

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

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕТИ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА В Г.
НЕВИННОМЫССКЕ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ LTE ADVANCED**

Выпускная квалификационная работа студента

очной формы обучения
направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
4 курса группы 07001209
Ворсина Николая Анатольевича

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

Рецензент
Старший инженер
отдела развития сети
филиала ПАО МТС
в Белгородской области
Скрыпников Р.С.

БЕЛГОРОД 2016

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире технологии средств связи постоянно прогрессируют. Ведущие производители не перестают удивлять современное общество новыми устройствами связи и возможностями, которыми они обладают. Следовательно, перед операторами связи стоит задача предоставления услуг, которые требует бурно развивающийся рынок телекоммуникационных устройств в области мобильной связи. И на сегодняшний день операторы связи работают над повсеместным внедрением стандартов четвёртого поколения (4G+), обеспечивающих ещё большие скорости передачи данных (и, как следствие, повышение качества предлагаемых пользовательских услуг) при общем снижении издержек в эксплуатации телекоммуникационного оборудования.

Данная проблема актуальна для многих развивающихся городов и города Невинномыска в частности. Уровень развития мультисервисных услуг связи в городе Невинномыске не высокий. Предоставить качественные услуги мультисервисной связи по беспроводным информационным каналам всем жителям города операторы сотовой связи не могут, так как каналы связи в данной технологии недостаточно широкополосны, и передача мультимедийного контента затруднительна. Город так же является транспортным коридором Ставрополя, через который проходит дорога к Северному Кавказу и его курортам. Следовательно, десятки тысяч туристов будут нуждаться в современных услугах связи, а именно, в беспроводном широкополосном доступе к интернету. Модернизация существующей сети города на базе технологии LTE Advanced, может решить задачу доступа к мультисервисным услугам связи. Главными характеристиками такой сети являются возможность с одинаковым качеством передавать любые виды трафика, широкая полоса пропускания, и скорость передачи информации от 100 Мбит/сек.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		4

Таким образом тема моей выпускной квалификационной работы: « Модернизация сети широкополосного радиодоступа в городе Невинномысске на базе технологии LTE Advanced» является актуальной.

Целью данного проекта является повышение качества услуг связи абонентам г. Невинномысска Ставропольского края посредством технологии беспроводного широкополосного доступа LTE Advanced. Для реализации поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

- 1) Анализ инфраструктуры населенного пункта и качества предоставления услуг связи;
- 2) Разработка требований к проектируемой системе;
- 3) Анализ технологии LTE Advanced;
- 4) Техническое проектирование сети LTE Advanced
- 5) Частотно-территориальное планирование сети
- 6) Оценка экологической безопасности проекта
- 7) Оценка экономической эффективности проекта.

Пояснительная записка ВКР, содержит графические схемы с изображением существующей схемы организации связи города Невинномысска, проектируемой схемы организации сети связи, зон радиопокрытия и частотно-территориального деления города Невинномысска.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

1 АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА

1.1 Экспликация объекта

Город Невинномысск находится в Предкавказье, на Ставропольской возвышенности по берегам реки Кубань при впадении в неё реки Большой Зеленчук. Территория города составляет 8010 га, численность населения - 117 тысяч человек. Невинномысск является стратегическим транспортным коридором Ставропольского края: через город проходит федеральная автотрасса "Кавказ", начинаются дороги в сопредельные республики Кавказа; проходит железная дорога Ростов—Армавир—Минеральные Воды, начинается железнодорожная ветка на Черкесск. Из всех городов Ставропольского края, в отношении транспортного сообщения, наиболее приближен к границе с Краснодарским краем, Ростовской областью, некоторыми республиками Кавказа, пропуская через себя весь краевой транзит в этих направлениях. Близкое расположение двух гражданских аэропортов — г. Ставрополь (87 км), г. Минеральные Воды (150 км) также благоприятно сказывается на обеспеченности города транспортным сообщением.

Климат в городе Невинномыске умеренно-континентальный, характеризуется мягкой зимой и жарким летом.

Доля предприятий города Невинномыска в общем объеме промышленной продукции Ставропольского края составляет порядка 30%. Градообразующим предприятием является химический комбинат «Невинномысский азот». Также крупными предприятиями являются «Невинномысская ГРЭС», завод бытовой химии «Арнест», филиал ЗАО «Энергомера». Вид города Невинномысск представлен на рисунке 1.1.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		6



Рисунок 1.1 – Вид г. Невинномысск Ставропольского края

1.2 Анализ состояния существующей сети связи г. Невинномысск

Для того, чтобы предлагаемый пакет услуг в проектируемой сети г. Невинномысска имели актуальность и был конкурентоспособным, необходимо в начале проектирования проанализировать существующую сеть связи: определить действующих операторов связи и набор предоставляемых ими услуг, а так же выяснить технологии, на основе которых действующие операторы предоставляют свои услуги абонентам сети.

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		7

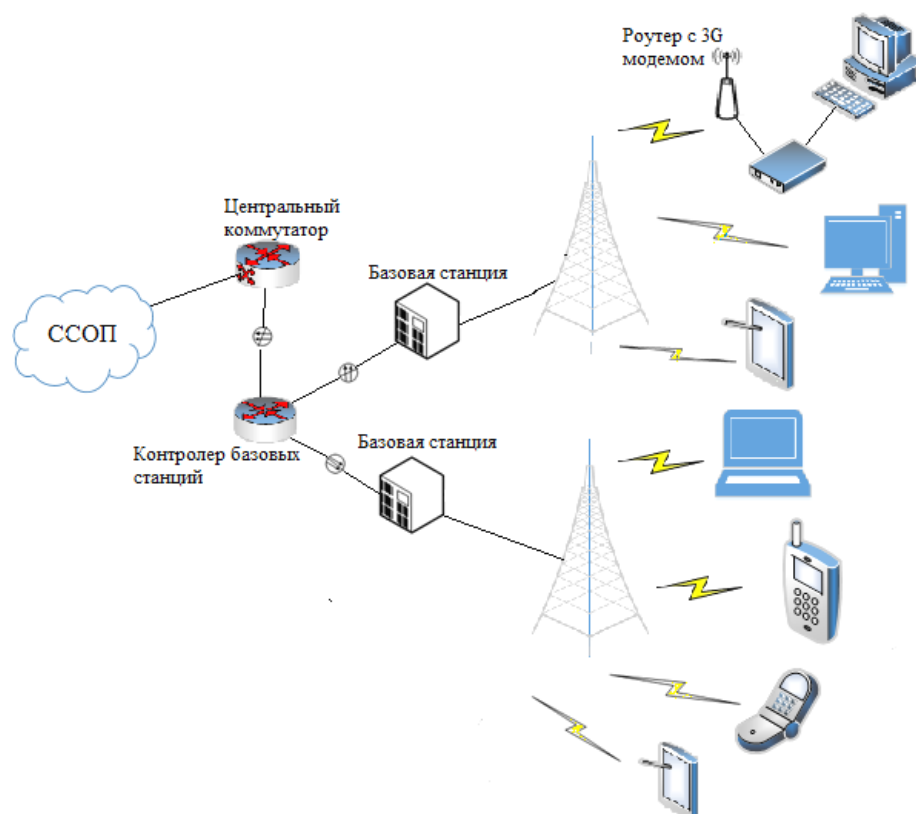


Рисунок 1.2 – Схема организации связи сотового оператора на территории города Невинномысска

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

«Для реализации современных мультисервисных услуг связи необходимо достаточно широкополосные частотные каналы, что не реализуемо в существующей кабельной системе. Прокладывать новую кабельную инфраструктуру экономически не целесообразно, поэтому очевидно применение беспроводных технологий широкополосного доступа для реализации целей проекта. На сегодняшний день таких технологий несколько и наиболее распространенные и перспективными считаются WiMAX стандарта IEEE 802.16e (Mobile WiMAX) и LTE Advance Release 10.0» [1, с.17].

2 РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ.

2.1 Определение перечня предоставляемых услуг

В проектируемой сети связи предполагается предоставление двух услуг:

- высокоскоростной доступ к сети Интернет;
- IP-телефония;

Высокоскоростной доступ в Интернет

«Широкополосный доступ (ШПД) – это доступ в Интернет со скоростью передачи данных, превышающей максимально возможную при использовании коммутируемого доступа с использованием модема и телефонной сети общего пользования. В соответствии с принятыми в ITU нормами, ШПД – это доступ к сети интернет на скорости не менее 256кб/с. Осуществляется с использованием проводных, оптоволоконных и беспроводных линий связи различных типов.

Если коммутируемый доступ имеет ограничение по битрейт порядка 56 кбит/с и полностью занимает телефонную линию, то широкополосные технологии обеспечивают во много раз бóльшую скорость обмена данными и не монополизируют телефонную линию. Кроме высокой скорости, широкополосный доступ обеспечивает непрерывное подключение к Интернету (без необходимости установления коммутируемого соединения) и так называемую «двустороннюю» связь, то есть возможность как принимать («загружать»), так и передавать («выгружать») информацию на высоких скоростях.

Выделяют мобильный широкополосный доступ (мобильный ШПД) и фиксированный широкополосный доступ. Фиксированный ШПД строится на основе проводных соединений, в то время как мобильный ШПД включает в себя передачу данных по беспроводным соединениям.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		9

Мобильный ШПД в настоящее время использует технологии мобильной связи WCDMA/HSPA (поколение 3.5G), HSPA+ (поколение 3.75G). Также применяются технологии 4G: WiMax и LTE.

Широкополосный доступ в интернет по VSAT

Интернет через VSAT – это способ доступа в сеть интернет, при котором конечное оборудование пользователя подключается к малой земной станции спутниковой связи (МЗССС, по сути, абонентскому VSAT-терминалу), который, в свою очередь, обменивается данными со спутником, находящимся на геостационарной орбите. Спутник передаёт данные центральной земной спутниковой станции связи (ЦЗССС, по сути, операторской станции), которая уже подключена к наземным высокоскоростным интернет-каналам.

В настоящее время широкополосный доступ к сети интернет на базе технологии VSAT нашел применение как в далеких геолого-разведочных экспедициях, так и в отдельных домохозяйствах. Вообще говоря, для труднодоступных и малозаселенных районов спутниковый интернет является чуть ли не единственной реальной возможностью обеспечения качественной связью с внешним миром – быстрым интернетом и IP-телефонией.

Широкополосный доступ в интернет 3G/4G

Кроме того, высокоскоростной доступ в интернет может осуществляться по технологиям 3G/4G. Если необходимо выбрать между интернетом по технологии 4G, например, LTE Advanced или WiMax и интернетом по технологии VSAT, то можно руководствоваться следующей логикой. 4G-интернет, скорее всего, будет дешевле, чем VSAT-интернет в ближайшее время, поэтому если там, где находится предполагаемый пользователь интернета покрытие связью четвертого поколения (то есть, 4G) присутствует, то выбрать стоит именно 4G-интернет. Если нет, то, естественно, стоит использовать спутниковый интернет на базе VSAT-технологии.

Так, получается, что когда связь четвертого поколения покрывает всю территорию, которую не покрывают волоконно-оптические линии связи

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		10

(ВОЛС), VSAT-интернет станет не нужен? Скорее всего, так не произойдет. Дело в том, что из экономических расчетов следует, что сети 3G/4G просто не рентабельно строить на расстоянии более чем 20 – 30 километров от густонаселенных районов. Поэтому огромные территории с низкой плотностью населения останутся, по-видимому, в ближайшем обозримом будущем «вотчиной» доступа в интернет через VSAT.» [5 с.61]

IP-телефония

«IP-телефония - это технология, которая связывает два абсолютно разных мира - мир телефонии и мир интернет. До недавнего времени сети с коммутацией каналов (телефонные сети) и сети с коммутацией пакетов (IP-сети) существовали практически независимо друг от друга и использовались для различных целей. Телефонные сети использовались только для передачи голосовой информации, а IP-сети - для передачи данных. Технология IP-телефонии объединяет эти сети посредством устройства, называемого шлюз или gateway. Шлюз представляет собой устройство, в которое с одной стороны включаются телефонные линии, а с другой стороны - IP-сеть (например, Интернет). Рассмотрим, каким образом осуществляется IP-телефонный звонок. Допустим, абонент из города А звонит абоненту в город Б. Звонок, приходящий из телефонной сети города А на шлюз в городе А, оцифровывается, сжимается посредством определенного алгоритма, и в виде IP пакетов передается в IP-сеть. В заголовках пакетов содержится информация о том, на какой шлюз в IP-сети должны приходиться эти пакеты. Приходящие на шлюз в городе Б IP-пакеты преобразуются обратно в телефонный сигнал и абонент в городе Б поднимает трубку и разговаривает с абонентом А. Конечные потребители услуги могут даже не догадываться о том, КАК осуществляется этот звонок. Поскольку при IP-телефонном звонке никак не задействован международный (междугородний) телефонный оператор, стоимость этого звонка на порядок меньше стоимости традиционного телефонного соединения.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		11

Однако звонок Телефон-Телефон является самым очевидным, но далеко не единственным сервисом, который может предоставлять оператор IP-телефонии. Решения IP-телефонии комбинируют голос и данные в одной сети и предлагают не только дешевые международные и междугородные звонки, но и целый набор совершенно новых коммуникационных услуг любому пользователю. Находясь в любой стране мира, абонент провайдера IP-телефонии может осуществить звонок с любого компьютера, имеющего выход в Интернет. Для этого ему необходимо установить на свой компьютер программу Internet Phone и один раз ввести в нее регистрационные данные. Компьютер должен быть мультимедийным, то есть, нужна звуковая плата, наушники (колонки) и микрофон. Звонок с компьютера, как правило, еще дешевле, чем звонок Телефон-Телефон. К примеру, абоненты ЗАО "Корпорация О.С.С." при звонке из любой точки мира в Москву платят всего 7 центов за минуту разговора.

