

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

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК
Кафедра информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО
ДОСТУПА В МИКРОРАЙОН КЗТЗ Г. КУРСК**

Выпускная квалификационная работа студента

**очной формы обучения направления
подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи**

**4 курса группы 07001209
Янголенко Ольги Викторовны**

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

Рецензент К.т.н., ст. преп.
кафедры информационных
систем Жихарев А.Г

БЕЛГОРОД 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	6
1.1 Экспликация объекта	6
1.2 Анализ существующей телекоммуникационной инфраструктуры	7
2. РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ.....	12
2.1 Определение перечня предоставляемых услуг.....	12
2.2 Описание технологии широкополосного радиодоступа LTE	16
3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ.....	28
3.1 Расчет частотных каналов.....	28
4. РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE.....	36
4.1 Расчет зон радиопокрытия кластеров.....	36
4.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории микрорайона КЗТЗ.....	41
5. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТИПА ЛИНИЙ СВЯЗИ.....	45
5.1 Базовая станция eNodeB	45
5.2 Alcatel-Lucent 9471 Wireless Manager Mobility.....	47
5.3 Service Router - Mobile Gateway 7750.....	49
6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА.....	54
6.1 Расчет капитальных вложений в проект.....	54
6.1.1 Расчет капитальных вложений на первом этапе.....	55
6.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов.....	57
6.3 Расчет тарифных доходов.....	63
6.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта.....	65
7. ОХРАНА ТРУДА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА.....	70

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							
Разраб.		Янголенко О.В.			Проектирование сети беспроводного широкополосного доступа в микрорайон КЗТЗ г.Курск			Лит.	Лист	Листов	
Провер.		Пеньков Е.П.								2	81
Рецензент		Жихарев А.Г.						НИУ «БелГУ», гр.07001209			
Н.контр.		Пеньков Е.П.									
Утв.		Жуляков Е.Г.									

7.1 Биологическое действие СВЧ излучения. Методы защиты от СВЧ излучения.....	70
7.2 Техника безопасности при установке антенн.....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	79
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	80

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день уровень жизни человека определяется многими факторами, в числе которых находится доступность информационно-телекоммуникационных технологий и инфокоммуникационных услуг связи. Поэтому во многих крупных городах при возведении каких-либо крупных элитных жилых комплексов стараются реализовать и сетевую инфраструктуру, чтобы обеспечить доступ в сеть Интернет жителям таких жилых комплексов. Однако, реализовать высокоскоростную сеть связи не всегда возможно, так как может не позволять рельеф местности, низкая плотность абонентов, отсутствие спроса на услуги связи и т.п. Одним из таких микрорайонов является микрорайон КЗТЗ города Курск, который сочетает в себе элементы индивидуальной жилищной и многоэтажной застройки. В виду своей удаленности от центра города, микрорайон не попадает в зону радиопокрытия операторов связи, и предоставление современных инфокоммуникационных услуг с высокой скоростью сетями поколения 4G затруднительно.

Таким образом, ВКР посвящена проектированию сети широкополосного радиодоступа в микрорайоне КЗТЗ г. Курск, тема работы является актуальной. В качестве технологии стандарта 4G в данном дипломном проекте выбрана технология Long Term Evolution (LTE). Сотовые операторы модернизируют свои беспроводные инфраструктуры для поддержки стандарта LTE, который благодаря своим особенностям позволяет достаточно эффективно доставлять контент потребителям.

Целью данной работы является предоставление абонентам микрорайона КЗТЗ г. Курск современных инфокоммуникационных услуг посредством технологии беспроводного широкополосного доступа (БШПД) на базе LTE Advanced. Для реализации поставленной цели решен ряд задач:

- анализ инфраструктуры населенного пункта и существующей сети связи;

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 4

- выбор варианта реализации сети БШПД в микрорайоне КЗТЗ г. Курск;
- расчет параметров проектируемой сети, включающий расчет зоны радиопокрытия, частотных каналов и скорости передачи данных в сети;
- выбор и расчет объема оборудования;
- технико-экономическое обоснование.

Работа состоит из 7 глав, посвященных решению поставленных задач. Имеется графическая часть, в которой в виде схем изображены существующая схема организации связи микрорайона КЗТЗ г. Курск, проектируемая схема организации связи, ситуационный план расположения сот и зоны радиопокрытия.

					1 1070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1 Экспликация объекта

Курск — город в центральной России, расположен в 536 км к югу от Москвы, административный центр Курской области.

Современный Курск — крупный промышленный центр. В городе развита электротехническая промышленность, приборо- и станкостроение, производство машин и оборудования для аграрного сектора, пищевой и перерабатывающей промышленности, производство торгового оборудования, подшипников и аккумуляторов, производство химических волокон и резинотехнических изделий, мебели, производство лекарств, пищевая промышленность и др.

В городе Курске достаточно много современных комфортабельных жилых микрорайонов с развитой сетевой инфраструктурой, которые сосредоточены преимущественно в центре города. Однако в последнее время активно начали застраиваться площади находящиеся у окраины города в экологически чистых местах, что вызвало большой спрос на недвижимость в таких местах. Одним из таких объектов является микрорайон «КЗТЗ», находящийся в западной части города вблизи городской черты, рядом с транспортной развязкой и объездной трассой г. Курск (рис.1.1). Вид микрорайона представлен на рисунке 1.1, здесь же отмечены границы микрорайона.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

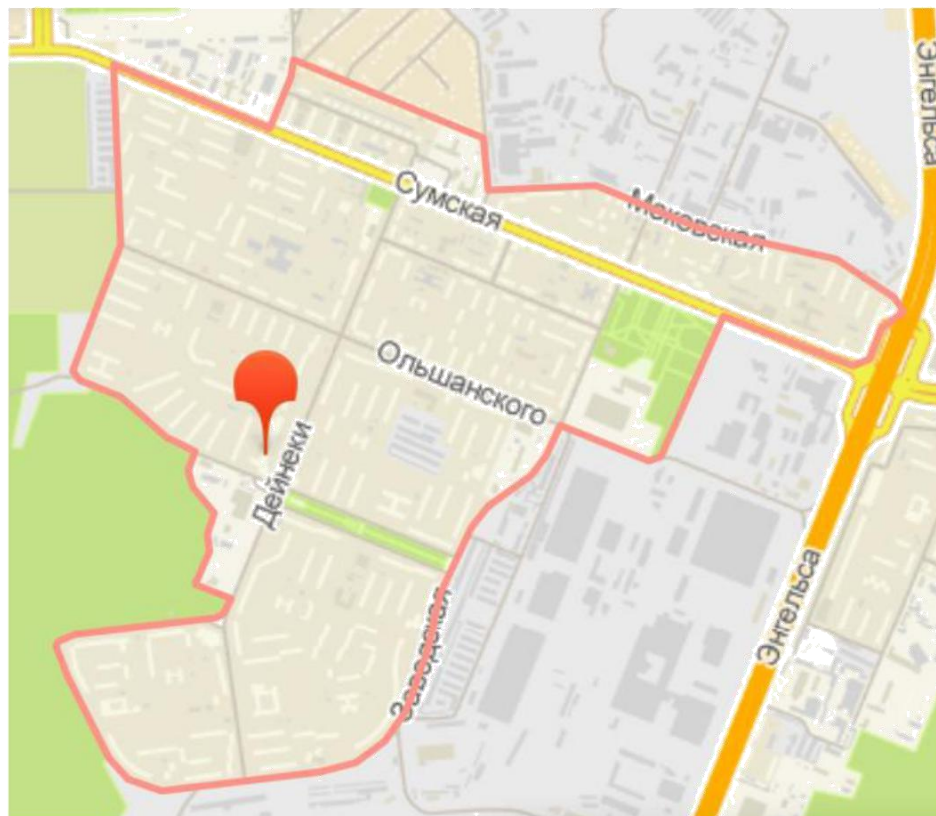


Рисунок 1.1 – Вид микрорайона «КЗТЗ» г. Курск

Данный район состоит как из домов многоэтажной застройки, так и частной. Инфраструктура микрорайона содержит: - 69 5-этажных домов емкостью по 80 кв; - 40 9-этажных домов емкостью по 60 кв; - 110 3-этажных домов емкостью по 40 кв; - 29 частных домов;

Имеется также несколько торговых точек, школ и колледжей.

Общее количество предполагаемых – 10000 чел.

1.2 Анализ существующей телекоммуникационной инфраструктуры

Рассмотрим телекоммуникационную инфраструктуру микрорайона «КЗТЗ» г. Курск, на наличие существующих сетей связи и их возможностей.

На сегодняшний день в городе Курск действует достаточно большое количество различных провайдеров доступа в сеть Интернет. Большинство из них предоставляют доступ посредством технологии FTTH.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

FTTB (Fiber-To-The-Building) - это технология построения широкополосных абонентских сетей доступа вида «оптика до здания», что означает использование оптического кабеля вместо медных проводов.

Кабели с медными проводами используются для работы телефона и доступа в Интернет по технологии ADSL, однако они не позволяют реализовать высокоскоростное интернет - соединение, и кроме того имеют низкую помехозащищенность - на большом удалении от АТС скорость передачи данных может быть достаточно низкой.

