление абонентам села Бехтеевка Корочанского района современных мультисервисных услуг связи на базе технологии беспроводного широкополосного доступа. Для реализации поставленной цели были выполнены следующие задачи:

- Анализ инфраструктуры объекта;
- Сравнение и выбор ключевых технологий стандарта 4G (LTE и WiMAX);
- Расчет параметров проектируемой сети;
- Выбор и расчет объема оборудования;
- Анализ радиопокрытия сети LTE;
- Техничко-экономическое обоснование;
- Экологическая безопасность проекта;
- Техника безопасности и охрана труда.

Представленная ниже выпускная квалификационная работа состоит из 8 глав, в каждой из которых полностью произведено решение поставленных задач.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА

1.1 Описание района для проектирования

Бехтеевка - село в Корочанском районе Белгородской области, административный центр Бехтеевского сельского поселения.

Бехтеевское сельское поселение располагается на левом берегу реки Короча. На западе граничит с городом Короча. Село Бехтеевка находится на южной окраине Среднерусской возвышенности, где перепады высот на местности составляют от 120 до 220 метров над уровнем моря.

По численности населения среди сельских территорий Корочанского района и площади территория Бехтеевского сельского поселения является самой крупной. Общая площадь Бехтеевского сельского поселения составляет - 10292 гектара.

Село Бехтеевка является административным центром Бехтеевского сельского поселения, в границах которого находятся села: Клиновец, Казанка; хутора: Косухин, Колесников, Кошин, Марченко, Лопин, Остапенко-первый, Остапенко-второй, Поливанов.

Село Бехтеевка располагается в северо-восточной части Белгородской области. Оно удалено от областного центра и южной железнодорожной станции Белгород на 57 километров. В восточном направлении от Бехтеевки располагается железнодорожная станция и город Новый Оскол, в 40 километрах, в северном направлении от села, есть железнодорожная станция поселка Чернянка, на юге от села расположен город Шебекино. Между районным центром городом Короча и Бехтеевкой 1км. Связано село с городом асфальтированной дорогой и пешеходным мостом через реку Короча. Через село проходят асфальтированные дороги государственного значения: Белгород - Новый Оскол и Шебекино - Чернянка.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

Край славится своей природной, экологической чистотой, своими замечательными садами, уникальными родниками.

На территории поселения благоустроены парковые зоны, созданы прекрасные условия для отдыха. В 2009 году открыт парк «Молодежный» на берегу реки Короча.

Современная политика социально-экономического развития Корочанского района отвечает общим целям повышения благосостояния его жителей, адекватна запросам времени и служит задачам максимального использования имеющихся у района природных, экономических и трудовых резервов.

1.2 Анализ состояния существующей сети связи села Бехтеевка Корочанского района

Единственный телекоммуникационный оператор фиксированной связи в селе Бехтеевка - ПАО «Ростелеком». На данный момент ПАО «Ростелеком» предоставляет следующие услуги: стационарная аналоговая телефония, доступ в Интернет по технологии ADSL, доступ в сеть Интернет по технологии FTТВ.

Абоненты имеют доступ к глобальной среде Интернет посредством технологии HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access - пакетная передача данных от базовой станции к мобильному телефону) при использовании 3G модемов у операторов мобильной связи.

Технология 4G сотовой связи открывает для Корочанского района новые возможности использования современных телекоммуникационных сервисов.

Что бы реализовать современные мультисервисные услуги связи необходимо иметь широкополосные частотные каналы, что не возможно в существующих системах. Экономически не выгодно прокладывать новую кабельную инфраструктуру, поэтому для решения таких задач необходимо применение беспроводных технологий широкополосного доступа. В настоящее

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

время наиболее перспективными и распространенными технологиями являются Mobile WiMAX (от англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) и LTE (от англ. Long-Term Evolution).

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2 СРАВНЕНИЕ И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЙ СТАНДАРТА 4G (LTE и WiMAX)

2.1 Сравнительный анализ стандартов LTE-A и WiMAX-2[2, 3, 5]

Выбор технологии, на которой будет реализовываться сеть широкополосного радиодоступа, имеет огромное значение при проектировании сети. Рассмотрим основные особенности и характеристики сетей Mobile WiMAX и LTE.

В начале 2000 годов начали разрабатываться сети беспроводной связи четвертого поколения, а с 2010 года сети 4G стали внедрять во многих странах. Международный союз электросвязи (МСЭ) взял под свой контроль развитие 4G. МСЭ установил стандарты скорости передачи данных до 1 Гбит/с для проводных и до 100 Мбит/с для беспроводных аппаратов. Это стало настоящим прорывом в отрасли связи, так как это огромный скачок за недолгое время.

Исходя из перечисленных ниже технических характеристик беспроводных сетей связи, которые определяют их эффективность и качество предоставляемых услуг, проведем сравнительный анализ стандартов LTE-A и WiMAX-2:

– диапазон частот, показывает пределы, в которых разрешено развертывание беспроводной сети связи;

– максимальная спектральная эффективность - это отношение максимальной скорости передачи информации к используемой полосе частот, определяется для линии связи от базовой станции к абоненту (downlink) и от абонента к базовой станции (uplink);

– латентность сети – это время подготовки к передаче информации по каналу связи, включающее в себя время перехода абонентского оборудования из режима ожидания в активный режим передачи данных и время, через которое данные поступят от абонентского оборудования на базовую станцию;

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– длительность хэндовера – время переключения активного соединения с одного канала на другой.

Основные технические характеристики сетей связи четвертого поколения приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Основные технические характеристики сетей 4G

Показатель	LTE-A	WiMAX-2
Диапазон частот, МГц	791 – 821 832–862 880–915 925–960 1710-1785 1805-1880 2300 – 2400 2500 – 2690	2300 – 2400 2500 – 2690 3400 – 3600
Максимальная спектральная эффективность, бит/с/Гц	downlink: 16,3 uplink: 8,4	downlink: 16,3 uplink: 8,4
Спектральная эффективность соты, бит/с/Гц/сота	downlink: 2,4 – 3,8 uplink: 1,5 – 2,1	downlink: 2,6 uplink: 1,3
Спектральная эффективность на границе соты, бит/с/Гц/граница соты	downlink: 0,066 – 0,1 uplink: 0,062 – 0,099	downlink: 0,09 uplink: 0,05
Латентность сети, мс	C-plane: 50 U-plane: 4	C-plane: 100 U-plane: 10
Длительность хэндовера, мс	во всех режимах: 10,5	внутри несущей: 27,5 между несущими в полосе: 40 между полосами: 60

Стандарты LTE-A и WiMAX-2 по многим параметрам являются практически равноценными. Обе системы используют технологию радиодоступа OFDM, поддерживают реализации с временным разделением и с частотным разделением каналов. Преимуществом сетей LTE является то, что они совместимы со стандартами сотовой связи предыдущих поколений – UMTS и GSM. Например, сети LTE для передачи речи могут использовать ресурсы

сетей UMTS и GSM, которые практически повсеместно внедрены на территории России.

Таблица 2.2 - Сравнение параметров реальных систем мобильного WiMAX и LTE в одинаковых частотных условиях при FDD с полосами 2×20 МГц

Параметры	LTE				WiMAX Релиз 1.5	
	Motorola		T-Mobile	Qualcomm		
Нисходящий канал						
Антенна БС	2x2	4x4	2x4	4x2	2x2	4x4
Модуляция и скорость кодирования	64QAM, 5/6		64QAM, 5/6	64QAM, нет данных	64QAM, 5/6	
Скорость, Мбит/с	117	226	144	277	144,6	289
Восходящий канал						
Антенна АС	Нет данных		1x2	1x2	1x2	
Модуляция и скорость кодирования	Нет данных		64QAM	16QAM	64QAM, 5/6	
Скорость, Мбит/с	Нет данных		50,4	75	69,1	

Таблица 2.3 – Сравнение ключевых параметров LTE и WiMAX

Параметры	LTE	WiMAX Релиз 1.5
Дуплексирование	FDD и TDD	FDD и TDD
Частотный диапазон для анализа	2000 МГц	2500 МГц
Ширина канала	до 20 МГц	до 20 МГц
От базы	OFDMA	OFDMA
К базе	SC-FDMA	OFDMA
Спектральная эффективность, бит/Гц/с		
нисходящий канал, MIMO (2x2)	1,57	1,59
восходящий канал, SIMO (1x2)	0,64	0,99
Максимальная скорость мобильной станции, км/ч	350	120
Длительность кадра, мс	1	5
Антенные системы		
нисходящий канал	2x2, 2x4, 4x2, 4x4	2x2, 2x4, 4x2, 4x4
восходящий канал	1x2, 1x4, 2x2, 2x4	1x2, 1x4, 2x2, 2x4

Таблица 2.4 - Различия в радиоинтерфейсе LTE и WiMAX

Характеристика	LTE	WiMAX	Влияние на систему
Многостанционный доступ	OFDMA на DL, SC-FDMA на UL	OFDMA на DL и UL	SC-FDMA: снижает пик-фактор, упрощается терминал, повышается КПД
Диспетчеризация частотных ресурсов	Селективная	Рандомизированная	Частотная селективная диспетчеризация – дополнительный энергетический выигрыш
Заголовки/служебная информация	Сравнительно малые заголовки	Достаточно большие заголовки	Снижение заголовков повышает спектральную эффективность
Объединение пакетов в HARQ	Incremental redundancy	Chase combining	Дополнительный энергетический выигрыш при использовании Incremental redundancy
Задержка на обработку пакетов	10мс	30мс	Упрощенная структура сети LTE позволяет снизить задержку
Адаптация системы к каналу	Высокая точность (1-2 дБ)	Грубая настройка (2-3 дБ)	Адаптация системы с высокой точностью повышает спектральную эффективность
Управление мощностью	Частичное управление мощностью	Классический алгоритм	Частичное управление мощностью – компромисс между пропускной способностью на краю и в сумме по соте
Переиспользование частот	Коэффициент 1	Коэффициент 3	Меньше коэффициент, выше спектральная эффективность
Схемы MIMO	CL-MIMO, параллельное кодирование	MIMO без обратной связи, последовательное кодирование	Обратная связь, MIMO с перекодированием, приемник SIC – дополнительный энергетический выигрыш

Далее рассмотрим MobileWiMAX релиза 2.0, основанный на стандарте IEEE 802.16m. В соответствии с требованиями IMT- Advanced увеличится спектральная эффективность в нисходящем и восходящем каналах. Данный параметр возрастет вдвое и на границе соты базы – до 0,09 и 0,05 бит/с/Гц для нисходящего и восходящего каналов, соответственно. За счет интеграции отдельных частотных полос, как смежных так и нет, появится режим расширения каналов (всего до 100 МГц). Допустимая скорость перемещения мобильных терминалов возрастет до 500 км/ч. Время установления соединения, общая задержка радиосети и время переключения при хэндове сократятся. Гарантированно останется полная обратная совместимость системами WiMAX релиза 1.0 и 1.5. Выигрышем в стоимости развертывания сети является преимущество в спектральной эффективности.

С технической точки зрения LTE и WiMAX представляют почти одинаковый класс систем. Но сравнение параметров LTE и WiMAX, которое представлено в таблицах 2.2 и 2.3 показывает, что стандарт LTE все-таки превосходит стандарт WiMAX.

Далее в работе будем более подробно рассматривать технологию LTE, которую и возьмем за основу для проектирования широкополосной сети абонентского доступа.

2.2 Структура сети LTE [5]

Структура сети LTE показана на рисунке 2.1, она состоит из двух компонентов. Это сеть радиодоступа (E-UTRAN) и базовая сеть (SAE).

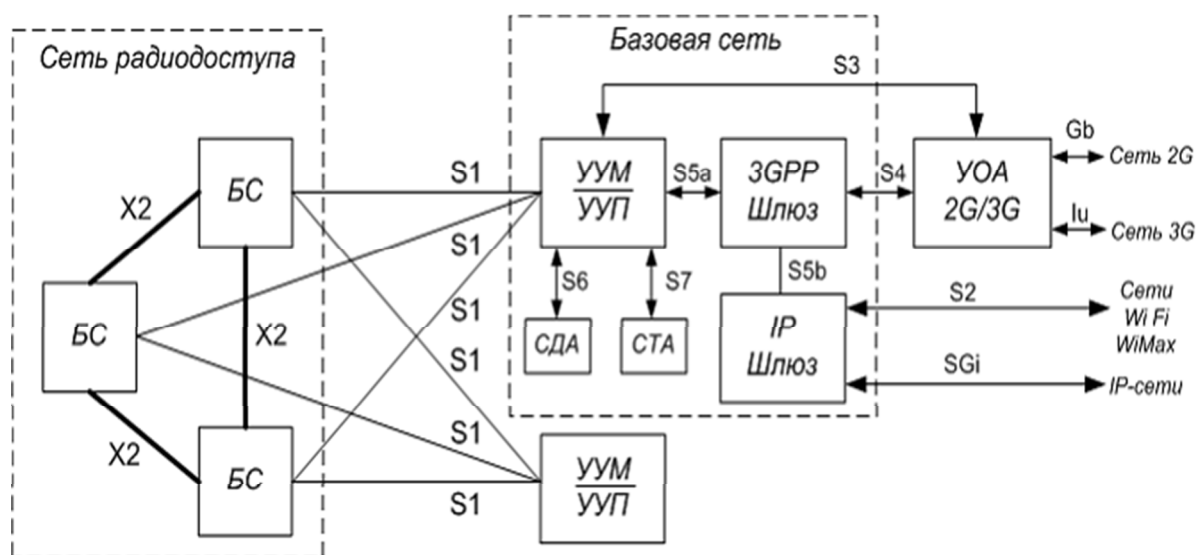


Рисунок 2.1. Структура сети LTE

Сеть радиодоступа состоит из базовых станций (eNB), которые соединяются между собой по принципу «каждый с каждым» через интерфейс X2, который поддерживает в активном состоянии хэндовер мобильного терминала.