Еще одна новая услуга, которую предоставляют провайдеры IP-телефонии - это звонок с Вэб-сайта или Surf&Call - решение компании VocalТес в области веб-телефонии, позволяющее осуществлять вызов, выбрав со страницы Интернет ссылку на имя вызываемого абонента. Это решение направлено, прежде всего, на расширение возможностей электронной коммерции. Surf&Call позволяет пользователям Интернет напрямую поговорить, например, с торговым представителем либо со специалистом технической поддержки интересующей его фирмы. Установление телефонного соединения происходит при нажатии курсором на ссылку, представляющую собой, например, название компании, имя вызываемого абонента и т. д. на странице Интернет. При этом пользователю не требуется вторая телефонная линия или прерывание работы в Интернет, необходимо лишь загрузить небольшое клиентское программное обеспечение, которое обычно можно найти на той же WEB-странице ("ПК-клиент"), и которое устанавливается автоматически. С другой стороны Surf&Call позволяет

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		12

представителям компаний отвечать на вопросы, демонстрировать WEB-страницы, передавать необходимую информацию, улучшая тем самым качество предоставляемых услуг»[6 с.112]

2.2 Описание технологии широкополосного радиодоступа LTE Advanced

«Стандарт LTE-Advanced (LTE-A) является дальнейшим развитием стандарта LTE, разработанного на основе технологии 3GPP. LTE-A будет соответствовать или превышать требования Международного союза электросвязи (МСЭ) к стандарту радиосвязи четвертого поколения (4G), известного как IMT-Advanced. LTE-Advanced был изначально определен как часть версии 10 спецификаций 3GPP с приостановленной до марта 2011 г. конкретизацией функций. Спецификации LTE будут развиваться в последующих выпусках 3GPP. В октябре 2009 г. партнеры 3GPP официально представили LTE-Advanced для сектора радиосвязи МСЭ (МСЭ-Р) в качестве кандидата на 4G IMT-Advanced. Публикация МСЭ спецификации IMT-Advanced ожидается к марту 2011 г. Поскольку все больше операторов беспроводной связи объявляет о планах по развертыванию LTE в сетях следующего поколения, интерес к LTE-Advanced растет.

В технико-экономическом обосновании для LTE-Advanced партнеры 3GPP определили, что LTE-Advanced будет соответствовать требованиям МСЭ-Р к 4G. Результаты исследования опубликованы в техническом отчете (ТО) 3GPP 36.912. Кроме того, было установлено, что спецификация LTE 3GPP, версия 8, может соответствовать большинству требований 4G за исключением спектральной эффективности восходящего канала и пиковой скорости передачи данных. Такие повышенные требования связаны со следующими особенностями LTE-Advanced:

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		13

– расширенные полосы пропускания, полученные за счет объединения нескольких несущих;

– более высокая эффективность, полученная за счет расширенного множественного доступа к восходящему каналу и использования нескольких антенн (передовые технологии MIMO). В настоящее время рассматриваются другие расширения для версии 10 и последующих релизов, хотя они не являются критическими для соответствия требованиям 4G:

– координация многоточечных передачи и приема (CoMP);

– ретрансляция;

– поддержка гетерогенных сетей;

– усовершенствование самооптимизирующейся сети (SON);

– усовершенствование мобильности базовых станций HeNB (Home enhanced-node-B);

Требования к характеристикам системы LTE-Advanced в большинстве случаев будут превышать требования к системам IMT-Advanced. Выполнение требования МСЭ к пиковой скорости передачи данных 1 Гбит/с будет реализовано в LTE-Advanced за счет устройств 4×4 MIMO в полосе частот передачи шире 70 МГц [8]. Относительно спектральной эффективности сегодняшний стандарт LTE (выпуск 8) удовлетворяет требованиям 4G к нисходящему, но не к восходящему каналу.»[7с.25]

В таблице 2.1 приведены данные сравнения ожидаемых характеристик спектральной эффективности для стандартов LTE, LTE-Advanced и IMT-Advanced. Отметим, что пиковая скорость в LTE-Advanced существенно выше, чем требуется для 4G, что подчеркивает желание реализовать пиковые характеристики в 4G LTE, хотя ожидаемые усредненные характеристики ближе к требованиям МСЭ. Стоит отметить, что пиковые ожидаемые характеристики за счет их выполнения в идеальных условиях часто легче продемонстрировать, чем усредненные. Однако в TR 36.913 заявлено, что целевые показатели для средней спектральной эффективности и для пропускной способности на гра-

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		14

нице соты должны иметь больший приоритет, чем целевые показатели пиковой спектральной эффективности и других функций, таких как VoIP capacity. Таким образом, при разработке LTE-Advanced необходимо сосредоточиться на решении реальных проблем повышения характеристик связи в середине и на границе соты.

Таблица 2.1 Ожидаемые характеристики стандартов LTE Advanced

Характеристика	Подкатегория	Целевые показатели LTE	Целевые показатели LTE Advanced	Целевые показатели IMT Advanced (4G)
1	2	3	4	5
Пиковая спектральная эффективность (бит/с/Гц)	Нисходящий канал	16.3 (4×4) MIMO	30 (до 8×8) MIMO	15 (4×4 MIMO)
	Восходящий канал	4.32(64) QAM	15 (до 4×4) MIMO	0.75 (2×4) MIMO
1	2	3	4	5
Спектральная эффективность нисходящего канала соты (бит/с/Гц) 3км/ч расстояние между станциями 500 м.	2×2 MIMO	1.69	2.4	
	4×2 MIMO	1.87	2.6	2.6
	4×4 MIMO	2.67	3.7	
Спектральная эффективность нисходящего канала на границе соты (бит/с/Гц) 5% 10 пользователей, расстояние между станциями 500 м.	2×2 MIMO	0.05	0.07	
	4×2 MIMO	0.06	0.09	0.075
	4×4 MIMO	0.08	0.12	

Для достижения целевой пиковой скорости передачи данных 1 Гбит/с в нисходящем канале системы 4G потребуется более широкая полоса пропускания, чем в настоящее время указана в версии 8 LTE. На данный момент LTE поддерживает ширину полосы канала 20 МГц и маловероятно, что спектральную эффективность можно значительно улучшить относительно текущих це-

левых показателей LTE. Следовательно, имеется только один путь существенно повысить скорость передачи данных — расширить полосу пропускания канала. В IMT-Advanced установлен верхний предел 100 МГц относительно предполагаемого значения 40 МГц для получения минимальных показателей.

Поскольку большинство диапазонов занято и смежные каналы с полосой 100 МГц недоступны для большинства операторов, МСЭ позволил создать более широкополосные каналы через объединение смежных и несмежных компонентных несущих. Таким образом, спектр одного диапазона может быть добавлен к спектру другого диапазона в абонентском оборудовании, которое поддерживает несколько трансиверов. На рисунке 2.1 показан пример агрегации пяти смежных полос частот, при которой полосы шириной 20 МГц (каналы LTE) расположены рядом друг с другом. В этом случае агрегированная полоса может обрабатываться в одном самостоятельном приемопередатчике базовой станции. Кроме того, агрегирование полосы канала может осуществляться из компонент, находящихся в разных частях радиочастотного спектра, показано на рисунке 2.2.

«Для обеспечения обратной совместимости с системой LTE агрегация полосы канала должна быть произведена за счет объединения нескольких полос из числа стандартизованных (идентифицированных) для LTE. При этом абонентский терминал LTE-Advanced может принимать несколько указанных на рисунке 2.1 компонент подканала, в то время как терминал LTE принимает только одну компоненту.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		16

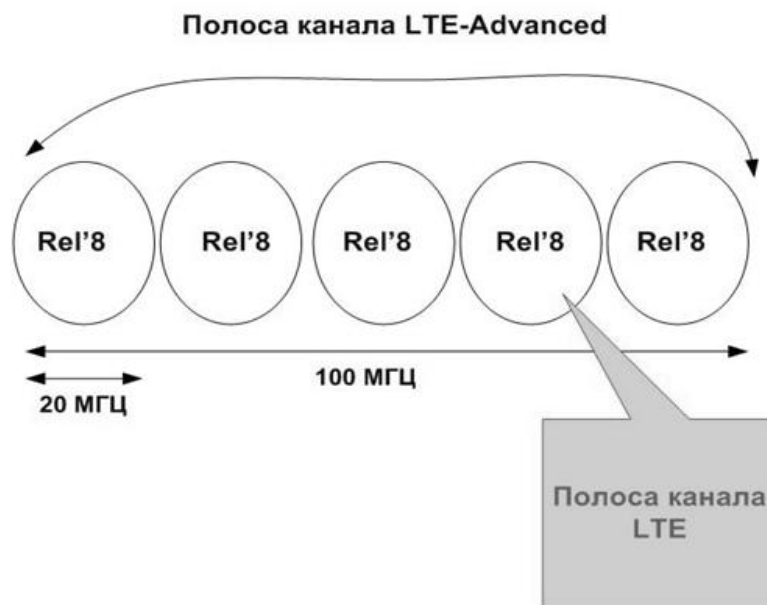


Рисунок 2.1 - Агрегирование компонентных несущих канала LTE-Advanced



Рисунок 2.2 - Агрегирование компонентных несущих LTE-Advanced из разных полос частот

Термин «компонентная несущая», используемый в данном контексте, относится к любой из полос, определенной в версиях 8/9 LTE. Для удовлетворения требований МСЭ 4G в технологии LTE-Advanced будут поддерживаться три сценария агрегации компонентных несущих: агрегация смежных несущих внутри диапазона, несмежных несущих внутри диапазона и несмежных несущих в разных диапазонах. Разнос между центральными частотами смежно-агрегированных компонентных несущих будет кратен 300 кГц для совместимости с частотой раstra 100 кГц в версиях 8/9 и в то же время для того, чтобы сохранить ортогональность поднесущих, разнос между которыми составляет 15 кГц. В зависимости от сценария агрегации разнос $n \times 300$ кГц можно уменьшить путем вставки небольшого количества неиспользованных подне-

сущих между смежными компонентными несущими. В случае смежной агрегации можно задать более широкий промежуток между компонентными несущими, но это потребует новых широких несущих.

Абонентское оборудование (АО) LTE-Advanced, обладающее возможностями приема или передачи с агрегацией несущих, будет способно одновременно принимать или передавать несколько компонентных несущих. Тем не менее абонентское оборудование в соответствии с версиями 8 или 9 сможет одновременно принимать и/или передавать только одну компонентную несущую. Компонентные несущие должны соответствовать версиям 8 и 9 LTE.

В версии 10 максимальный размер одной компонентной несущей ограничен 110 ресурсными блоками (РБ), хотя по соображениям простоты и обратной совместимости маловероятно, что будет указано что-то другое, кроме предложенного значения 100 РБ. Возможна агрегация до пяти компонентных несущих. В абонентском оборудовании LTE-Advanced не может быть использовано больше компонентных несущих для восходящего канала, чем для нисходящего. В стандартной реализации TDD (временной метод дуплексного разделения каналов) количество компонентных несущих для восходящего и нисходящего канала, как и полоса пропускания каждого из них, должны быть одинаковыми»[14 с.43]

Чтобы установить соответствие между физическим уровнем (PHY) и интерфейсом уровня управления доступом к среде (MAC), потребуется один транспортный блок (в отсутствие пространственного мультиплексирования) и один объект HARQ для каждой запланированной компонентной несущей. (HARQ представляет собой протокол управления повторной передачей). Каждый транспортный блок будет соответствовать только одной компонентной несущей. В абонентском оборудовании может быть предусмотрена одновременная работа на нескольких компонентных несущих. Подробная информация о том, как будет осуществляться передача сигналов управления при нескольких несущих, находится в стадии разработки.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		18

Методы агрегации не являются новыми для 4G — агрегация уже использовалась в технологиях HSPA и 1xEV-DO, версия В. Однако предложенное в 4G расширение агрегации до 100 МГц в нескольких диапазонах является технически проблематичным из-за высокой стоимости и сложности абонентского оборудования, поддерживающего данную технологию. Кроме того, операторы должны будут решить, какие диапазоны выбрать для агрегации, и пройдет некоторое время, прежде чем различные производители оборудования достигнут взаимопонимания по этому вопросу. Организация 3GPP первоначально определила 12 вероятных сценариев реализации для определения требований к побочным излучениям, максимальной мощности и другим факторам, связанным с совмещением различных радиочастот в одном устройстве. Однако из-за большого количества сценариев и ограниченного времени исследование для выпуска 10 LTE-Advanced изначально ограничено двумя сценариями — одним примером для режима TDD внутри диапазона и одним примером для режима FDD в разных диапазонах. В июне 2010 г. для групп 3 и 7 был добавлен третий сценарий, как показано в таблице 2. Этот сценарий важен для европейских компаний, где использование недогруженного диапазона 1800 МГц, в настоящее время выделенного для GSM, является существенным преимуществом.