Оптический кабель выгодно отличается тем, что позволяет подключать всего по одному кабелю сразу услугу доступа в Интернет, телефонию и кабельное телевидение: пропускная способность оптического кабеля свободно справляется с такой нагрузкой.

Подключение по технологии FTTB заключается в том, что к многоквартирному дому провайдером подводится оптоволоконный кабель, входящий далее в коммутатор (управляемый) – устройство, «разделяющее» Интернет – трафик по отдельным пользователям.

Как показал анализ электронных ресурсов, в г. Курск существуют следующие провайдеры проводного доступа на основе технологии FTTB:

ЭР—Телеком (Дом.ру), Aksinet, Ростелеком, Beeline, NetByNet, Простор Телеком, Энфорта, KurskOnline, Kursktelecom, МТС-КОМСТАР-Регионы, Интерком, Ном Net, Связьинформ, ВайФаер (WiFire-Kursk).

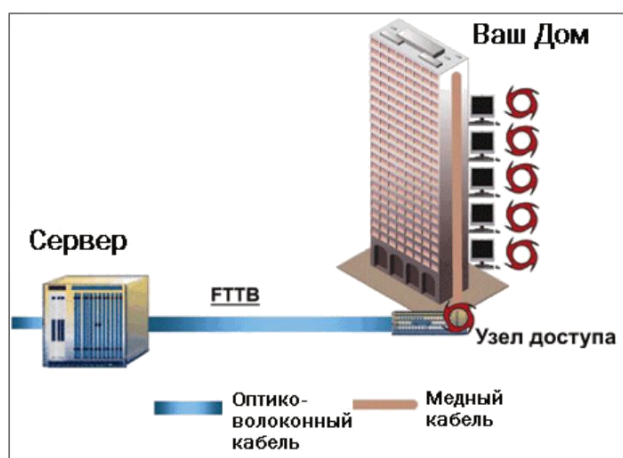


Рисунок 1.2 – Подключение по технологии FTTB

Необходимо отметить, что в районе ИЖС микрорайона «КЗТЗ» проводной доступ в сеть Интернет отсутствует, так как нет кабельной инфраструктуры.

Вся территория города Курск попадает в зону обслуживания операторов мобильной связи поколения 3G. Абоненты имеют доступ к глобальной среде Internet посредством технологии HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), которая представляет собой пакетную передачу данных от базовой станции к мобильному телефону, благодаря использованию 3G модемов у операторов мобильной связи «МТС», «Beeline», «Мегафон».

Однако предоставить качественные мультисервисные услуги связи по беспроводным информационным каналам всем жителям микрорайона операторы сотовой связи не могут, так как скорость передачи информации в сетях 3G не является высокой, и передача мультимедийного контента затруднительна.

Важно отметить, что в городе Курск действуют операторы радиодоступа в сеть Интернет поколения 4G, такие как ПАО МТС и YOTA. Указанные операторы предоставляют услуги посредством технологии LTE (Long Term Evolution) и максимальная скорость доступа может достигать порядка 100 Мбит/с.

Вместе с тем, микрорайон «КЗТЗ» находится вне зоны радиопокрытия сети 4G Оператора ПАО МТС, так как сети 4G развернуты преимущественно в центре города и некоторых жилых массивах (рис.1.3).

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

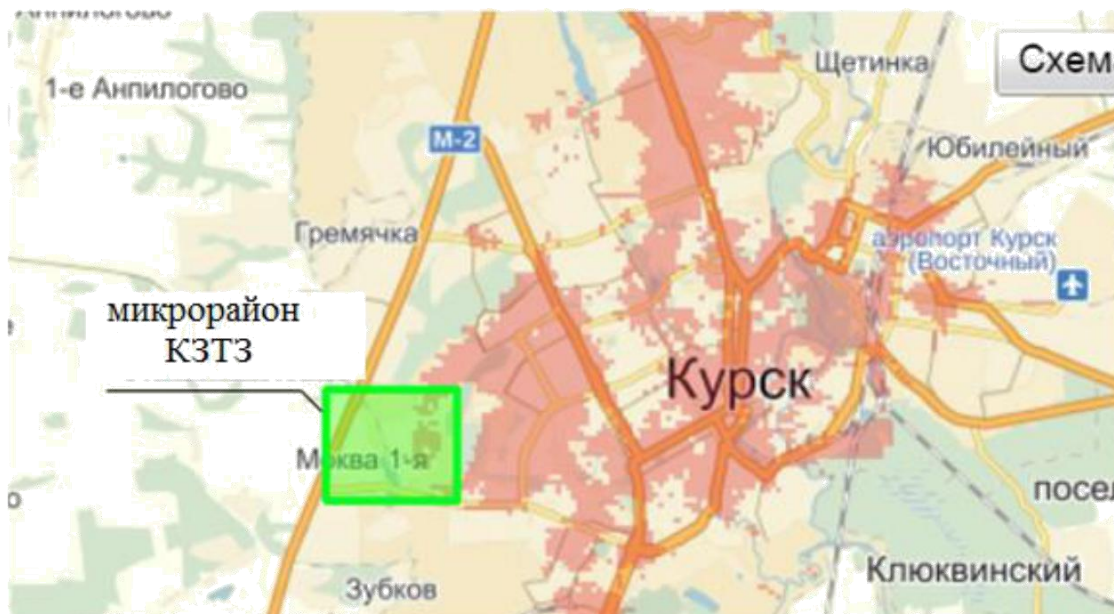


Рисунок 1.3 – Зона радиопокрытия 4G ОАО МТС

Таким образом, в строящемся микрорайоне КЗТЗ отсутствует современные мультисервисные сети доступа, либо они функционируют, но с недостаточной скоростью передачи информации.

Для реализации современных мультисервисных услуг связи в микрорайоне «КЗТЗ» необходимо наличие широкополосных каналов, что не реализуемо на сегодняшний день. Прокладывать новую кабельную инфраструктуру экономически не целесообразно, поэтому очевидно применение беспроводных технологий широкополосного доступа для реализации целей проекта. Сегодня таких технологий несколько, и наиболее распространенными и перспективными считаются WiMAX стандарт IEEE 802.16e (Mobile WiMAX) и LTE Advance Release 8.0 и выше.

Вывод к разделу

Микрорайон КЗТЗ г. Курск является новостройкой, в которой отсутствуют существующие телекоммуникационные объекты, поэтому задача внедрения технологии широкополосного беспроводного доступа на базе современных стандартов четвертого поколения, является актуальной, а предоставляемые такой сетью услуги будут востребованы большим

количеством абонентов. Таким образом, требуется разработать структуру сети связи, выбрать оборудование и подтвердить правильность проектных решений расчетами.

2 РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

2.1 Определение перечня предоставляемых услуг

В проектируемой сети связи предполагается предоставление следующих услуг:

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

Высокоскоростной доступ в Интернет

Обеспечивается с помощью ряда технологий, которые позволяют пользователям отправлять и принимать информацию в гораздо больших

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

объемах и с гораздо более высокими скоростями, чем в случае получившего широкое распространение в настоящее время доступа в Интернет по обычным телефонным линиям. Широкополосный доступ обеспечивает не только высокую скорость передачи данных, но и непрерывное подключение к Интернету (без необходимости установления коммутируемого соединения) и так называемую «двустороннюю» связь, т. е. возможность как принимать («загружать»), так и передавать («сгружать») информацию на высоких скоростях.

Широкополосный доступ не только обеспечивает богатство информационного наполнения («контента») и услуг, но и способен преобразить весь Интернет как в плане предлагаемого Сетью сервиса, так и в плане ее использования.

Для предоставления широкополосного доступа в Интернет могут использоваться множество различных носителей и технологий передачи данных. К ним относятся кабельная связь, усовершенствованный телефонный сервис под названием «цифровая абонентская линия» (Digital Subscriber Line, DSL), спутниковая связь, фиксированный беспроводный доступ и другие.

Несмотря на то, что многие (хотя и не все) учреждения и коммерческие организации уже имеют широкополосный доступ в Интернет, до сих пор не решена проблема предоставления широкополосного доступа на отрезке линии связи, ведущем непосредственно в дома пользователей (так называемая «последняя миля»). В настоящее время ряд конкурирующих телекоммуникационных компаний разрабатывают, внедряют и рекламируют специфические технологии и услуги, предназначенные для предоставления широкополосного доступа широким слоям населения.

IP-телефония

VoIP (англ. Voice over Internet Protocol; IP-телефония) — система связи, обеспечивающая передачу речевого сигнала по сети Интернет или по любым

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

другим IP-сетям с коммутацией пакетов. Сигнал по каналу связи передается в цифровом виде и, как правило, перед передачей преобразовывается (сжимается) с тем, чтобы удалить избыточность.

Возможность передачи голосовых сообщений через сеть с пакетной коммутацией впервые была реализована в 1993 году. Данная технология получила название VoIP (Voice over IP). Одним из частных приложений данной технологии является IP-телефония — услуга по передаче телефонных разговоров абонентов по протоколу IP.