В базовой сети SAE важнейшими элементами являются узел управления мобильностью (УУМ) и узел уровня пользователя (УУП). Управление мобильностью абонентского терминала и распределение сообщений вызова по базовым станциям обеспечивает УУМ, при помощи протоколов плоскости управления. УУМ помимо этого отвечает за управление роумингом и

обеспечивает безопасность сети. УУП выполняет функции передачи данных пользователей, а так же взаимодействует с базовыми станциями, обеспечивает шифрование потоков данных и коммутацию пакетов при обеспечении мобильности пользователя.

Основным достоинством базовой сети SAE является упрощенная структура и отсутствие дублирующих функций сетевых протоколов. Сеть SAE с помощью оптимизации передачи данных и низкие задержки, тем самым обеспечивает высокие скорости передачи данных.

Голосовые услуги, IP-услуги на основе коммутации пакетов предоставляет архитектура базовой сети SAE. Доступ к базовой сети может осуществляться разными способами: через сети 2G и 3G, через узел обслуживания абонентов(УОА) и 3GPP шлюз, через сеть радиодоступа таких технологий как WiMAX и Wi-Fi, а так же с помощью IP-шлюза через проводные IP-сети (ADSL+, FTTB, FTTH).

Основными интерфейсами базовой сети являются:

S1 – между базовой сетью и базовыми станциями, предоставляет доступ к сети для управления и передачи данных протоколов плоскостей пользователя;

S2 – передача данных между базовой сетью и IP-сетями (WiMAX и Wi-Fi), имеет функции управления и мобильности;

S3 – между узлом обслуживания абонентов(УОА) и УУМ/УУП;

S4 – обеспечивает передачу данных между УОА и 3GPP-шлюзом;

S5a – обеспечивает передачу данных между УУМ/УУП и 3GPP-шлюзом;

S5b – обеспечивает передачу данных между шлюзами 3GPP и IP;

S6 – обеспечивает доступ к СДА (серверу домашних абонентов) и авторизацию пользователей;

S7 – обеспечивает доступ к СТА (серверу тарификации абонентов) для управления установлением соединений параметрами на основе тарификации и политики сети;

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

SGi – между внешними IP-сетями и узлом 3GPP и IP-сети могут принадлежать как одному оператору сотовой связи, так и нескольким.

2.3 Принцип организации радиointерфейса LTE

Основные особенности радиointерфейса LTE будут рассмотрены ниже.

В технологии LTE на линии вниз используется многостанционный доступ на базе ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM), на линии вверх от него отказались. Для упрощения терминалов начали использовать технологию мультиплексирования на одной несущей (SC-FDMA). SC - FDMA формирует сигнал с меньшим пик-фактором, что позволяет усилителю работать с более высоким КПД.

В системе LTE упрощенная архитектура, что позволяет сократить время на обработку пакетов до 10мс. Для объединения повторно переданных пакетов используется процедура «Incremental redundancy». Она заключается в том, что при каждой последующей передаче изменяется шаблон выкалывания бит в процессе турбокодирования. При каждой последующей передаче в декодирующем устройстве увеличивается число проверочных бит в декодируемом пакете. Этот метод дает заметный энергетический выигрыш.

Условия распространения волн в канале связи максимально учитываются в современных системах радиодоступа, это делается при выборе подходящей схемы модуляции и кодирования MCS (Modulation and Coding Scheme). В LTE доступны 29 схем MCS. Выбирают ту схему, у которой в определенных условиях распространения радиоволн обеспечивается максимальная пропускная способность. В зависимости от отношения сигнал/шум точность настройки на канал составляет 1-2 дБ.

Частичное правление мощностью FPC (Fractional Power Control) используется в LTE. Пороговое отношение сигнал/шум может меняться для

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

пользователей от их положения внутри соты. Чем ближе передатчик к базовой станции, тем выше порог отношения сигнал/шум, служащий критерием регулировки мощности. Вблизи базовой станции передатчик работает с более высокой спектральной эффективностью. Работаю с повышенной мощностью, передатчик так же может подавлять соканальные помехи.

Помимо того, каждая базовая станция LTE контролирует уровень помех от соседних сот. Периодически базовые станции обмениваются индикаторами перегрузки, которые показывают в каком ресурсном блоке превышает пороговое значение уровня помех. Индикатор перегрузки формируется по результатам измерения уровня помех и фонового шума в соте, для каждого частотного блока. Если указывается высокий уровень помех для какого-либо блока, то базовая станция передает команду снизить мощность, излучающего в данном ресурсном блоке.

Коэффициент переиспользования частот в сети LTE равен 1. Это означает, что все базовые станции работают на одной несущей. Благодаря частотно-селективной диспетчеризации, гибкому системному плану и координации помех между сотами внутрисистемные помехи в данной системе минимизируются. Пользователям в центре соты выделяются ресурсы из всей полосы канала, для пользователей на краях сот ресурсы выделяются только из определенных диапазонов.

2.4 Использование MIMO в технологии LTE [2, 3]

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

MIMO (Multiple Input – Multiple Output) - технология, представляющая собой беспроводной доступ, и предусматривает использование нескольких передатчиков и приемников для одновременной передачи большего количества

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

данных. С применением технологии MIMO возможно увеличение помехоустойчивости каналов связи, уменьшение относительного числа бит, принятых с ошибкой.

Технология MIMO (рисунок 2.2) заключается в применении нескольких передающих и приёмных антенн как на базовой станции, так и на устройстве абонента. MIMO применяется для увеличения пропускной способности радиоканала. При этом число приёмных и передающих антенн должно быть одинаковым. В таком случае возможна одновременная передача нескольких параллельных потоков данных. Так, если на передающей и приёмной стороне использовать по 2 антенны (схема MIMO 2x2), то скорость в теории увеличится в два раза, если по 4 (схема MIMO 4x4), то в 4 раза и т.д. В стандарте LTE предусмотрено использование до 4 приёмных/передающих антенн. В настоящее время большей популярностью пользуется схема MIMO 2x2.

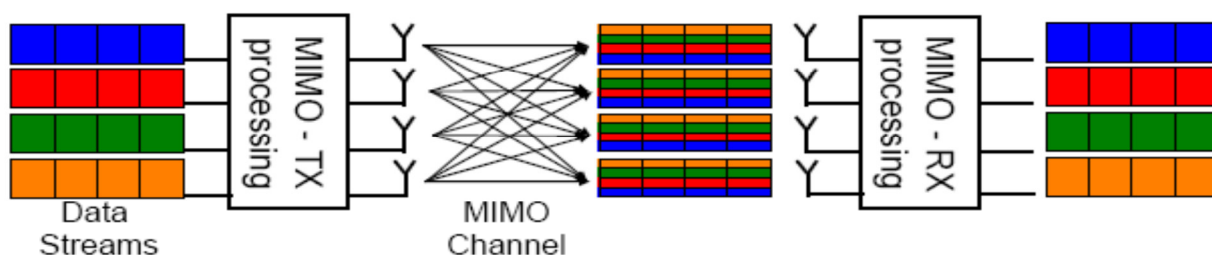


Рисунок - 2.2 Технология MIMO

Если в системе MIMO можно передать от приемника к передатчику информацию о характеристиках канала распространения радиоволн, то на передающей и приемной сторонах имеется возможность сформировать оптимальным образом пространственные каналы распространения отдельных сигнальных потоков таким образом, чтобы минимизировать их взаимную интерференцию, а это значительно повышает энергетический бюджет соединения.

В LTE различают несколько режимов MIMO (рисунок 2.3):

- SISO (Single-Input Single-Output) - обычный традиционный режим (без разнесения);

- SIMO (Single-Input Multi-Output) – одна передающая и несколько приемных антенн (разнесенный прием);

- MISO (Multi-Input Single-Output) – несколько передающих и одна приемная антенна (разнесенная передача);

- MIMO (Multi-Input Multi-Output).

Кроме того, в LTE для MIMO различают еще два режима (рисунок 2.4):

- SU MIMO (Single-User MIMO) – реализация MIMO в соединении с единственным пользователем;

- MU MIMO (Multi-User MIMO) – многопользовательская передача с MIMO.

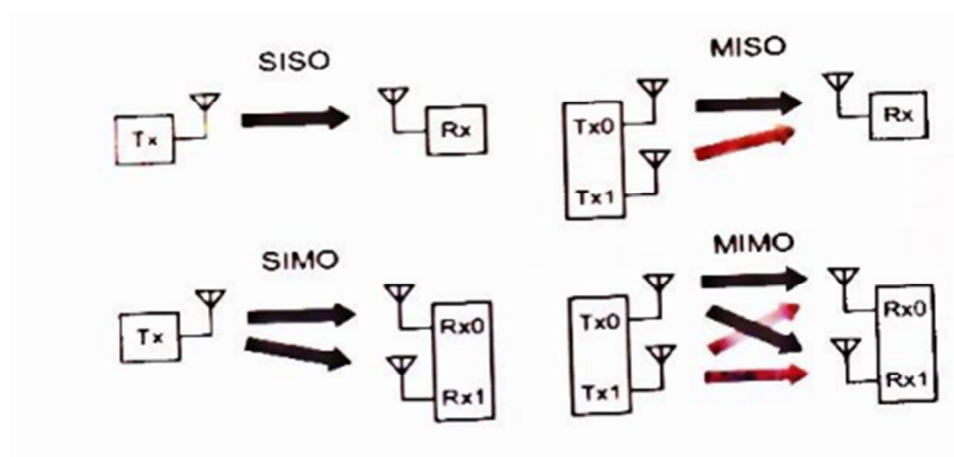


Рисунок 2.3 – Режимы MIMO в LTE

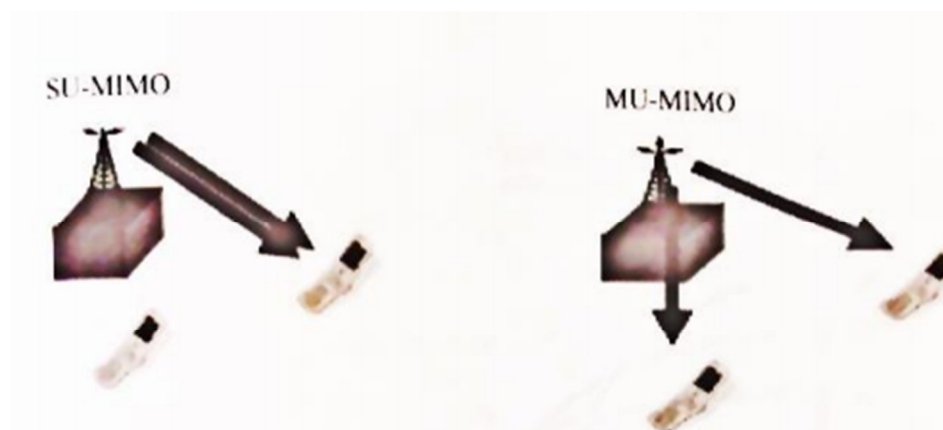


Рисунок 2.4 – Режимы SU-MIMO и MU-MIMO в LTE

2.5 Специфика MIMO в системах LTE [6]

В понятие MIMO входят такие понятия как: пространственная передача и прием, формирование узких направленных лучей Beamforming и пространственное мультиплексирование. В LTE перечисленные способы передачи используются комплексно. На рисунке 2.5 показано дерево решений в области применения технологии MIMO в системах LTE.

