

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

**ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**Кафедра информационно-телекоммуникационных  
систем и технологий**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА  
В Г. ОСТРОЖЕНСК ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ НА БАЗЕ  
ТЕХНОЛОГИИ LTE**

**Выпускная квалификационная работа**  
обучающегося по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи  
заочной формы обучения, группы 07001364  
Цыбина Артёма Сергеевича

Научный руководитель  
канд. техн. наук, доцент кафедры  
Информационно-  
телекоммуникационных  
систем и технологий  
НИУ «БелГУ» Старовойт И.А.

Рецензент  
Инженер электросвязи  
2 категории  
Филиала АО "Связьтранснефть"  
Приокское ПТУС  
ЦЭС N 19 "БЕЛГОРОД"  
Соловей Виолетта Роменовна

**БЕЛГОРОД 2017**

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА .....	4
2 ВЫБОР ВАРИАНТА РЕАЛИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА .....	8
2.1 Ключевые особенности радио интерфейса WiMax 16e и LTE Rel.8 .....	12
2.2 Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE .....	22
3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ .....	27
3.1 Расчет частотных каналов .....	27
3.2 Расчет параметров трафика .....	33
4 РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE .....	36
4.1 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории города Острогожск .....	40
4.2 Методика расчета .....	42
5 ВЫБОР И РАСЧЕТ ОБЪЁМА ОБОРУДОВАНИЯ .....	45
5.1 Комплекс eCNS600 .....	46
5.2 Базовая станция сотовой связи Huawei DBS3900 .....	48
6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА .....	59
6.1 Расчет капитальных вложений .....	60
6.2 Затраты на оплату .....	62
6.3 Оценка показателей экономической эффективности проекта .....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	73

					<b>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		<i>Цыбин А.С.</i>			Проектирование сети широкополосного радиодоступа в городе Острогожск Воронежской области на базе технологии LTE	Лит.	Лист	Листов
Провер.		<i>Старовойт И.А.</i>					2	73
Рецензент		<i>Соловей В.Р.</i>				<i>НИУ «БелГУ», зр.07001364</i>		
Н. контр.		<i>Старовойт И.А.</i>						
Утв.		<i>Жуляков Е.Г.</i>						

## ВВЕДЕНИЕ

Потребности абонентов современных мультисервисных сетей в скорости передачи данных и качестве обслуживания ежегодно возрастают. Это связано с тем, что на сегодняшний день большую часть передаваемых данных по сетям связи составляет мультимедиа контент, объёмы которого резка возрастают с повышением качества. Кроме этого современные пользователи мультисервисных сетей не хотят быть привязаны к конкретным местам доступа к сети и сохранять мобильность в процессе передачи данных. Данные потребности абонентов могут обеспечить современные широкополосные сети доступа на базе технологии LTE.

Однако широкополосные сети доступа на базе технологии LTE в основном реализованы в крупных городах с высокой плотностью населения. В более мелких городах и поселках городского типа в основном распространены сети 3-его поколения, которые не могут обеспечить требуемые скорости передачи данных. Одним из таких городов является город Остроженск Воронежской области. В связи с этим тема данной выпускной квалификационной работы «Проектирование сети широкополосного радиодоступа в городе Остроженск Воронежской области на базе технологии LTE» является актуальной.

Основной целью данной работы является предоставление абонентам города Остроженск Воронежской области современных мультисервисных услуг связи. Для реализации поставленной цели были выполнены следующие задачи:

- Анализ инфраструктуры населенного пункта;
- Выбор варианта реализации широкополосной сети абонентского доступа для города Остроженск Воронежской области;
- Расчет нагрузок;
- Расчет зоны радиопокрытия;
- Выбор оборудования;
- Технико-экономическое обоснование;

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		3

# 1. АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

Город расположен в 111 км к югу от Воронежа, на реках Тихая Сосна и Острогоща (притоки Дона). В городе — железнодорожная станция Остроженск (на линии «Лиски—Валуйки»). Через Остроженск проходит трасса Воронеж — Луганск (Р194).

Остроженск был основан в 1652 году как военная крепость — острог на южных рубежах России (в составе Белгородской засечной черты) реестровыми казаками Черниговского и Нежинского полков, во главе с полковником Иваном Николаевичем Дзинковским[4], в количестве 2000 человек, с семьями и имуществом. По царскому указу, Воронежский воевода Арсеньев начал помогать им обустраивать постоянное местожительство[5]. Остроженскую крепость, под руководством воеводы, казаки строили совместно с московскими служилыми людьми. Частные же строения казаки делали для себя сами.

Исторические судьбы Остроженского слободского полка неотделимы от судеб других слободских казачьих полков засечной черты. Вместе они составляли Слободское казачье войско, оно же — Слобожанщина. В отличие от других полковых центров, Остроженск был основан не за пределами Белгородской линии, а непосредственно в её пределах.

В 1670 году - в ответ на восстание Степана Разина - Дзинковский из солидарности с разинцами поднял бунт, который вскоре был подавлен, а полковник и его жена Евдокия, как и некоторые другие повстанцы, были казнены.

Вплоть до 1764 года Остроженск был полковым городом Остроженского слободского казачьего полка; в 1779—1928 гг. — уездный город Воронежской губернии. Город в просторечии называли Рыбным, так как в нём располагался склад рыбы, вывозимой во внутренние губернии с Дона. В 1895 через город прошла железная дорога Харьков — Балашов.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		4

В Остроженском уезде, согласно переписи населения 1897 года, 90,3 % населения причисляло себя по языковому признаку к малоросам, а 8,4 % к великоросам, в то время как в самом городе Остроженске 51,4 % причисляли себя к малоросам, а 46,8 % к великоросам.[6]

20 июля 1899 года в Остроженске была открыта общественная библиотека[7]. Она разместилась в доме почётного гражданина Остроженска Ивана Бабенычева. Первым её руководителем стал Глеб Николаевич Яковлев. Многие жители города передали в фонд библиотеки более 400 томов. В 1910 году на собранные среди жителей деньги была построена двухэтажная пристройка у здания, в которой размещалась пожарная часть. В новом здании были размещены общественная библиотека и картинная галерея.

#### Гражданская война

В октябре 1917 года Остроженск стал первым городом в Воронежской губернии, в котором была установлена Советская власть[8].

В апреле-декабре 1918 года Остроженск был взят войсками кайзеровской Германии, после чего Остроженск формально был включён в состав Второго Гетманата Павла Петровича Скоропадского как уездный город Харьковской губернии под патронатом Германской империи. После падения Пруссии и бегства Скоропадского из Киева, на земли, подконтрольные Второму Гетманату, стали претендовать петлюровцы. Таким образом, город формально стал входить в состав Украинской Народной Республики. После ухода немцев из города, Остроженск был занят войсками армии Юга России во главе с Антоном Ивановичем Деникиным, однако уже в декабре 1919 года Белую армию выбили красноармейцы и в Остроженске была установлена Советская власть.

#### Советский период

С 1928 года — районный центр (до этого был уездным городом). В 1928—1929 годы был также административным центром Остроженского округа.

В годы Великой Отечественной войны Остроженск был оккупирован войсками Вермахта с 5 июля 1942 года по 20 января 1943 года.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		5

Среди основных предприятий города — кожевенный завод, предприятия пищевой промышленности (хлебозавод, мясокомбинат, завод по производству солода). Ранее также действовали завод по производству кирпича и керамических изделий «Остроженская керамика» (другое название «Остроженский кирпич»), завод столярных изделий, маслосырдельный завод.

На территории города расположены следующие гостиницы: «Олимп», «Рассвет», «Замок» и мини-отель «Петровский». Мобильная связь в Остроженске обеспечивается пятью операторами мобильной связи: МТС, «Билайн», «МегаФон», Tele2 .

До 1 июня 2012 года в городе Остроженске располагалась военная часть № 20115 автомобильных войск РФ (расформирована), на её месте функционирует военный учебный автомобильный центр «К».

Военная часть № 20115 автомобильных войск РФ переименована в ВЧ № 20155 и возобновила свою деятельность с июля 2014 года.

В городе работают краеведческий музей, дом-музей И. Н. Крамского, картинная галерея имени И. Н. Крамского, дом пионеров, детская библиотека, районная меж поселенческая центральная библиотека, стадион «Урожай», станция юных техников (СЮТ), бассейн «Жемчужина»[7]. Издаётся районная газета «Остроженская жизнь».

Сохранился ряд памятников архитектуры — купеческих домов XIX — начала XX веков. В центре города — памятный камень на месте исторической встречи Петра I и гетмана Мазепы.

С городом связана жизнь и деятельность многочисленных представителей русской истории. В городе проживали видные представители дворянского рода Тевяшовых, в частности полковник Степан Тевяшов, бригадир Степан Тевяшов, Владимир Тевяшов и др. В доме Тевяшовых жил философ Григорий Сковорода. С Остроженском связаны судьбы поэта-декабриста Кондратия Рылеева, философа Николая Станкевича, художника Ивана Крамского (1837—1887; родился в Остроженске), поэта Самуила Маршака, писателя Гавриила

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		6

Троепольского. В городе родилась русская писательница Елизавета Милицына (1869—1930). В Остроженске родился русский химик и фармацевт Александр Иовский.

Русский историк Николай Костомаров (5.16.1817—4.19.1885) служил в Остроженске, работал над изучением истории Остроженского слободского казачьего полка. В городе родился генерал-полковник Павел Данкевич (1918—1988) участник Финской и Великой Отечественной войн, командующий Ракетной армией (с 1961 г.), зам. главнокомандующего РВСН по боевой подготовке (1963—1974)[23]. В Остроженске жил и работал космонавт Анатолий Филипченко. Уроженцами Остроженска являются военный пилот, командир экипажа стратостата «Осоавиахим-1» Павел Федосеенко, советский военный деятель Вениамин Гайдуков, а также российский правовед, президент Тюменского государственного университета Геннадий Чеботарёв.

Васильева, Ольга Александровна (род. 1921) — женщина-снайпер Великой Отечественной войны, старший краснофлотец ВМФ СССР, родилась в Остроженске

Штейнберг, Эдуард Антонович (1882—1935) — российский художник.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		7

## 2. ВЫБОР ВАРИАНТА РЕАЛИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

В проектируемой сети связи предполагается предоставление трёх услуг:

- высокоскоростной доступ к сети Интернет;
- IP-телефония;
- услуга IPTV.

Данный перечень услуг называется TriplePlayServices.