Основными преимуществами технологии VoIP является сокращение требуемой полосы пропускания, что обеспечивается учётом статистических характеристик речевого трафика:

- блокировкой передачи пауз (диалоговых, слоговых, смысловых и др.), которые могут составлять до 40-50 % времени занятия канала передачи;
- высокой избыточностью речевого сигнала и его сжатием (без потери качества при восстановлении) до уровня 20-40 % исходного сигнала.

Трафик VoIP критичен к задержкам пакетов в сети, но обладает толерантностью (устойчивостью) к потерям отдельных пакетов. Так, потеря до 5 % пакетов не приводит к ухудшению разборчивости речи.

При передаче телефонного трафика по технологии VoIP должны учитываться жёсткие требования стандарта ISO 9000 к качеству услуг, характеризующие качество установления соединения, определяемое в основном быстротой установления соединения и качеством соединения, показателем которого являются сквозные (воспринимаемые пользователем) задержки и качество воспринимаемой речи.

Технология VoIP реализует задачи и решения, которые с помощью технологии PSTN реализовать будет труднее, либо дороже. Данная технология имеет возможность передавать более чем один телефонный звонок в рамках высокоскоростного телефонного подключения. Поэтому технология VoIP

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

используется в качестве простого способа для добавления дополнительной телефонной линии дома или в офисе. Такие услуги как конференция, переадресация звонка, автоматический перенабор, определение номера звонящего предоставляются бесплатно или почти бесплатно, тогда как в традиционных телекоммуникационных компаниях обычно выставляют счет за дополнительную плату.

Также в рамках данной технологии осуществляются безопасные звонки со стандартизованным протоколом (такие как Secure Real-time Transport Protocol). Большинство трудностей для включения безопасных телефонных соединений по традиционным телефонным линиям, такие как оцифровка сигнала, и передача цифрового сигнала, уже решены в рамках технологии VoIP. Необходимо лишь произвести шифрование сигнала и его идентификацию для существующего потока данных.

Технология VoIP характеризуется независимостью от месторасположения. Нужно только интернет соединение для подключения к провайдеру VoIP. Например, операторы центра звонков (call center) с помощью VoIP телефонов могут работать из любого офиса, где есть в наличии эффективное быстрое и стабильное интернет подключение. Также доступна интеграция через интернет, включая видео-звонок, обмен сообщениями и данными во время разговора, аудио конференции, управление адресной книгой, и получение информации о том, доступны ли для звонка какие-то другие абоненты (коллеги или друзья).

Дополнительные телефонные свойства, такие как маршрутизация звонка, всплывающие окна, альтернативный GSM-роуминг и внедрение IVR – легче и дороже внедрить и интегрировать. Тот факт, что телефонный звонок находится в той же самой сети передачи данных, что и персональный компьютер пользователя, открывает путь ко многим новым возможностям. Дополнительно имеется возможность подключения прямых номеров в любой стране мира.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.2 Описание технологии широкополосного радиодоступа LTE

Разработка первой фазы стандарта LTE (Long Term Evolution) была завершена к 2008 г. Ей предшествовало развитие технологии HSPA (High Speed Packet Access) в стандарте UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) [1] и появление стандарта широкополосного беспроводного радиодоступа IEEE802.16e — мобильного WiMAXa. В LTE, как и в WiMAX, на физическом уровне применена технология OFDM, а из HSPA UMTS взято адаптивное управление пакетной передачей в реальном времени с использованием технологии HARQ, многие протоколы уровней L2 и L3. Поэтому LTE является развитием стандартов 3GPP на пути к стандартам 4-го поколения. Главное отличие стандарта LTE от UMTS состоит в резком увеличении рабочей полосы от 5 (3,84) МГц в UMTS до 10 — 20 МГц в LTE, что и обуславливает увеличение скоростей передачи во много раз. Спецификации LTE впервые появляются в Rel.8 3GPP, развиваясь далее в Rel.9. В настоящее время завершилась работа над Rel.10 LTE-A (LTE-Advanced), где максимальная сквозная пропускная способность возрастает с 200 до 800 Мбит/с.

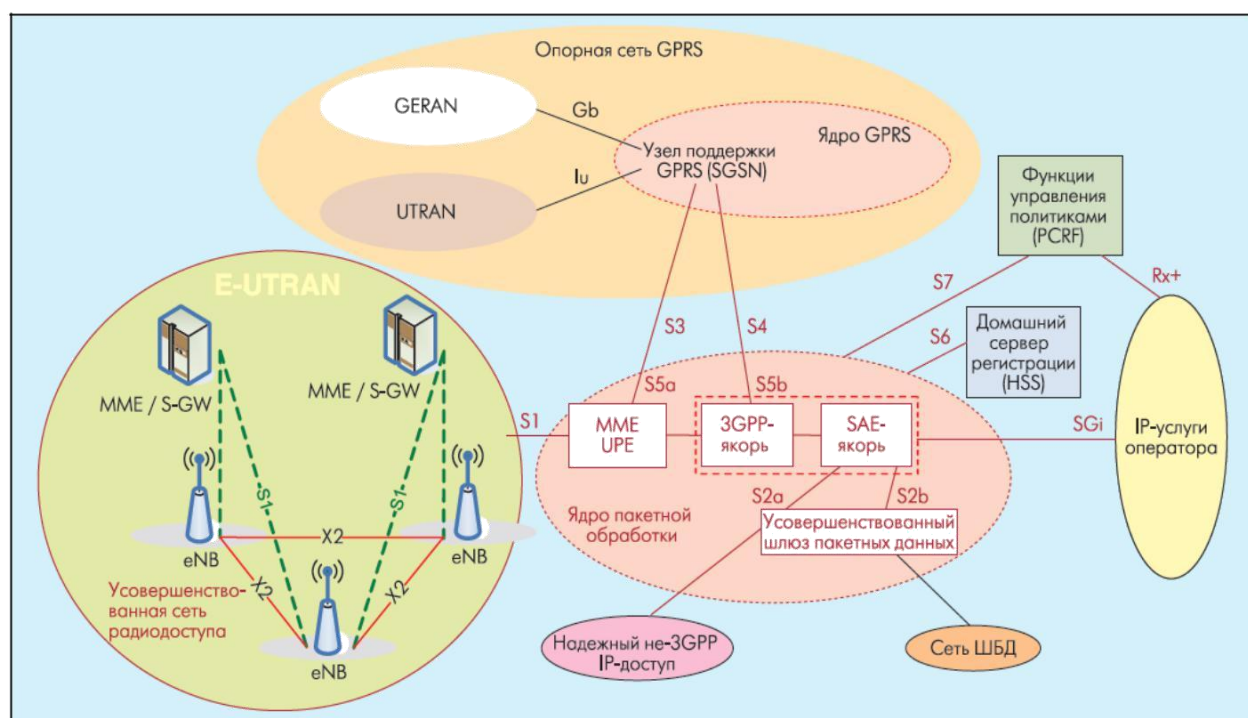


Рисунок 2.1 – архитектура интегральной сети UMTS и GSM

Сети LTE ориентированы на использование глобальной пакетной сети GERAN/UMTS, для организации глобального роуминга. На рисунке 2.1 изображена структура сети GERAN/UMTS. Ее отличительной чертой является применение универсальных интерфейсов Iu для связи ядра сети с обеими подсистемами радиодоступа: GERAN и UTRAN. Следует также отметить, что при пакетной передаче в пользовательской плоскости интерфейсы Gn и Iu (PS) построены как туннельные соединения.

Технологии высокоскоростной пакетной передачи, предлагаемые в 3GPP Rel.7, получили название HSPA+. В HSPA+ пиковая скорость вниз может быть увеличена до 28,8 Мбит/с при применении многоантенных систем (технология MIMO), а вверх до скорости 11,5 Мбит/с. В Rel.6 $V = 10,8$ Мбит/с при $R_{\text{кода}} = 3/4$ и модуляции 16-QAM, а при $R_{\text{кода}} = 1$ $V = 14,4$ Мбит/с. В Rel.7 добавлена модуляция 64-QAM, что позволяет увеличить скорость передачи в 1,5 раза. При переходе от 4-QAM к 16-QAM требования к отношению сигнал/помеха при приеме сигнала возрастают на 6 дБ, и при переходе от 16-QAM к 64-QAM еще на 6 дБ.

Применение многоантенных систем позволяет реализовать следующие технологии:

- разнесенный прием (одна передающая антенна и несколько приемных);
- пространственно-временное кодирование (несколько передающих антенн и одна или несколько приемных);
- пространственное мультиплексирование (несколько передающих и несколько приемных антенн).

Последние 2 технологии реализованы в структурах MIMO (multiple input — multiple output).

MIMO (англ. Multiple Input Multiple Output) - технология передачи данных с помощью N антенн и их приёма M антеннами. Передающие и приёмные антенны разнесены настолько, чтобы достичь слабой корреляции между соседними антеннами.

На рисунке 2.2 представлена структура технологии MIMO.