Определение физического уровня для агрегации несущих (АН) завершено только на 80%, и хотя концепция АН довольно проста, детализация изменений физического уровня для поддержки сигнализации представляет собой сложную задачу, влекущую за собой изменения в каналах PCFICH, PHICH, PDCCH, PUCCH, в управлении мощностью UL, распределением ресурсов PUSCH и UCI по каналу PUSCH. Возможные характеристики радиосвязи рассмотрены только на 30%. Существенно, что в таблице 2 представлена только начальная часть описания возможных вариантов АН. По просьбе операторов в Приложении А в TR 36.807 приведена информация, позволяющая получить некоторое представление о количестве комбинаций. Каждая комбинация, вве-

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

денная в спецификации, должна быть оценена с точки зрения требований к защитным полосам и т. д.

Одной из новых проблем, возникающей в радиосвязи с появлением АН, является принцип переменного разделения частот приема-передачи. В частности, это сказывается на характеристиках опорной чувствительности и блокировки приемника. В версиях 8 и 9 разнос частот приема и передачи для каждой из 19 полос, определенных для режима FDD, является фиксированным. При введении АН асимметричность расположения восходящего и нисходящего каналов станет обычным явлением. Асимметрия обусловлена тремя факторами: различным числом каналов управления (КУ) в восходящем и нисходящем каналах, разными полосами пропускания КУ в восходящем и нисходящем каналах и, наконец, сочетанием разных полос пропускания и разного количества КУ. Вопрос ограничения количества разрешенных распределений в целях сведения к минимуму числа тестовых сценариев еще находится на стадии изучения.

Современный восходящий канал LTE построен на основе мощной технологии SC-FDMA, использующей многие преимущества OFDM с низким значением отношения пиковой мощности к средней (peak to average power ratio, PAPR) для системы с одной несущей. Однако технология SC-FDMA требует распределения несущей по смежным блокам спектра, и это мешает достичь запланированной гибкости, присущей OFDM в чистом виде.

В LTE-Advanced улучшена технология множественного доступа в восходящем канале за счет принятия кластерного SC-FDMA, также известного как распространение дискретного преобразования Фурье на OFDM (DFT-S-OFDM). Эта схема похожа на SC-FDMA, но имеет то преимущество, что позволяет выделить несмежные (кластерные) группы поднесущих для осуществления передачи с помощью одного АО. В результате становится возможным частотно-избирательное планирование в восходящем соединении, и обеспечиваются лучшие параметры канала. Выбор кластерного SC-FDMA вместо чис-

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

той технологии OFDM позволил избежать значительного увеличения PAPR. Это поможет удовлетворить

требования к повышенной спектральной эффективности в восходящем канале при сохранении обратной совместимости с LTE.

На рисунке 2.3 представлена функциональная схема, описывающая процесс усовершенствованного множественного доступа в восходящем канале (кластерного SC-FDMA). Существует только один транспортный блок и один гибридный объект ARQ для каждой запланированной компонентной несущей. Каждый транспортный блок отображается одной компонентной несущей, а АО может планироваться одновременно на многих компонентных несущих с использованием агрегации несущих, как было показано в предыдущем разделе.

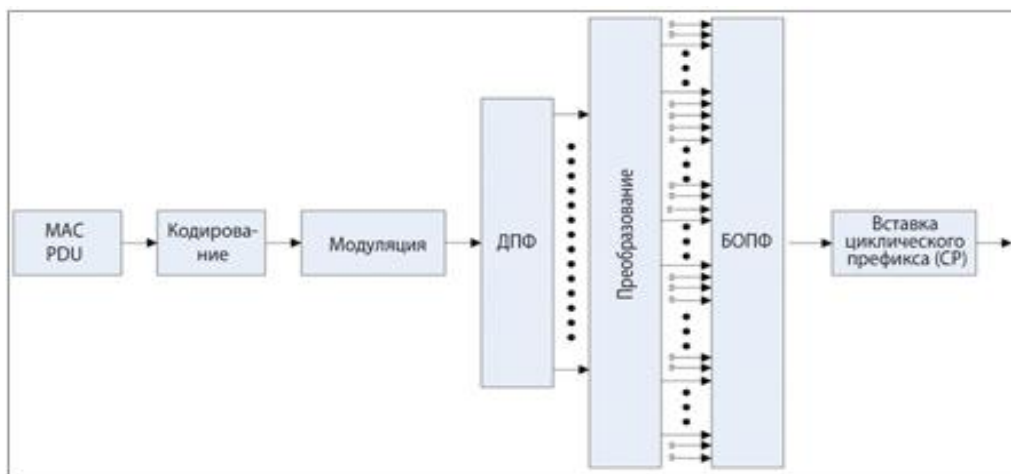


Рисунок 2.3 - Функциональная схема усовершенствованного множественного доступа в восходящем канале

На рисунке 2.4 представлены примеры различных конфигураций восходящих соединений в соответствии с версиями 8 и 10. Ключевым моментом является то, что все конфигурации версии 8 имеют одну несущую. Это означает, что величина PAPR не больше, чем в основных форматах QPSK или 16QAM, в то время как в версии 10 можно передавать более одной несущей, что увеличивает значение PAPR по сравнению с версией 8. Отметим, что несколько несущих рассматривается в этом случае как часть кластерного SC-FDMA, а ка-

налы PUCCH/PUSCH одновременно находятся в одной компонентной несущей. Их не следует путать с несколькими компонентными несущими агрегации несущих (АН)

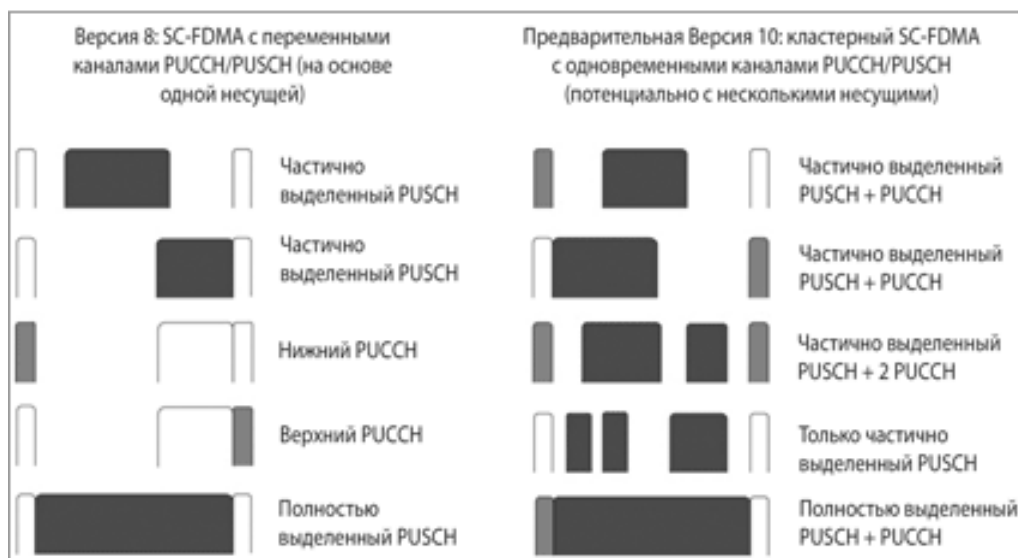


Рисунок 2.4-Сравнение конфигураций восходящего соединения

Подготовленные спецификации, вероятно, ограничат число SC-FDMA кластеров до двух, что обеспечит некоторое улучшение спектральной эффективности на один кластер при передаче через частотно-избирательный канал с более чем одним явным пиком.

На рисунке 2.5 приведены ограничения в соответствии с версией 8 LTE для антенных портов и пространственных уровней мультиплексирования. В нисходящем канале поддерживается максимум четыре пространственных уровня передачи (4×4 при наличии в абонентском оборудовании четырех приемников), а в восходящем канале — максимум один на единицу АО (1×2 при наличии разнесенного приема базовой станции (eNB)). В версии 8 не поддерживается передача с помощью нескольких антенн для упрощения дешевых моделей АО, хотя поддерживается пространственное мультиплексирование для нескольких пользователей (MU-MIMO). В случае MU-MIMO два АО передают на одной частоте одновременно, а базовая станция (eNB) должна различать их между собой, основываясь на пространственных свойствах. При таком многопользовательском подходе пространственному мультиплексирова-

нию улучшается пропускная способность восходящего канала, но пиковая скорость передачи данных для одного пользователя не увеличивается.

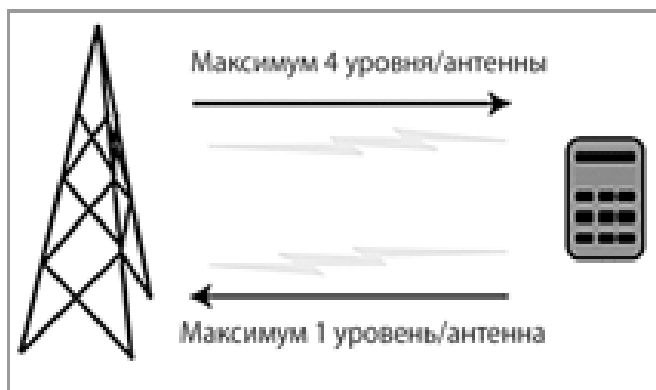


Рисунок 2.5 - Максимальное количество антенных портов и пространственных уровней в соответствии с версией 8

Для того чтобы увеличить пиковую скорость передачи данных для одного пользователя и соответствовать требованиям МСЭ-Р по спектральной эффективности, LTE-Advanced предусматривает наличие до восьми уровней в нисходящем канале с установкой восьми приемников в АО, допуская возможность пространственного мультиплексирования 8×8 в нисходящем канале. В АО будет предусмотрена поддержка до четырех передатчиков, позволяющих осуществить передачу 4×4 в восходящем канале в сочетании с четырьмя приемниками базовой станции.

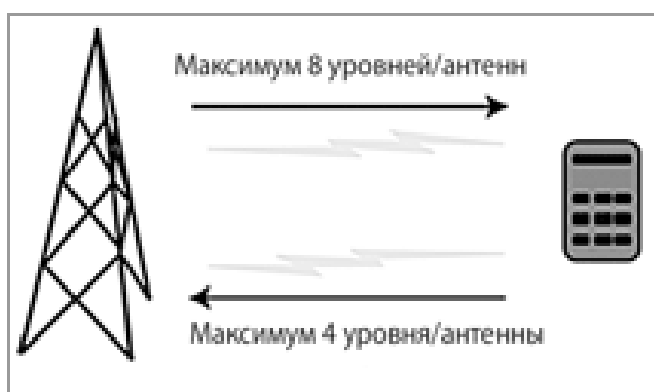


Рисунок 2.6 - Максимальное количество антенных портов и пространственных уровней в LTE-Advanced

Работа по определению требований к улучшенному нисходящему каналу завершена на 80%. Ожидаются изменения распределения отдельных опорных демодулированных сигналов (DMRS) для поддержки восьми антенн. Будут введены опорные сигналы, содержащие информацию о состоянии канала (CSI-RS), и связанные с ними изменения обратной связи в АО при разработке справочника кодов CSI. Аналогичные изменения будут определены там же и для передачи сигналов управления в нисходящем канале.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						24
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

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 четырех этапов:

- Определение пространственных параметров сети;
- Частотное планирование;
- Оценка пропускной способности при заданном профиле трафика;
- Уточнение параметров базовых станций и зоны обслуживания.

Планирование радиосети LTE будет производиться в городской местности, а это значит, что плотность абонентов будет высокая и базовые станции должны устанавливаться в максимальной близости друг от друга с целью закрыть каждой eNB как можно большую плотность абонентов. В связи с этим нужно подобрать соответствующий частотный диапазон. В данном случае нужно руководствоваться правилом, что чем ниже частота, тем дальше распространение радиосигнала. Частотный диапазон 1710 – 1755 МГц для восходящего и 2110 – 2155 МГц для нисходящего канала вполне подойдет для выполнения этой задачи. Тип дуплекса выберем частотный – FDD

3.1 Расчет пропускной способности сети

Пропускная способность, или емкость, сеть была оценена на основе средних значений спектральной эффективности ячейки, при определенных условиях. Спектральная эффективность систем мобильной связи является индексом рассчитывается как отношение скорости передачи данных 1 Гц полосы частот, используемой (бит / с / Гц). Спектральная эффективность является ме-

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		25

рой эффективности использования частотных ресурсов, а также характеризует скорость передачи данных в предварительно определенной полосе частот. Спектральная эффективность может быть вычислена как отношение скорости передачи данных всех абонентов в определенной географической области (ячейки или зоны) на 1 Гц полосы пропускания (бит / с / Гц). Средняя спектральная эффективность для сети LTE-A, при полосе пропускания до 100 МГц, для частот дуплексной FDD типа на основе LTE-A (Rel.10) для различных конфигураций MIMO, представленной в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Средняя спектральная эффективность для сети LTE-Advanced.