### **Выбор технологии широкополосного радиодоступа [2, 3, 5].**

При реализации сети широкополосного радиодоступа необходимо выбрать технологию, на которой данная сет будет реализовываться. Основными конкурентами в этой области являются MobileWiMAX и LTE. Рассмотрим характеристики и особенности каждой технологии, чтобы осуществить корректный выбор. Система LongTermEvolution (LTE) является следующим шагом в эволюции систем 3GPP, причем стратегическим шагом. Их отличает технология OFDMA в нисходящем канале и SC-FDMA – в восходящем. Модуляция – до 64QAM, ширина канала – до 20 МГц, дуплексирование TDD и FDD. Применены адаптивные антенные системы, гибкая сеть доступа. Сетевая архитектура – полностью IP-сеть. В системе LTE используются технологии и методы, уже применяемые в мобильномWiMAX, поэтому ожидается схожая эффективности систем LTE (табл. 2 и 3). Следует отметить, что системы LTE – это революционное улучшение 3G. LTE представляет переход от систем CDMA к системам OFDMA, а также переход от системы с коммутацией каналов к IP-системе с коммутацией пакетов. Поэтому внедрение LTE на существующих сетях сотовой связи требует, как минимум, новых радиочастотных ресурсов для получения преимущества от широкого канала. Кроме того, для обеспечения обратной совместимости необходимы двухрежимные абонентские устройства. Поэтому плавный переход от систем 3G к LTE весьма проблематичен.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		8



**Таблица 2.1 - Сравнение параметров реальных систем LTE (по отчетам производителей) и мобильного WiMAX (релиз 1.5) 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	2×2	4×4	2×4	4×2	2×2	4×4
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		1×2	1×2	1×2	
Модуляция и скорость кодирования			64QAM	16QAM	64QAM, 5/6	
Скорость, Мбит/с			50,4	75	69,1	

Дальнейшее развитие мобильного WiMAX будут описывать спецификации релиза 2.0. Он будет основан на стандарте IEEE 802.16m, который отражает требования IMT-Advanced. В соответствии с ними, по сравнению с параметрами WiMAX релиз 1.0 вдвое увеличится спектральная эффективность в нисходящем (до 2,6 бит/с/Гц) и восходящем (1,3 бит/с/Гц) каналах (рис.1). Этот параметр возрастет вдвое и на границе соты базы – до 0,09 и 0,05 бит/с/Гц для нисходящего и восходящего каналов, соответственно. Станут возможными более 60 одновременных голосовых сессий на мегагерц для речевого кодека AMR (12,2 Кбит/с). Появится режим расширения каналов за счет интеграции отдельных частотных полос – как смежных, так и нет (всего до 100 МГц). Допустимая скорость перемещения мобильных терминалов возрастет до 500 км/ч. Сократится время установления соединения, общая задержка радиосети и время переключения при хендвере. При этом гарантируется полная обратная совместимость с системами WiMAX релиза 1.0 и 1.5. Отметим, что преимущество в спектральной

эффективности означает выигрыш в стоимости развертывания сети (в том числе в удельной стоимости по отношению к пропускной способности сети).

**Таблица 2.2 – 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 (2×2)	1,57	1,59
восходящий канал, SIMO (1×2)	0,64	0,99
Максимальная скорость мобильной станции, км/ч	350	120
Длительность кадра, мс	1	5
Антенные системы		
нисходящий канал	2×2, 2×4, 4×2, 4×4	2×2, 2×4, 4×2, 4×4
восходящий канал	1×2, 1×4, 2×2, 2×4	1×2, 1×4, 2×2, 2×4

Кроме того, возрастает канальная емкость, что позволяет операторам вводить дополнительные сервисы. Мобильный WiMAX представляет гладкую IP-сеть, сеть LTE более сложна (рис.2). Если сеть WiMAX основывается полностью на IP-протоколах IETF, то сеть LTE более сложна, включает больше протоколов, в том числе – проприетарные протоколы 3G. Немаловажно, что интеллектуальная собственность в области технологий WiMAX, соответствующие патенты распределены среди многих компаний, создан открытый патентный альянс, что позволяет снижать цены абонентских устройств.

Но самое главное преимущество мобильного WiMAX – время выхода на рынок (рис.2.1). К концу 2008 года было почти 100 только сертифицированных продуктов WiMAX, к 2011 году их число возрастет на порядок. Ряд сетей мобильного WiMAX уже введены в коммерческую эксплуатацию. Сети же LTE



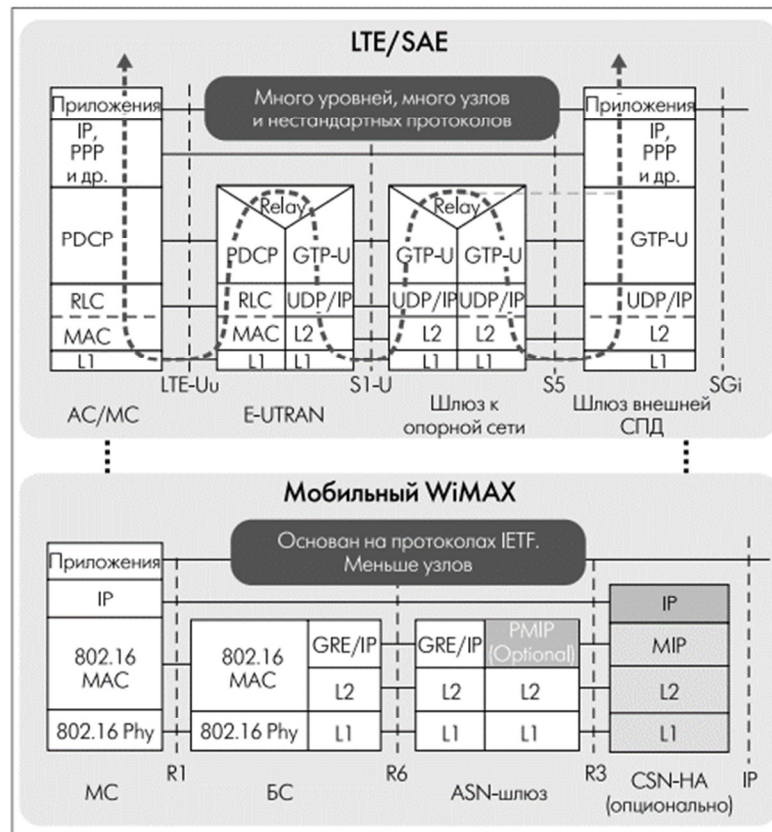


Рисунок 2.2 – Сравнение системных архитектур сетей WiMAX и LTE

## 2.1 Ключевые особенности радио интерфейса WiMax 16e и LTE Rel.8 [2, 3]

Казалось бы, обе технологии базируются на одном и том же радиоинтерфейсе MIMO-OFDM, можно ли найти различие между ними? Постараемся это сделать, разобрав поглубже принципы организации радиоинтерфейса.

### 1. Многостанционный доступ

На линии вниз технологии LTE и линиях вверх и вниз технологии WiMax используется OFDMA – многостанционный доступ на базе ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM).

В LTE на линии вверх отказались от OFDM, поскольку при сложении множества ортогональных поднесущих формируется сигнал с большим пик-фактором. Для передачи такого сигнала без искажений требуется высоколинейный, а значит, дорогостоящий усилитель. Для упрощения терминалов было



решено использовать технологию SC-FDMA – мультиплексирование на одной несущей. Сигнал SC-FDMA обладает меньшим пик-фактором, в результате чего усилитель может работать в более эффективном режиме и с более высоким КПД.

## 2. Организация канальных ресурсов

При использовании MIMO в технологии WiMax ресурсы выделяются пользователям слотами, формируемыми из поднесущих и символов OFDM; при этом применяется метод расстановки поднесущих PUSC (Partial Usage of Subcarriers). Поднесущие объединяются в субканалы (рис.2.7), распределенные по всей несущей: на линии вниз 1 субканал = 24 поднесущие данных + 4 пилот-поднесущих (доля пилот-поднесущих 14,2 %); на линии вверх 1 субканал = 16 поднесущих данных + 8 пилот-поднесущих (доля пилот-поднесущих 33,3 %).

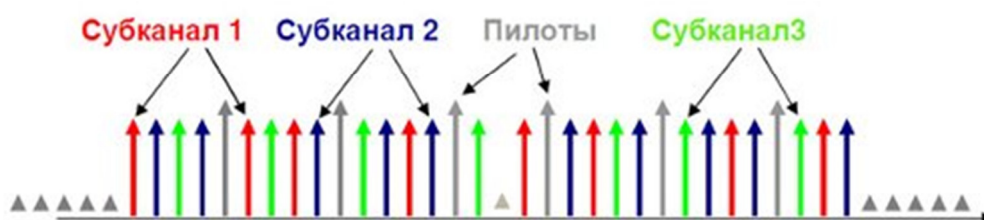


Рисунок 2.3 – Субканалы частотного канала WiMax

В LTE пользователям выделяются ресурсные блоки по 12 соседних поднесущих x 1 субкадр (рис. 2.8). 1 ресурсный блок = 12 поднесущих x 14 символов OFDM = 168 ресурсных элементов. Тот факт, что в пределах одного ресурсного блока, 180 кГц, поднесущие коррелированы, позволяет сократить количество пилот-поднесущих для оценивания канала на приемной стороне. На линии вниз в режиме MIMO 2x2 в каждом ресурсном блоке под пилоты резервируется 16 позиций из доступных 168 (доля пилотов – 9,5%). На линиях вверх и вниз размер ресурсного блока совпадает – 168 ресурсных элементов. На линии вверх подпилоты выделяются 36 позиций (доля пилотов – 21,4%). Таким образом, доля пилот-поднесущих в LTE в 1,5 раза меньше, чем в WiMax.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		13