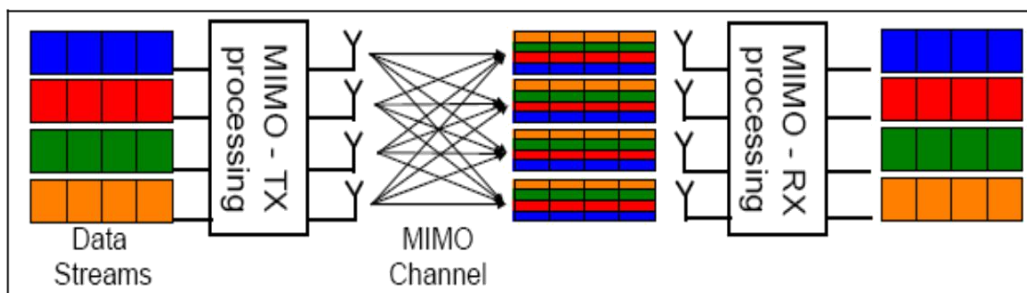


Рисунок 2.2 – структура технологии MIMO

Технология MIMO состоит в применении нескольких передающих и приёмных антенн как на базовой станции, так и на устройстве абонента. MIMO применяется для увеличения пропускной способности радиоканала. При этом число приёмных и передающих антенн должно быть одинаковым.

Повышение отношения сигнал/шум в том случае, когда на передачу используется больше антенн, чем на прием, или наоборот. Тем самым улучшается покрытие сети.

MIMO является основным методом, который используется для увеличения системной скорости данных. Для его реализации в конструкцию абонентского терминала следует добавить, по крайней мере, еще один трансивер и антенну.

В системах LTE на РНУ уровне, как на базовой станции, так и на пользовательском терминале (UE) с целью достижения устойчивости и увеличения скорости данных в прямом канале могут применяться несколько трансиверов. Например, в случае тяжелых условий распространения при низком уровне сигнала, когда условия многолучевого распространения требуют увеличения передаваемой мощности, на приеме используется метод суммирования максимального отношения (MRC).

Согласно методу MRC сигнал принимается двумя (или большим числом) отдельных пар антенна/трансивер. Важно, чтобы антенны были отдельными,

поскольку при этом импульсные характеристики принимаемых ими сигналов не совпадают.

В процессоре основной полосы вводится компенсация для каждого из принимаемых сигналов, прежде чем они будут просуммированы для получения одного композитного принимаемого сигнала. При суммировании по данному методу принимаемые сигналы складываются в процессоре основной полосы когерентно. Тепловые же шумы для каждого из трансиверов являются некоррелированными. Таким образом, линейное суммирование компенсированных по фазе и амплитуде сигналов в процессоре основной полосы приводит в двухканальном приемнике MRC в условиях ограниченного шума к увеличению SNR не менее чем на 3 дБ. Кроме улучшения SNR за счет суммирования, приемники, работающие по методу MRC, более устойчивы к частотно-селективным федингам. Физическая раздельность приемных антенн приводит к различию импульсных характеристик их каналов приема. В присутствии частотно-избирательных замираний статистически маловероятно, что данная поднесущая будет испытывать глубокие замирания сразу в обоих каналах приема. Таким образом, вероятность глубоких частотно-избирательных федингов в суммарном сигнале существенно уменьшается.

Метод MRC улучшает степень надежности (готовности) линии связи, но не позволяет увеличить номинальную скорость данных. При использовании метода MRC данные передаются одной антенной, а принимаются двумя или большим числом приемников, поэтому MRC – это скорее метод разделенного приема, т. е. обычный метод Antenna Diversity. И наоборот, технология MIMO позволяет увеличить системную скорость данных. Такое увеличение достигается за счет использования нескольких антенн, как на стороне приема, так и на стороне передачи.

Для успешного приема сигналов по технологии MIMO, приемник должен определить импульсную характеристику канала для каждой из передающих

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

антенн. В системе LTE импульсная характеристика канала определяется путем последовательной передачи каждой из передающих антенн известных опорных сигналов.

Для системы 2x2 MIMO определяются одна общая или четыре отдельных канальных импульсных характеристики (C1, C2, C3 и C4). Нужно заметить, что пока одна передающая антенна передает опорный сигнал, другая не используется. Как только импульсная характеристика канала определяется, начинается независимая передача данных обеими антеннами. Линейная комбинация двух потоков данных на двух приемных антеннах приводит к системе из двух уравнений с двумя неизвестными, решить которую невозможно для отдельных оригинальных потоков данных.

В LTE используется модуляция по технологии множественного доступа с одной несущей частотой (SC-FDMA) (для Uplink передачи данных) и по технологии ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM) (для Downlink передачи данных).

На рисунке 2.3 представлена структура SC-FDMA.

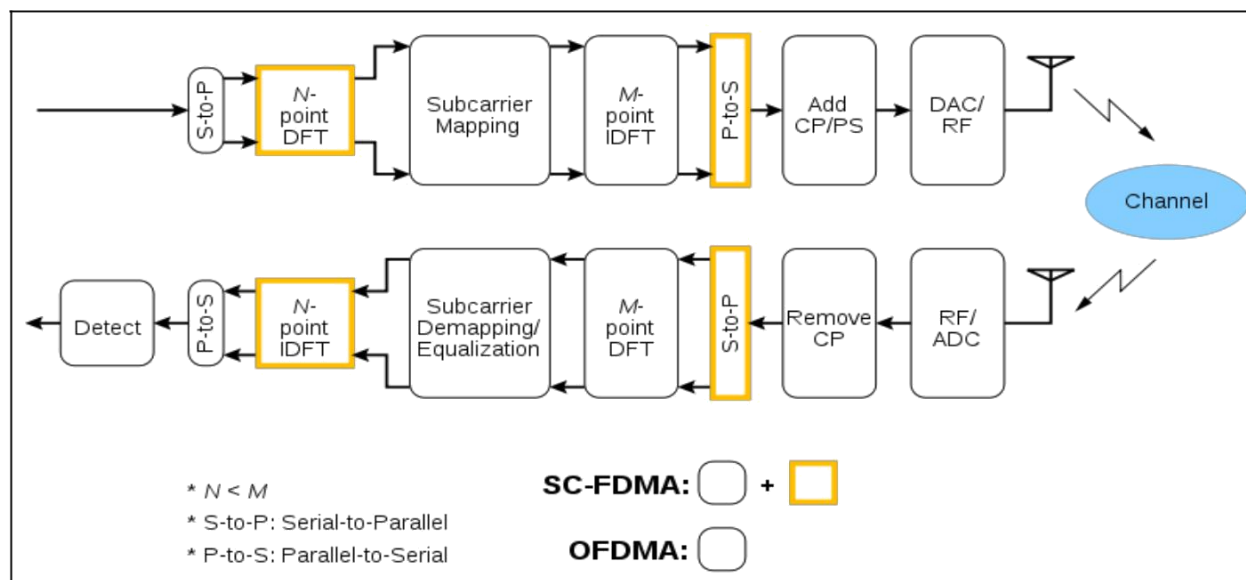


Рисунок 2.3 - Структура SC-FDMA

Множественный доступ в нисходящем канале LTE достигается за счет применения тщательно доработанной версии OFDM, получившей название

множественного доступа с ортогональным разделением частот (OFDMA). Данный метод позволяет закреплять отдельные поднесущие за разными пользователями, что облегчает обслуживание многих абонентов, работающих с низкими скоростями, а также позволяет использовать частотные скачки для смягчения эффектов узкополосного многолучевого распространения.

SC-FDMA представляет собой гибридную схему передачи, которая сочетает низкие значения PAR, присущие системам с одной несущей, таким как GSM и CDMA, с большой длительностью символа и гибким распределением частот OFDM.

На рисунке 2.4 представлен принцип генерации сигнала SC-FDMA.

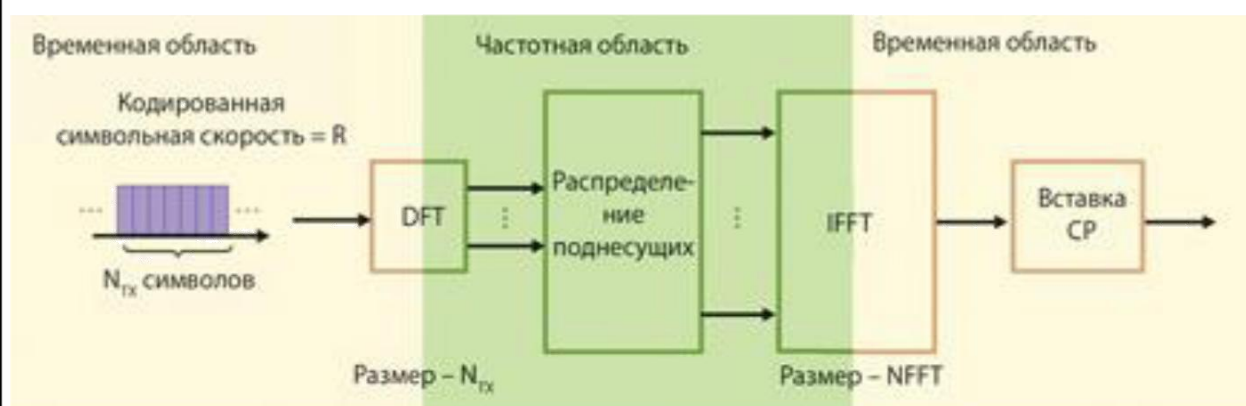


Рисунок 2.4 - Структурная схема генерации сигнала SC-FDMA

В случае SC-FDMA символы данных передаются последовательно. Поскольку в данном примере используются четыре поднесущих, за один период символа SC-FDMA передаются четыре символа данных. Период символа SC-FDMA имеет ту же длину, что и символ OFDMA, т.е. 66,7 мкс. В связи с повышением скорости следования символов для их передачи требуется более широкая полоса. В результате каждый символ занимает в спектре 60 кГц, а не 15 кГц, как было в случае более медленных символов, используемых в OFDMA. После передачи четырех символов данных вставляется CP.