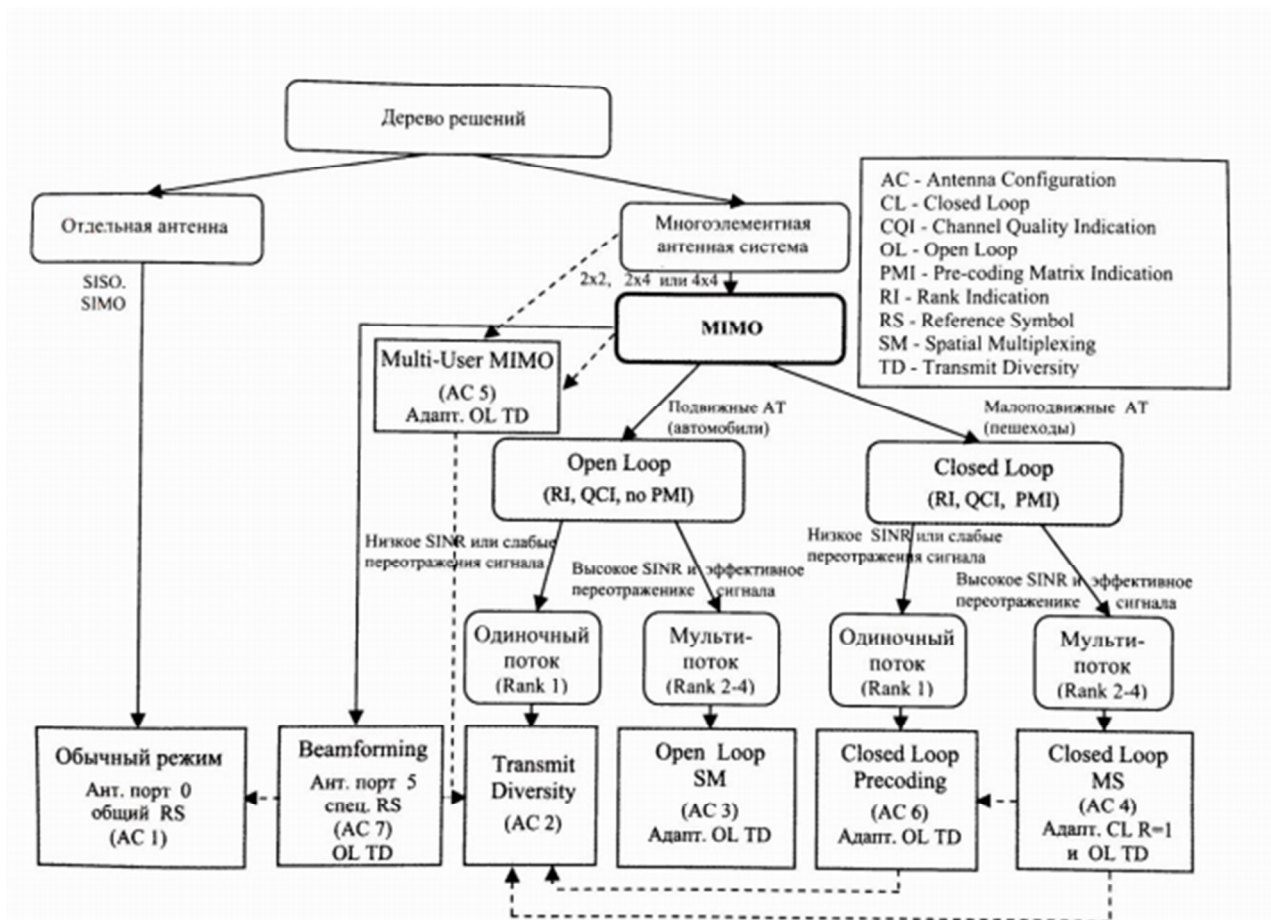


Рисунок 2.5 – Структура MIMO в системе LTE

Дадим краткую характеристику способов передачи данных, которые входят в состав MIMO системы LTE.

Разнесенная передача TxDiv (Transmit Diversity, TD), а также и разнесенный прием имеют место, когда на передающей или на приемной стороне используются несколько разнесенных в пространстве антенн. При этом

через эти антенны передаются параллельно (дублируются) одинаковые потоки данных как на одной, так и на разных частотах. Это позволяет улучшить качество приема на краю ячейки, где отношение сигнал/шум SNR мало. Для такой передачи применяется кодирование данных, передаваемых посредством нескольких антенн. В зависимости от способа такого кодирования в LTE различают несколько режимов разнесения:

- разнесенная передача с пространственно - временным блочным кодированием STBC (Space time block codes);
- разнесенная передача с пространственно - частотным блочным кодированием SFBC (Space-frequency time block codes);
- разнесенная передача с коммутацией (переключением) радиочастот FSTD (Frequency switched transmit diversity).

Beamforming или пространственное разделение каналов осуществляется за счет адаптивного формирования узких пространственных лучей диаграммы направленности антенн. Позволяет осуществлять селективную в пространстве передачу данных для одного или нескольких абонентов, увеличивая пропускную способность каналов на краю ячейки. Антенны с такими свойствами называются адаптивными (Smart antenna). Теоретической основой функционирования адаптивных антенн является хорошо отработанная сегодня теория пространственно-временной обработки сигналов. Технология SDMA (Beamforming) может быть реализована при наличии одной антенны в абонентском терминале.

Данная технология в основном реализуется на базовой станции, что не требует значительного изменения оборудования конечного пользователя.

Beamforming сокращает до 40% количество базовых станций, которые необходимы для покрытия заданной территории. Позволяет сократить уровень помех и облегчает распространение радиосигналов в помещениях.

Метод пространственного мультиплексирования в LTE имеет ряд принципиальных отличий от разнесенной передачи TxDiv. Он позволяет

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

передавать параллельно более одного потока данных, тем самым увеличивая пиковую скорость передачи в каждом соединении. Другим отличием является положительное использование эффективности многолучевого распространения сигнала в радиоканале. Чем сильнее многолучевость, тем эффективнее пространственное мультиплексирование как MIMO. У него есть два основных преимущества:

- увеличение надежности радиоканала в условиях многолучевости. При использовании MIMO наблюдается существенное улучшение качества линии связи, проявляющееся в более стабильной и надежной передаче данных в условиях переотражений сигнала. При скоростях перемещения абонента от 3 км/час до 120 км/час в системе LTE наблюдается незначительное ухудшение качества передачи трафика;

- увеличение спектральной эффективности и пропускной способности ячейки сети LTE благодаря возможности одновременной передачи нескольких независимых потоков данных. Выигрыш при MIMO возрастает в условиях плотных городских застроек, где сигнал на пути распространения многократно переотражается.

Эффективность MIMO, а именно пространственного мультиплексирования, зависит в значительной степени от отношения сигнал/шум, которое гарантирует, что абонентский терминал будет в состоянии различать пространственные каналы и декодировать принимаемые данные. Поэтому MIMO наиболее эффективно в ячейках малых размеров. Главным недостатком пространственного мультиплексирования является ухудшение качественных характеристик в случае отсутствия переотражений сигнала в радиоканале. Такая ситуация имеет место на открытых пространствах с неплотной застройкой, рядом с рекой, вдоль автомагистралей и в случае, когда антенна базовой станции располагается гораздо выше уровня крыш. В таких случаях наиболее эффективным является применение адаптивных антенн с формированием лучей (технология Beamforming).

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.6 Требования по реализации режимов MIMO в LTE

Общие требования для реализации технологий рассмотренных выше и их сравнительные характеристики приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Сравнительные характеристики режимов передачи данных в системе MIMO

Требования и показатели	MIMO (пространственное мультиплексирование)	Beamforming	Разнесенная передача/прием
Требования по взаимному разнесению антенн (λ – длина волны передаваемого сигнала)	$>10 \lambda$ (для диапазона частот 2.1 ГГц – 1,5-2м)	$\lambda/4 - \lambda/2$	$>10 \lambda$
Степень пространственной корреляции	Низкая (за счет применения антенн с ортогональной поляризацией и разнесения в пространстве антенн с совпадающей поляризацией)	Высокая (на стороне передатчика из-за близкого расположения антенн с одинаковой поляризацией)	Низкая (за счет разнесения антенн в пространстве и ортогональной поляризации)
Эффективность	Повышение спектральной эффективности и пиковой скорости передачи данных в условиях переотражения сигнала	Повышение пропускной способности, улучшение качества приема на краю ячейки	Улучшение качества приема на краю ячейки (при малых отношениях сигнал/шум)
Недостатки	Снижение эффективности в стационарных каналах, усложнение оборудования	Жесткие требования по разнесению элементов антенн	Низкая эффективность по скорости передачи данных

2.7 Широкополосные услуги Triple Play

В проектируемой сети связи предполагается предоставление услуг Triple Play Services. Новым поколением телекоммуникационных услуг является Triple-play технология, она предоставляет доступ к интерактивным услугам связи по одному каналу.

Triple Play Services предоставляет следующий перечень услуг: сетевое резервное копирование, персональные файловые ресурсы в Интернете, доступ к игровым сервисам, городская и междугородная телефония, видео по требованию, видеонаблюдение и т.д.

Но наиболее популярными услугами являются: высокоскоростной доступ в Интернет, IP-телефония, услуга IPTV.

Инициирование услуг самим пользователем все больше открывает широкополосный доступ, примером может послужить видеонаблюдение в загородном доме. Все больше появляется заинтересованных в концепции «умных домов», что способствует быстрому развитию рынка данных услуг.

Данные услуги с каждым годом требуют все более высоких скоростей для выхода в Интернет.

Технология IP-телефонии с каждым годом занимает все большие позиции на рынке телекоммуникаций, предлагая ряд услуг, для реализации которых необходим широкополосный доступ. IP-телефония – это система связи, которая обеспечивает передачу речевого сигнала по сети Интернет или по IP-сетям.

Наличие широкого набора дополнительных сервисов и интерактивность видеослужб являются главным достоинством IPTV.

Triple play - это новый этап в развитии телекоммуникационных технологий, сутью которого является интеграция разных технологий и платформ, что обуславливает их востребованность.

2.8 Услуги предоставляемые сетями LTE [3, 5]

Сеть LTE обеспечивает улучшенные технические характеристики и имеет более широкий спектр по сравнению с сетями предыдущих поколений. Это связано с высокой пропускной способностью сети, повышенной скоростью передачи данных. К основным услугам, которые предоставляет сеть LTE,

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

относятся: пакетная передача речи, доставка электронной почты, передача мультимедийных сообщений, потоковое видео, телевизионные услуги, передача Интернет-файлов, видеоконференции, мобильные платежи, онлайн-игры через мобильные и фиксированные терминалы.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

При планировании радиосетей LTE имеется ряд отличий от процесса планирования других технологий беспроводного радиодоступа. Главным отличием является использование нового типа многостанционного доступа на базе технологии OFDMA, вследствие чего появляются новые понятия и изменяются алгоритмы проектирования. Процесс планирования радиосети состоит из двух этапов - формирования максимальной площади покрытия и обеспечения требуемой емкости.

Радиосеть LTE будет планироваться на местности с низкой плотностью абонентов, где базовые станции устанавливаются на максимальном расстоянии друг от друга, что бы каждая базовая станция покрывала как можно большую площадь. Для этого мы подбираем соответствующий частотный диапазон, в нашем случае это 1805-1880 МГц. А так же выбираем тип дуплекса частотный – FDD.

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

Таблица 3.1 - Расчет частотных каналов

Линия	Схема ММО	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)
UL	1×2	1,254
	1×4	1,823
DL	2×2	2,93
	4×2	3,43
	4×4	4,48

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

$$R = \gamma \cdot \Delta F, \text{ Мбит/с}, \quad (3.1)$$

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

ΔF – ширина канала в МГц, ($\Delta F = 10 \text{ МГц}$).

Для линии DL:

$$R_{DL} = 2,93 \cdot 10 = 29,3 \text{ Мбит/с}.$$

Для линии UL:

$$R_{UL} = 1,254 \cdot 10 = 12,54 \text{ Мбит/с}.$$

Среднюю пропускную способность базовой станции R_{eNB} вычислим путем умножения пропускной способности одного сектора на количество секторов базовой станции; число секторов базовой станции eNB равно 3, т.к. базовая станция 3-х секционная, тогда получим:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \cdot 3 \quad (3.2)$$

Для линии DL:

$$R_{eNB} \text{ DL} = 29,3 \cdot 3 = 87,9 \text{ Мбит/с}.$$

Для линии UL:

$$R_{eNB} \text{ UL} = 12,54 \cdot 3 = 37,62 \text{ Мбит/с}.$$

По формуле 3.3 определяем общее число частотных каналов, выделенных для развертки сотовой сети связи в данном месте:

$$N_k = \text{int}(\Delta F / F_k), \quad (3.3)$$

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

ΔF - полоса частот, выделенная для работы сети и равная 75 МГц,

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

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

$$N_K = \text{int}(75000/180) = 416 \text{ каналов.}$$

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

$$N_{K.CEK} = N_K / (N_{KL} \cdot M_{CEK}), \quad (3.4)$$

где N_K – общее число каналов;

N_{KL} – размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов eNB (3кластера);

M_{CEK} – количество секторов eNB, принятое 3.

$$N_{K.CEK} = 416 / (3 \cdot 3) \approx 46 \text{ каналов.}$$

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

$$N_{KT.CEK} = N_{KT1} \cdot N_{K.CEK}, \quad (3.5)$$

где N_{KT1} – число каналов трафика в одном радиоканале, определяемое стандартом радиодоступа (для OFDMAN_{KT1} = 1...3); для сети LTE выберем $N_{KT1}=1$.

$$N_{KT.CEK} = 1 \cdot 46 \approx 46 \text{ каналов.}$$

В соответствии с моделью Эрланга определим допустимую нагрузку в секторе одной соты A_{CEK} при допустимом значении вероятности блокировки равной 1% и рассчитанным выше значении $N_{KT.CEK}$. Определим, что $A_{CEK} = 50$ Эрл.