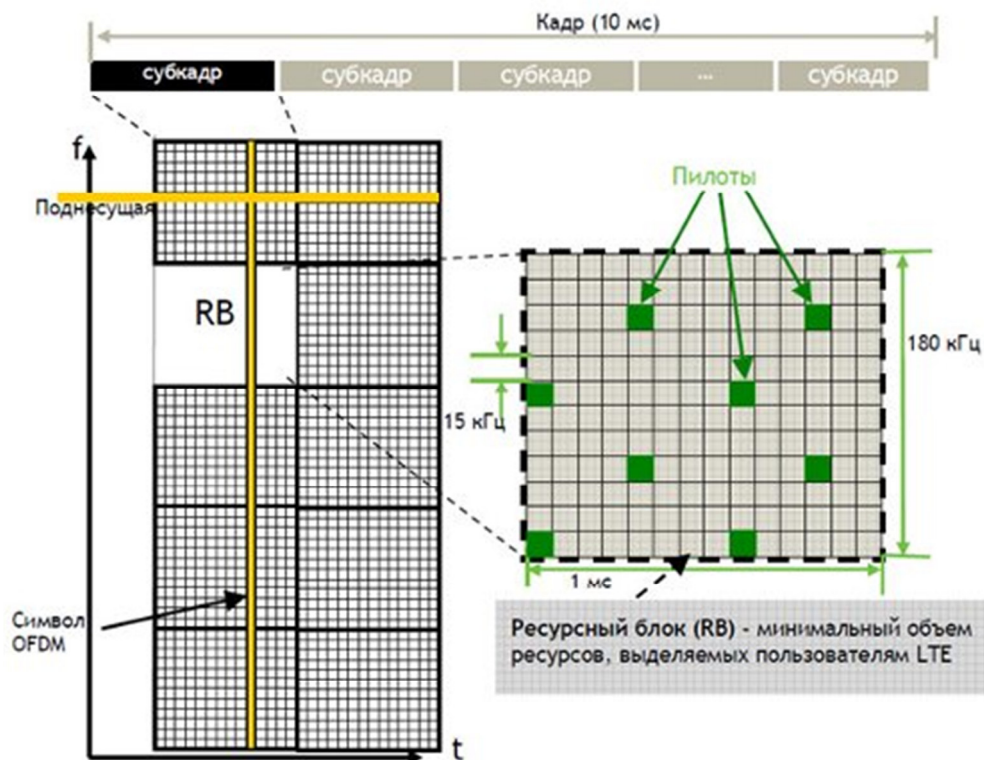


Рисунок 2.4 – Ресурсные блоки частотного канала LTE

### 3. Диспетчеризация частотных ресурсов

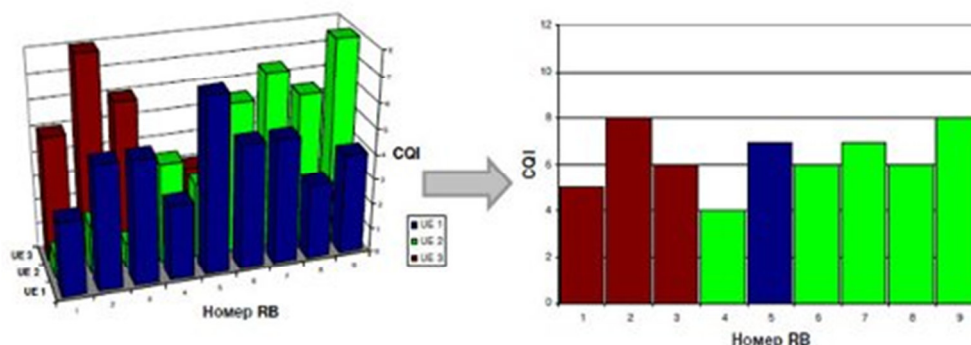
В WiMax диспетчеризация ресурсов в частотной области осуществляется по принципу “frequencydiversityscheduling”, поднесущие, выделяемые пользователю, распределены по всему спектру канала. Делается это для рандомизации и усреднения влияния частотно-селективных замираний на широкополосный канал.

В LTE реализована другая техника борьбы с частотно-селективными замираниями: частотно-селективная диспетчеризация ресурсов “frequencyselectivescheduling”. Для каждой абонентской станции UE (UserEquipment) и каждого частотного блока несущей формируются индикаторы качества канала CQI (ChannelQualityIndicator) (рис.2.9). В зависимости от требуемой для UE скорости передачи данных базовой станцией принимается решение о количестве ресурсных блоков, выделяемых тому или иному пользователю, а какие именно частотные блоки выделять пользователям зависит от CQI. Пользователям выделяются те ресурсные блоки, которые обладают наивысшим CQI, а значит, наилучшим отношением сигнал/шум. Такой способ

Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат

11070006.11.03.02.273.ПЗВКР

распределения ресурсов между пользователями дает заметный энергетический выигрыш по сравнению с рандомизированной раздачей частотных ресурсов.



**Рисунок 2.5 – Частотно-селективная диспетчеризация ресурсов LTE**

#### 4. Гибридная процедура повторной передачи по запросу

В обеих системах используется процедура повторной передачи HARQ (HybridAutomaticRepeatRequest) (рис.2.10). Благодаря упрощенной архитектуре LTE (в радиоподсистеме WiMax, как правило, имеется контроллер базовых станций, а в LTE он отсутствует) сократилось время на обработку пакетов до 10 мс, против 30 мс в WiMax.

Кроме того, для объединения повторно переданных пакетов в этих технологиях используются разные процедуры: «Chasecombining» - в WiMax и «Incrementalredundancy» - в LTE. В процедуре «Chasecombining» осуществляется простое повторение пакетов, а в приемном устройстве накапливается энергия при каждой повторной передаче. В процедуре «Incrementalredundancy» при каждой последующей повторной передаче меняется шаблон выкалывания бит в процессе турбокодирования. В декодирующем устройстве при каждой последующей передаче увеличивается число проверочных бит в декодируемом пакете. Второй метод гораздо эффективнее и дает заметный энергетический выигрыш.





станции с отношением сигнал/шум, равным некоторому пороговому значению. Именно такой алгоритм используется в WiMax.

В LTE применяется модифицированный алгоритм – частичное управление мощностью FPC (FractionalPowerControl). Пороговое отношение сигнал/шум меняется для пользователей в зависимости от их положения внутри соты: чем ближе UE к базовой станции, тем выше порог отношения сигнал/шум как критерий регулировки мощности. Следовательно, вблизи базовой станции UE работает с более высоким отношением сигнал/шум, с более высокой скоростью кодирования и кратностью модуляции, а значит, с более высокой спектральной эффективностью. Кроме того, работая с повышенной мощностью, UE может справиться с внутрисистемной интерференцией – подавлять соканальные помехи.

Кроме того, каждая базовая станция LTE контролирует уровень помех от соседних сот. Базовые станции периодически обмениваются индикаторами перегрузки OI (OverloadIndicator), указывающими, в каком ресурсном блоке уровень помех превышает пороговое значение. Индикатор OI формируется по результатам измерения базовой станцией уровней помех и фонового шума для каждого частотного блока в соте. Параметры управления мощностью устанавливаются в зависимости от принятого OI: если для какого-либо блока указывается высокий уровень помех, то базовая станция передает команду снизить мощность UE, излучающего в данном ресурсном блоке ( рис. 2.11).



Рисунок 2.7 – Управление мощностью соседней базовой станции

## 7. Коэффициент пере использования частот

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		17

Базовая схема пере использования частот WiMax строится на трех частотных каналах. При трехсекторной конфигурации сайтов в каждом из секторов используется один из трех частотных каналов (рис.2.12). Коэффициент пере использования частот в данном случае равен 3.

Работа сети LTE осуществляется с коэффициентом пере использования частот 1, т.е. все базовые станции работают на одной несущей. Внутрисистемные помехи в данной системе минимизируются благодаря частотно-селективной диспетчеризации, координации помех между сотами, гибкому частотному плану. На рис. 2.12, справа, показан один из вариантов гибкого частотного плана. Для пользователей в центре любой соты могут выделяться ресурсы из всей полосы канала (серая зона). Пользователям на краях сот выделяются ресурсы только из определенных поддиапазонов (указаны соответствующим цветом). Таким образом, в каждой соте известно, в каком поддиапазоне концентрируются помехи на ее границах. Положение UE, на краю соты или вблизи базовой станции, идентифицируется по периодическим отчетам UE об уровнях сигналов соседних сот (для поддержки хэндовера).

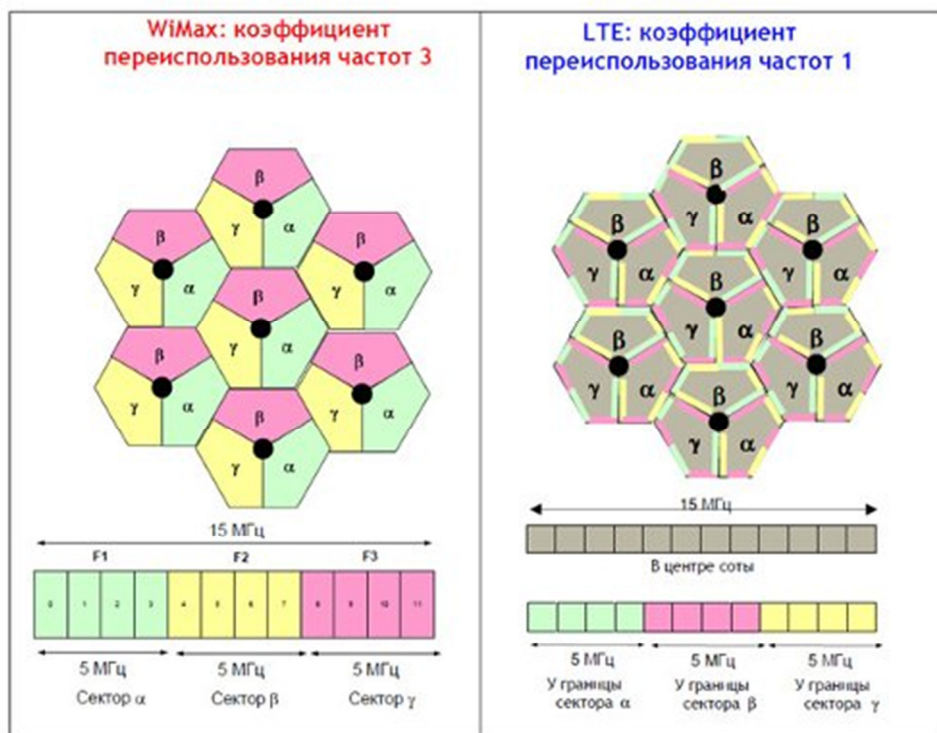


Рисунок 2.8 – Коэффициент пере использования частот в сетях WiMAX и LTE

Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат

## Схемы MIMO [2, 3, 5]

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.

Именно такой принцип заложен в LTE, где реализуется схема MIMO с обратной связью CL-MIMO (ClosedLoop MIMO). В приемнике после оценивания канала выбирается соответствующая прекодирующая матрица, а номер оптимальной прекодирующей матрицы PMI (PrecodingMatrixIndicator) посылается передатчику. Обратная связь в схеме MIMO WiMax не предусмотрена.

Различаются в этих системах схемы канального кодирования, предшествующего обработке MIMO. В WiMax – последовательное кодирование, а в LTE – параллельное (рис. 2.13). При параллельной схеме, входные данные демультиплексируются на два потока, каждый из которых в отдельности подвергается помехоустойчивому кодированию. Закодированные потоки подаются в схему MIMO. На приемной стороне осуществляются обратные операции, после снятия помехоустойчивого кода в обеих ветвях декодированные данные подаются обратно в приемник – обработчик MIMO: реализуется итерационный алгоритм совместной демодуляции MIMO и канального декодирования, позволяющий заметно улучшить работу приемника и снизить требуемое отношение сигнал/шум на входе приемника. Данный алгоритм называется алгоритмом последовательного исключения демодулированных компонент SIC (SuccessiveInterferenceCancellation). При последовательном канальном кодировании, как в WiMax, этот алгоритм нереализуем.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		19

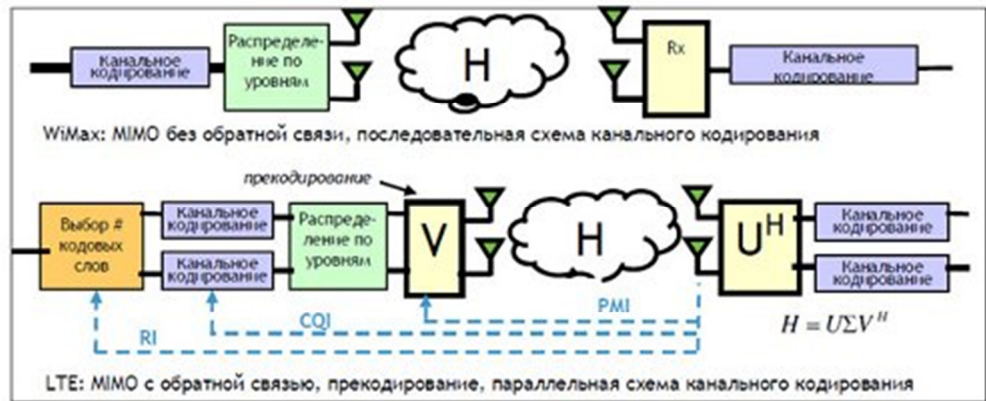


Рисунок 2.9 - Схемы MIMO в системах WiMax и LTE

В табл. 2.4 приведены все описанные различия между двумя системами.