На рисунке 2.5 представлена схема создания символа SC-FDMA во временной области.

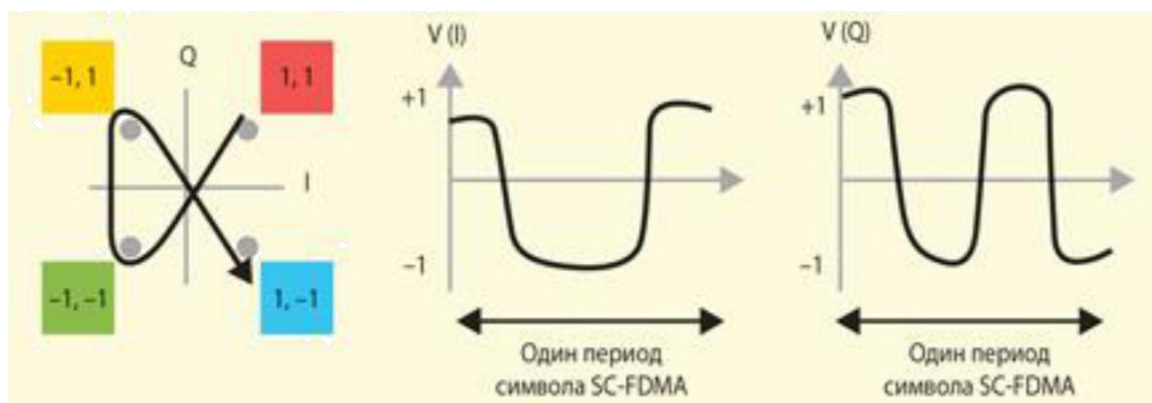


Рисунок 2.5 - Создание символа SC-FDMA во временной области

После создания одного символа SC-FDMA во временной области следующим шагом является представление его в частотной области с помощью дискретного преобразования Фурье. Частота дискретизации ДПФ выбирается таким образом, чтобы форма одного символа SC-FDMA во временной области полностью представлялась M бинами ДПФ, отстоящими друг от друга на 15 кГц, причем каждый бин представляет одну поднесущую с постоянной амплитудой и фазой в течение одного периода символа SC-FDMA равного 66,7 мкс. При этом всегда существует однозначное соответствие между числом символов данных, передаваемых за один период символа SC-FDMA, и числом создаваемых бинов ДПФ, которое, в свою очередь, равно числу занимаемых поднесущих.

Стойкость к многолучевому распространению процесса демодуляции OFDMA обусловлена большой длиной символов данных, которые накладываются непосредственно на отдельные поднесущие. Стойкость к разбросу задержки обусловлена именно постоянной природой каждой поднесущей, а не постоянством символов данных.

Для завершения генерации сигнала SC-FDMA выполняются те же операции, что и для OFDMA. Обратное БПФ преобразует смещенный по

частоте сигнал во временную область, а затем добавление СР обеспечивает свойственную OFDMA фундаментальную стойкость к многолучевому распространению.

Задачей технологии LTE является создание архитектуры пакетного радиодоступа для сетей сотовой связи и беспроводного доступа на уровне стандарта WiMAX. Основные сведения о технологии LTE размещены в спецификациях E-UTRA.

Сети LTE по версии Rel.8 поддерживают скорости передачи вниз до 100 Мбит/с и вверх до 50 Мбит/с в полосе 20 МГц, снижают задержки в плоскости управления до 50—100 мс при переходе из спящего или неактивного режима в режим выделенного канала, позволяют обслуживать до 200 активных абонентов в соте.

В LTE реализованы задачи эволюции системной архитектуры SAE (System Architecture Evolution) при передаче пакетного трафика. Архитектура E-UTRAN представлена на рис. 2.6 [10]. Она включает в себя ядро пакетной сети EPC (Evolved Packet Core), модернизированные eNB и интерфейсы S1 и X2.

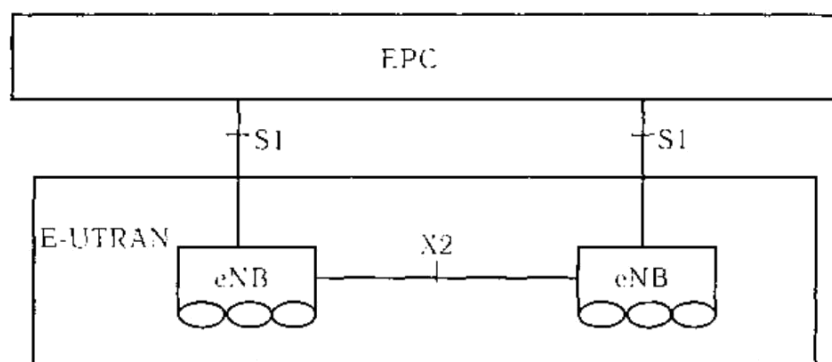


Рисунок 2.6 – Базовая архитектура сети E-UTRAN

EPC состоит из шлюзов доступа, которые для обслуживаемых ими eNB и абонентских устройств становятся S-GW (Serving Gateway). eNB аккумулируют функции существующих Node B и контроллеров RNC, касающиеся обработки пакетного трафика и выделения канального ресурса. В E-UTRAN выдержан

принцип логического разделения транспортных сетей передачи данных и сигнализации. Подуровни L2 SCTP (Stream Control Transmission Protocol) и IP поддерживают стандартный транспорт для передачи сигнальных сообщений. В частности, SCTP обеспечивает надежность передачи и последовательность доставки сообщений.

Ядро сети EPC (Evolved Packet Core) состоит из обслуживающего шлюза S-GW (Serving Gateway), шлюза для выхода на пакетные сети P-GW (Packet Data Network Gateway), структуры управления по протоколу Mobility Management MME (Mobility Management Entity), связанной с S-GW и eNodeB сигнальными интерфейсами. На рис. 2.7 соединения для передачи данных показаны толстыми линиями, сигнальные соединения — тонкими сплошными. Пунктиром обозначены сигнальные соединения к опциональным функциональным узлам: другим MME и PCRF (Policy and Charging Resource Function). MME имеет прямой выход на домашний сервер HSS (Home Subscriber Server), выполняющий функции HLR сетей GERAN/UMTS.

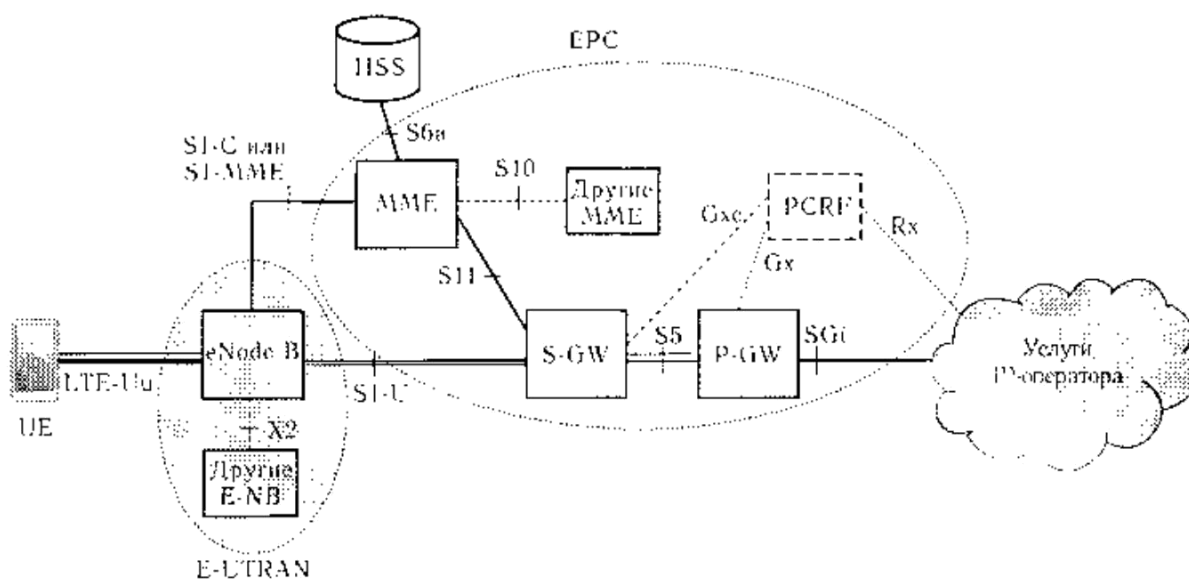


Рисунок 2.7 – Структура сети LTE

Рассмотрим взаимодействие узла базовых станций eNB с элементами ядра сети LTE [10]. eNB объединяет в себе функции базовых станций и контроллеров сетей 3-го поколения:

- обеспечивает передачу трафика и сигнализации по радиоканалу,
- управляет распределением радиоресурсов,
- обеспечивает сквозной канал трафика к S-GW,
- поддерживает синхронизацию передач и контролирует уровень помех в соте,
- обеспечивает шифрацию и целостность передачи по радиоканалу,
- выбирает MME и организует сигнальный обмен с ним,
- производит сжатие заголовков IP-пакетов,
- поддерживает услуги мультимедийного вещания,
- при использовании структуры с усилителями мощности на антенной мачте организует управление антеннами по специальному интерфейсу Iuant.