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)
UL	2×2	8.1
	4×4	16.1
DL	4×4	16
	8×8	30

В данном случае число секторов eNB примем равное 3. Средняя пропускная способность одного сектора eNB, для FDD, может быть получена путем произведения ширины канала и спектральной эффективности канала:

$$R = S * W, \quad (3.1)$$

где S – средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц); W – ширина канала для 3 секторов eNB (МГц); W = 45 МГц, следовательно на 1 сектор будет приходиться 15 МГц.

Для линии DL выберем MIMO (4×4)=16(бит/с/Гц):

$$R_{DL} = 16 * 7.5 = 120 \text{ Мбит/сек}$$

Для линии UL выберем MIMO 2×2:

$$R_{UL} = 8.1 * 7.5 = 60,75 \text{ Мбит/сек}$$

При произведении пропускной способности одного сектора и количества секторов базовой станции, получим среднюю пропускную способность базовой станции R_{eNB} .

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

Для линии DL:

$$R_{DL} = 120 * 3 = 360 \text{ Мбит/сек}$$

Для линии UL:

$$R_{UL} = 60.75 * 3 = 182.25 \text{ Мбит/сек}$$

Далее определим количество сот в планируемой сети LTE-Advanced. Для того чтобы рассчитать число сот в сети необходимо определить общее число каналов, выделяемых для развертывания проектируемой сети LTE-Advanced. Общее число каналов N_k вычисляется по формуле:

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

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

где ΔF – полоса частот, выделенная для работы сети и равная 45 МГц;

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

$$N_k = \text{int}\left(\frac{45000}{180}\right) = 250 \text{ (каналов)}.$$

3.2 Расчет частотных каналов, для обслуживания абонентов БС

Число частотных каналов, которые используют для обслуживания абонентов в одном секторе, вычисляется по формуле:

$$N_{k.сек} = \left(\frac{N_k}{N_{кл} * M_{сек}} \right) \quad (3.4)$$

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Дата			27

где N_k – общее число каналов;
 $N_{кл}$ – размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов eNB, примем равным 3;
 $M_{сек}$ – количество секторов eNB, принятое 3.

$$N_{k.сек} = \left(\frac{250}{3*3} \right) = 27(\text{каналов}).$$

3.3 Расчет параметров трафика

Следующим этапом будет определение числа каналов трафика в одном секторе одной соты $N_{кт.сек}$. Число каналов трафика рассчитывается по формуле:

$$N_{кт.сек} = N_{кт1} \cdot N_{к.сек}, \quad (3.5)$$

где $N_{кмл}$ – число каналов трафика в одном радиоканале, определяемое стандартом радиодоступа (для OFDMAN $N_{кмл} = 1.3$); для сети LTE выберем $N_{кмл}=1$.

$$N_{кт.сек} = 1 \cdot 27 \approx 27 (\text{каналов}).$$

В соответствии с моделью Эрланга, представленной в виде графика на рисунке 3.1, 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 $A_{сек} = 20$ Эрл.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

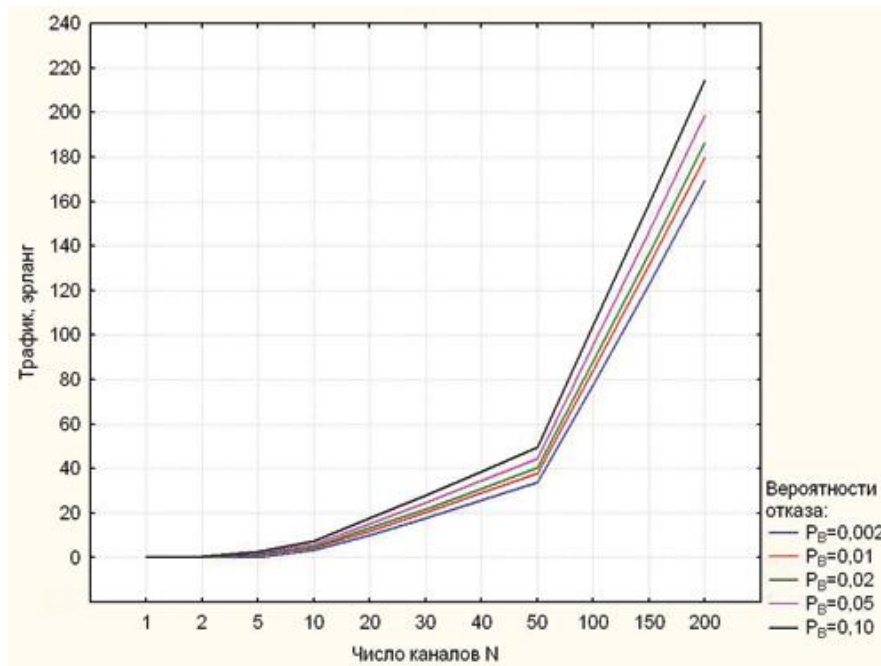


Рисунок 3.1 – Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки

Далее определим по формуле 3.6 число абонентов, которые будут обслуживаться одной eNB:

$$N_{аб.eNB} = M_{сек} \cdot \left[\frac{A_{сек}}{A_1} \right], \quad (3.6)$$

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 0,166 Эрл. Таким образом:

$$N_{аб.eNB} = 3 \cdot \left[\frac{20}{0,06} \right] \approx 1000 \text{ (абонентов).}$$

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

$$N_{eNB} = \left[\frac{N_{аб}}{N_{аб.eNB}} \right] + 1 \quad (3.7)$$

где $N_{аб}$ – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определим как 1/4 от общего числа жителей. В данном случае число жителей Невинномысска составляет 117000 человек.

Таким образом, количество потенциальных абонентов составит 29000 человек, тогда:

$$N_{eNB} = \left[\frac{28000}{1000} \right] + 1 \approx 29 (eNB).$$

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

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

$$R_N = (360 + 182.25) \cdot 29 \approx 15725.25 \text{ (Мбит/с)}.$$

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

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

где T_m - средний трафик одного абонента в месяц, $T_m = 30$ Гбайт/мес;

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

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

$$R_{m.ЧНН} = \frac{30}{7 \cdot 30} = 0,14 \text{ (Мбит/с)}$$

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

$$R_{общ./ЧНН} = R_{m.ЧНН} \cdot N_{акт.аб}, \quad (3.10)$$

где $N_{акт.аб}$ - число активных абонентов в сети; определим число активных абонентов в сети как 80% от общего числа потенциальных абонентов $N_{аб}$, то есть $N_{акт.аб} = 23200$ абонентов.

$$R_{общ./ЧНН} = 0,14 \cdot 23200 = 3248 \text{ (Мбит/с)}.$$

Таким образом, $R_N > R_{общ./ЧНН}$. Проектируемая сеть не будет подвергаться перегрузкам в ЧНН, если данное условие будет выполняться.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		30

Величину радиуса покрытия одной БС можно определить, используя выражение

$$R = \sqrt{1,21 \frac{S_0}{N_{BTS} \cdot \pi}}, \quad (3.11)$$

$$R = \sqrt{1,21 \frac{80}{28 \cdot \pi}} = 1,863 \text{ км}$$

3.4 Энергетический расчет

Величина защитного расстояния между BTS с одинаковыми частотными каналами определяется соотношением

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

$$D = 1,963\sqrt{3 \cdot 4} = 6,86 \text{ км.}$$

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

$$P_{ош} \approx \frac{1}{(\sqrt{3} \cdot C - 1)^{2 \cdot k}}, \quad (3.13)$$

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

3.5 Расчет эффективности использования радиоспектра

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

$$\gamma = \frac{N}{\Delta F}, \quad (3.14)$$

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Дата			31

где полоса частот на передачу (или прием) $\Delta F = F_k \cdot N_{KBTS} \cdot C$, число активных абонентов $N_a = N_{KBTS} \cdot N_{BTS} = N_{KBTS} \cdot 1,21 \cdot \left(\frac{R_0}{R}\right)^2$.

$$\gamma = 1,21 \cdot \frac{R_0^2}{R^2 \cdot F_K \cdot C}, \quad (3.15)$$

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

Отсюда

$$\gamma = 1,21 \frac{S_0/\pi}{R^2 \cdot F_K \cdot C} = 1,21 \frac{S_0}{\pi \cdot R^2 \cdot F_K \cdot C}, \quad (3.16)$$

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

На рисунках 3.2 и 3.3 представлен план расположения сот на территории города Невинномыска Ставропольского края.

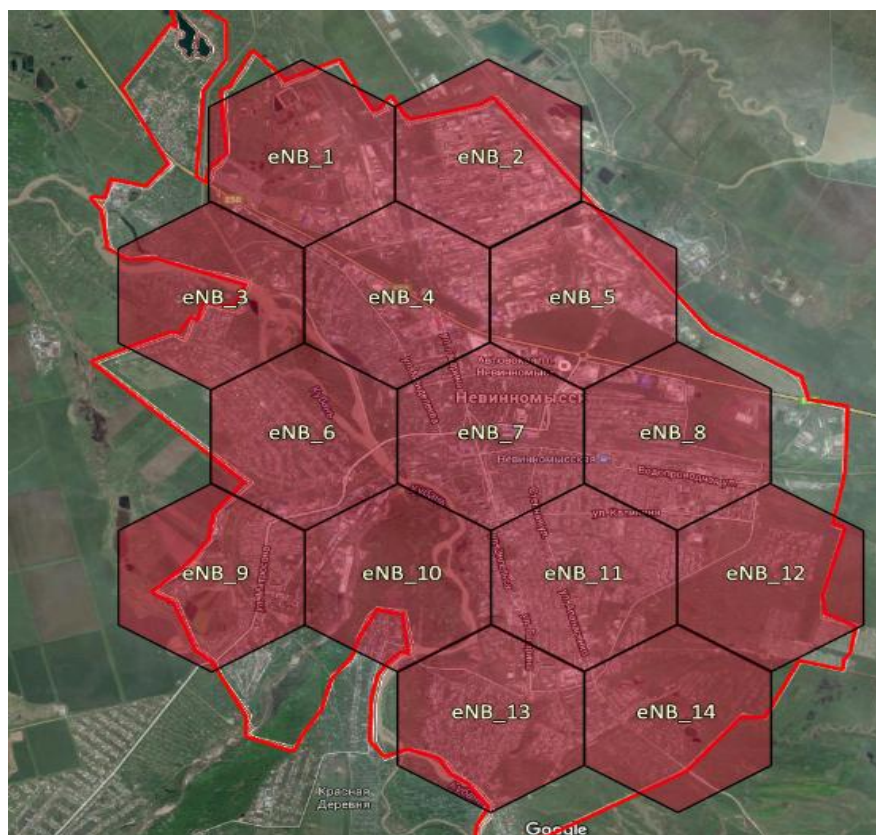


Рисунок 3.2 – Сотовый план расположения макросот сети LTE г.Невинномысск Ставропольский край.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		32

На рисунке 3.2 видно как 14 базовых станций типа макро полностью покрывают территорию города, но в местах большого скопления людей данного покрытия не достаточно так как абонентская нагрузка на БС высокая и возможны перегрузки. Для решения данной проблемы установим дополнительно в местах с высокой плотностью заселения базовые станции типа микро рисунок 3.3.