Таблица 2.4 Различия в радиointерфейсе Wimax 16e и LTE Rel.8

Характеристика	LTE	WiMax	Влияние на систему
Многостанционный доступ	OFDMA на DL, SC-FDMA на UL	OFDMA на DL и UL	SC-FDMA: снижается 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	10 мс	30 мс	Упрощенная архитектура 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 прекодированием, приемник SIC – дополнительный энергетический выигрыш

### Оценка радио покрытия

Теперь мы можем посмотреть, как различия в радио интерфейсе влияют на радио покрытие. Анализ радио покрытия для двух систем проводился для конфигурации оборудования, представленной на рис.2.14: трехсекторная распределенная базовая станция, абонентский терминал – компьютер (карта PCMCIA). Исходные данные для сравнения приведены в табл. 2.5.



Рисунок 2.10 – Конфигурация оборудования



Таблица 2.5 Исходные данные для сравнения систем LTE и WiMax

Параметр	LTE	WiMax
Стандарт	3GPP Release 8	IEEE 802.16e
Дуплекс	TDD	TDD
Диапазон частот	2.3 ГГц	2.3 ГГц
Соотношение TDD, DL/UL	1:1	3:2
Системная полоса	15 МГц	15 МГц
Переиспользование частот	1	3
Число секторов BTS	3	3
Полоса на сектор	15 МГц	5 МГц
Схема MIMO на линии вниз	2x2	2x2
Схема MIMO на линии вверх	Разнесенный прием	Разнесенный прием
Высота антенны базовой станции	25 м	25 м
Высота UE	1,5 м	1,5 м
Сервис	Передача данных	Передача данных

Анализ радио покрытия начинают с вычисления энергетического бюджета или максимально допустимых потерь на линии MAPL (Maximum Allowable Path Loss). Как для LTE, так и для WiMax (из-за большого дисбаланса мощности передатчиков UE и базовой станции ~ 20 дБ) ограничивающей линией по дальности связи в большинстве случаев является линия вверх, поэтому расчет MAPL выполнен для линии вверх. Энергетический бюджет рассчитывается для UE на краю соты и излучающего сигнал на максимальной мощности. Результаты расчета приведены в табл. 2.6.





- **MME** (Узел Управления Мобильностью — **MobilityManagementEntity**) — это ключевой контролирующий модуль для сети доступа LTE. Он отвечает за процедуры обеспечения мобильности, хэндовера, слежения и пейджинга UE (Пользовательского Устройства — **UserEquipment**). Он участвует в процессах активации/деактивации сетевых ресурсов и так же отвечает за выбор **SGW** для UE при начальном подключении и при хэндовере внутри LTE со сменой узла Ядра Сети (**CoreNetwork** — **CN**). Он отвечает за аутентификацию пользователя (при взаимодействии с **HSS**). Сигнализация Слой Без Доступа (**Non-AccessStratum** — **NAS**) оканчивается в MME и данный узел так же отвечает за генерацию и распределение временных идентификаторов для UE. Он проверяет авторизацию UE для доступа к сервис-провайдерам мобильных сетей (**PublicLandMobileNetwork** — **PLMN**) и реализует роуминговые ограничения для UE. MME является заключительной точкой сети для шифрования/защиты целостности сигнализации **NAS** и отвечает за управление безопасностью. Узаконенный перехват сигнализации так же обеспечивается MME. MME предоставляет плоскость функций контроля для обеспечения мобильности между LTE и сетями доступа 2G/3G через интерфейс **S3** установленный к MME от **SGSN**. MME также соединен интерфейсом **S6a** с домашним **HSS** для роуминга UE.

- **SGW** (Обслуживающий Шлюз — **ServingGateway**): Предназначен для обработки и маршрутизации пакетных данных поступающих из/в подсистему базовых станций. **SGW** маршрутизирует и направляет пакеты с пользовательскими данными, в то же время выполняя роль узла управления мобильностью (**mobilityanchor**) для пользовательских данных при хэндовере между базовыми станциями (**eNodeB**), а также как узел управления мобильностью между сетью LTE и сетями с другими технологиями 3GPP. Когда UE свободен и не занят вызовом, **SGW** проключает нисходящий канал данных (**DownLink** — **DL**) и производит пейджинг, если требуется передать данные по **DL** в направлении UE. Он управляет и хранит состояния UE

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		24

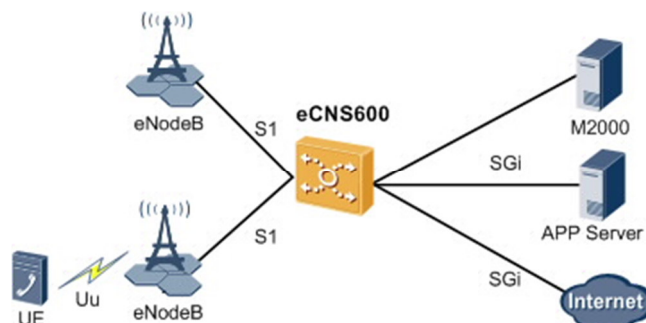


(например требования по пропускной способности для IP-сервисов, внутреннюю информацию по сетевой маршрутизации). Он также предоставляет копию пользовательских данных при узаконенном перехвате.

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

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

Следует отметить, что большинство современных производителей оборудования все рассмотренные выше устройства объединяют в единый комплекс и поставляют в готовом виде, а расширение возможностей каждого из устройств достигается добавлением плат расширения. Таким примером может быть оборудование компании Huawei.



**Рисунок 2.12 - Обобщенная схема организации связи на базе оборудования компании Huawei.**

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		25

Из рассмотренного выше рисунка к единому комплексу eCNS600 подключаются напрямую базовые станции eNodeB. Маршрутизация пользовательской информации в другие сети так же осуществляет комплекс eCNS600. Детальная схема проектируемой сети связи будет рассмотрена ниже после расчета необходимых параметров сети.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		26

### 3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

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

- формирование максимальной площади покрытия;
- обеспечение требуемой емкости.

Планирование радиосети LTE будет производиться на местности, с низкой плотностью абонентов и базовые станции должны устанавливаться на максимальном удалении друг от друга с целью закрыть каждой eNB как можно большую территорию. В связи с этим нужно подобрать соответствующий частотный диапазон. В данном случае нужно руководствоваться правилом, что чем ниже частота, тем дальше распространение радиосигнала. Частотный диапазон 1920 – 1980 МГц вполне подойдет для выполнения этой задачи. Тип дуплекса выберем частотный – FDD.

#### Расчет частотных каналов

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

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

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

где  $\Delta F$  - полоса частот, выделенная для работы сети и равная 60 МГц;

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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		27

$$N_k = \text{int}\left(\frac{60000}{180}\right) = 333.$$

### Определения размерности кластера

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

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

В кластерах с несекторизованными сотами таких близкорасположенных станций шесть, при наличии 3-х секторов в соте – две, 6-ти секторов – одна (рис. 3.1). Уровень помех зависит от размерности кластера  $C$  ( $C=3,4,6,7$ ), радиус сот  $R_0$  и расстояния между сотами с повторяющимися частотами  $D$  и связан с защитным соотношением (3.2).

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

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

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

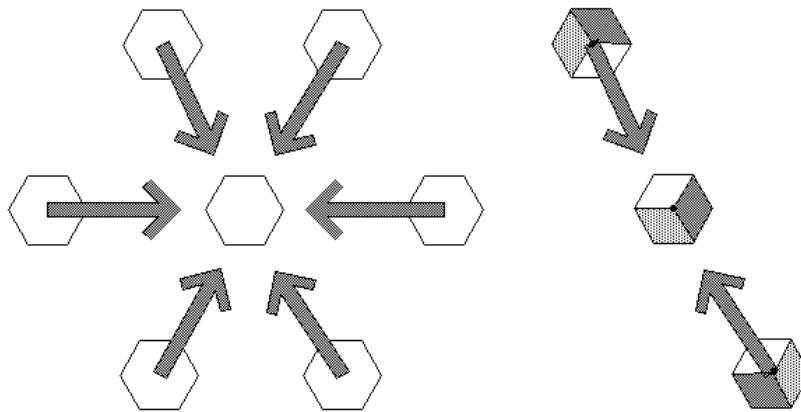
для сот с тремя секторами

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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		28

для сот с шестью секторами

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



**Рисунок 3.1 – Помехи от мешающих станций.**

Таким образом, в несекторизованных сотовых структурах и в структурах с 3-мя секторами соканальная помеха является суммой шести или 2-х мешающих сигналов соседних кластеров. Локальное среднее полезного сигнала и каждой отдельной помехи является случайной величиной с логнормальным распределением с плотностью вероятности:

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

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

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

$\mu_i$  - математическое ожидание величины  $x_i$ ,

$\sigma_i$  - среднеквадратичное отклонение величины  $\ln x_i$ , которое определяется

по формуле:  $\sigma_i = \sqrt{(\overline{\ln x_i})^2 - \mu_i^2}$ . На практике  $x_i$  и  $\sigma_i$  выражают в децибелах:

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

получим:

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

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

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

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

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

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

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

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

Таким образом, в (3.7) можно выражать  $y_i$ ,  $\mu_i$  и  $\sigma_i$  в децибелах.

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

$$C/P > (C/P)_{\text{доп}},$$

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

$y_1$  – отношение (C/P) в децибелах,

$\mu_1$  – медианное значение отношения (C/P) в децибелах,

$\sigma_1$  – среднеквадратичное отклонение отношения (C/P) в децибелах.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		30

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

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

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

$P(C)$  относительно оси ординат получаем:

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

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

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

Рассмотрим случай для направленной антенны, у которой угол диаграммы направленности  $\varphi = 120^\circ$ ,  $N_S = 3$ ,  $M=2$  и  $\beta_1 = (q+0,7)^{-4}$ ,  $\beta_2 = q^{-4}$ .

Выберем значение  $C=4$ .

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

Определим  $\alpha_e^2$

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

Вычислив квадратный корень из получившегося значение получаем

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

Отсюда следует:

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

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

Теперь вычислим нижнюю границу Q-функции:

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

Этому значению в таблице соответствует величина, равная 0,0838. Считая по формуле (3.9), получаем

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

Получившееся значение немного меньше  $\frac{P_c}{P_{III}}(\rho_0)$ , отсюда вытекает, что данный тип антенны является оптимальным.