Интерфейс S1, как показано на рис. 2.12, поддерживает передачу данных с S-GW и сигнализации через MME. Отметим, что eNB может иметь соединения с несколькими S-GW (рис. 2.5).

Интерфейсы X2 используют для организации хэндоверов между соседними базовыми станциями, в том числе и при балансировке нагрузки между ними. При этом интерфейсы X2 могут быть логическими, т.е. для их организации не обязательно реальное физическое соединение между eNB.

В функции **обслуживающего шлюза S-GW** входит:

- маршрутизация передаваемых пакетов данных,
- поддержка качественных показателей (QoS) предоставляемых услуг,
- буферизация пакетов для UE, пребывающих в состоянии Idle Mode,
- предоставление учетных данных для тарификации и оплаты выполненных услуг.

S-GW является якорной структурой, обеспечивающей мобильность абонентов. Каждую работающую UE обслуживает определенный S-GW, находящийся в визитной сети. Теоретически UE может быть связана с

несколькими пакетными сетями; тогда её будут обслуживать несколько серверов S-GW.

Шлюз для выхода на пакетные сети **P-GW** организует точку доступа к внешним IP-сетям. Соответственно P-GW является якорным шлюзом для обеспечения трафика. Если абонент имеет статический IP-адрес, то P-GW его активизирует. В случае, если абонент должен получить на время сеанса связи динамический IP-адрес, P-GW запрашивает его с сервера DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) или сам выполняет необходимые функции DHCP, после чего обеспечивает доставку IP-адреса абоненту. В состав P-GW входит PCRF (Policy and Charging Enforcement Function), который обеспечивает качественные характеристики услуг на внешнем соединении через интерфейс SGi и фильтрацию пакетов данных. Шлюз P-GW обычно находится в домашней сети абонента, хотя это не является обязательным. При обслуживании абонента в домашней сети функции P-GW и S-GW могут выполнять как два разных, так и одно устройство. Интерфейс S5 представляет собой туннельное соединение GPRS или Proxy Mobile IPv6 [12]. Если P-GW и S-GW находятся в разных сетях (например, при обслуживании абонента в роуминге), то интерфейс S5 заменяют интерфейсом S8.

Управляющий блок MME прежде всего поддерживает выполнение процедур протокола Mobility Management: обеспечение безопасности работы в сети при подключении UE и выбор S-GW, P-GW. MME связан с HSS своей сети посредством интерфейса S6a. Интерфейс S10, соединяющий различные MME, позволяет обслуживать UE при перемещениях абонента, а также при его нахождении в роуминге.

Policy and Charging Resource Function (PCRF) по сути представляет собой управляющий сервер, обеспечивающий централизованное управление ресурсами сети, учет и тарификацию предоставляемых услуг. Как только появляется запрос на новое активное соединение, эта информация поступает на PCRF. Он оценивает имеющиеся в его распоряжении ресурсы сети и

направляет в PCeF шлюза P-GW команды, устанавливающие требования к качеству услуг и к их тарификации [13].

Вывод к разделу

Внедрение технологии LTE на сети связи г. Курск позволит предоставить абонентам современные, качественные инфокоммуникационные услуги. Для реализации сети требуется рассчитать зоны радиопокрытия, выбрать места установки базовых станций, рассчитать требуемую пропускную способность на сайт (сектор) базовой станции.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	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 двух этапов:

- формирование максимальной площади покрытия;
- обеспечение требуемой емкости.

Планирование радиосети LTE будет производиться в смешанной местности, а это значит, что плотность абонентов будет средняя и базовые станции должны устанавливаться в максимальной близости друг от друга с целью закрыть каждой eNB как можно большую площадь микрорайона. В связи с этим нужно подобрать соответствующий частотный диапазон. В данном случае нужно руководствоваться правилом, что чем ниже частота, тем дальше распространение радиосигнала.

3.1 Расчет частотных каналов

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

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

Спектральная эффективность может рассчитываться как отношение скорости передачи данных всех абонентов сети в определенной географической

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

области (соте, зоне) на 1 Гц полосы частот (бит/с/Гц/сота), а также как отношение максимальной пропускной способности сети к ширине полосы одного частотного канала.

Средняя спектральная эффективность для сети LTE, ширина полосы частот которой равна 20 МГц, для частотного типа дуплекса FDD на основании 3GPP Release 9 для разных конфигураций MIMO, представлена в таблице 3.1.

Емкость, или пропускную способность, сети оценивают, базируясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях. В Табл. 3.1 приведены значения средней спектральной эффективности соты LTE FDD в макросети для двух случаев, специфицированных 3GPP как сценарий 1 (расстояние между сотами 500 м), и сценарий 3 (расстояние между сотами 1732 м) [1]. В обоих случаях характеристики оценивались для диапазона 2 ГГц, полосы канала 10 МГц (10 + 10 МГц в дуплексе), при потерях на проникновение в здание 20 дБ, в среднем при 10 активных пользователей в соте.

Таблица 3.1 – Средняя спектральная эффективность в макросети

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)	
		Сценарий 1	Сценарий 3
UL	1 x 2	0,735	0,681
	1 x 4	1,103	1,038
DL	2 x 2	1,69	1,56
	4 x 2	1,87	1,85
	4 x 4	2,67	2,41

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

$$R = \gamma \cdot \Delta F; \quad (3.1)$$

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

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

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

Для системы TDD можно принять спектральную эффективность равной аналогичным значениям для системы FDD, а при расчете пропускной способности учитывать долю длительности кадра на линии вверх или вниз.

Например, рассчитаем среднюю пропускную способность соты на линии вниз при конфигурации кадра 1:

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

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

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

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

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

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

Результаты расчета пропускной способности трехсекторных базовых станций приведены в Табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Средняя пропускная способность трехсекторной БС

Конфигурация системы	FDD 10+10 МГц		TDD 20 МГц (конф. кадра 1)		TDD 20 МГц (конф. кадра 2)	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL
Соотношение длительности кадров	100%	100%	54%	42%	74%	23%
Спектральная эффективность, бит/с/Гц	1,69	0,735	1,69	0,735	1,69	0,735
Средняя пропускная способность соты, Мбит/с	16,9	7,35	18,25	6,32	25,01	3,38
Средняя пропускная способность БС, Мбит/с	50,7	22,05	54,75	18,96	75,04	10,14

По диаграммам на рис. 3.1 можно сравнить среднюю пропускную способность и площадь покрытия трехсекторного сайта для 3 рассмотренных конфигураций системы LTE (по данным из табл. 3.1 и табл. 3.2). Если пропускная способность на линии вниз в системах FDD и TDD с конфигурацией кадра 1 примерно одинаковая, то радиопокрытие различается уже заметно.

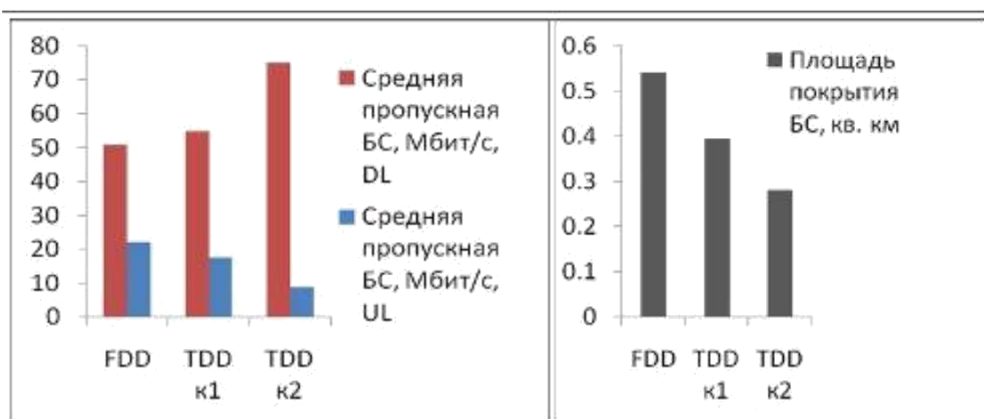


Рисунок 3.1 – Сравнение пропускной способности и площади покрытия трехсекторной БС при разных конфигурациях системы LTE

Следующим этапом будет определение количества сот в планируемой сети LTE.