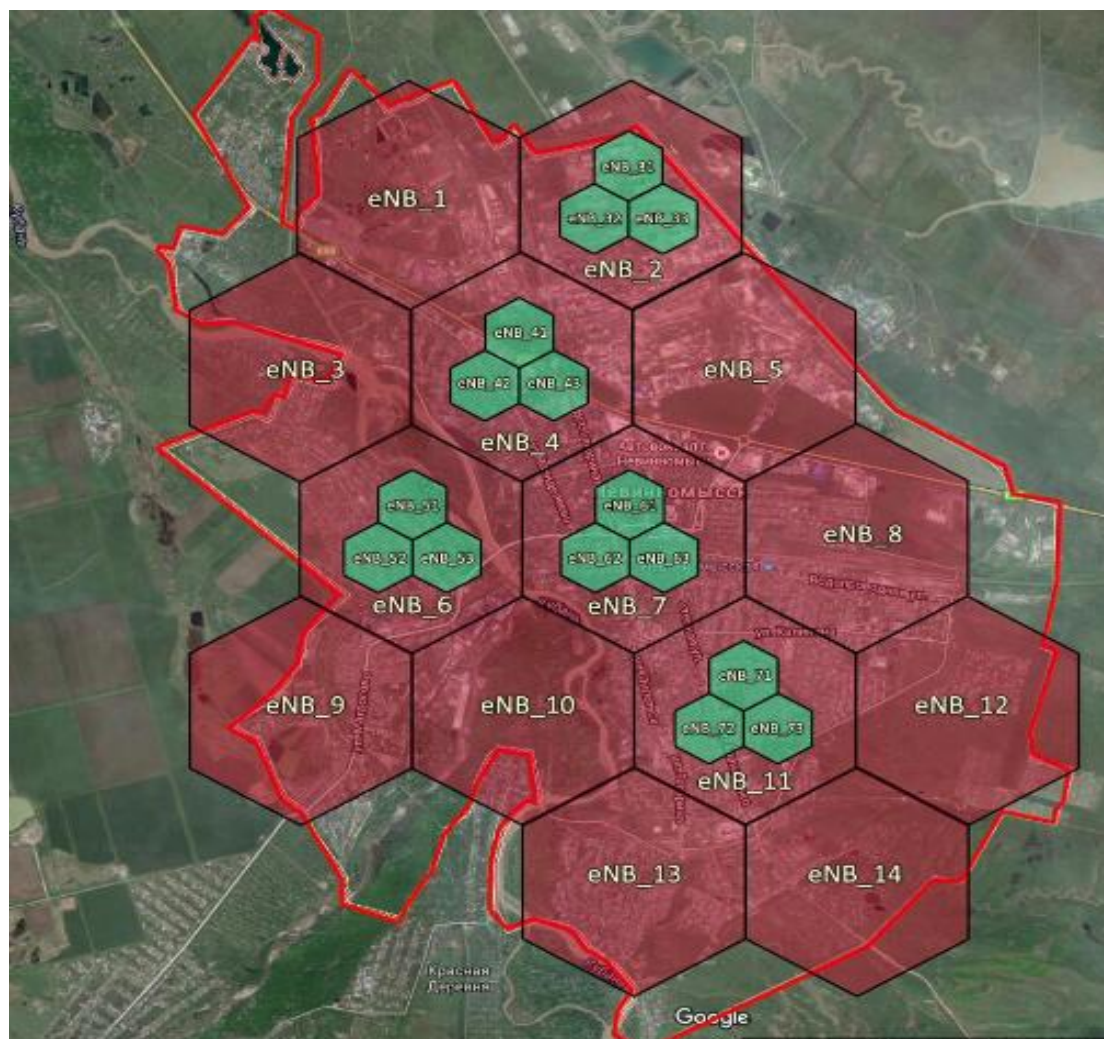


Рисунок 3.3 – Сотовый план расположения микросот сети LTE г.Невинномысск Ставропольский край.

На рисунке 3.3 видно, что дополнительно установленные 15 микро-базовых станций, позволят уменьшить нагрузку на территории плотного заселения.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		33

4 РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE

При планировании LTE-сети радиосвязи имеет ряд отличий от процесса планирования других беспроводных технологий радио. Основное различие - это использование нового типа множественного основе технологии OFDM доступа, и, следовательно, новые концепции и алгоритмы для изменения дизайна. Процесс планирования радиосети состоит из двух этапов:

- Формирование максимального охвата площади;
- Обеспечение необходимого потенциала.

Планирование радио LTE-будет происходить в городском районе, а это означает, что плотность абонентов является высокой, и базовые станции должны находиться на минимальном расстоянии друг от друга для того, чтобы закрывать каждой eNB максимальные территории. В связи с этим необходимо выбрать нужный диапазон частот. В этом случае необходимо следовать правилу, чем ниже частоты, тем дальше распространение радиосигнала. Диапазон частот 1710-1755 МГц и 2110-2155 вполне подходит для выполнения этой задачи. Тип выбираем частотный дуплекс FDD.

4.1 Расчет зон радиопокрытия

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.

При расчетах будем использовать следующие параметры:

- системная полоса: 15 МГц; для FDD = 7,5/7,5 (DL/UL);

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		34

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

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

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

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

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

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

DL = 18 дБи, UL = 0 дБи;

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

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

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

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

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

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

где $P_{вых.нрд}$ – выходная мощность передатчика. $P_{вых.нрд}$ в линии «вниз» (DL) в LTE зависит от ширины полосы частот сайта, которая может

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

колебаться от 1,4 до 20 МГц. В пределах до 5 МГц рационально выбрать передатчики TRX мощностью 20 Вт (43 дБм), а свыше 5 МГц – 40 Вт (46 дБм). $P_{\text{вых.прд}}$: DL = 46 дБм, UL = 33 дБм.

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

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

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

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

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

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

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

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

Для линии DL:

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						36
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

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

Для линии UL:

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

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.

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

$$L_2 = 69,5 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg h_t) \cdot \lg d \quad (4.4)$$

где f_c – частота от 150 до 1800 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:

• $f_c = 1710 - 1755$ МГц;

• $h_t = 36$ метров;

• $h_r = 3$ метра.

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Дата			

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

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg 850 - 0,7) \cdot 3 - (1,56 \cdot \lg 850 - 0,8) = 4,034$$

Вычислив из формулы (4.4) радиус соты, получим, что $d \approx 2$ км.

Рассчитаем площадь S_{eNB} покрытия по формуле:

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

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 2^2 \approx 7,65 \text{ (км}^2\text{)}.$$

4.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории города Невинномысск

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

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

Минимальное количество базовых станций eNB, необходимых для обеспечения устойчивым радиосигналом районов на территории планирования со-

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		38

ставляет 14 штук. Таким образом, строится сеть, все eNB которой имеют следующие характеристики:

мощность каждого передатчика – 40 Вт;

высота подвеса антенны – 36 метров;

число приемопередатчиков TRX – 3 (по одному на каждый сектор);

системная полоса для одного сектора – 15 МГц (7,5 МГц для линии «вверх» и 7,5 МГц для линии «вниз»);

линия «вниз» поддерживает технологию MIMO4×4;

пропускная способность: линия «вниз» - 120 Мбит/с, линия «вверх» - 60,75 Мбит/с.

Зона радиопокрытия для базовых станций представлена на рисунке 4.2, а ЗРП для микросотовой структуры представлена на рисунке 4.3.

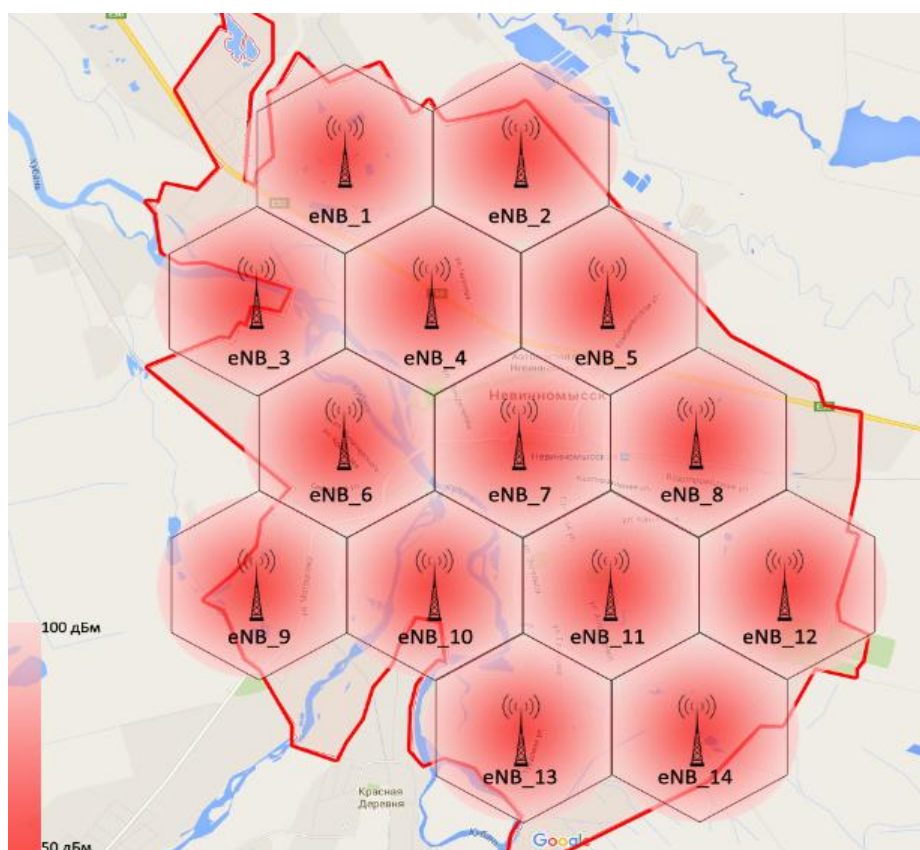


Рисунок 4.2 – Зона радиопокрытия сети LTE (макросоты) в г. Невинномысск Ставропольского края

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		39

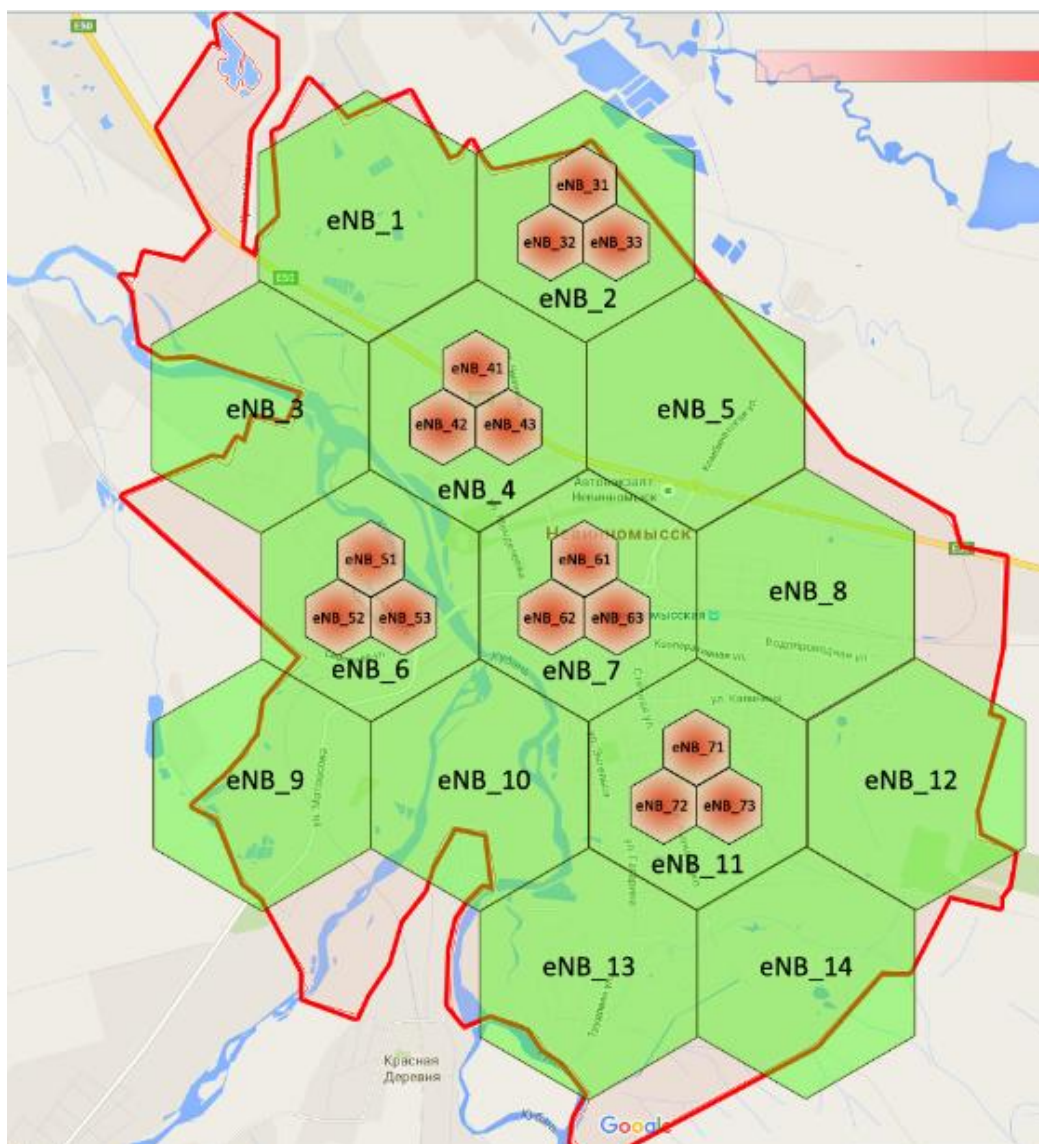


Рисунок 4.3 – Зона радиопокрытия сети LTE (микросоты) в г. Невинномысск Ставропольского края