### **Расчет частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов БС**

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

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

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

$N_{\text{кл}}$  – размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов eNB;

$M_{\text{сек}}$  – количество секторов eNB, принятое 3.

$$N_{\text{к.сек}} = \left[ \frac{388}{(3 \cdot 3)} \right] \approx 43 \text{ (канала).}$$

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		32



## Расчет параметров трафика

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

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

где  $N_{км1}$  – число каналов трафика в одном радиоканале, определяемое стандартом радиодоступа (для OFDMAN  $N_{км1} = 1...3$ ); для сети LTE выберем  $N_{км1} = 1$ .

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

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

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

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

где  $A_1$  – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение  $A_1$  может составлять (0,04...0,2) Эрл. Так как проектируемая сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение  $A_1$  примем равным 0,112 Эрл. Таким образом:

$$N_{аб.eNB} = 3 \cdot \left[ \frac{50}{0,118} \right] \approx 1271 \text{ (абонентов)}.$$

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

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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		33

где  $N_{аб}$  – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов составит 8207 человек (половина от всего населения), тогда:

$$N_{eNB} = \left[ \frac{8207}{1271} \right] + 1 \approx 8(eNB).$$

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

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

$$R_N = (160,4 + 60,47) \cdot 8 \approx 1766.96 \text{ (Мбит/с)}.$$

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

$$R_{т.ЧНН} = \frac{T_m \cdot q}{N_{ЧНН} \cdot N_d}, \quad (3.15)$$

где  $T_m$  - средний трафик одного абонента в месяц,  $T_m = 20$  Гбайт/мес;

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

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

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

$$R_{м.ЧНН} = \frac{20 \cdot 2}{7 \cdot 30} = 0,19 \text{ (Мбит/с)}$$

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

$$R_{общ./ЧНН} = R_{м.ЧНН} \cdot N_{акт.аб}, \quad (3.16)$$

где  $N_{акт.аб}$  – число активных абонентов в сети; определим число активных абонентов в сети как 70% от общего числа потенциальных абонентов  $N_{аб}$ , то есть  $N_{акт.аб} = 5745$  абонентов.

$$R_{общ./ЧНН} = 0,19 \cdot 5745 = 1091,55 \text{ (Мбит/с)}.$$

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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		34

Величину радиуса покрытия одной БС можно определить, используя выражение

$$R = \sqrt{1,21 \frac{S_0}{N_{BTS} \cdot \pi}}, \quad (3.17)$$

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

**Проверочный расчет помехоустойчивости для обеспечения работы сети**

### Расчет величины защитного расстояния

Величина защитного расстояния между BTS с одинаковыми частотными каналами определяется соотношением

$$D = R\sqrt{3 \cdot C}, \quad (3.18)$$

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

### Расчет вероятности ошибки

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

$$P_{ош} \approx \frac{1}{(\sqrt{3} \cdot C - 1)^{2 \cdot k}}, \quad (3.19)$$

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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		35

## 4. РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE

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

Принцип расчета МДП показан на рисунке 4.1.

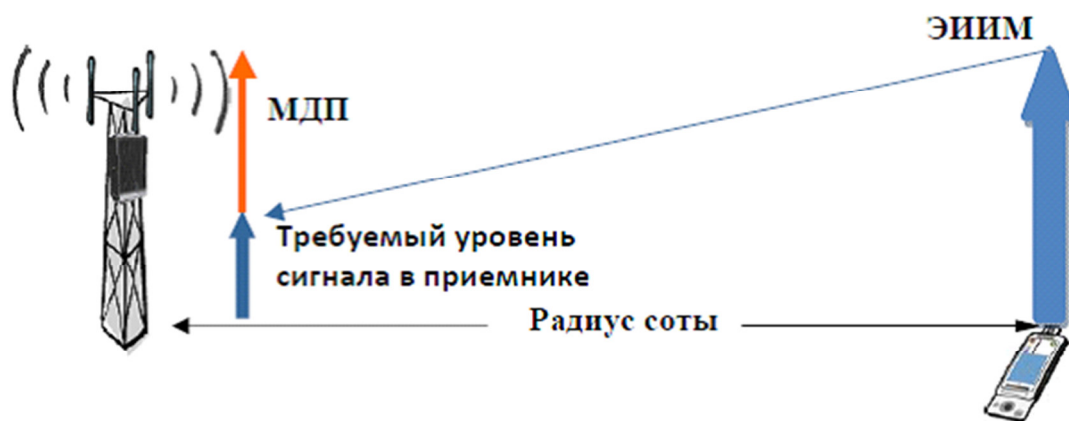


Рисунок 4.1 - Принцип расчета МДП

При расчетах будем использовать следующие параметры:

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

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

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

					11070006.11.03.02.273.ПЗВКР	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		36

где  $P_{э\text{ш.м.нр}\delta}$  – эквивалентная излучаемая мощность передатчика;

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

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

$L_{\text{ф.нр}\delta}$  – потери в фидерном тракте передатчика,  $L_{\text{ф.нр}\delta}$ : DL = 0,4 дБ;

$M_{\text{прон}}$  – запас на проникновение сигнала в помещение,  $M_{\text{прон}} = 14$  дБ;

$M_{\text{ном}}$  – запас на помехи.  $M_{\text{ном}}$  определяется по результатам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах; значение  $M_{\text{ном}}$  соответствует нагрузке в соседних сотах 70%.  $M_{\text{ном}}$ : DL = 6,4 дБ; UL = 2,5 дБ;

$G_{\text{хо}}$  – выигрыш от хэндовера. Значение выигрыша от хэндовера - результат того, что при возникновении глубоких замираний в обслуживаемой соте, абонентский терминал может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема.  $G_{\text{хо}} = 1,5$  дБ.

$P_{э\text{ш.м.нр}\delta}$  рассчитывается по формуле:

$$P_{э\text{ш.м.нр}\delta} = P_{\text{вых.нр}\delta} + G_{\text{А.нр}\delta} - L_{\text{ф.нр}\delta}, \quad (4.2)$$

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

Для линии DL:

$$P_{э\text{ш.м.нр}\delta} = 46 + 18 - 0,4 = 63,6 \text{ (дБм)},$$

Для линии UL:

$$P_{э\text{ш.м.нр}\delta} = 33 \text{ (дБм)}.$$

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		37

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

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

где  $P_{тш.пр}$  - мощность теплового шума приемника,  $P_{тш.пр}$ : DL = -175 дБм, UL = -105 дБм;

$M_{осш.пр}$  - требуемое отношение сигнал/шум приемника. Значение  $M_{осш.пр}$  взято для модели канала «EnhancedPedestrianA5».  $M_{осш.пр}$ : DL = -0,24 дБ; UL = 0,61 дБ;

$L_{пр}$  - коэффициент шума приемника,  $L_{пр}$ : DL = 8 дБ, UL = 2,4 дБ;

Для линии DL:

$$S_{ч.пр} = -175 + (-0,24) + 8 = -167,24 \text{ (дБм)},$$

Для линии UL:

$$S_{ч.пр} = -105 + 0,61 + 2,4 = -101,99 \text{ (дБм)}.$$

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

Для линии DL:

$$L_{МДП} = 63,6 - (-167,24) - 14 - 6,4 - 8,7 - 1,5 = 200,24 \text{ (дБ)},$$

Для линии UL:

$$L_{МДП} = 33 - (-101,99) + 18 - 0,4 - 14 - 2,5 - 8,7 + 1,5 = 128,89 \text{ (дБ)}.$$

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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		38

Для расчета дальности связи воспользуемся эмпирической моделью распространения радиоволн Okumura – Hata. Данная модель является обобщением опытных фактов, в котором учтено много условий и видов сред. В модели Okumura – Hata предлагается следующее выражение для определения среднего затухания радиосигнала в городских условиях:  $(128,89-69,5 - 86,12+30,07+4,23)/30,64=\lg d$

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

где  $f_c$  – частота от 150 до 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.

Произведем выбор параметров для расчетов:

- $f_c = 1960$  МГц;
- $h_t = 75$  метра;
- $h_r = 1.5$  метра.

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

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

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg 1960 - 0,7) \cdot 1,5 - (1,56 \cdot \lg 1960 - 0,8) = 4,4 - 4,3 = 0,1$$

$$128,89 = 69,5 + 26,16 \cdot 3,3 - 13,82 \cdot 1,9 - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \cdot 1,9) \cdot \lg d$$

Вычислив из формул (4.1 – 4.5) радиус соты, получим, что  $d \approx 1,4$  км.

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

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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		39

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 1.4^2 \approx 3,8$$

### Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории города Остроженск

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

Минимальное количество базовых станций eNB, необходимых для обеспечения устойчивым радиосигналом густонаселенных районов на территории планирования составляет 7 штук. Таким образом, строится сеть, все eNB которой имеют следующие характеристики:

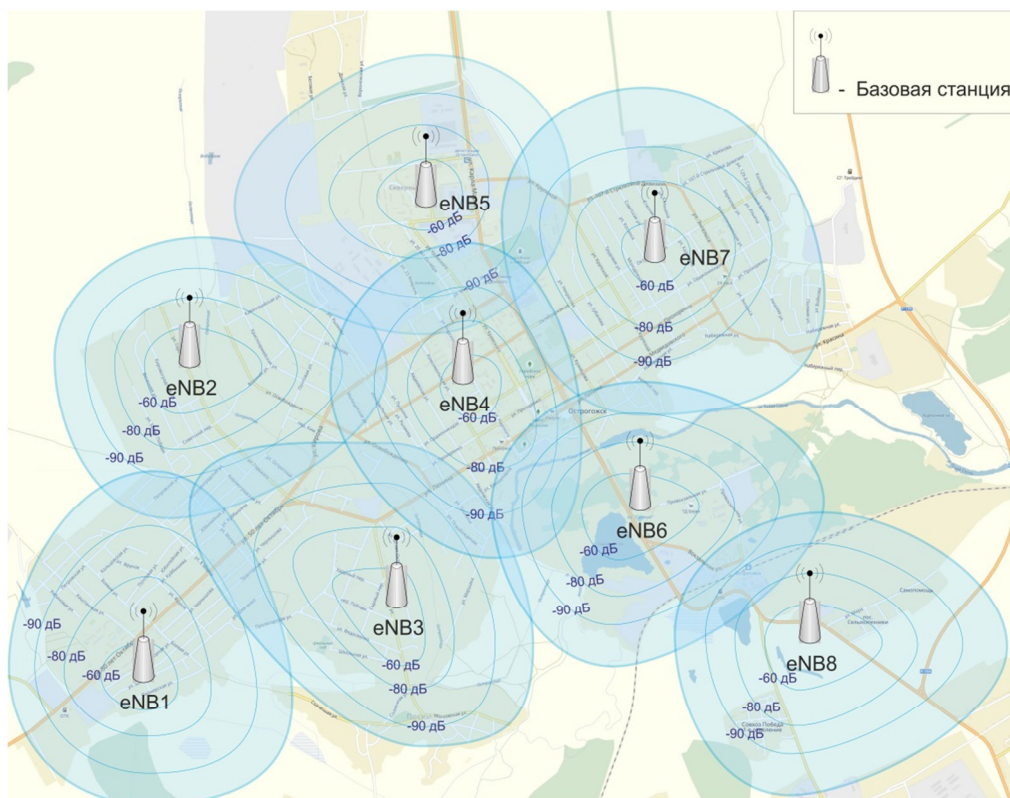
- мощность каждого передатчика – 40 Вт;
- высота подвеса антенны – 75 метра;
- число приемопередатчиков TRX – 3 (по одному на каждый сектор);
- системная полоса для одного сектора – 20 МГц (10 МГц для линии «вверх» и 10 МГц для линии «вниз»);
- линия «вниз» поддерживает технологию MIMO4x2;
- пропускная способность: линия «вниз» - 160 Мбит/с, линия «вверх» - 60 Мбит/с.