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

$$N_{AB.eNB} = M_{CEK} \cdot (A_{CEK} / A_1), \quad (3.6)$$

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

где A_1 – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение A_1 может составлять (0,04...0,2) Эрл. Значение A_1 примем равным 0,1 Эрл. Таким образом:

$$N_{AB.eNB} = 3 \cdot (50 / 0,1) \approx 1500 \text{ абонентов.}$$

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

$$N_{eNB} = N_{AB} / N_{AB.eNB} + 1, \quad (3.7)$$

где N_{AB} – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов составит 2240 человек (60% от всего населения), тогда:

$$N_{eNB} = 2240 / 1500 + 1 \approx 3 \text{ eNB.}$$

Среднюю планируемую пропускную способность R_N проектируемой сети определим путем умножения количества eNB на среднюю пропускную способность eNB по формуле:

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

$$R_N = (87,9 + 37,62) \cdot 3 \approx 376,56 \text{ Мбит/с.}$$

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

$$R_{T.ЧНН} = T_T \cdot q / N_{ЧНН} \cdot N_D \quad (3.9)$$

где T_T - средний трафик одного абонента в месяц, $T_T = 25$ Гбайт/мес;

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

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

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

$$R_{T.ЧНН} = 25 \cdot 2 / 7 \cdot 30 = 0,24, \text{ Мбит/с.}$$

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

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

$$R_{\text{ОБЩ./ЧНН}} = R_{\text{Т.ЧНН}} \cdot N_{\text{АКТ.АБ}} \quad (3.10)$$

где $N_{\text{АКТ.АБ}}$ – число активных абонентов в сети; определим число активных абонентов в сети как 70% от общего числа потенциальных абонентов $N_{\text{АБ}}$, то есть $N_{\text{АКТ.АБ}} = 1610$ абонентов.

$$R_{\text{ОБЩ./ЧНН}} = 0,24 \cdot 1435 = 344,4 \text{ Мбит/с.}$$

Таким образом, $R_N > R_{\text{ОБЩ./ЧНН}}$. Данное неравенство показывает, что проектируемая сеть не будет подвергаться перегрузкам в ЧНН.

Величину радиуса покрытия одной базовой станцией можно определить, используя выражение:

$$R = \sqrt{1,21 \cdot (S/N_{\text{BTS}} \cdot \pi)} \quad (3.11)$$

$$R = \sqrt{1,21 \cdot (12/3 \cdot 3,14)} = 1,24 \text{ км.}$$

Величина защитного расстояния между BTS с одинаковыми частотными каналами определяется соотношением:

$$D = R\sqrt{3 \cdot C} \quad (3.12)$$

$$D = 1,24\sqrt{3 \cdot 3} = 3,72 \text{ км.}$$

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

4 ВЫБОР И РАСЧЕТ ОБЪЕМА ОБОРУДОВАНИЯ

При выборе высокотехнологичного оборудования для сетей LTE необходимо руководствоваться следующими критериями: цена, качество, гарантийное обслуживание, функциональность оборудования, возможность интеграции в существующие сети, диапазон частот и так далее.

На российском рынке оборудования для мобильных сетей LTE представлены продукты многих фирм, среди которых: Ericsson, Alcatel-Lucent, Nokia Siemens Networks, Fujitsu, Huawei Technologies, Motorola, Cisco Systems.

При выборе оборудования, оператор обращает внимание в первую очередь на соотношение цена/качество.

Для организации широкополосного доступа по технологии LTE в селе Бехтеевка потребуется 3 базовые станции, согласно рассчитанной емкости сети и информационной нагрузке по определению зон радиопокрытия. На начальном этапе функционирования у каждой базовой станции сети пропускная способность составит 376,56 Мбит/с, а всей сети LTE в селе Бехтеевка 1,129 Гбит/с. После того как сеть будет запущена работу начнется оптимизация сети, в процессе которой с помощью размещения дополнительного оборудования может быть повышена пропускная способность базовых станций.

4.1 Выбор оборудования для проектируемой сети [7, 8]

Для оборудования проектируемой сети рассмотрим несколько вариантов базовых станций.

Базовая станция новой модели Flexi Multiradio Base Station (BTS) от Nokia Siemens Networks построенная на платформе Flexi Base Station, которая обратно совместима с ней. Технологии, которые поддерживает данная модель: GSM/EDGE, WCDMA/HSPA и LTE. Базовая станция, основанная на

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

технологии активных антенн, объединяет радиооборудование и антенну в общий функциональный блок, который имеет отдельные усилители мощности для каждого элемента антенны. Формирование лучей – фокусировку отдельного радиоподключения и его направление на выбранного пользователя позволяет осуществить активная антенна. Так же благодаря ей возможно использование в одном блоке различных технологий.

В LTE базовая станция Flexi Multiradio BTS работает с полосами частот 1,4-20 МГц. Основные характеристики базовой станции:

- используется как внутри так и снаружи помещений, с возможностью установки на стене, на полу, на мачте, на шесте;
- полосы частот в диапазонах: 700, 800, 850, 900, 1800, 1900, 1700/2100, 2100, 2300 и 2600 МГц, могут быть как спаренные так и нет;
- конфигурация с несколькими трансиверами, так же поддерживается решение с выносной радиоголовкой (Remote Radio Head);
- максимальная емкость 1+1+1 LTE с полосой 20 МГц, гибкая комбинация всех технологий (до 6+6+6 GSM и до 4+4+4 WCDMA) в определенном режиме;
- имеется встроенный интерфейс IP/Ethernet для подключения к транспортной сети;
- мультистандартный усилитель мощности с множественными несущими;
- небольшие размеры модуля, устанавливается в стойку 19”, используется как в помещениях, так и вне помещений;
- объем одного модуля 25 литров;
- рабочие температуры в диапазоне от минус 35 до плюс 55°C;
- источники питания постоянного тока 40,5 – 57В и 184–276В переменного тока;
- потребление мощности для комбинированного сайта GSM и WCDMA 790 Вт;
- выходная мощность 180 Вт с каждого модуля;

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- IP 65 класс защиты от влажности.

Основными особенностями базовой станции Huawei DBS3900 LTE является обеспечение простой структуры и быстрое развертывание сети. В DBS3900 имеется только два функциональных модуля, что позволяет сократить затраты на запасные части и обслуживание. Так как базовая станция имеет хорошую приспособляемость к условиям среды, то основные модули легко адаптируются к условиям площадки для эффективного развертывания. Таким образом, экономя на строительстве помещения для размещения оборудования.

Основными особенностями удаленного радиомодуля являются:

- сокращение длины питающей линии и затрат на подводящие линии, так как модуль может монтироваться на башне;
- увеличение коэффициента усиления мощности от 3 до 5 дБ и повышение покрытия на 20%, за счет сокращения потерь на питающих линиях;
- распределенная установка радиомодулей DBS3900 повышает гибкость при проектировании покрытия вдоль железнодорожных путей.

BBU и все RRU, соединенные с DBS, фактически представляют собой одну соту. Снижение числа хэндоверов между сотами является главным преимуществом в данной схеме. DBS может управляться полностью (BBU и все RRU) единым интерфейсом обслуживания. Основные характеристики BBU3900:

- один электрический порт FE/GE, один оптический порт FE/GE на плате UMPT;
- входная мощность – 48 В DC;
- диапазон напряжений: от минус 38,4 до минус 57 В DC;
- небольшие размеры 86x442x310 мм;
- при полной конфигурации вес 12 кг;
- рабочие температуры в диапазоне от минус 20 до плюс 50°C при длительной эксплуатации, и от плюс 50 до плюс 55°C при кратковременной эксплуатации;

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

- относительная влажность от 5 до 95 %;
- IP20 класс защиты от внешних воздействий;
- атмосферное давление от 70 до 106 кПа.

Основные характеристики удаленного радиоблока RRU:

- входная мощность минус 48 В DC;
- диапазон напряжения от минус 57 до минус 36 В DC;
- температура эксплуатации от минус 40 до плюс 55°C;
- относительная влажность от 5 до 100%;
- атмосферное давление от 70 до 106 кПа;
- IP65 класс защиты от внешних воздействий.

Усовершенствование конструкции аппаратной части и комплекс функций энергосбережения ПО значительно снижает энергопотребление DBS3900. Также конструкция естественной отдачи тепла позволяет работать радиочастотному модулю без вентиляторов, что еще больше снижает потребление энергии, исключая шум и связанные вентиляторами отказы. Благодаря чему операторы могут создать экологичные сети.

Из рассмотренных выше вариантов базовых станций остановим свой выбор на базовой станции DBS3900 LTE компании Huawei. Модульная структура, позволяющая проводить ремонт и модернизацию оборудования с меньшими затратами, является главным преимуществом этой базовой станции. DBS3900 LTE позволит обеспечить дальнейшее развитие сети.

В состав оборудования одной базовой станции стандарта LTE входят:

- блок обработки базовых частот BBU3900;
- три выносных радиочастотный блока RRU3400;
- три антенны;

Далее приведена детальная схема организации связи, которая была получена на основе обобщенной, а также исходя из нагрузок на узлах сети и необходимого количества базовых станций для достаточного покрытия местности.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

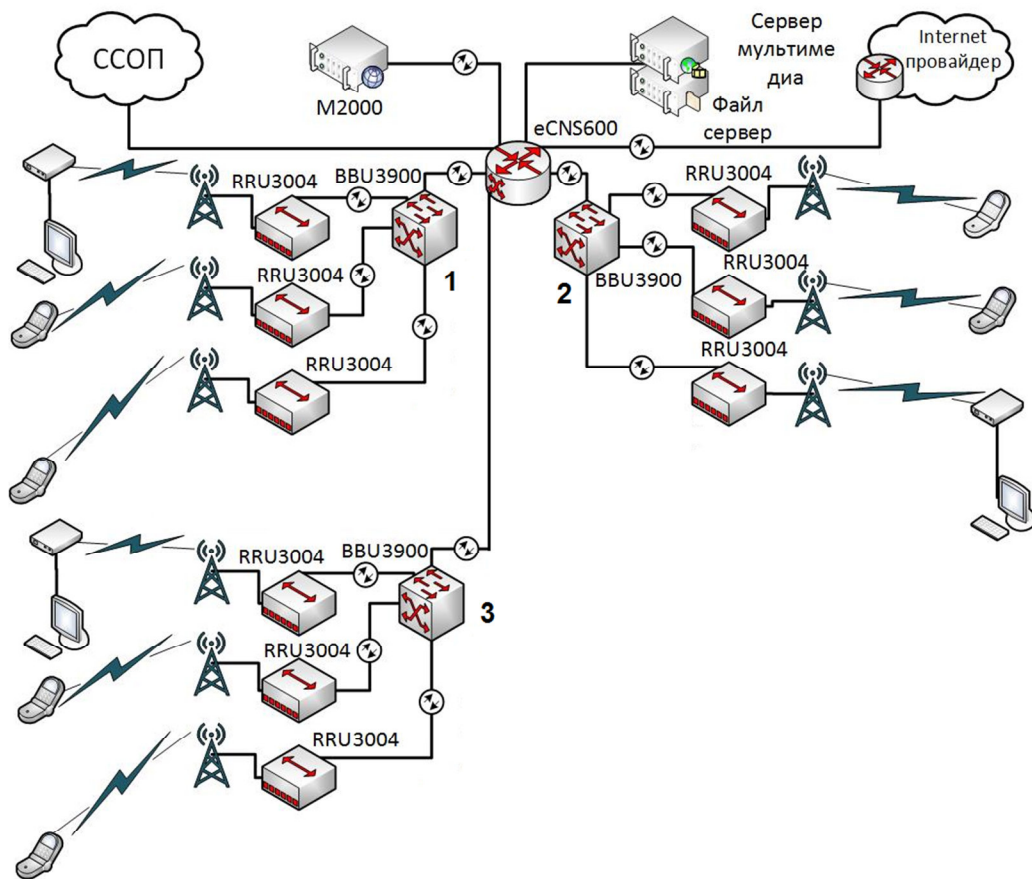


Рисунок 4.1 – Схема организации связи

4.2 Комплекс eCNS600 [8]

Комплекс eCNS600 объединяет функции управления аутентификацией SAE-HSS, функции MME и функции S-GW/P-GW. Устанавливается комплекс в основной подстатив, выполняет функции EPC и имеет следующие свойства: большая емкость, передачи данных большого объема, низкое потребление мощности, низкие затраты на техобслуживание.

В комплексе eCNS600 используется платформа OSTA 2.0 (Архитектура связи на базе открытых стандартов) компании Huawei, разработанная на базе архитектуры стандарта ATCA. Она представляет собой систему серверов с высокой плотностью и производительностью. eCNS600 может предоставлять

надежные услуги по обработке данных для телекоммуникационных приложений операторского класса.