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

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

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

где F – полоса частот, выделенная для работы сети и равная 80 МГц;

F_k – полоса частот одного радиоканала; под радиоканалом в сетях LTE

определяется такое понятие как ресурсный блок РБ, который имеет ширину 180 кГц, $f_k = 180$ кГц.

$$N_k = \text{int} \left(\frac{80000}{180} \right) = 445.$$

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

$$N_{k_сек} = \text{int} \left(N_k / N_{кл} \times M_{сек} \right); \quad (3.4)$$

где N_k – общее число каналов;

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

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

$$N_{k_сек} = \text{int}(445/3 \times 3) = 50;$$

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

$$N_{км.сек} = N_{кТ1} \times N_{км.сек}; \quad (3.5)$$

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

$$N_{км.сек} = 1 \times 50 = 50;$$

В соответствии с моделью Эрланга, представленной в виде графика на рисунке 3.2, определим допустимую нагрузку в секторе одной соты $A_{сек}$ при

допустимом значении вероятности блокировки равной 1% и рассчитанным выше значении $N_{\text{кт.сек.}}$. Определим, что $A_{\text{сек}} = 40$ Эрл.

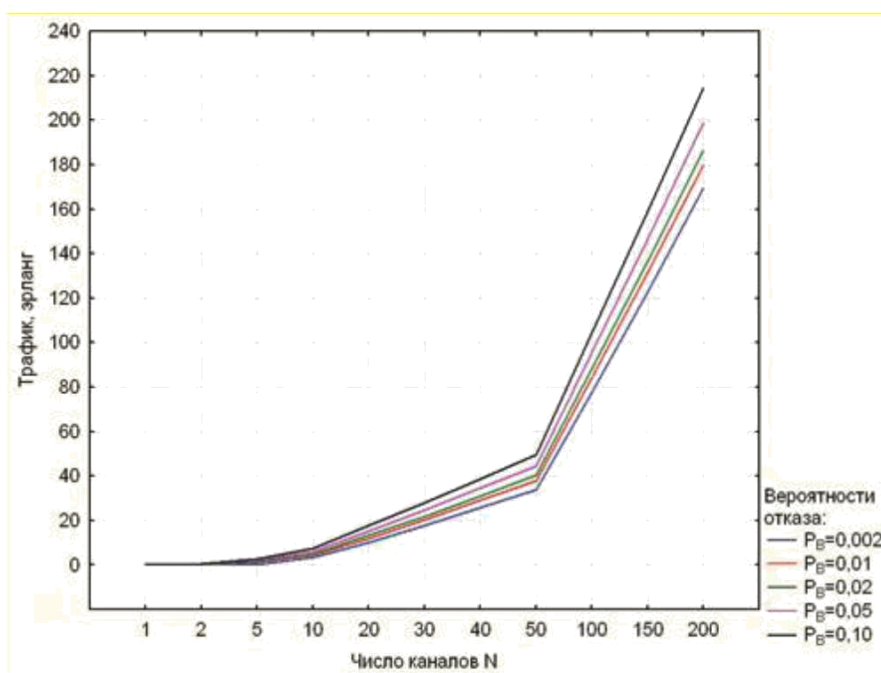


Рисунок 3.2 – Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки

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

$$N = \frac{A_1}{A_{\text{сек}}} \quad (3.6)$$

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 0,142 Эрл. Таким образом:

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

11070006.11.03.02.130.ПЗВКР

Лист
33

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

где $N_{аб}$ – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определим как 45 % от общего числа жителей, в соответствии со среднестатистической начальной нагрузкой. Общее число жителей микрорайона, по последним данным на 2016 год составляет примерно 12 000 человек. Таким образом, количество потенциальных абонентов составит примерно 4500 единиц, тогда:

$$[] \quad ()$$

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

$$() \quad , \quad (3.8)$$

$$R_N = (102,9 + 54,87) \cdot 9 \approx 1419,93 \text{ (Мбит/с)}.$$

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

$$, \quad (3.9)$$

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

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

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

11070006.11.03.02.130.ПЗВКР

Лист
34

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

N_{∂} – число дней в месяце, $N_{\partial} = 30$.

— (Мбит/с)

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

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

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

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

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

4 РАСЧЕТ ЗОН РАДИОПОКРЫТИЯ СЕТИ LTE

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

4.1 Расчет зон радиопокрытия кластеров

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

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

Для диапазона 880-960 МГц могут использоваться следующие типовые значения запаса на проникновение:

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

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

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

Принцип расчета МДП показан на рисунке 4.2.

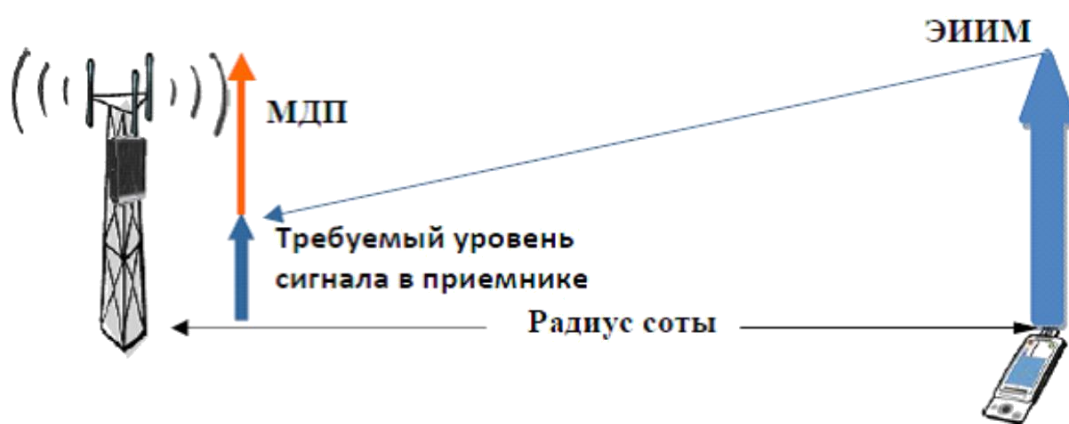


Рисунок 4.2 - Принцип расчета МДП

При расчетах будем использовать следующие параметры:

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

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

$$МДП = P_{max} - L_{фр} - L_{св} - L_{ср} - L_{пс} - L_{пм} - L_{атен} - L_{о} \quad (4.1)$$

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

$S_{пр}$ – чувствительность приемника;

$G_{A.прд}$ – коэффициент усиления антенны передатчика, $G_{A.прд}$: DL = 18 дБи, UL = 0 дБи;

$L_{прд}$ – потери в фидерном тракте передатчика, $L_{прд}$: 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_o – 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_o = 1,7 дБ.

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

$$P_{м.прд} = P_{в.прд} - G_{A.прд} + L_{прд} + G_o + M_{ном} + M_{прон} \quad (4.2)$$

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

$P_{в.прд}$: DL = 46 дБм, UL = 33 дБм.

Для линии DL:

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

Для линии UL:

$$P_{м.прд} = 33 \text{ (дБм)}.$$

$S_{ч.пр}$ рассчитывается по формуле:

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

(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:

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

Для линии UL:

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

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

Для линии DL:

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

Для линии UL:

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

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

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

обобщением опытных фактов, в которо учтено много условий и видов сред. В модели Okumura – Nata предлагается следующее выражение для определения среднего затухания радиосигнала в городских условиях:

$$L_{\text{ср}} = 6,9 + 36,1 \lg f_c + 20 \lg d + (1,1 - 0,7 \lg h_r) A(h_r) \quad (4.4)$$

где f_c – частота от 150 до 1500 МГц;
 h_t – высота передающей антенны (подвеса eNB) от 30 до 300 метров;
 h_r – высота принимающей антенны (антенны мобильного устройства) от 1 до 10 метров;
 d – радиус соты от 1 до 20 км;
 $A(h_r)$ – поправочный коэффициент для высоты антенны подвижного объекта, зависящий от типа местности.

Произведем выбор параметров для расчетов:

- $f_c = 900$ МГц;
- $h_t = 32$ метра;
- $h_r = 3$ метра.

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

$$A(h_r) = 1,1 - 0,7 \lg h_r \quad (4.5)$$

$$A(h_r) = 1,1 - 0,7 \lg 3 = 0,954$$

Вычислив из формул (4.1 – 4.5) радиус соты, получим, что $d \approx 1,5$ км.
 Рассчитаем площадь S_{eNB} покрытия трехсекторного сайта по формуле:

$$S_{eNB} = \frac{\pi d^2}{3} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{3} = 2,356 \text{ км}^2 \quad (4.6)$$

4.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение eNB на территории микрорайона КЗТЗ

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

В первую очередь, нужно составить ситуационный план размещения базовых станций eNB на территории района планирования сети. Учитывая особенности рельефа местности, выполним размещение базовых станций.