Составим частотный план. Планируемой сети выделена полоса частот 1920-1980 МГц, ширина частотного спектра составляет 60 МГц. Каждому сектору eNB нужно выделить 20 МГц. Таким образом, имеющаяся ширина спектра разделится на 3 части по 20 МГц, плюс защитные частотные полосы для избежания перекрытия сигналов разных секторов.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		40



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



**Рисунок 4.2 – Предполагаемая зона радиопокрытия сети LTE в городе Остроженск.  
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  $f = 880 \text{ МГц}$ , вследствие чего могут создавать друг другу помехи.

Исходные данные для расчета.

- |   |         |            |
|---|---------|------------|
| 1. Рабочий диапазон, <b>МГц</b>             | 880-910 | LTE, CDMA; |
| 2. Мощность передатчика БС, <b>дБ</b>       | 40      | CDMA, LTE; |
| 3. Чувствительность приемника БС, <b>дБ</b> | - 102   | CDMA;      |
|   | - 90    | LTE;       |

4. Коэффициент усиления антенны РПД в

направлении РПМ $G_{РПД}(\varphi_{РПМ}), \text{дБ}$	16	CDMA, LTE;
5. Коэффициент усиления антенны РПМ в направлении на РПД $G_{РПМ}(\varphi_{РПД}), \text{дБ}$	16	CDMA, LTE;
6. Разнос каналов, $\text{кГц}$	1250	CDMA;
	1250	LTE;
7. Защитное соотношение (сигнал/помеха), $\text{дБ}$	7	CDMA;
	12	LTE;
8. Среда распространения радиоволн		Mobile Environment
9. Затухание в антенно-фидерном тракте РПД		$U_{РПД} = 1,5 \text{ дБ};$
10. Затухание в антенно-фидерном тракте РПМ		$U_{РПМ} = 0,1 \text{ дБ};$
11. Ослабление радиопомех в линейном тракте РПМ		$N(\delta f) = 1 \text{ дБ};$
12. Потери на трассе распространения сигналов от РПД (БС CDMA – источник помех) к РПМ (БС LTE – рецептор помех), $\text{дБ}$		$L(R)$
13. Высота антенны базовой станции		$h_{БС} = 150 \text{ м.}$
14. Высота антенны абонентской станции		$h_{АС} = 3 \text{ м.}$
15. Протяженность трассы, расстояние между базовыми станциями		$R = 0,6 \text{ км.}$

**Методика расчета.**

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

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

$$P_{OI} = 40 + 16 + 16 - 1,5 - 0,1 - 1 - L(R) = 69,9 - L(R);$$

2. Рассчитываем величину потерь распространения радиоволн в городе.

$$L_f = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg(h_{БС}) - a(h_{АС}) + k[44,9 - 6,55 \lg(h_{БС})] \lg R,$$

Коэффициент  $k$  позволяет расширить действие модели для

протяженности трассы до 100 км. Так как  $R < 20 \text{ км}$ , то принимаем  $k = 1$ .

Рассчитываем корректирующий коэффициент на

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		42

высоту абонентской станции:

$$a(h_{AC}) = (1,1 \lg f - 0,7) h_{AC} - 1,56 \lg f + 0,8 \cdot 7,61 - 3,79$$

$$a(h_{AC}) = (1,1 \lg 880 - 0,7) 3 - 1,56 \lg 880 + 0,8 = 3,82.$$

Таким образом потери распространения радиоволн в городе составят:

$$L_{\Gamma} = 69,55 + 77,02 - 30,07 - 3,82 - 6,79 = 105,89 \text{ дБ}$$

Общие потери на трассе распространения радиоволн составят 105,89 дБ. Таким образом мощность помех, с учетом потерь в городе, составит:

$$P_{OI} = 69,39 - L(R) = 69,39 - 105,89 = -36,5 \text{ дБВт.}$$

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;

$P_{OI} = -36,5$  дБ – мощность помех на входе приемника LTE;

$A = 7$  дБ – защитное соотношение сигнал/помеха (внутрисистемные помехи);

$k = 1,65$  – 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:

$$-90 - (-36,5) \geq 7 + 1,65 \cdot 0,414 \cdot 12$$

$$-53,5 \geq 15,1 - \text{Неравенство не выполняется.}$$

**Вывод: взаимная беспомеховая работа невозможна.**

4. Рекомендации по улучшению электромагнитной обстановки:

В связи с тем, что стандарт CDMA- широкополосный с кодовым разделением каналов, и передатчик БС имеет меньшую мощность излучения в общей полосе частот, чем передатчик БС стандарта LTE, то дальнейшие рекомендации следует относить к настройкам и

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		43





Ниже представлено описание оборудование компании Huawei, предлагаемое для строительства проектируемой сети.

### **Комплекс eCNS600 [6].**

В eCNS600 объединены функции управления аутентификацией SAE-HSS, функции MME и функции S-GW/P-GW. eCNS600 устанавливается в основной подстатив, выполняет функции EPC и имеет следующие отличительные свойства:

- Большая емкость
- eCNS600 поддерживает 20 000 UE и передачу данных большого объема.
- Поддержка 20 000 UE и передачи данных большого объема
- eCNS600 позволяет интегрировать различные логические NE EPC, упрощает сеть и техническое обслуживание, сокращает затраты и облегчает развертывание.
- Низкое потребление мощности
- Энергопотребление eCNS600, установленного в режиме одной платы, составляет 900 Вт, что сокращает затраты на техобслуживание.

### **Современная платформа ATCA [6]**

- ATCA является стандартом аппаратного обеспечения. Это название архитектуры для аппаратных платформ, а не название определенного продукта.
- В eCNS600 используется платформа OSTA 2.0 (Архитектура связи на базе открытых стандартов) компании Huawei, которая была разработана на базе архитектуры стандарта ATCA и представляет собой систему серверов с высокой плотностью и производительностью. eCNS600 может предоставлять надежные услуги по обработке данных для телекоммуникационных приложений операторского класса:
  - Высокая скорость: полоса пропускания для обмена данными внутри подстатива может достигать 2,5 Тбит/с.
  - Высокая надежность: надежность системы достигает 99,999%.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		46



- Высокая масштабируемость: поддерживает добавление интерфейсов на плате АТСА и каскадное соединение подстативов.

- Удобство наращивания системы

- Эффективное управление: предоставляет возможность управления любым компонентом системы.

#### **Высокая надежность [6]**

- Резервирование важных данных: надежность системы достигает 99,999%.

- Управление безопасностью при эксплуатации: разным пользователям назначаются различные права на управление. При входе пользователя в систему eCNS600 идентифицирует его.

- Дизайн аппаратного обеспечения с избыточностью

- Профилактика неисправностей

- eCNS600 предоставляет механизмы защиты, позволяющие предотвратить появление следующих неисправностей системы:

- Отключение системы

- Неправильное включение/отключение питания системы

- Грозовое перенапряжение в системе питания

- Высокое напряжение и низкое напряжение

- Короткое замыкание в системе питания

- Броски тока и высокое напряжение источника питания и интерфейсов

- Перегрузка в системе

- Блокировка и разблокировка плат, блокировка и разблокировка процессов

Высокая надежность: DBS3900 предоставляет различные порты для IP-передачи данных. Применение различных механизмов обеспечения качества обслуживания (QoS) гарантирует высокую емкость, предоставление дифференцированных услуг и удовлетворение требований QoS.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		47







## Основные характеристики базовой станции DBS3900 [6].

Таблица 5.1 – 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 × 24 HSDPA codes in the DL
BBU3900 (GSM+UMTS)	GSM S24/24/24+UMTS S8/8/8 1,536 CEs in the UL and 1,536 CEs + 15 × 24 HSDPA codes in the DL
RRU3908 (3GPP class2: GSM)	6TRX per RRU3908
RRU3908 (3GPP class2: GSM +UMTS)	G5U1 or G4U2
RRU3908 (3GPP class2: UMTS)	4 carriers per RRU3908
RRU3908 (ETSI: GSM)	6 TRX per RRU3908
RRU3908 (ETSI: GSM+UMTS)	G3U2
RRU3804	4 carriers per RRU3804

Таблица 5.2 – Рабочие диапазоны частот для блока RRU.

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



Рисунок 5.3 – Блок обработки базовых частот (Внешний вид).

**BBU3900**, блок обработки базовых частот для установки внутри помещений, который обеспечивает централизованное управление эксплуатацией и обслуживанием, а также обработку сигнализации всей системы базовой станции и обеспечивает опорный сигнал синхронизации. Также блок имеет физические интерфейсы для соединения с BSC и RRU3004. BBU3900 устанавливаются в стивы 2 U высотой и шириной 47.5 см. Он может быть установлен в стивы 19“, либо смонтирован на стену.

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

BBU3900 - это низкочастотная часть распределенной базовой станции Huawei DBS3900. Оптическим кабелем (интерфейс CPRI) этот блок должен соединяться с радио блоком - выносным ради частотным модулем (например, RRU3004). Или таким, RRU3606:

DBS3900 представляет собой распределённую базовую станцию, с использованием платформы BTS компании Huawei. Будучи базовой станцией системы мобильной связи, DBS3900 состоит из блока обработки базовых частот (BBU) и выносного радиочастотного блока (RRU). BBU3900-это блок обработки базовых частот. Радиочастотный блок RRU3004, поддерживает работу двух/четырёх радиопередатчиков.

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

Между блоками RRU3004 и BBU3900 используется интерфейс CPRI, который обеспечивает соединение двух модулей с использованием оптических

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		51

кабелей. Это позволяет существенно сократить затраты по созданию автозала, установке оборудования и эксплуатации.

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

### **RRU3004 [6]**

RRU3004 – выносной радиочастотный блок. Обеспечивает обработку сигналов основных частот и радиочастотных сигналов. Один RRU3004 выполняет функцию двух приёмопередатчиков. Если два модуля RRU3004 установлены в подстативе RRU3004, они выполняют функцию четырёх приёмопередатчиков.

RRU3004 имеет небольшой вес и характеризуется простотой установки. Подстатив RRU3004 можно установить на стальной мачте, стене или бетонном основании.

### **Сценарии применения DBS3900 [6]**

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

BBU:

- Внутри помещений
- Устанавливается на стену или в статив 19 “, подстатив RRU3004, АРМ или OFB.