Главным преимуществом при выборе eCNS600 является высокая надежность системы и профилактика неисправностей. Механизмы защиты комплекса позволяют предотвратить следующие неисправности системы: отключение системы, неправильное включение/отключение питания системы, грозовое перенапряжение в системе питания, короткое замыкание в системе питания, высокое и низкое напряжение, перегрузка в системе.

4.3 Базовая станция Huawei DBS3900 [8]

DBS3900 представляет собой распределенную базовую станцию. Состоит из блока обработки базовых частот (BBU) и выносного радиочастотного блока (RRU) (рисунок 4.2).

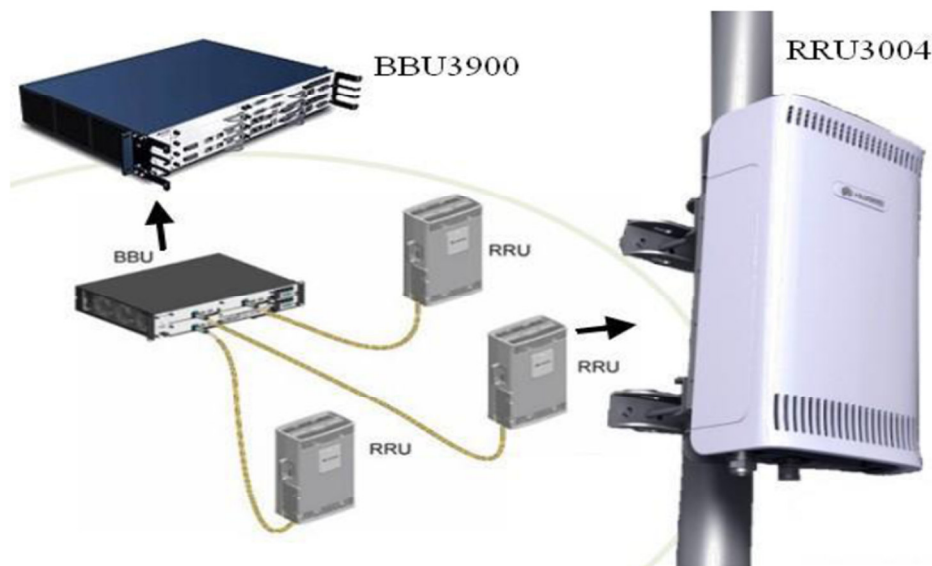


Рисунок 4.2 – Блоки BBU и RRU базовой станции DBS3900

В DBS3900 используется выносной радиочастотный модуль, который отвечает требованиям построения сетей с возможностью расширения ёмкости, гибкостью установки и модернизации.

Между блоками RRU3004 и BBU3900 используется интерфейс CPRI, обеспечивающий соединение двух модулей с использованием оптических кабелей. Что способствует сокращению затрат на установку оборудования и его эксплуатацию. Основные характеристики базовой станции DBS3900 приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Характеристики DBS3900

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

Внедрение DBS3900 с распределёнными BTS может ускорить развитие мобильных сетей, а так же обеспечить совместимость с другими сетями.

BBU3900 это блок обработки базовых частот, устанавливающийся внутри помещений. Он обеспечивает централизованное управление эксплуатацией и обслуживанием, а также обработку сигнализации всей системы базовой станции и обеспечивает опорный сигнал синхронизации. Помимо этого блок имеет физические интерфейсы для соединения с BSC и RRU3004.

Для мониторинга окружающих условий и сигналов синхронизации GPRS в BBU3900 устанавливаются дополнительные платы. Компактный блок

BBU3900 прост при установке. Позволяет обеспечивать полный спектр услуга и потребляет малую мощность.

RRU3004 – выносной радиочастотный блок, обеспечивающий обработку сигналов основных частот и радиочастотных сигналов. Один RRU3004 выполняет функцию двух приёмопередатчиков. Два модуля RRU3004 установленные в подстатив RRU3004, будут функцию четырёх приёмопередатчиков. RRU3004 прост при установке и имеет небольшой вес. Может устанавливаться на стене, мачте или бетонном основании. Удобнее всего размещать блоки RRU на верху мачты, рядом с секторами, которые соединяются между собой коаксиальными кабелями (джамперами). Блоки RRU соединяются с BBU оптическим кабелем. BBU размещают в контейнере на земле, сводя к нулю потери на участке BBU-RRU. BBU может соединяться с любым транспортным оборудованием (мультиплексор и т.д.).

Таблица 4.2 – Рабочие диапазоны частот для блока RRU

RRU	Frequency band	RX band (MHz)	TX band (MHz)
RRU3908	900 MHz	890 to 915	935 to 950
		880 to 905	925 to 950
	850 MHz	824 to 849	859 to 894
	1800 MHz	1,710 to 1,755	1,805 to 1,850
		1,740 to 1,785	1,835 to 1,880
	1900 MHz	1,850 to 1,890	1,930 to 1,970
1,870 to 1,910		1,950 to 1,990	
RRU3804	Band I (2100 MHz)	1,920 to 1,980	2,110 to 2,170
	Band II (1900 MHz)	1,850 to 1,910	1,930 to 1,990
	Band IV (AWS)	1,710 to 1,755	2,110 to 2,155
	Band V/VI (850 MHz)	824 to 849	869 to 894

Базовая станция DBS3900 при обеспечении покрытия имеет следующие преимущества:

- блок RRU3004 может поддерживать соединение трёх модулей RRU. На расстоянии 40 км может устанавливаться модуль RRU от BBU.

- максимальная выходная мощность RRU3004 достигает 30-40 Вт.
- для поддержки многополосной сети максимальная конфигурация до 12 сот;
- поддержка распределённой передачи и «Antenna hopping»;
- возможность BBU3900 поддерживать 72 приёмопередатчика;
- Abis поверх IP.

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

DBS3900 поддерживает антенны Remote Electric Tilt (RET). Это позволяет настраивать сетевое покрытие путем регулировки угла наклона антенн в автозале. Таким образом дает возможность сократить затраты на эксплуатацию и обслуживание. А поддержка антенн с двойной поляризацией позволяет сократить число антенн в соте.

Помимо выходной мощности и чувствительности устройства, качество антенно-фидерного устройства, является одним из основных параметров, которые влияют на качество связи. Антенна не вносит дополнительных шумов и не усиливает помехи, таким образом, хорошая направленная антенна позволяет избежать помех по направлению за счет использования узкого луча.

Секторные антенны будут лучшим вариантом для базовой станции. Чем меньше сектор обслуживания, тем меньше помех будет «собирать» такая антенна. Наиболее распространенными являются антенны с шириной основного лепестка 60, 90 и 120 градусов с усилением от 17 до 13 дБ. Обычно в вертикальной плоскости ширина лепестка составляет 6-8 градусов, то есть излучение «прижато» к земле и распространяется вдоль горизонта. Чем меньше ширина главного лепестка антенны, тем больше ее усиление, обусловленное концентрацией излучаемой энергии. При выборе антенны следует пользоваться соответствующим расчетом, чтобы вычислить необходимый наклон антенны по углу места. Слишком малый угол излучения в вертикальной плоскости может

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

ограничить подключение клиентов вблизи от базовой станции, особенно, если последняя расположена слишком высоко.

4.4iManager M2000 [8]

iManager M2000 (сокращенно M2000) представляет собой перспективное решение по управлению сетями мобильной связи. Эта платформа централизованного управления сетью для преодоления различий между разными сетевыми технологиями.

M2000 предоставляет операторам централизованное и интеллектуальное решение для совершенствования системы эксплуатации и обслуживания, что повышает ее эффективность и качество работы сети. M2000 управляет сетевыми элементами радиодоступа Huawei различных систем: GSM (включая GPRS), UMTS, LTE, CDMA и WiMAX. Помимо оборудования радиодоступа, M2000 также может управлять ядром сети для FMC и IMS, а также частью оборудования передачи данных Huawei.

Для централизованного управления крупномасштабными сетями требуется высокая производительность системы. На сегодняшний день требования рынка направлены на продолжение использования и плавного расширения аппаратного обеспечения.

M2000 предоставляет собой многосерверную систему разделения нагрузки на платформе Sun и кластерное решение на платформе АТАЕ, обеспечивающее плавное расширение сети. В процессе расширения сети операторы могут повысить возможности управления M2000 путем добавления сервера в систему SLS или модуля услуг в кластерную систему АТАЕ. Это защищает инвестиции операторов в аппаратное обеспечение и снижает затраты на развертывание сети.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

M2000 имеет ряд удобных функций: проверка общего состояния сети, удаленное и пакетное обновление NE, автоматическое планирование базовых станций, автоматическая оптимизация отношений соседних сот, удаленный ввод в эксплуатацию базовых станций, панель устройства, настройки аварийной сигнализации режима обслуживания и управление совместным использованием RAN. Перечисленные функции в несколько раз повышают эффективность работы инженеров по эксплуатации и обслуживанию и снижают общие эксплуатационные затраты.

Более чем в 600 сетях более сотни операторов по всему миру применяют M2000, где разные сетевые технологии управляются централизованно.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

5 АНАЛИЗ РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE

5.1 Расчет зон радиопокрытия

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

Для расчетов будем использовать 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;
- абонентский терминал – USB-модем, класс 4 – ЭИИМ 33 дБм;
- соотношение длительности кадров DL/UL: 100%/100%.

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

$$L_{\text{МДП}} = P_{\text{ЭИИМ.ПРД}} - S_{\text{Ч.ПР}} + G_{\text{А.ПР}} - L_{\text{Ф.ПР}} - M_{\text{ПРОН}} - M_{\text{ПОМ}} - M_{\text{ЗАТЕН}} + G_{\text{ХО}}, \quad (5.1)$$

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, $M_{\text{ПРОН}} = 14$ 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;

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$G_{ХО}$ – выигрыш от хэндовера (при возникновении глубоких замираний в обслуживаемой соте, абонентский терминал может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема). $G_{ХО} = 1,5$ дБ.

$P_{ЭИИМ.ПРД}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{ЭИИМ.ПРД} = P_{ВЫХ.ПРД} + G_{А.ПРД} - L_{Ф.ПРД}, \quad (5.2)$$

где $P_{ВЫХ.ПРД}$ – выходная мощность передатчика. $P_{ВЫХ.ПРД}$ в линии «вниз» в LTE зависит от ширины полосы частот сайта, которая может колебаться от 1,4 до 20 МГц. $P_{ВЫХ.ПРД}: DL = 46$ дБм, $UL = 33$ дБм.

Для линии DL:

$$P_{ЭИИМ.ПРД} = 46 + 18 - 0,3 = 63,7 \text{ дБм.}$$

Для линии UL:

$$P_{ЭИИМ.ПРД} = 33 \text{ дБм.}$$

$S_{Ч.ПР}$ рассчитывается по формуле:

$$S_{Ч.ПР} = P_{ТШ.ПР} + M_{ОСШ.ПР} - L_{ПР}, \quad (5.3)$$

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

$M_{ОСШ.ПР}$ – требуемое отношение сигнал/шум приемника. $M_{ОСШ.ПР}: DL = -0,24$ дБ; $UL = 0,61$ дБ;

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

Для линии DL:

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

Для линии UL:

$$S_{Ч.ПР} = -104,4 + 0,61 + 2,5 = -101,29 \text{ дБм.}$$

Далее рассчитаем значение МДП на основе результатов, полученных из формул 5.2 и 5.3.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Для линии DL:

$$L_{\text{МДП}} = 63,7 - (-167,64) + 18 - 0,3 - 14 - 6,4 - 8,7 + 1,5 = 221,44 \text{ дБ.}$$

Для линии UL:

$$L_{\text{МДП}} = 33 - (-101,29) - 14 - 2,8 - 8,7 + 1,5 = 110,29 \text{ дБ.}$$

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

Для расчета дальности связи воспользуемся эмпирической моделью распространения радиоволн Okumura – Hata. В модели Okumura – Hata предлагается следующее выражение для определения среднего затухания радиосигнала в городских условиях:

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

где f_c – частота от 150 до 2200 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.

Далее выберем параметры для расчетов:

- $f_c = 1850$ МГц;
- $h_T = 30$ метров;
- $h_R = 2$ метра.

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

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

$$A(h_R) = (1,1 \cdot \lg 1850 - 0,7) \cdot 2 - (1,56 \cdot \lg 1850 - 0,8) = 4,26.$$

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Сделав расчеты формулам 4.4 – 4.5 , получим, что $d \approx 1,2$ км.

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

$$S_{eNB} = 9(\sqrt{3}/8) \cdot d^2, \quad (5.6)$$

$$S_{eNB} = 9(\sqrt{3}/8) \cdot 1,2^2 = 2,8 \text{ км}^2.$$

5.2 Частотно-территориальное планирование

Этап частотно-территориального планирования является основным при проектировании сетей подвижной радиосвязи абонентского доступа, в ходе которого выбираются места размещения базовых станций, структура сети, разрабатывается план распределения радиоканалов для базовых станций, выполняется подготовка к условиям частотных и территориальных ограничений планируемой зоны обслуживания.