Этап оптимизации сети LTE, наступает сразу же после введения её в эксплуатацию. В ходе оптимизации наступает этап корректирования выполненного планирования, а именно: увеличение пропускной способности сети, изменение высоты подвеса радиомодулей, понижение или повышение излучаемой мощности радиомодулей. Частотно-территориальный план сети представлен на рисунке 4.4

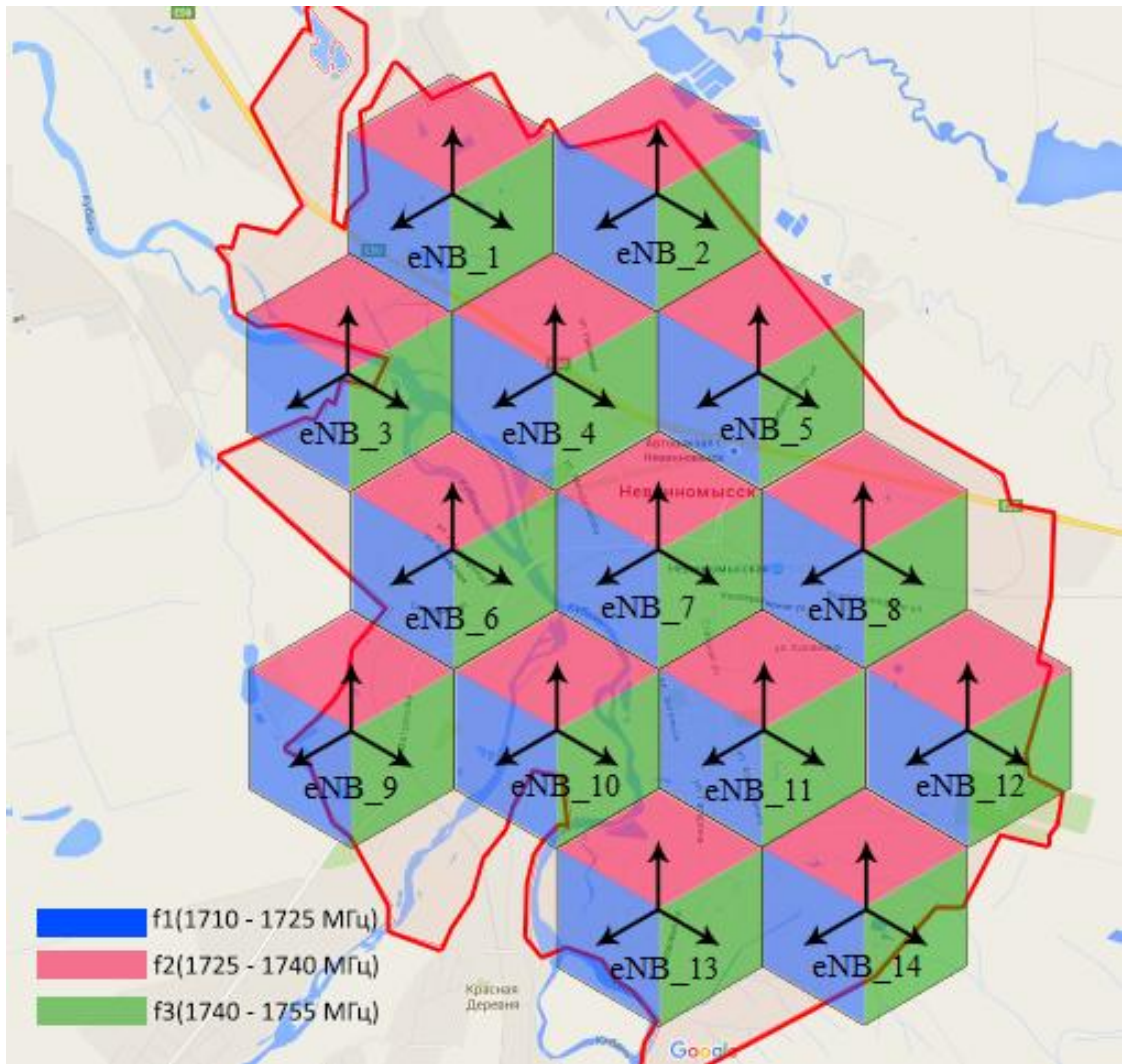


Рисунок 4.4 – Частотно-территориальный план сети.

Частотно-территориальный план на рисунке 4.4 показывает, что данное расположение базовых станций позволяет адаптироваться к условиям территориальных и частотных ограничений планируемой зоны обслуживания.

5 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТИПА ЛИНИЙ СВЯЗИ

Согласно рассчитанной емкости сети, информационной нагрузке по определению зон радиопокрытия, для организации широкополосного доступа по технологии LTE Advanced в г. Невинномысск потребуется 14 базовых станций типа «макро». Также для мест с большой концентрацией абонентов это центр города и многоэтажная застройка планируется организовать дополнительно 15 микросот. Пропускная способность каждой eNB на начальном этапе функционирования сети составит 360 Мбит/с, а всей сети LTE Advanced в г. Невинномысск 10,44 Гбит/с. После запуска сети в работу наступает этап оптимизации сети, в ходе которого пропускная способность базовых станций может быть увеличена способом размещения дополнительных радиомодулей. Для реализации сети Широкополосного Радиодоступа выбран производитель оборудования компания Ericsson.

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

Сервисные шлюзы (S-GW, P-GW, SIP, SGSN) реализованы на модулях SSR-8000 и входят в состав EPC. Аппаратура на которой реализована EPC имеет в своём составе оптические интерфейсы для подключения к внешним сетям и для подключения базовых станций.

Важно отметить, что с помощью технологии SRVCC реализованной в EPC с помощью SSR-8000 имеется возможность обеспечить передачу голосового трафика в сетях LTE. При нахождении абонента в зоне обслуживания сети LTE передача голоса будет реализовываться на основе SIP телефо-

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		42

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

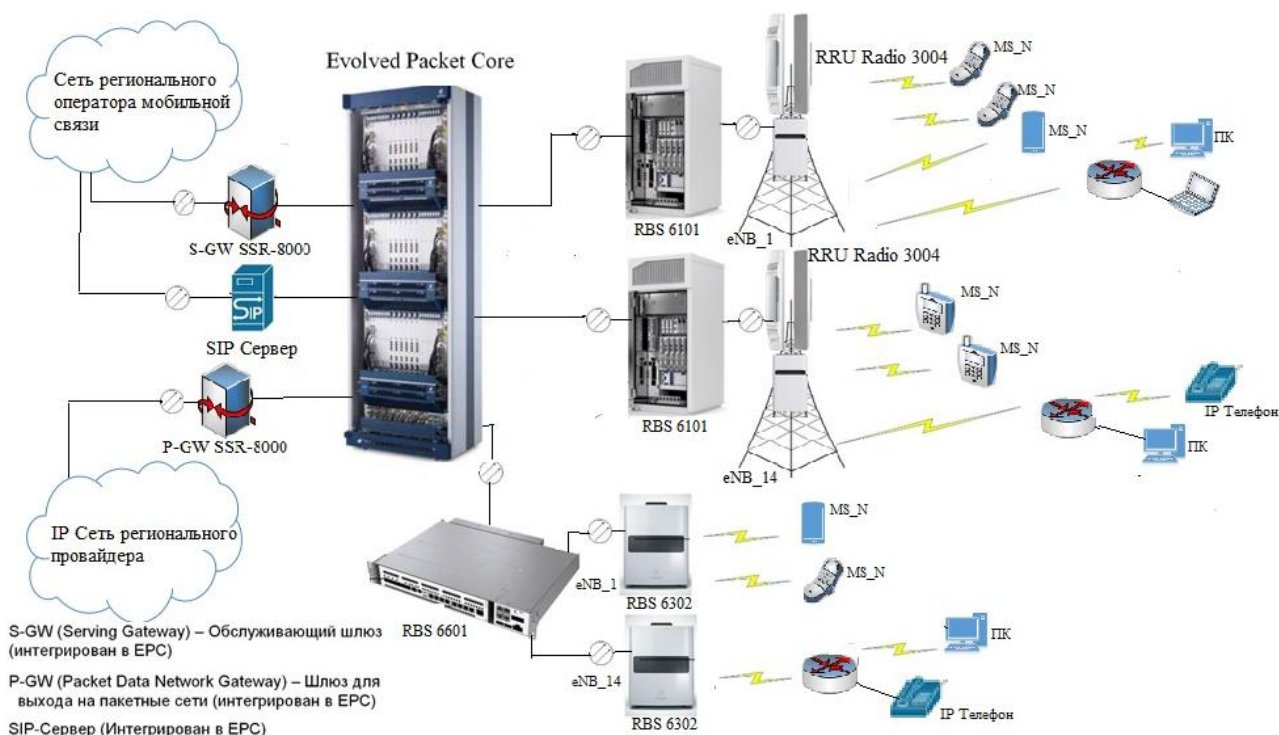


Рисунок 5.1 - Проектируемая схема организации связи сети LTE в г. Невинномысск

Оборудование Evolved Packet Core (EPC)

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

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



Рисунок 5.2 – Внешний вид EPC.

Ключевые особенности:

Объект управления мобильностью (SGSN-MME) обеспечивает переключение пакетов данных и управления мобильностью / сессии в GSM, WCDMA и LTE сетях. Он имеет отличные, проверенные Интернет-провайдерами широкие функциональные возможности, которые оптимизируют работу сети и минимизируют общую стоимость эксплуатации. SGSN обновляется за счет гладкого обновления программного обеспечения сервера SGSN-MME для Evolved Packet Core сетей. SGSN-MME поддерживает тройной доступ 3GPP, GSM, WCDMA и LTE и может быть

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		44

включен в SGSN-MME состав. Опираясь на проверенное программное обеспечение и функциональность, новая платформа SGSN-MME MkVIII компании Ericsson позволяет расширить возможности для удовлетворения даже самых агрессивных прогнозов роста трафика в сетях широкополосного радиодоступа. Данный сетевой узел обеспечивает отличную масштабируемость, которая поддерживает 18 миллионов пользователей на узел и до 1152000000 пользователей при использовании в объединенной конфигурации. Ключевые особенности и характеристики включают в себя:

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

SGSN-MME оснащен многоцелевыми аппаратными средствами, обеспечивая экономичный переход к Evolved Packet Core архитектуре (как определено в 3GPP). Благодаря мощной аппаратуре, миграция и преобразование SGSN с Mobility Management (MME) возможно при обновлении программного обеспечения. Компания Ericsson - первая компания, которая сделала эту эволюцию в сторону архитектуры на сетевой IP-основе. В апреле 2008 года была реализована функция 3G Direct Tunnel в торговой сети. 3G Direct Tunnel позволяет пускать трафик в обход SGSN-MME, что значительно увеличивает пропускную способность сети и позволяет SGSN функционировать в качестве сервера

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Дата			45

сигнализации MME. Такие функции реализованы в SGSN только с помощью программного обеспечения.

Технология SRVCC - Standardized Single Radio Voice Call Continuity

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

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

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

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

EPG может быть развернут в следующих режимах или их сочетаниях:

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

Перспективность

Пользователям, имеющим Ericsson EPG, которые используют M120 или M320 платформы для своих сетей 3GPP могут легко перейти на LTE с помощью обновления программного обеспечения. Существующие клиенты,

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		46

которые требуют более высокую масштабируемость могут заменить вышеупомянутые платформы на семейство продуктов SSR 8000. Этот подход сохраняет оперативность и особенности паритета при сохранении клиентской системы интеграции, так как все существующие интерфейсы других основных узлов пакетной сети сохраняются.

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

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

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

- многоуровневые услуги с настройкой динамических QoS на устройствах конечных пользователей;
- Встроенная функциональность по глубокой проверке пакетов (DPI);
- надежность Телеком-класса с полной устойчивости сессий;
- Масштабируемость 30М IP сессий и 60 млн носителей;
- Масштабируемость транзакций в секунду: 300К + - это очень важный показатель для стабильности LTE сети;
- Пропускная способность выше 100 Гбит;
- Низкая потребляемая мощность - 40 Вт на 100 тыс PDP;
- Полное соответствие со стандартами 3GPP.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		47

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

Base Station (BS) eNB

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

Макро соты

Соты, обеспечивающие макро покрытие территории это основной строительный блок в эффективной радиосети. Макро-соты характеризуются масштабируемостью, гибкостью и централизованным управлением и эффективно используют выделяемое для них пространство. RBS 6000 включает в себя полный спектр макро базовых станций для различных приложений. Они являются масштабируемыми с точки зрения мощности, в то же время сохраняя отличные возможности охвата, который является одним из ключевых параметров семейства RBS 6000. Серия RBS 6000 предназначена для поддержки гибкого набора технологий GSM, WCDMA, LTE и CDMA в рамках одной и той же базовой станции.

Удаленные соты

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		48

при более низкой выходной мощности, тем самым снижая энергопотребление и как следствие капитальные и эксплуатационные расходы.