RRU:

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

### **Характеристики [6]**

DBS3900 обладает следующими преимуществами при обеспечении покрытия:

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		52

- RRU3004 поддерживает каскадное соединение трёх модулей RRU. Один модуль RRU устанавливается на расстоянии до 40 км от BBU.

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

- Максимальная выходная мощность RRU3004 достигает 40 Вт (900М) или 30 Вт (1800М).

- Максимальная конфигурация до 12 сот и поддержка многополосной сети.

- Поддерживается распределённая передача и «Antennahopping».

- BBU3900 поддерживает 72 приёмопередатчика.

- Abis поверх IP.

### **Возможности организации сети [6].**

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

Поддержка топологий: звезда, дерево, цепь, кольцо и смешанных топологий. Поддержка FlexAbis.

GSM и UMTS могут использовать BBU3900.

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

### **Синхронизация [6].**

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

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

### **Многодиапазонное применение [6]**

RRU3004 работает в диапазонах 1800 МГц и 900 МГц.

BBU характеризуется высокой адаптируемостью к условиям окружающей среды:

- Диапазон рабочих температур: -20 С ~ + 55 С.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		53

- BBU может работать при широком диапазоне рабочих напряжений:  $-38.4 \text{ V DC} \sim -57 \text{ V DC}$  (номинальное напряжение  $-48 \text{ V DC}$ ).

- Используемый блок питания преобразует  $220 \text{ V AC}$  в  $-48 \text{ V DC}$  для работы BBU

RRU - это оборудование, которое может работать при разных условиях окружающей среды. Модуль характеризуется высокой адаптируемостью к условиям окружающей среды: RRU имеет закрытый интегрированный дизайн. По водонепроницаемости отвечает стандарту (IP65). Меры защиты от воздействия влаги, плесени и соляного тумана соответствуют спецификациям класса 1. Диапазон рабочих температур RRU:  $-40 \text{ C} \sim +50 \text{ C}$ . RRU может работать при широком диапазоне рабочих напряжений:  $-36 \text{ V DC} \sim -57 \text{ V DC}$  (номинальное напряжение  $-48 \text{ V DC}$ ). Используемый блок питания преобразует  $220 \text{ V AC}$  в  $-48 \text{ V DC}$  для работы RRU.

#### **Антенны[6].**

Поддержка антенн Remote Electric Tilt (RET).

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

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

#### **Поддержка протокола AISG1.1 [6]**

Преимущества:

- Быстрое развёртывание сети;
- Раздельное использование BBU и RRU, компактный дизайн и распределенная установка позволяют сэкономят пространство на месте и смонтировать BBU и RRU практически в любом месте;
- Распределённая установка также обеспечивает удобство при транспортировке и быстрое развёртывание сети;

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		54

BBU может устанавливаться в любом месте на стену или на бетонное основание. Также BBU устанавливается внутри BTS, устройств передачи или в системе питания, при монтаже вне помещений. RRU устанавливается вблизи антенн. Это позволяет избежать затрат на приобретение и монтаж кабелей и фидеров.

#### **Высокая надёжность [6].**

Каждый RRU обеспечивает два высокоскоростных порта CPRI для обеспечения взаимодействия RRU и BBU в топологии кольцо. Один дополнительный порт CPRI предоставляет резервный канал между BBU и RRU.

В одном подстативе можно установить два модуля RRU3004 для поддержки распределённой передачи, обеспечения большей емкости и большего числа несущих. При сбое одного из рабочих модулей RRU3004, резервный обеспечивает услуги в соте. DBS3900 обеспечивает работу мобильных станций на высоких скоростях движения транспорта (поездов, автомобилей и т.д.), до 400 км/ч.

#### **iManager M2000 [6].**

Принимая во внимание растущую сложность эксплуатации и техобслуживания в эру MBW, iManager M2000 (сокращенно 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, таких как GSM (включая GPRS), UMTS, LTE, CDMA, uBto и WiMAX. Помимо оборудования радиодоступа, M2000 также может управлять ядром сети для FMC и IMS, а также частью оборудования передачи данных Huawei.

M2000 – это готовое к будущей эволюции решение для управления мобильными сетями. Оно обеспечивает платформу централизованного управления сетью для поддержки операторов в долгосрочной эволюции сети и

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		55

преодоления различий между разными сетевыми технологиями. M2000 учитывает предыдущий опыт операторов и старается соблюдать традиции эксплуатации и обслуживания сетей.

### **Мощное управление сетью [6]**

Централизованное управление крупномасштабными сетями требует высокой производительности системы. Кроме того, сегодняшние требования рынка сфокусированы на продолжении использования и плавном расширении аппаратного обеспечения.

Для удовлетворения этих требований, M2000 предоставляет собой много серверную систему разделения нагрузки (SLS) на платформе Sun и кластерное решение на платформе АТАЕ. Это обеспечивает 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.

### **Эффективные и интеллектуальные функции снижают OPEX [6]**

Система управления конфигурированием (СМЕ), решение конфигурирования радиосети, дает оператору мощные функции посредством мастеров настройки, шаблонов и GUI. Это позволяет пользователям планировать элементы конфигурирования, проверять данные во всей сети и сравнивать данные конфигурации сот с данными базовой соты. Это упрощает конфигурирование данных для всей сети радиодоступа. СМЕ позволяет пользователям удаленно создавать сайты в пакетном режиме, быстро расширять емкость сети, эффективно оптимизировать сеть, легко переносить базовые станции между контроллерами. Это повышает эффективность и точность конфигурирования.

Расширенная платформа обслуживания iSStar позволяет инженерам по эксплуатации и обслуживанию настраивать процессы обслуживания путем

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		56



редактирования программ. Таким образом, M2000 может автоматически обрабатывать задачи эксплуатации и обслуживания в пакетном режиме.

Кроме того, M2000 поддерживает ряд удобных функций, включая проверку общего состояния сети, удаленное и пакетное обновление NE, автоматическое планирование базовых станций, автоматическую оптимизацию отношений соседних сот, удаленный ввод в эксплуатацию базовых станций, панель устройства, настройки аварийной сигнализации режима обслуживания и управление совместным использованием RAN. Эти функции значительно повышают эффективность работы инженеров по эксплуатации и обслуживанию и снижает общие затраты эксплуатации.

M2000 применяется в более чем 600 сетях более сотни операторов по всему миру, в которых разные сетевые технологии управляются централизованно.

Подведем итог, подсчитав необходимое количество оборудования для строительства сети, согласно разработанной схемы организации связи.

**Таблица 5.3 - Объем оборудования и линейно-кабельных сооружений.**

№	Наименование	Количество ШТ
1	2	3
1	Комплекс eCNS600	1
2	Блок обработки базовых частот BBU3900	8
3	Выносной радиочастотный блок RRU3004	24
4	Антенна Remote Electric Tilt (RET)	24
5	iManager M2000	1
6	Серверы	3
7	Радиобашня для установки eNB	8
8	Антенно фидерные тракты, сигнализация и РРЛ	8
9	Контейнер цельнометаллический для размещения оборудования eNB, производитель	8

Окончание таблицы 5.3

10	Источник бесперебойного питания	9
11	Блокгрозозащиты	8
12	Сплит-система «HitachiLuxury RAS/RAC-0,8 LH1/LH2»	8
13	Конвектор «Timit W4CT 1104D 1500W»	8
<b>Оптические кабели</b>		
14	РВТ-9.3-0.1-0.22-4-(2.4) (1 км)	20
17	Оптический коннектор	129
18	Муфта оптическая	70
19	Кабель UTPcat 5e (305 м)	1
20	Коннектор RG-45	600

В данной таблице приведен полный перечень оборудования необходимого для строительства сети на базе технологии LTE.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		58

## 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.

### Этап строительства сети LTE

На этапе строительства сети LTE в городе Остроженск планируется реализовать мероприятия:

- строительство радиобашни, установка БС, установка контейнера для размещения оборудования БС, ввод в эксплуатацию БС;
- строительство волоконно-оптической линии связи на участках;
- установка комплекса eCNS600, а также 8 BBU3900 вместе с M2000 в помещении АТС.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		59

## Расчет капитальных вложений

Таблица 6.1 – Расчет капитальных вложений на первом этапе

Наименование оборудования, типы выполняемых работ	Количество	Цена	Стоимость
Комплекс eCNS600	1	605000	605000
Блок обработки базовых частот BBU3900	8	361428,1	2891424,8
Выносной радиочастотный блок RRU3004	24	196428,1	4714274,4
Антенна Remote Electric Tilt (RET)	24	70713,5	1697124
iManager M2000	1	192500	192500
Серверы	3	66000	198000
Радиобашня для установки eNB	8	245142,7	1961141,6
Антенно фидерные тракты, сигнализация и РРЛ	8	55000	440000
Контейнер цельнометаллический для размещения оборудования	8	70714,6	565716,8
Источник бесперебойного питания	9	52937,5	476437,5
Блок грозозащиты	8	39285,4	314283,2
Сплит-система «HitachiLuxury RAS/RAC-0,8 LH1/LH2»	8	117857,3	942858,4
Конвектор «Timit W4CT 1104D 1500W»	8	58142,7	465141,6
PBT-9.3-0.1-0.22-4-(2.4) (1 км)	20	61600	1232000
Оптический коннектор	129	55	7095
Муфта оптическая	70	2750	192500
Кабель UTPcat 5e (305 м)	1	4070	4070
Коннектор RG-45	600	5,5	3300
Итого			16902867,3
Тара и упаковка		0,5%	84514,3365
Транспортные расходы		5%	845143,365
Заготовительно-складские расходы		1%	169028,673
Неучтенное оборудование		10%	1690286,73
ВСЕГО			19691840,4

## 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>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		60

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

### Затраты на оплату труда.

Для расчета годового фонда заработной платы необходимо определить численность штата производственного персонала. Выбранное в дипломном проекте оборудование не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала. Поэтому вся группа по обслуживанию оборудования будет состоять из ниже перечисленных специалистов для аварийно-профилактических работ. В таблице 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	55000	1	55000
Инженер по обслуживанию сети	32000	1	32000
Электромеханик	25000	1	25000
Монтажник высотник	22000	1	22000
Итого (ФЗП)		4	134000

Величину общего годового фонда оплаты труда ( $\Phi OT_2$ ) можно рассчитать по формуле:

$$\Phi OT_2 = \Phi ЗП \cdot N_m \cdot Pr \cdot K_p \cdot K_{gp}, \quad (6.1)$$

где  $\Phi ЗП$  – основной фонд заработной платы,  $\Phi ЗП = 134000$  руб.;

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

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

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

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

$$\Phi OT_2 = 134000 \cdot 12 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1,04 = 2403960 \text{ (руб.)}$$

Страховые взносы ( $CB$ ) в государственные внебюджетные фонды составляет 30% от  $\Phi OT$ :

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

$$CB = 2403960 \cdot 0,3 = 721188 \text{ (руб.)}$$

### **Амортизационные отчисления.**

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

$$A = K_{осн.i} \cdot H_{a.i}, \quad (6.2)$$

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

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

$$A = 19691840,4 \cdot 0,05 = 984592,02 \text{ (руб.)}$$

### **Материальные затраты.**

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

$$M_z = Z_{эн} + Z_m, \quad (6.3)$$

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

$Z_m$  – затраты на материалы и запасные части.