Минимальное количество базовых станций, которое необходимо для обеспечения устойчивым радиосигналом средненаселенных районов на планируемой территории составляет 3 штуки. Далее строится сеть, базовые станции которой имеют следующие характеристики:

- мощность каждого передатчика – 40 Вт;
- высота подвеса антенны – 30 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 MIMO 2×2;
- пропускная способность: линия «вниз» - 100 Мбит/с, линия «вверх» - 54 Мбит/с.

Для начала составляем частотный план. Для проектируемой сети выделена полоса частот 1805-1880 МГц, где ширина частотного спектра

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

составляет 60 МГц. Каждому сектору базовой станции выделяем по 20 МГц. Таким образом, имеющаяся ширина спектра разделится на 3 части по 20 МГц, плюс защитные частотные полосы для избежания перекрытия сигналов разных секторов. 15 МГц оставляем на возможное расширение.

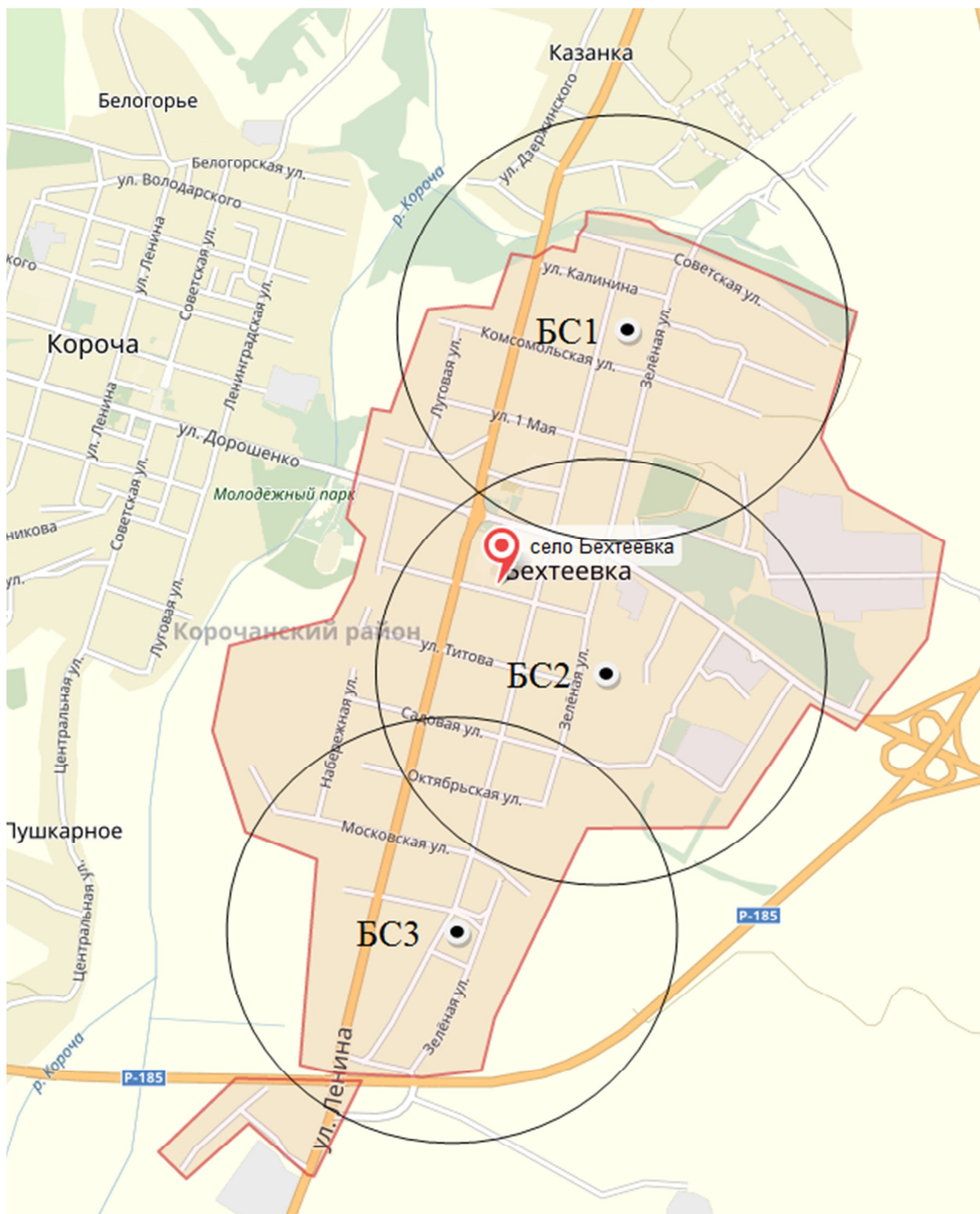


Рисунок 5.1 – Проектируемая зона радиопокрытия сети LTE в селе Бехтеевка

5.3 Расчет электромагнитной совместимости базовых станций

Базовая станция LTE- приемник помех, а другая базовая станция CDMA- источник помех. Обе базовые станции работают на одной несущей частоте $f = 1805$ МГц, вследствие чего могут создавать друг другу помехи.

Исходные данные для расчета.

1. Рабочий диапазон, МГц	1805-1880 LTE, CDMA;
2. Мощность передатчика БС, дБ	40 CDMA, LTE;
3. Чувствительность приемника БС, дБ	- 102 CDMA; - 90 LTE;
4. Коэффициент усиления антенны РПД в направлении РПМ $G_{РПД}(\varphi_{РПМ})$, дБ	16 CDMA, LTE;
5. Коэффициент усиления антенны РПМ в направлении на РПД $G_{РПМ}(\varphi_{РПД})$, дБ	16 CDMA, LTE;
6. Разнос каналов, кГц	1250 CDMA; 1250 LTE;
7. Защитное соотношение (сигнал/помеха), дБ	7 CDMA; 12 LTE;
8. Затухание в антенно-фидерном тракте РПД	$U_{РПД} = 1,5$ дБ;
9. Затухание в антенно-фидерном тракте РПМ	$U_{РПМ} = 0,1$ дБ;
10. Ослабление радиопомех в линейном тракте РПМ	$N(\delta f) = 1$ дБ;
11. Потери на трассе распространения сигналов от РПД (БС CDMA – источник помех) к РПМ (БС LTE – рецептор помех), дБ	$L(R)$
12. Высота антенны базовой станции	$h_{БС} = 30$ м.
13. Высота антенны абонентской станции	$h_{АС} = 2$ м.
14. Протяженность трассы, расстояние между базовыми станциями	$R = 1,2$ км.

Методика расчета.

1. Определяем мощность радиопомехи P_{OI} на входе РПМ (БС CDMA):

$$P_{OI} = P_{РПД} + G_{РПД(\varphi_{РПД})} + G_{РПМ(\varphi_{РПД})} - U_{РПД} - U_{РПМ} - N(\delta f) - L(R), \text{ дБВт}, \quad (5.7)$$

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

$$P_{oi} = 40 + 16 + 16 - 1,5 - 0,1 - 1 - L(R) = 69,4 - L(R).$$

2. Рассчитываем величину потерь распространения радиоволн в городе:

$$L_r = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_{bc} - a(h_{ac}) + k(44,9 - 6,55 \lg h_{bc}) \cdot \lg R, \quad (5.8)$$

$$L_r = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg(h_{bc}) - a(h_{ac}) + k[44,9 - 6,55 \lg(h_{bc})] \lg R.$$

Коэффициент k позволяет расширить действие модели для протяженности трассы до 100 км. Так как $R < 20$ км, то принимаем $k = 1$.

Рассчитываем корректирующий коэффициент на высоту абонентской станции:

$$a(h_{ac}) = 1,1 \cdot \lg f - 0,7)h_{ac} - 1,56 \cdot \lg f + 0,8, \quad (5.9)$$

$$a(h_{ac}) = 1,1 \cdot \lg 1850 - 0,7)3 - 1,56 \cdot \lg 1850 + 0,8 = 4,2$$

Таким образом потери распространения радиоволн в городе составят:

$$L_r = 69,55 + 196,8 - 47 - 4,2 + 48 = 263,15 \text{ дБ}.$$

Общие потери на трассе распространения радиоволн составят 218,1 дБ.

В результате мощность помех, с учетом потерь в городе, составит:

$$P_{oi} = 69,39 - L(R) = 69,39 - 263,15 = -193,76 \text{ дБВт}.$$

3. Определяем возможность беспомеховой работы двух базовых станций.

Применяем уравнение ЭМС для радиоэлектронных систем.

$$P_{мин} - P_{oi} \geq A + k \cdot (\sqrt{2} - 1) \cdot \sigma - \text{уравнение ЭМС РЭС},$$

где $P_{мин} = -90$ дБ – чувствительность приемника;

$P_{oi} = -193,76$ дБ – мощность помех на входе приемника LTE;

$A = 7$ дБ – защитное соотношение сигнал;

$k = 1,65$ – коэффициент, учитывающий допустимый процент времени ухудшения качества радиосвязи ниже заданного уровня;

$\sigma = 12$ дБ – минимально допустимый уровень сигнала, при котором в системе LTE обеспечивается приемлемое качество работы.

Таким образом, исходное соотношение будет иметь следующий вид:

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$$-90 - (-193,76) \geq 7 + 1,65 \cdot 0,414 \cdot 12$$

$$103,76 \geq 15,2$$

Неравенство выполняется. Следовательно, можем сделать вывод, что беспомеховая работа возможна.

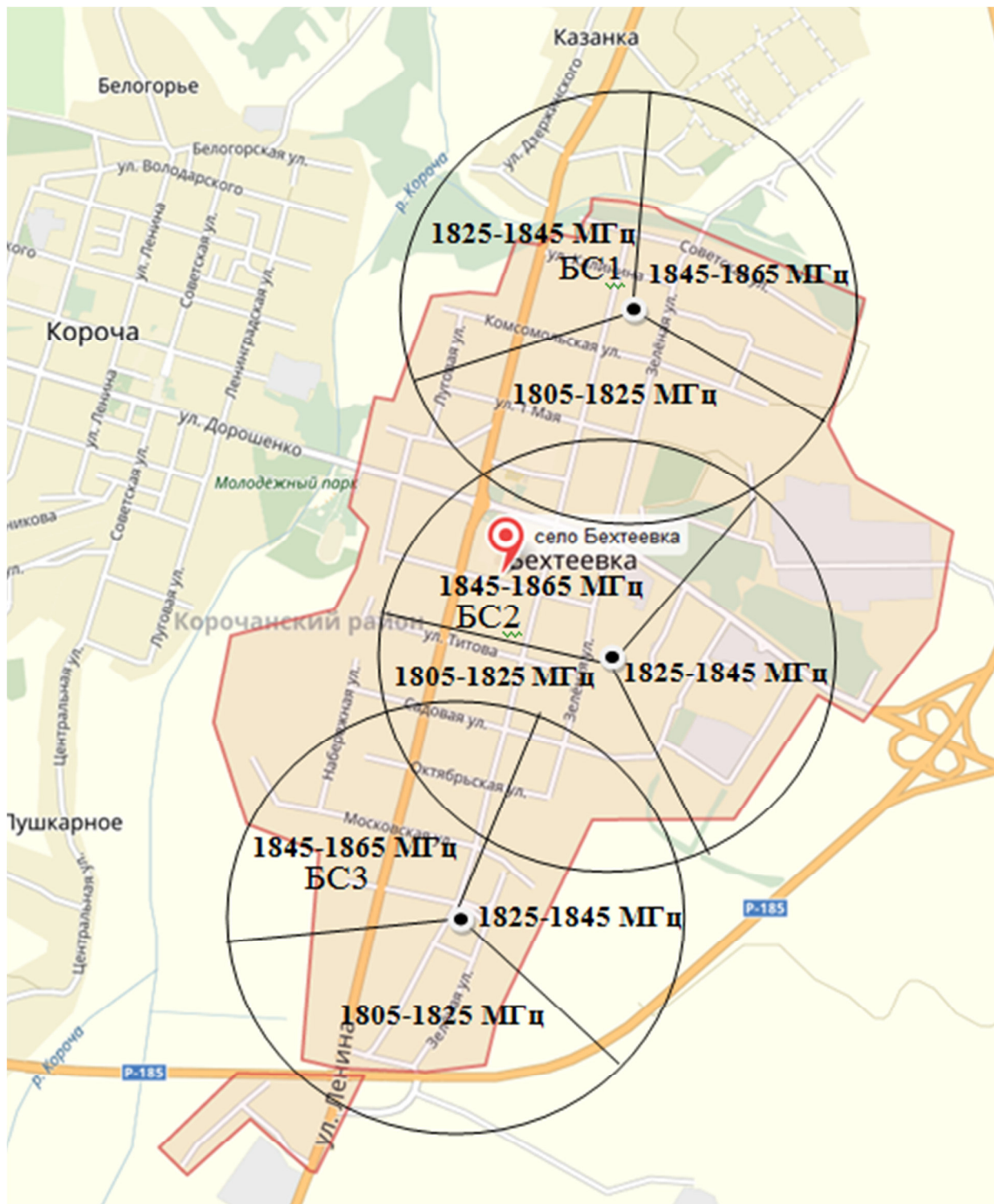


Рисунок 5.3 – Частотно-территориальный план сети

6 ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

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.