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

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

Гибридные соты

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

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

Соты малого радиуса

Добавление небольших сот является одним из трех компонентов в инструментах гетерогенных сетей (HetNet). Для этой цели, RBS 6000 также включает в себя ряд продуктов, поддерживающих присоединение таких маленьких сот. Продукты имеют выходную мощность и емкость, подготовленную для

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		49

применения, а также ненавязчивый дизайн, что делает их идеальными для установки практически в каждой среде или здании.

Ericsson RBS 6101

Малая открытая базовая станция



Рисунок 5.3 – Внешний вид RBS 6101.

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

Описание продукта

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

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		50

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

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

RBS Модули

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

Удаленный радиоблок (RRU)

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

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

Antenna Integrated Radio (AIR)

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

Установка уменьшенных модулей AIR в соте позволяет:

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		51

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

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

Одна единица AIR может реализовывать один активный диапазон частот в одном секторе. AIR модуль поддерживает стандарты GSM, WCDMA и LTE. Каждый блок AIR может поддерживать один или комбинацию из двух стандартов.»[15]

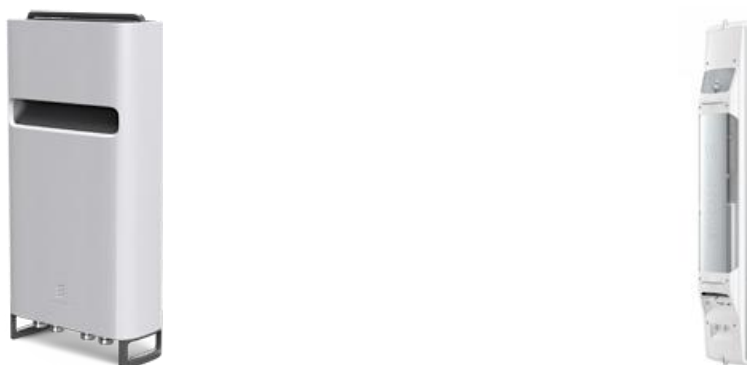


Рисунок 5.4 – Внешний вид блоков RRU и AIR.

Ericsson RBS 6601

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

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

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		52

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



Рисунок 5.5 – Внешний вид блоков RRU и AIR.

Сотовые RBS решения

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

Основные преимущества решений RBS , являются:

Продукты прошедшие предварительные испытания

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

Глобальные услуги

Служба Global Services имеет уникальный, всеобъемлющий набор, поддерживающий и оптимизирующий сотовые продукты и решения от

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		53

Ericsson. Это приводит к поддержке и формированию нового поколения развития телекоммуникационной индустрии, предоставляя нашим клиентам полный спектр услуг; от установки до управляемых услуг.

Заказ на основе потребностей клиента

Компания имеет прямые поставки, которые адаптированы для решения центральных, региональных и местных потребностей. Процесс заказа очень прост; с запросом необходимо предоставить только некоторые основные характеристики для требуемой функциональности.

Системная проверка продуктов

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

Продукты из раздела сотовых RBS решений:

Антенные системы (антенны, ТМА, фильтры, фидеры);

Установочные материалы и инструменты;

Питание для наружного и внутреннего RBS;

Позиционирование и синхронизация

Передача;

Ericsson Media Gateway for Mobile Networks M-MGW

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

Описание продукта:

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		54

Media Gateway для сетей мобильной связи (M-MGW) является высокопроизводительный медиа продукт используемый на глобальном уровне почти в 400 сетях. Это решение для таких проблем с которыми операторы сталкиваются сегодня и в будущем, например, как оптимизировать затраты на голосовые продукты и как защитить доходы в меняющихся условиях телефонии.

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

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

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		55

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

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



Рисунок 5.6 – Внешний вид блока Media Gateway.

Система радио-релейной связи MINI-LINK PT

Система MINI-LINK PT является открытым продуктом и оптимизирована для пакетных сетей, с использованием Radio Ethernet протокола. MINI-LINK PT может быть легко развернута в отдельно стоящих местах и/или конечных объектов, где имеется соединение Ethernet. Кроме того, систему можно развернуть в сочетании с другими MINI-LINK узлами, например, MINI-LINK SP & MINI-LINK TN. Различные продукты MINI-LINK

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		56

PT оптимизированы для различных сценариев и задач. MINI-LINK PT 2020, идеально подходит для создания радиомостов прямой видимости. Основные удаленные, микро / пико-соты в традиционном диапазоне частот, 6-42 ГГц. MINI- LINK PT 3060 предназначена для малых сот в виде резервного канала или основного между eNB соединения с инновационным дизайном и охватывает нелицензионную полосу на несущей 60 ГГц.



Рисунок 5.7 – Внешний вид блоков RRU и AIR.

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Дата			

6 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА

6.1 Электромагнитные излучения, их воздействие на человека и принципы нормирования и защиты

«Электромагнитные поля по природе происхождения классифицируют на природные и антропогенные. Природными источниками являются электрическое и магнитное поля Земли и радиоволны генерируемые космическими источниками. Естественное электрическое поле Земли обычно находится в диапазоне от 100 до 500В/м и создается избыточным отрицательным зарядом на поверхности. Геомагнитное поле Земли состоит из основного (постоянного) поля его вклад составляет приблизительно 99% и переменного поля - его вклад $\approx 1\%$. Существование постоянного магнитного поля объясняется процессами протекающими в жидком металлическом ядре Земли в средних широтах его напряженность примерно 40А/м. Переменное геомагнитное поле имеет широкий диапазон частот: от 10-5 до 102 Гц, амплитуда может достигать сотых долей А/м. Помещения и технические средства изменяют геомагнитное поле.

Развитие научно- технического прогресса привело к появлению большого количества техногенных источников электромагнитного воздействия, число которых продолжает постоянно увеличиваться. Действуют электромагнитные источники постоянно в течение всего времени суток и охватывают значительные территории и практически все население. Электромагнитное излучение производственного оборудования, которое генерирует, использует и передает электромагнитную энергию, в том числе и в рабочую зону, изменяет физические факторы производственной среды и оказывает воздействие на организм работающего человека. Источниками электромагнитного излучения являются линии электропередач, трансформаторные подстанции, транспорт на электро-

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

приводе, антенно-фидерные системы, видеодисплейные терминалы и др»[8 с.61].

Электромагнитные поля классифицируются по длине волны или частоте излучения и подразделяются на электрическое низкочастотное излучение и высокочастотное излучение:

«Источники низкочастотных излучений (0 - 3 кГц). Эта группа включает в себя все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (линии электропередачи, трансформаторные подстанции, электростанции, различные кабельные системы), домашнюю и офисную электро- и электронную технику, в том числе и мониторы ПК, транспорт на электроприводе, ж/д транспорт и его инфраструктуру, а также метро, троллейбусный и трамвайный транспорт.

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

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		59

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

С нарушением нейроэндокринной регуляции связывают эффект со стороны сердечно-сосудистой системы, системы крови, иммунитета, обменных процессов, воспроизводительной функции и др. Влияние на иммунную систему выражается в снижении фагоцитарной активности нейтрофилов, изменениях комплиментарной активности сыворотки крови, нарушении белкового обмена, угнетении Т-лимфоцитов. Возможны также изменение частоты пульса, сосудистых реакций. Описаны изменения кроветворения, нарушения со стороны эндокринной системы, метаболических процессов, заболевания органов зрения.

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

В зависимости от диапазона частот в основу гигиенического нормирования электромагнитных излучений положены разные принципы. Критерием безопасности для человека, находящегося в электрическом поле промышленной частоты, принята напряжённость этого поля. Гигиенические нормы для персонала, который систематически находится в этой зоне, установлены ГОСТ 12.3.002-75 («ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности»)[12].

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		60

7 ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

В данной главе дипломного проекта проводится технико-экономическое обоснование организации широкополосного радиодоступа доступа в г. Невинномысск с использованием технологии LTE Advanced.

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

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

7.1 Расчет капитальных вложений на первом этапе

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

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

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

Определим затраты на прокладку кабеля.

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		61

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

где $C_{ок}$ – цена прокладки 1 км оптического кабеля в трубе, $C_{ок} = 200000$ руб.;

$L_{ок}$ – длина прокладываемого оптического кабеля, $L_{ок} = 20$ км.

$$C_{\Sigma} = 200000 * 20 = 4000000 \text{ (руб.)}$$

Расчет капитальных вложений на первом этапе приведен в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Расчет капитальных вложений на первом этапе

Наименование и техническая характеристика оборудования, типы выполняемых работ	Количество	Цена единицы с НДС 18%, руб.	Стоимость итого, руб.
Сетевое оборудование			
Базовая станция «RBS-6101», производитель «Ericsson»	14	460000	6440000
Базовая станция «RBS-6302», производитель «Ericsson»	15	270000	4050000
Распределенная БС RBS-6601	1	420000	420000
RRU «Radio 2217» производитель «Ericsson»	42	73000	3066000
Антенна приемо-передающая производитель «Ericsson»	42	25000	1050000
Вспомогательные компоненты для монтажа	42	8000	336000
Evolved Packet Core (EPC)	1	465000	465000
Evolved Packet шлюз (EPG) SSR-8000	1	1650000	1650000
Media Gateway	1	170000	170000
Программное обеспечение шлюзов, SIP, MME	1	820000	820000
Итого			18467000
Тара и упаковка		0,5%	92334,5
Транспортные расходы		4%	738680
Заготовительно-складские расходы		1%	184670
Установка и настройка		15%	2770050
Сумма			3785735
Дополнительное оборудование			
Установочно-монтажные комплекты	14	150000	2100000
Антенно фидерные тракты, сигнализация и	14	15000	210000
Контейнер цельнометаллический для размещения оборудования eNB, производитель ООО «ПМК»	14	18000	252000
ИБП Liebert«GXT2-1500 RT230»	14	30000	420000

Окончание таблицы 7.1

Блок грозозащиты	14	1500	21000
Сплит-система «Hitachi Luxury RAS/RAC-0,8 LH1/LH2»	14	8000	112000
Конвектор «Timit W4CT 1104D 1500W»	14	2500	35000
Итого			3150000
Тара и упаковка		0,5%	17500
Транспортные расходы		4%	140000
Заготовительно-складские расходы		1%	35000
СМР		15%	525000
Итого			717500
ИТОГО по смете			26120235
Неучтенное оборудование		10%	2612023,5
C_{Σ}	20 км.	200000	4000000
ВСЕГО			32 732 258

«При приобретении оборудования обычно предусматриваются следующие расходы: $K_{пр}$ – Затраты на приобретение оборудования; $K_{тр}$ – транспортные расходы в т.ч. таможенные расходы (4% от $K_{пр}$); $K_{смр}$ – строительномонтажные расходы (20% от $K_{пр}$); $K_{т/у}$ – расходы на тару и упаковку (0,5% от $K_{пр}$); $K_{зср}$ – заготовительно-складские расходы (1,2% от $K_{пр}$); $K_{нпр}$ – прочие непредвиденные расходы (3% от $K_{пр}$)»[10]

Таким образом, общие капитальные вложения рассчитываются как:

$$KB = K_{об} + (K_{пр} + K_{тр} + K_{смр} + K_{т/у} + K_{зср} + K_{нпр})K_{об} + K_{каб}, \text{ руб} \quad (7.2)$$

$$KB = 32732258 + 32732258 * (0.04 + 0.2 + 0.03 + 0.012 + 0.005) + 4000000 = 46126416$$

7.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Эксплуатационными расходами ($P_{эк}$) называются текущие расходы предприятия на производство услуг связи. В состав эксплуатационных расходов входят все расходы на содержание и обслуживание сети. Эксплуатацион-

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		63

ные расходы по своей экономической сущности выражают себестоимость услуг связи в денежном выражении. В связи эксплуатационные расходы рассчитываются на основе группировки затрат по экономическим элементам, принятой для всех отраслей экономики предприятий всех форм собственности

- затраты на оплату труда работников;
- страховые взносы в государственные внебюджетные фонды;
- амортизационные отчисления;
- материальные затраты;
- прочие расходы;
- отчисления на НИОКР.

Затраты на оплату труда

Для расчета годового фонда заработной платы необходимо определить численность штата производственного персонала. Выбранное в дипломном проекте оборудование не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала. Поэтому вся группа по обслуживанию оборудования будет состоять из ниже перечисленных специалистов для аварийно-профилактических работ. В таблице 7.2 приведен рекомендуемый состав обслуживающего персонала.

Таблица 7.2 – Состав обслуживающего персонала

Наименование должностей	Оклад, руб.	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Ведущий инженер	25000	1	25000
Инженер по обслуживанию сети	22000	2	44000
Электромеханик	20000	2	40000
Монтажник высотник	20000	3	60000
Итого (ФЗП)		8	169000

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

$$\Phi OT_2 = \Phi ЗП \cdot N_m \cdot Pr \cdot K_p \cdot K_{вр}, \quad (7.3)$$

где $\Phi ЗП$ – основной фонд заработной платы, $\Phi ЗП = 169000$ руб.;

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

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

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

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

$$\Phi OT_2 = 169000 \cdot 12 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1,04 = 3031860 \text{ (руб.)}$$

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

$$СВ = \Phi OT_2 \cdot 0,3$$

$$СВ = 2098980 \cdot 0,3 = 909558 \text{ (руб.)}$$

Амортизационные отчисления.