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

$$Z_{эн} = T \cdot 24 \cdot 365 \cdot P, \quad (6.4)$$

где  $T$  – тариф на электроэнергию,  $T = 3,75$  руб./кВт/час;

$P$  – мощность оборудования, для  $eNBP = 2,575$  кВт.

$$Z_{эн} = 3,75 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 2,575 = 84588,75 \text{ (руб.)}$$

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		62

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

$$Z_m = K \cdot 0,035 \quad (6.5)$$

$$Z_m = 19691840,4 \cdot 0,035 = 689214,414 \text{ (руб.)}$$

Величина общих материальных затрат составит:

$$M_3 = 84588,75 + 689214,414 = 773803,164 \text{ (руб.)}$$

### Прочие расходы

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

$$Z_{np} = 0,4 \cdot \Phi OT \quad (6.7)$$

$$Z_{np} = 0,4 \cdot 2403960 = 961584 \text{ (руб.)}$$

### Ежегодные выплаты за использование радиочастотного спектра.

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

$$P_{\Gamma} = \sum_{i=1}^4 P_{\Gamma(KB)}^i, \quad (6.8)$$

где:

$$P_{\Gamma(KB)} = C_{\Gamma} / 4 \times K_{\text{ДИАП}} \times K_{\text{РЧ}} \times K_{\text{ТЕХ}} \times ДР / ДК \quad (6.9)$$

$P_{\Gamma}$  - размер ежегодной платы, руб.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		63

$P_{Г(КВ)}$  - размер ежегодной платы за квартал, руб.

$C_G$  - ставка ежегодной платы, руб.

$K_{ДИАП}$  - коэффициент, учитывающий используемый диапазон радиочастот.

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

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

ДР - количество дней действия разрешения в течение оплачиваемого квартала.

ДК - количество дней в оплачиваемом квартале.

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

$$K_{ТЕХ} = K_{ПЕРСП} \times K_{РЕГ} \times K_{СОЦ} \quad (6.10)$$

$K_{ПЕРСП}$  - коэффициент, учитывающий перспективность технологии, применяемой при использовании радиочастотного спектра, применение коэффициента  $K_{ПЕРСП}$  для радио технологий, 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.

$K_{РЕГ}$  - 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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		64



субъекта (части субъекта) Российской Федерации.

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

В случае применения радио технологий стандарта LTE и его последующих модификаций коэффициент  $K_{персп}$  примет значение 0,1, а  $K_{соц}$  в свою очередь составит 1. Для белгородской области коэффициент  $K_{рег}$  будет равен 1,3. Таким образом, коэффициент  $K_{тех}$  примет значение 0,13.

Коэффициент, учитывающий количество используемых радиочастот ( $K_{рч}$ ) рассчитывается следующим образом.

$$K_{рч} = \sum N \quad (6.11)$$

$K_{рч}$  - 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 по формуле:

$$N = \Delta F \text{ (МГц)} / 1 \text{ МГц} , \quad (6.12)$$

Исходя из того, что рабочий частотный диапазон для проектируемой сети связи составит 1920 – 1980 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  $K_{диап}$  составит 2.

На данный момент  $C_{г}$  или ставка ежегодной платы составляет 264 000 рублей. Исходя из всего выше сказанного, следует, что размер платы за квартал составит:

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		65

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

Таким образом, выплата за год составит:

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

**Таблица 6.3 – Годовые эксплуатационные расходы**

<b>Виды расходов</b>	<b>Сумма расходов, руб.</b>
Фонд оплаты труда годовой ( $\Phi OT_2$ )	2403960
Страховые взносы ( $CB$ )	721188
Амортизационные отчисления ( $A$ )	984592,02
Материальные затраты ( $M_3$ )	773803,164
Прочие расходы ( $Z_{np}$ )	961584
Аренда частот	4118400
<b>ВСЕГО</b>	<b>9963527,184</b>

Таким образом, общие эксплуатационные расходы равны 9963527,184 руб.

### **Расчет тарифных доходов**

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

Население года Остроженск составляет 32826 человек. Рассчитаем примерное количество подключившихся абонентов к проектируемой сети для доступа к сети Интернет ( $N_{аб.инт}$ ):

$$N_{аб.инт} = 32826 \cdot 0,25 = 8207 \text{ (человек).}$$

Однако следует отметить, что число USB модемов меньше рассчитанного по выражению (6.8) примерно в 2 раза, из расчета 1 модем на семью, а, следовательно, и число подключений в 2 раза меньше, а именно примерно 4104.

Предполагаемые тарифные планы по предоставлению доступа в сеть Интернет с помощью USB-LTE модемов 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 $N_{аб.инт}$ , %	Примерное число подключившихся пользователей
T1	до 10 Мбит/с	300	-	35	1436
T2	до 15 Мбит/с	400	-	45	1847
T3	до 30 Мбит/с	500	25 Гб	20	821

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

$$D_1 = \left( \sum_i T_i N_i \right) \cdot 12, \quad (6.13)$$

где  $T_i$  – стоимость тарифного плана;

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

$$D_1 = [300 \cdot 1436 + 400 \cdot 1847 + 500 \cdot 821] \cdot 12 = 18961200 \text{ (руб.)}$$

### **Оценка показателей экономической эффективности проекта**

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

Для оценки срока окупаемости можно воспользоваться принципом расчёта чистого денежного дохода (NPV), который показывает величину дохода на конец  $i$ -го периода времени. Данный метод основан на сопоставлении величины исходных инвестиций (IC) с общей суммой дисконтированных чистых денежных поступлений (PV) за весь расчетный период. Иными словами, этот показатель представляет собой разность дисконтированных показателей доходов и инвестиций, рассчитывается по формуле:

$$NPV = PV - IC, \quad (6.14)$$

где PV – денежный доход,

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		67

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

$$PV = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n}, \quad (6.15)$$

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

$i$  – норма дисконта,

$T$  – количество лет, для которых производится расчет.

$$IC = \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}}, \quad (6.16)$$

где  $I_n$  – инвестиции в n-ом году,

$i$  – норма дисконта,

$m$  – количество лет, в которых производятся выплаты.

Ставка дисконта может быть рассчитана различными способами, наиболее простым является кумулятивный, при котором в качестве нее выбирается средняя ставка по долгосрочным валютным депозитам 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.

**Таблица 6.5 – Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта**

Год	PV	P	IC	I	NPV
0	0	0	29655367,59	29655367,6	-29655368
1	15801000	18961200	37958306,91	9963527,18	-22157307
2	28968500	18961200	44877423,01	9963527,18	-15908923
3	39941417	18961200	50643353,09	9963527,18	-10701936
4	49085514	18961200	55448294,83	9963527,18	-6362780,9
5	56705595	18961200	59452412,94	9963527,18	-2746818
6	63055662	18961200	62789178,04	9963527,18	266484,39
7	68347385	18961200	65569815,61	9963527,18	2777569,7
8	72757154	18961200	67887013,6	9963527,18	4870140,9
9	76431962	18961200	69818011,92	9963527,18	6613950,1
10	79494302	18961200	71427177,18	9963527,18	8067124,5

Как видно из таблицы, положительная разница между доходами и расходами появляется на 6 году. Точный срок окупаемости приведен ниже.

Точный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

$$PP = T + \frac{|NPV_{n-1}|}{(|NPV_{n-1}| + NPV_n)}, \quad (6.17)$$

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

$NPV_n$  – положительный чистый денежный доход в  $n$  году;

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

$$PP = 6 + 2746818 / (2746818 + 266484,39) = 6,91 \text{ года.}$$

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

$$PI = \frac{\sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n}}{\sum_{n=1}^m \frac{IC_n}{(1+i)^{n-1}}}. \quad (6.18)$$

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

$$PI = 79494302 / 71427177,18 = 1,11.$$

Так как полученный  $PI > 1$  и равен 1,11, то проект является рентабельным.

Внутренняя норма доходности (IRR) – норма прибыли, порожденная инвестицией. Это та норма прибыли, при которой чистая текущая стоимость инвестиции равна нулю, или это та ставка дисконта, при которой дисконтированные доходы от проекта равны инвестиционным затратам. Внутренняя норма доходности определяет максимально приемлемую ставку дисконта, при которой можно инвестировать средства без каких-либо потерь для собственника.

IRR должен быть выше средневзвешенной цены инвестиционных ресурсов:

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		69

$$IRR > i, \quad (6.19)$$

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:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1), \quad (6.20)$$

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

$$I_1 = 20; NPV_1 = 8067124,5$$

$$I_2 = 28; NPV_2 = -242723,72$$

$$IRR = 20 + \frac{8067124,5}{8067124,5 - (-242723,72)} (28 - 20) = 27,77 \%$$

Согласно расчётам, внутренняя норма доходности проекта составляет 27,77%, что больше значения цены капитала, за которое принято 20 %, что означает, что проект выгоден в реализации и функционировании.

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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		70

**Таблица 6.6-Технико-экономические показатели**

Показатели	Значение
	Этап строительства
1. Емкость сети (USB/моб.), абонентов	4104
2. Пропускная способность сети, Гбит/с	2208,7
3.Количество базовых станций стандарта LTE, шт.	8
<b>4. Капитальные вложения общие, руб.</b>	19691840,4
<b>6. Годовые эксплуатационные расходы руб.</b>	9963527,184
10. Срок окупаемости капитальных затрат, лет	6 года 11 месяцев
11. Рентабельность по чистой прибыли, %	1,11
12. Численность персонала, человек	4
IRR	27,77%

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

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		71

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной выпускной квалификационной работы была разработана широкополосная сеть абонентского доступа в городе Остроженск Воронежской области. Все поставленные в этом проекте задачи были решены.

В результате проведенного анализа существующей сети, было определено количество абонентов сети – 8207 пользователей. Так же было решено предоставлять абонентам такие основные услуги TriplePlayServices, как услуги IP телефонии и доступа к глобальной сети Internet.

Для предоставления всего перечня услуг проектируемой широкополосной сети абонентского доступа были выбраны технологии «GigabitEthernet» – для организации транспортной сети, и технология беспроводной передачи данных «LTE» – для подключения абонентских устройств к сети. Сеть предполагается построить 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 19691840,4 рублей. Так же были определена рентабельность проекта и чистый доход.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		72



## 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. Описание оборудования компании HuaWei [Электронный ресурс] // официальный сайт компании HuaWei. URL: <http://www.huawei.com/ru/> (дата обращения: 15.02.2015).
7. Трибушная В.Х. Учебно-методическое пособие для выполнения раздела «Технико-экономическое обоснование дипломного проекта» - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. – 25 с.
8. Абдул Базит. Расчет сетей LTE. – Хельсинский технологический университет, 2009.
9. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Perfomance. – Cambridge University Press, 2009.
10. 3GPP TS 36 104: «E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 9). April 2011.

					<i>11070006.11.03.02.273.ПЗВКР</i>	Лис
Изм	Лис	№ докум.	Подпи	Дат		73