На этапе строительства сети LTE в селе Бехтеевка планируется:

- строительство радиобашни, установка БС, установка контейнера для размещения оборудования БС, ввод в эксплуатацию БС;
- строительство волоконно-оптической линии связи на участках;
- установка комплекса eCNS600, а также 3 BBU3900 вместе с M2000 в помещении АТС.

6.1 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;

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- страховые взносы в государственные внебюджетные фонды;
- амортизационные отчисления;
- материальные затраты;
- прочие расходы.

Расчет капитальных вложений на первом этапе показан в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Расчет капитальных вложений на первом этапе

Наименование оборудования, типы выполняемых работ	Количество	Цена	Стоимость
Комплекс eCNS600	1	550000	550000
Блок обработки базовых частот BBU3900	3	98000	294000
Выносной радиочастотный блок RRU3004	9	164120	1477080
АнтеннаHuawei Remote Electric Tilt (RET)	9	48000	432000
iManager M2000	1	115000	115000
Серверы	2	48120	96240
Радиобашня для установки eNB	3	105000	315000
Антенно-фидерные тракты, сигнализация и РРЛ	3	47000	141000
Контейнер цельнометаллический для размещения оборудования	3	18700	56100
Источник бесперебойного питания	4	5100	20400
Блок грозозащиты	3	7200	21600
Сплит-система «HitachiRAK-35QH8»	3	26810	80430
Конвектор «TimberkTEC.E0XM1500»	3	2350	7050
РВТ-9.3-0.1-0.22-4-(2.4) (1 км)	9	24700	222300
Оптический коннектор	45	230	10350
Муфта оптическая	25	3200	80000
Кабель UTPcat 5e (305 м)	1	2638	2638
Коннектор RG-45	215	4,4	946
Итого			3922134
Тара и упаковка		0,5%	19610
Транспортные расходы		5%	196107
Заготовительно-складские расходы		1%	39221
Установка и настройка		15%	588320
Сумма			4765392
Неучтенное оборудование		10%	392213
ВСЕГО			5157605

6.2 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 6.2 приведен рекомендуемый состав обслуживающего персонала.

Таблица 6.2 – Состав обслуживающего персонала

Наименование должностей	Оклад, руб.	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Ведущий инженер	25000	1	25000
Инженер по обслуживанию сети	20000	1	20000
Электромеханик	15000	1	15000
Монтажник высотник	17000	1	17000
Итого (ФЗП)		4	77000

Величину общего годового фонда оплаты труда ($\Phi OT_{г}$) можно рассчитать по формуле:

$$\Phi OT_{г} = \Phi ЗП \cdot N_{м} \cdot Пр \cdot K_{р} \cdot K_{вр}, \quad (6.1)$$

где $\Phi ЗП$ – основной фонд заработной платы, $\Phi ЗП = 77000$ руб.;

$N_{м}$ – количество месяцев в году, $N_{м} = 12$;

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

$K_{р}$ – районный коэффициент, $K_{р} = 1,15$;

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

$$\Phi OT_{г} = 77000 \cdot 12 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1,04 = 1381380 \text{ руб.}$$

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

$$СВ = \Phi OT_{г} \cdot 0,3, \quad (6.2)$$

$$СВ = 1381380 \cdot 0,3 = 414414 \text{ руб.}$$

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

6.3 Амортизационные отчисления

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

$$A = K_{\text{ОСН.Г}} \cdot N_{\text{А.Г}}, \quad (6.3)$$

где $K_{\text{ОСН.Г}}$ – первоначальная стоимость основных фондов ($K_{\text{ОСН.Г}}$ приравнивается к стоимости оборудования);

$N_{\text{А.Г}}$ – норма амортизационных отчислений основных фондов, $N_{\text{А.Г}} = 5\%$.

$$A = 3922134 \cdot 0,05 = 196106 \text{ руб.}$$

6.4 Материальные затраты

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

$$M_3 = Z_{\text{ЭН}} + Z_{\text{М}}, \quad (6.4)$$

где $Z_{\text{ЭН}}$ – затраты на оплату электроэнергии;

$Z_{\text{М}}$ – затраты на материалы и запасные части.

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

$$Z_{\text{ЭН}} = T \cdot 24 \cdot 365 \cdot P, \quad (6.5)$$

где T – тариф на электроэнергию, $T = 2,7$ руб./кВт/час;

P – мощность оборудования, для eNB $P = 2,2$ кВт.

$$Z_{\text{ЭН}} = 2,7 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 2,2 = 52034 \text{ руб.}$$

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Затраты на материалы и запасные части составляют 3,5% от капитальных вложений К и определяется по формуле:

$$Z_M = K \cdot 0,035, \quad (6.6)$$

$$Z_M = 5157605 \cdot 0,035 = 180516 \text{ руб.}$$

Величина общих материальных затрат составит:

$$M_3 = 52034 + 180516 = 232550 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{ОБЩ. АР.}} = Z_{\text{АР}} \cdot N_{\text{АР}}, \quad (6.7)$$

$$Z_{\text{ОБЩ. АР.}} = Z_{\text{АР}} \cdot N_{\text{АР}},$$

где $Z_{\text{АР}}$ – стоимость одного места подвеса в год, $Z_{\text{АР}} = 180000$ руб.;

$N_{\text{АР}}$ – количество арендуемых мест подвеса, $N_{\text{АР}} = 3$.

$$Z_{\text{ОБЩ. АР.}} = 180000 \cdot 3 = 540000 \text{ руб.}$$

6.5 Прочие расходы

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

$$Z_{\text{ПР}} = 0,4 \cdot \Phi О Т_{\text{Г}}, \quad (6.8)$$

$$Z_{\text{ПР}} = 0,4 \cdot 1381380 = 552552 \text{ руб.}$$

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6.6 Ежегодные выплаты за использование радиочастотного спектра

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

$$P_{\Gamma} = \sum_{i=1}^4 P_{\Gamma(KB)}^i, \quad (6.9)$$

$$P_{\Gamma(KB)} = C_{\Gamma} / 4 \cdot K_{\text{ДИАП}} \cdot K_{\text{РЧ}} \cdot K_{\text{ТЕХ}} \cdot ДР / ДК, \quad (6.10)$$

где P_{Γ} - размер ежегодной платы, руб.;

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

C_{Γ} - ставка ежегодной платы, руб.;

$K_{\text{ДИАП}}$ - 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;

$ДР$ - количество дней действия разрешения в течение оплачиваемого квартала (в среднем 92 дня);

$ДК$ - количество дней в оплачиваемом квартале (в среднем 92 дня);

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

$$K_{\text{ТЕХ}} = K_{\text{ПЕРСП}} \cdot K_{\text{РЕГ}} \cdot K_{\text{СОЦ}}, \quad (6.11)$$

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где $K_{\text{ПЕРСП}}$ - коэффициент, учитывающий перспективность технологии, применяемой при использовании радиочастотного спектра, применение коэффициента $K_{\text{ПЕРСП}}$ для радиотехнологий, в отношении которых принято соответствующее решение ГКРЧ о прекращении их дальнейшего использования и (или) выводе РЭС данных технологий в другие полосы частот, осуществляется с даты принятия данного решения ГКРЧ для РЭС гражданского назначения.

$K_{\text{РЕГ}}$ - коэффициент, учитывающий интенсивность использования соответствующих выделенных полос радиочастот в субъекте (части субъекта) Российской Федерации и сформированный на основании плотности населения на территории субъекта (части субъекта) Российской Федерации, степени развития сетей подвижной радиотелефонной связи и степени экономического развития субъекта (части субъекта) Российской Федерации.

$K_{\text{СОЦ}}$ - коэффициент, учитывающий степень социальной направленности внедрения технологии.

В случае применения радиотехнологий стандарта LTE и его последующих модификаций коэффициент $K_{\text{ПЕРСП}}$ примет значение 0,1, а $K_{\text{СОЦ}}$ в свою очередь составит 1. Для белгородской области коэффициент $K_{\text{РЕГ}}$ будет равен 1,3. Таким образом, коэффициент $K_{\text{ТЕХ}}$ примет значение 0,13.

Коэффициент, учитывающий количество используемых радиочастот $K_{\text{РЧ}}$ рассчитывается следующим образом.

$$K_{\text{РЧ}} = \sum N, \quad (6.12)$$

$K_{\text{РЧ}}$ - коэффициент, дифференцируемый от количества используемых радиочастот (радиочастотных каналов);

N - количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов).

Расчет количества N для радиотехнологий сотовой связи и иных технологий, для которых полоса радиочастот указана в разрешении, проводится

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

по формуле:

$$N = \Delta F(\text{МГц})/1 \text{МГц} , \quad (6.13)$$

Исходя из того, что рабочий частотный диапазон для проектируемой сети связи составит 1805 – 1880 МГц, то N примет значение 60. В связи с этим $K_{рч}$ так же составит 60. Исходя из рабочего диапазона частот, так же следует, что коэффициент $K_{\text{диап}}$ составит 2.

На данный момент $C_{Г}$ или ставка ежегодной платы составляет 264000 рублей. Исходя из всего выше сказанного, следует, что размер платы за квартал составит:

$$П_{Г(КВ)} = 264000/4 \cdot 0,13 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 92/92 = 1029600 \text{ руб.}$$

Таким образом, выплата за год составит:

$$П_{Г} = П_{Г(КВ)} \cdot 4 = 1029600 = 4118400 \text{ руб.}$$

Таблица 6.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Виды расходов	Сумма расходов, руб.
Фонд оплаты труда годовой (ФОТ _Г)	1381380
Страховые взносы (СВ)	414414
Амортизационные отчисления (А)	196106
Материальные затраты (Мз)	232550
Аренда мест подвеса БС (З _{ОБЩ.АР})	540000
Прочие расходы (З _{ПР})	552552
Аренда частот	4118400
ВСЕГО	7408375

Таким образом, общие эксплуатационные расходы равны 7408375 рублей.

6.7 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 села Бехтеевка составляет 3730 человек. Рассчитаем примерное количество подключившихся абонентов к проектируемой сети для доступа к сети Интернет ($N_{\text{АБ.ИНТ}}$), коэффициент проникновения услуги 60%:

$$N_{\text{АБ.ИНТ}} = 3730 \cdot 0,6 \approx 2240 \text{ человек.}$$

Однако следует отметить, что число USB модемов меньше рассчитанного примерно в 2 раза, из расчета 1 модем на семью, следовательно, и число подключений в 2 раза меньше, примерно 1120.

Предполагаемые тарифные планы по предоставлению доступа в сеть Интернет показаны в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Предполагаемые тарифные планы и их стоимость

Тарифный план	Скорость подключения	Стоимость тарифа, руб./мес.	Порог	Доля абонентов от $N_{\text{АБ.ИНТ}}$, %	Примерное число подключившихся пользователей
T1	до 2 Мбит/с	500	-	45	1020
T2	до 4 Мбит/с	550	-	25	560
T3	до 6 Мбит/с	650	70 Гб	30	660

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

$$D_1 = \left(\sum_i T_i N_i \right) \cdot 12, \quad (6.14)$$

где T_i – стоимость тарифного плана;

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

$$D_1 = (500 \cdot 1020 + 550 \cdot 560 + 650 \cdot 660) \cdot 12 = (510000 + 308000 + 429000) \cdot 12 = 14964000 \text{ руб.}$$

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

$$D_2 = N_{\text{АБ.ИИТ}} \cdot (Z_{\text{П}} - Z_3), \quad (6.15)$$

где $Z_{\text{П}}$ – стоимость продажи одного USB-LTE модема, $Z_{\text{П}} = 2480$ руб.;

Z_3 – закупочная цена одного USB-LTE модема, $Z_3 = 1500$ руб.

$$D_2 = 1120 \cdot (2480 - 1500) = 1097600 \text{ руб.}$$

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

$$D_{\text{ОБЩ}} = D_1 + D_2, \quad (6.16)$$

$$D_{\text{ОБЩ}} = 14964000 + 10976000 = 16061600 \text{ руб.}$$

Далее в расчетах окупаемости проекта и инвестиционных показателей в качестве ежегодного дохода будет использоваться значение 14964000 рублей.