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

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

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

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

$$A = 32732258,5 \cdot 0,05 = 1636612,925 \text{ (руб.)}$$

Материальные затраты.

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

$$M_3 = Z_{эн} + Z_m, \quad (7.5)$$

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

Z_m – затраты на материалы и запасные части.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Дата			65

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

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

где T – тариф на электроэнергию, $T = 3,53$ руб./кВт/час;

P – мощность оборудования, для eNB $P = 1,075$ кВт.

$$Z_{э\text{н}} = 3,53 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1,075 = 33242,01 \text{ (руб.)}$$

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

$$Z_{\text{м}} = K \cdot 0,035 \quad (7.7)$$

$$Z_{\text{м}} = 32\,732\,258 \cdot 0,035 = 1\,145\,629,03 \text{ (руб.)}$$

Величина общих материальных затрат составит:

$$M_{\text{з}} = 33242,01 + 1\,145\,629,03 = 1\,178\,871,04 \text{ (руб.)}$$

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

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

где $Z_{\text{ар}}$ – стоимость одного места подвеса в год, $Z_{\text{ар}} = 213314$ руб.

$N_{\text{ар}}$ – количество арендуемых мест подвеса, $N_{\text{ар}} = 14$.

$$Z_{\text{общ. ар.}} = 213314 \cdot 14 = 2\,986\,396 \text{ (руб.)}$$

Прочие расходы

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

$$Z_{\text{пр}} = \Phi OT * 0,15$$

$$Z_{\text{эк}} = \Phi OT * 0,25 \quad (7.9)$$

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Дата			66

$$Z_{np} = (0,15+0,25) \cdot 3031860 = 1212744 \text{ (руб.)}$$

Отчисления на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) составляют 1,5% от всей суммы эксплуатационных расходов (если таковые предусмотрены).

Затраты на аренду частотного ресурса рассчитываются по формуле:

$$P_{Г(КВ)} = C_{Г} / 4 \times K_{\text{ДИАП}} \times K_{\text{РЧ}} \times K_{\text{ТЕХ}} \times ДР / ДК \quad (7.9)$$

где $P_{Г(КВ)}$ – размер ежегодной платы за квартал, $P_{Г}$ – размер ежегодной платы

$$P_{Г(КВ)} = 257400$$

$$P_{Г} = 1\,029\,600 \text{ руб.}$$

Результаты годовых эксплуатационных расходов приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Виды расходов	Сумма расходов, руб.
Фонд оплаты труда годовой ($\Phi O T_2$)	3031860
Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды ($C B$)	909558
Амортизационные отчисления (A)	1636612,925
Материальные затраты (M_3)	1145629,03
Аренда мест подвеса БС ($Z_{\text{общ.ар}}$)	2986396
Прочие расходы (Z_{np})	1212744
Аренда частоты	1029600
НИОКР	11373,475
ВСЕГО	11963773,4

Таким образом, общие эксплуатационные расходы равны 11963773,4 руб.

7.3 Расчет тарифных доходов

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

Всего абонентов проектируемой сети 29000 абонентов. В таблице 7.4 представлены показатели отображающие количество подключаемых абонентов в определенный период времени.

Таблица 7.4 – Количество подключаемых абонентов в определенный период времени (год).

Год	Абоненты	Общее количество подключаемых абонентов
1	7250	(25% от общего - 29000)
2	6525	(30% от оставшихся 21750)
3	5709	(37,5% от оставшихся 15225)
4	2284	(24% от оставшихся 9516)
5	1880	(26% от оставшихся 7232)
6	1311	(24,5% от оставшихся 5352)
7	1240	(30,7% от оставшихся 4040)
8	840	(30% от оставшихся 2800)
9	840	(100% от оставшихся 840)

Предполагаемые тарифные планы по предоставлению доступа в сеть Интернет с помощью мобильных устройств показаны в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Предполагаемые тарифные планы и их стоимость

Тарифный план	Скорость подключения	Стоимость тарифа, руб./мес.	Порог	Доля абонентов от $N_{аб.инт}$, %
Mini	до 1 Гбит/с	200	-	50
Standart	до 2 Гбит/с	250	-	25
Maxi	до 4 Гбит/с	300	50 Гб	15
Maxi +	до 8 Гбит/с	350	70 Гб	10

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

$$D_I = \sum_i T_i \cdot N_i \cdot 12, \quad (7.10)$$

где T_i – стоимость тарифного плана;

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

В таблице 7.5 представлены доходы от абонентской платы:

Таблица 7.5 Доходы от абонентской платы

Год	Количество абонентов	Доход, руб.
1	7250	21097800
2	6525	18984600
3	5709	16 609 800
4	2284	6625800
5	1880	5 470 800
6	1311	3815400
7	1240	3005760
8	840	2444400
9	840	2444400

7.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации

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

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

$$NPV = PV - IC \quad (7.11)$$

где PV – денежный доход,

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

$$PV = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} \quad (7.12)$$

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

i – норма дисконта,

T – количество лет, для которых производится расчет.

$$IC = \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}} \quad (7.13)$$

где I_n – инвестиции в n -ом году,

i – норма дисконта,

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		70

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

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

Таблица 7.6 – Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта

Год	Р	PV	I	IC	NPV
0	0,00	0,00	58 090 189	58 090 189	-58 090 189
1	21097800	19179818	11 963 773	68 966 347	-49 786 529
2	40082400	52305769	11 963 773	78 853 763	-26 547 994
3	56692200	86810392	11 963 773	87 842 323	7 057 134
4	6331800	130 057 438	11 963 773	96 013 741	42 132 762
5	68788800	172 769 870	11 963 773	103 442 303	77 416 633
6	72604200	213 753 049	11 963 773	110 195 542	111 646 573
7	75609960	252 552 913	11 963 773	116 334 849	144 307 130
8	78054360	288 965 848	11 963 773	121 916 038	175 138 877
9	80498760	323 105 181	11 963 773	126 989 845	204 204 401

Как видно из таблицы 7.6, положительная разница между доходами и расходами появляется на 3 год. Точный срок окупаемости приведен ниже.

Точный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

$$PP = T + NPV_n / (|NPV_{n-1}| + NPV_n) \quad (7.14)$$

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

NPV_n – положительный чистый денежный доход в n году;

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

$$PP = 3 + 7057134 / (33605128 + 7057134) = 3,21 \text{ года.}$$

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

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

(7.15)

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

$$PI = 94899458 / 87842323 = 1,08$$

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

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

IRR должен быть выше средневзвешенной цены инвестиционных ресурсов:

$$IRR > i$$

где i – ставка дисконтирования

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

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (7.16)$$

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Дата			72

$$I_1=10; NPV_1= 9596958, 10628889$$

$$I_2=18; NPV_2= -1031931$$

$$IRR = 10 + \frac{9596958}{9596958 - (-1031931)} (18 - 10) = 17,22 \%$$

Согласно расчётам, внутренняя норма доходности проекта составляет 17,22 %, что значительно больше значения цены капитала, за которое принято 10 %, что означает, что проект выгоден в реализации и функционировании.

Результаты произведённых расчётов технико-экономических показателей сводим в таблице 7.7.

Таблица 7.7-Технико-экономические показатели

Показатели	Значение
1. Емкость сети, количество абонентов	29000
2. Пропускная способность сети, Гбит/с	10,44
3. Количество базовых станций стандарта LTE, шт.	14+15
4. Капитальные вложения общие, руб.	46126416
6. Годовые эксплуатационные расходы руб.	11963773
10. Срок окупаемости капитальных затрат, лет	3 года 2 месяца
11. Рентабельность по чистой прибыли, %	8%
12. Численность персонала, человек	8
13. Внутренняя норма доходности (IRR)	17.22%

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что данный проект предоставления широкополосного доступа на базе технологии LTE Advanced в г. Невинномысск является экономически эффективным и его реализация целесообразна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной выпускной квалификационной работы была модернизирована мультисервисная сеть связи с организацией широкополосного радиодоступа на базе технологии LTE Advanced в городе Невинномысск Ставропольского края. Поставленные задачи были выполнены. Был проведен анализ существующей сети, в ходе которого было определено предполагаемое количество абонентов сети – 29000 пользователей. Согласно рассчитанной емкости сети, информационной нагрузке по определению зон радиопокрытия, для организации широкополосного доступа по технологии LTE Advanced в г. Невинномысск потребуется 14 базовых станций типа «макро». Также для мест с большой концентрацией абонентов - это центр города и многоэтажная застройка планируется организовать дополнительно 15 микросот. Пропускная способность каждой eNB на начальном этапе функционирования сети составит 360 Мбит/с, а всей сети LTE Advanced в г. Невинномысск 10,44 Гбит/с, что для базовой станции, рассчитанной на 1000 абонентов, вполне достаточно для широкополосного радиодоступа.

После запуска сети в работу наступает этап оптимизации сети, в ходе которого пропускная способность базовых станций может быть увеличена способом размещения дополнительных радиомодулей. Для реализации сети Широкополосного Радиодоступа выбран производитель оборудования компания Ericsson.

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 46126416 рублей. Была определена рентабельность по чистой прибыли равная 8% .Срок окупаемости составит 3 года и 2 месяца.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		74

Сеть связи широкополосного радиодоступа на базе технологии LTE Advanced проектировалась на начальном этапе исходя из территориального расположения абонентов. Вся территория города покрыта широкополосным радиодоступом с помощью 29 базовых станций. При дальнейшем увеличении числа пользователей сети возможно добавление оборудования доступа, так как при проектировании использовались технологии и принципы построения, обеспечивающие гибкость и масштабируемость сети.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.
2. Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009.
3. Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. – М: Горячая линия – Телеком, 2007.
4. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010.
5. Кааринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. – М.: Техносфера, 2007.
6. Печаткин А. В. Системы мобильной связи. Часть 1. – РГАТА, Рыбинск, 2008.
7. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.
8. Севастьянов Б.В., Лисина Е.Б. Учебно-методическое пособие для выполнения раздела «Безопасность и экологичность проекта» в дипломном проектировании. - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. – 61 с.
9. Трибушная В.Х. Учебно-методическое пособие для выполнения раздела «Технико-экономическое обоснование дипломного проекта» - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. – 25 с.
10. А.В. Болдышев Методические рекомендации по выполнению технико-экономического обоснования ВКР.
11. ГОСТ 464-79, «Заземления для стационарных установок проводной связи, радиорелейных станций, радиотрансляционных узлов и антенн систем коллективного приема телевидения».
12. РД 45.162-2001. Комплексы сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования.

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		76

13. 3GPP TS 36 104: «E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 9). April 2011. Абдул Базит. Расчет сетей LTE. – Хельсинский технологический университет, 2009.

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

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

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

					11070006.11.03.02.098 ПЗВКР	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.		Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА.....	6
1.1 Экспликация объекта.....	6
1.2 Анализ состояния существующей сети в г. Невинномысске.....	7
2 РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ.....	9
2.1 Определение перечня предоставляемых услуг.....	9
2.2 Описание технологии широкополосного радиодоступа LTE Advanced.....	13
3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ.....	25
3.1 Расчет пропускной способности сети.....	25
3.2 Расчет частотных каналов, для обслуживания абонентов БС.....	27
3.3 Расчет параметров трафика.....	28
3.4 Энергетический расчет.....	31
3.5 Расчет эффективности использования радиоспектра.....	31
4 РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE.....	34
4.1 Расчет зон радиопокрытия.....	34
4.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории города Невинномысска.....	38
5 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТИПА ЛИНИЙ СВЯЗИ.....	42
6 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА.....	58
6.1 Электромагнитные излучения, их воздействие на человека и принципы нормирования и защиты.....	58
7 ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....	61
7.1 Расчет капитальных вложений на первом этапе.....	61
7.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов.....	63

					11070006.11.03.02.098.ПЗВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		<i>Ворсин Н.А.</i>			Модернизация сети широкополосного радиодоступа в г. Невинномысске на базе технологии LTE Advanced	Лит.	Лист	Листов
Провер.		<i>Сидоренко И.А.</i>					3	77
Рецензент		<i>Скрыпников Р.</i>				<i>НИУ «БелГУ», зр_07001209</i>		
Н. контр.		<i>Сидоренко И.А.</i>						
Утв.		<i>Жуляков Е.Г.</i>						

7.3 Расчет тарифных доходов	68
7.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации.....	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	76

					11070006.11.03.02.098.ПЗВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		<i>Ворсин Н.А.</i>			Модернизация сети широкополосного радиодоступа в г. Невинномысске на базе технологии LTE Advanced	Лит.	Лист	Листов
Провер.		<i>Сидоренко И.А.</i>					3	77
Рецензент		<i>Скрыпников Р.</i>				<i>НИУ «БелГУ», гр._07001209</i>		
Н. контр.		<i>Сидоренко И.А.</i>						
Утв.		<i>Жуляков Е.Г.</i>						