6.8 Оценка показателей экономической эффективности проекта

Срок окупаемости – временной период, когда реализованные 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:

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

$$NPV = PV - IC, \quad (6.17)$$

где PV – денежный доход;

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

$$PV = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n}, \quad (6.18)$$

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

i – норма дисконта;

T – количество лет, для которых производится расчет.

$$IC = \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}}, \quad (6.19)$$

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. Однако для учета возможных колебаний этой ставки в кризисный период целесообразно взять ставку в два раза больше, а именно 20%

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

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Таблица 6.5 – Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта

Год	P	PV	I	IC	NPV
0	0	0	12565980	12584980	-12584980
1	14964000	12470000	7408375	18739625,83	-6269625,8
2	14964000	22861666,67	7408375	24913271,67	-2051605
3	14964000	31521388,89	7408375	30057976,53	1463412,4
4	14964000	38737824,07	7408375	34345230,58	4392593,5
5	14964000	44751520,06	7408375	37917942,29	6833577,8
6	14964000	49762906,53	7408375	40895202,05	8867704,5
7	14964000	53942794,8	7408375	43376238,55	10566556,2

Из таблицы 6.5 мы можем увидеть, что на 3 году появляется положительная разница между доходами и расходами. Точный срок окупаемости приведен ниже.

Точный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

$$PP = T + \frac{|NPV_{n-1}|}{(|NPV_{n-1}| + NPV_n)}, \quad (6.20)$$

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.

$$PP = 3 + 2051605 / (2051605 + 146412,4) = 3,58 \text{ года.}$$

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

$$PI = \frac{\sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n}}{\sum_{n=1}^m \frac{IC_n}{(1+i)^{n-1}}}, \quad (6.21)$$

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

$$PI = 53942794,8 / 43376238,55 = 1,24.$$

Так как полученный IP > 1 и равен 1,24, проект является рентабельным.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

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:

$$IRR > i, \quad (6.22)$$

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:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (6.23)$$

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

$$I_1 = 20; NPV_1 = 1463412,4$$

$$I_2 = 25; NPV_2 = -457112$$

$$IRR = 20 + \frac{1463412,4}{1463412 - (-457112)} (25 - 20) = 23,8\%$$

Согласно расчётам, внутренняя норма доходности проекта составляет 23,8%, что больше значения цены капитала, за которое принято 20%, что означает, что проект выгоден в реализации и функционировании.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

Результаты произведённых расчётов технико-экономических показателей сводим в таблице 6.6.

Таблица 6.6- Основные технико-экономические показатели

Показатели	Численные значения
1. Количество абонентов, чел.	2240
2. Капитальные затраты, руб.	5157605
3. Ежегодные эксплуатационные расходы, руб.	7408375
4. Доходы(NPV), руб.	1463412,4
5. Внутренняя норма доходности (IRR), %	23,8%
6. Индекс рентабельности (PI)	1,24
5. Срок окупаемости	3 года 6 месяцев

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

7 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА

7.1 Воздействие радиочастотного поля на организм человека

Развитая сеть базовых станций с фиксированными антеннами, передающими информацию коммутационным центрам с помощью радиочастотных сигналов обеспечивает распространение широкополосного Интернета. Чтобы повысить скорость мобильного интернета операторы увеличивают количество базовых станций и осуществляют их постоянное переоснащение в соответствии с самыми новыми технологическими разработками отрасли. Значительное количество радиотехнических объектов порой вызывает беспокойство из-за возможности влияния радиосигналов на здоровье пользователей.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) провела исследования, в ходе которых официально признала, что ни одна из проведенных в последнее время экспертиз не подтвердила, что радиочастотное поле, которое создается мобильными телефонами или базовыми станциями, негативно влияет на здоровье человека.

Максимально допустимые уровни излучения установленные в России значительно ниже допустимого уровня влияния радиочастотных сигналов радио- и телевизионных передатчиков, чем некоторых других бытовых приборов.

Месторасположение базовой станции определяют, учитывая необходимость обеспечения покрытия и качества связи и обуславливающее наличием помещений или открытых мест, отвечающих техническим требованиям для монтирования соответствующего оборудования. Базовые станции позволяет устанавливать на сооружениях общественного пользования и жилых домах, если суммарная мощность излучения не

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

превышает предельно допустимых уровней, установленных санитарными нормами.

Микроволновый диапазон электромагнитного поля, в котором работает современная радиосвязь, находится в пределах 450 МГц - 2 ГГц. Такие поля, в отличие от ионизирующего излучения (гамма-, рентгеновские лучи, коротковолновый ультрафиолет), независимо от их мощности, не могут вызывать ионизацию или вторичную радиоактивность в организме.

При равномерном расположении базовых станций в зоне покрытия широкополосным мобильным интернетом с соблюдением санитарных норм наибольшую опасность для здоровья абонента несет непосредственно его мобильный телефон и телефоны людей, его окружающих. Причем от работающего рядом мобильника можно получить значительно выше уровень облучения, чем от собственного телефона. Так как при разговоре антенна мобильника ориентирована таким образом, чтобы ее основной поток излучения направлялся в сторону от головы того, кто разговаривает. К сожалению, такое облучение мы очень часто можем получить в общественном транспорте. При установлении антенны базовой станции вокруг нее фиксируется санитарная зона, за границей которой суммарная мощность излучения не превышает предельно допустимых уровней, установленных санитарными нормами.

7.2 Охрана окружающей среды на предприятии связи

Предприятия и сооружения связи в отличие от металлургических, химических, нефтехимических, целлюлозно-бумажных и других подобных предприятий и сооружений по отрицательному воздействию на гидросферу и атмосферу условно можно отнести к сравнительно «чистым».

Но, несмотря на это в процессе сооружения объектов связи, хотя и на незначительной площади поверхности земли происходит нарушение

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

экологического баланса. Технологические процессы и оборудование, используемые в связи, являются источником определенного количества вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу и попадающих в гидросферу. Помимо этого значительное число предприятий и сооружений связи являются мощным источником электромагнитных полей, охватывающих большие пространства и отрицательно воздействующих на экологический баланс биосферы.

В промышленности связи серьезное внимание так же необходимо уделять вопросам оценки ее воздействия на окружающую среду и разрабатывать природоохранные мероприятия. При проектировании предприятий и сооружений связи необходимо предусматривать экономное использование земли и эффективные средства защиты окружающей среды от загрязнения. Технические решения должны предусматривать снижение загрязненности до допустимого уровня или ликвидацию вредных выбросов в атмосферу. При наличии технологических процессов, предусматривающих использование воды в значительных объемах, технические решения должны обеспечивать применение систем оборотного водоснабжения, уменьшения количества сточных вод или применение бессточных систем. Наибольшая концентрация каждого вредного вещества, вырабатываемая предприятием, не должна превышать предельно допустимых концентраций, устанавливаемых действующими нормами.

Существуют специальные нормы отвода земель для линий связи (кроме линий абонентской связи), устанавливающие ширину полос земель для линий и размеры земельных участков для размещения сооружений на этих линиях. Такого рода данные позволят разработать, оптимизировать и реализовать организационно-технические мероприятия по устранению источников вредных воздействий и обеспечить гармоничное развитие отрасли связи с учетом требований сохранения экологического равновесия в окружающей нас природной среде.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

8 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА

Проектными решениями предусматривается и указывается на необходимость строгого соблюдения норм и правил по технике безопасности и охране труда в процессе строительного-монтажных работ и эксплуатации.

В качестве основных мероприятий по охране труда и техники безопасности в соответствии с требованиями ПУЭ, СНиП 12-03-2001, СНиП 12-03-2002, ПТЭЭП, ПОТ РО 45-002-94 (с изменениями 1998 года), ПОТ РО 45-008-97 предусмотрено:

- заземление корпусов оборудования, элементов электроустановок;
- ограждение и изоляцию токоведущих частей;
- укладку диэлектрических ковров перед электрооборудованием;
- обеспечение условий труда персонала в соответствии с требованиями «Правил по охране труда на радиопредприятиях» ПОТ РО 45-002-94 (с изменениями 1998 года);
- обучение, с проверкой знаний, обслуживающего персонала в соответствии с «Правилами по охране труда на радиопредприятиях» ПОТ РО 45-002-94 (с изм. 1998 года);
- размещение радиотехнического оборудования с эксплуатационными проходами в соответствии с требованиями РД 45.162-2001 «Комплексы сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования. Ведомственные нормы технологического проектирования»;
- использование специальной обуви и одежды в соответствии с требованиями «Правила по охране труда на центральных и базовых станциях радиотелефонной связи» ПОТ РО 45-008-97;
- соединение блоков, входящих в состав РТО, следует выполнять только при отключенном питании.

При работе на высоте строго соблюдать требования «Правил по охране труда на центральных и базовых станциях радиотелефонной связи» ПОТ РО 45-

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

008-97. К работам на высоте допускаются лица не моложе 18 лет и допущенные к высотным работам. Работы по монтажу на высоте должны производиться звеном из трех монтажников высотников четвертого или пятого разрядов с обеспечением требований по технике безопасности работ на высоте при монтаже стальных конструкций. Запрещается находиться на высоте во время грозы и при ее приближении, а также при силе ветра более 12 м/с, гололеде, дожде и снегопаде.

Электромонтажные работы необходимо производить в строгом соответствии с требованиями ПУЭ (издание 7), СНиП 3.05.06-85.

Ответственным за правильную организацию и безопасное проведение работ является руководитель работ.

При производстве ремонтных работ, для электропитания инструмента, обслуживающему персоналу следует использовать переносной понижающий трансформатор.

Пожарная безопасность в проекте обеспечивается следующими мерами:

- кровля здания для размещения оборудования соответствует требованиям СНиП21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
- тип технологического оборудования соответствует категории и классу зоны здания, где оно планируется к установке.

Безопасность при эксплуатации оборудования обеспечивается:

- использованием быстродействующих отключающих устройств системы питания;
- заземлением всех металлических частей, нормально не находящихся под напряжением;
- использованием резиновых диэлектрических ковриков и индивидуальных средств защиты в местах, подлежащих оперативному обслуживанию и профилактике.

При монтаже, эксплуатации, осмотрах и ремонте оборудования необходимо строго руководствоваться «Правилами по охране труда» (ПОТ РО-

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

45-008-97, ПОТ РО-45-010-2002).

Устанавливаемое и существующее оборудование вредных веществ в окружающую среду не выделяет.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы была разработана сеть широкополосного абонентского доступа в селе Бехтеевка Корочанского района на основе технологии LTE. Все поставленные задачи и цели проекта были выполнены в полном объеме. В результате проведенного анализа существующей сети, было определено количество абонентов сети – 2240 пользователей. Так же было решено предоставлять абонентам такие основные услуги: высокоскоростной доступ к сети Интернет, IP-телефония, услуга IPTV.

Сеть была построена на оборудовании фирмы «Huawei».

При проектировании были рассчитаны капитальные затраты на реализацию проекта, которые складывались из затрат на приобретение оборудования и строительства волоконно-оптических и кабельных линий связи, а также антенно-мачтовых сооружений. Первоначальные капитальные затраты составили около 5157605рублей. Так же были определена рентабельность проекта и чистый доход.

В разработанной сети широкополосного радиодоступа при необходимости можно увеличить сеть, путем построения новых базовых станций. Что не повлияет на структуру организации сети.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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. Вишневецкий 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. Кааринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. – М.: Техносфера, 2007.
5. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.
6. Системы MIMO: Принципы построения и обработки сигналов. – ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес, - 2005. - №8.
7. Описание оборудования компании Nokia Siemens Networks [Электронный ресурс] // официальный сайт компании Nokia Siemens Networks. URL: <https://networks.nokia.com> (дата обращения: 25.12.2016).
8. Описание оборудования компании HuaWei [Электронный ресурс] // официальный сайт компании HuaWei. URL: <http://www.huawei.com/ru/> (дата обращения: 02.01.2017).
9. Трибушная В.Х. Учебно-методическое пособие для выполнения раздела «Технико-экономическое обоснование дипломного проекта» - Ижевск: Изд-во ИЖГТУ, 2002. – 25 с.
10. Абдул Базит. Расчет сетей LTE. – Хельсинский технологический университет, 2009.
11. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Perfomance. – Cambridge University Press, 2009.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

12. 3GPP TS 36 104: «E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 9). April 2011.
13. Печаткин А. В. Системы мобильной связи. Часть 1. - РГАТА, Рыбинск, 2008.
14. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика, теория и практика. - М.: Кудиц - Пресс, 2008.
15. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. - СПб.: БХВ - Петербург, 2010.
16. Болдышев А.В. Учебно-методическое пособие для выполнения раздела «Технико-экономическое обоснование дипломного проекта» - Белгород: Изд-во БелГУ, 2014. – 25 с.
17. Инструкция по расчету основных технико-экономических и финансовых показателей и заполнению форм таблиц бизнес плана на стадиях проектирования для предприятий связи (3-я редакция). – М.: ОАО «Гипросвязь», 1999.
18. ГОСТ 464-79, «Заземления для стационарных установок проводной связи, радиорелейных станций, радиотрансляционных узлов и антенн систем коллективного приема телевидения».
19. РД 45.162-2001. Комплексы сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования.
20. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance. - Cambridge University Press, 2009.
21. Harri Holma, Antti Toskala. LTE for UMTS. OFDMA and CS-FDMA Based Radio Access. - John Wiley Ltd, 2009.
22. Stefania Sesia. LTE. The UMTS Long Term Evolution. From Theory to Practice. - John Wiley Ltd, 2009.

					<i>11070006.11.03.02.060.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72