Минимальное количество макро базовых станций eNB, необходимых для обеспечения устойчивым радиосигналом районов на территории планирования составляет 9 штук, согласно проведённым расчетам. Таким образом, все eNB имеют следующие характеристики:

- мощность каждого передатчика – 40 Вт;
- высота подвеса антенны – 32 метра;
- число приемопередатчиков TRX – 3 (по одному на каждый сектор);
- системная полоса для одного сектора – 20 МГц (10 МГц для линии «вверх» и 10 МГц для линии «вниз»);
- линия «вниз» поддерживает технологию MIMO4×2;

На рисунке 4.3 представлен ситуационный план размещение базовых станций LTE (eNB) на территории микрорайона КЗТЗ. Согласно проведенного расчета был определен радиус действия одной базовой станции который составил ≈1,5 км. Далее базовые станции размещались согласно сотовой структуре. Из схемы видно, что 9 базовых станций, размещенных на территории микрорайона КЗТЗ, таким образом, что покрывают все территорию микрорайона.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

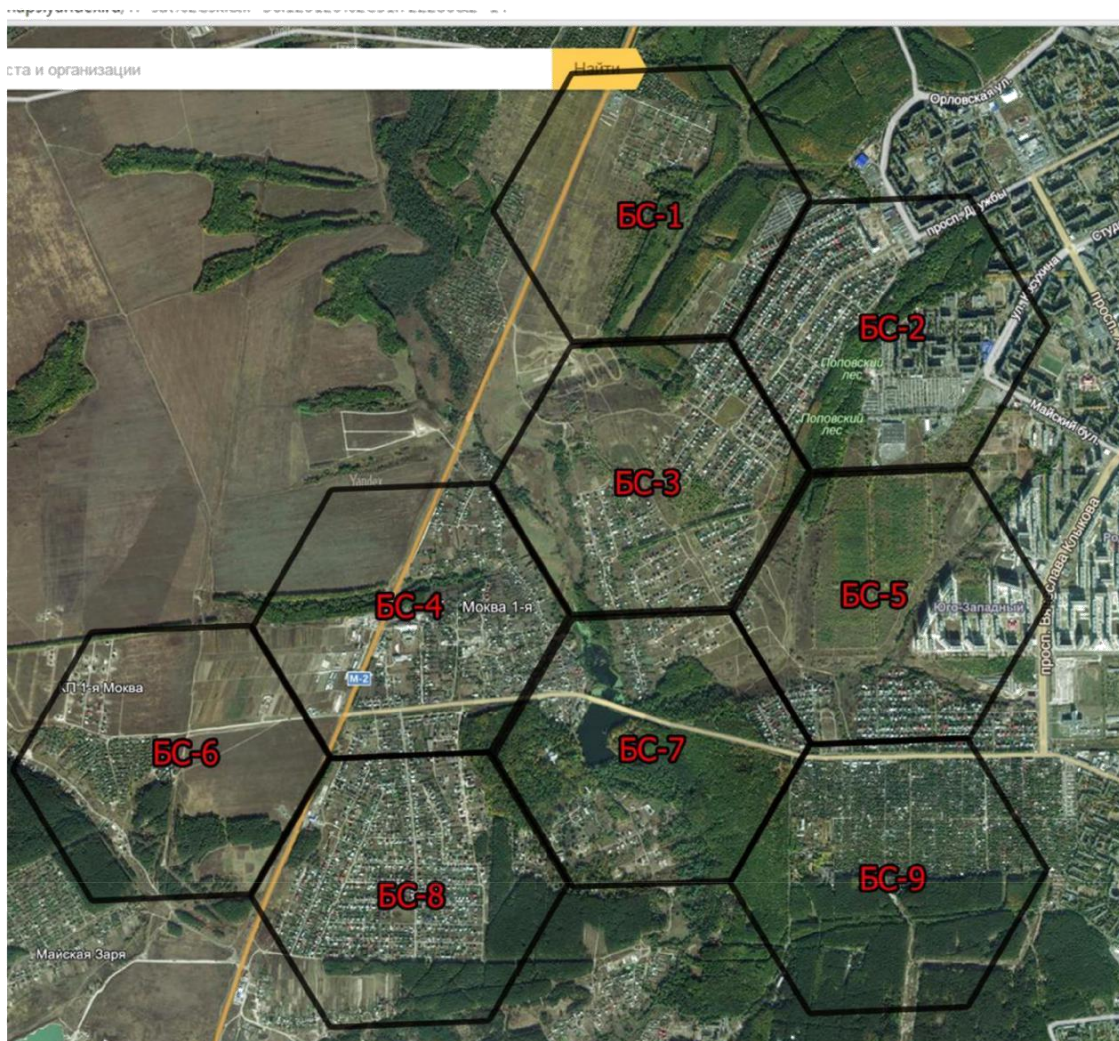


Рисунок 4.3 – Ситуационный план размещения сот в микрорайоне КЗТЗ

Зона радиопокрытия всей сети LTE представлена на рисунке 4.4. На основании расчетов распространения радиоволн по модели Okamura-Nata были получены значения напряженности поля в заданной точке пространства. На основании этих данных строилась зона радиопокрытия базовой станции как окружность определенного радиуса. При удалении от базовой станции на величину радиуса, напряженность поля составляет величину близкую к порогу чувствительности абонентского приемника, что соответствует окончание зоны обслуживания (радиопокрытия). Таким образом, подобные действия выполнялись для всех 9 базовых станций и в результате представлены на одном рисунке 4.4.

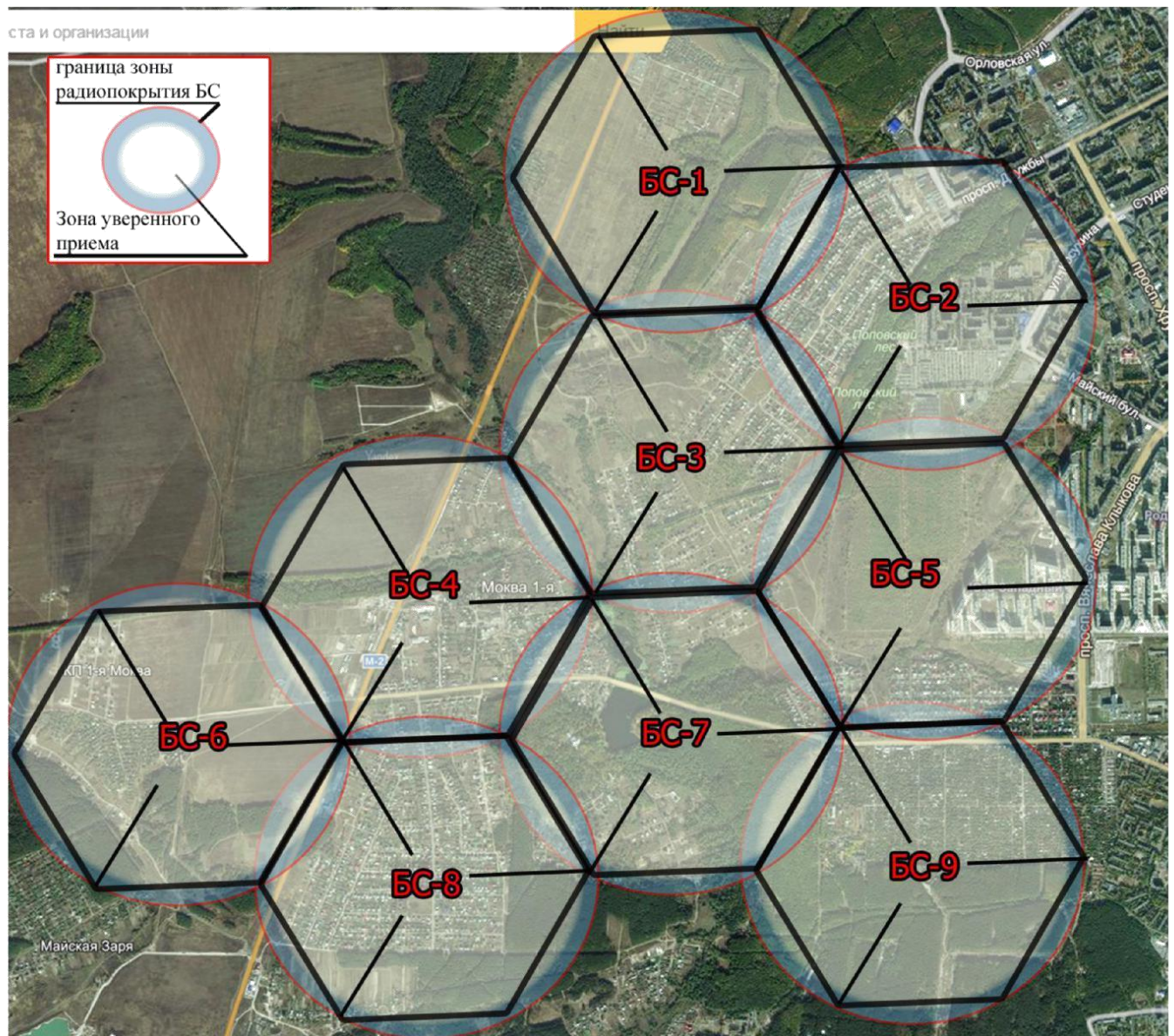


Рисунок 4.4 – Зона радиопокрытия сети микрорайона КЗТЗ

Для обеспечения электромагнитной совместимости радиосредств, необходимо выполнить частотно-территориальное планирование. Частотно-территориальный план сети LTE в микрорайоне КЗТЗ представлен на рисунке 4.5.

Указанные в плане частоты соответствуют выбранному 8 диапазону, т.е. значения несущих частот передатчиков будут соответствовать следующим показателям: $f_1=880$ МГц, $f_2=900$ МГц, $f_3=915$ МГц.

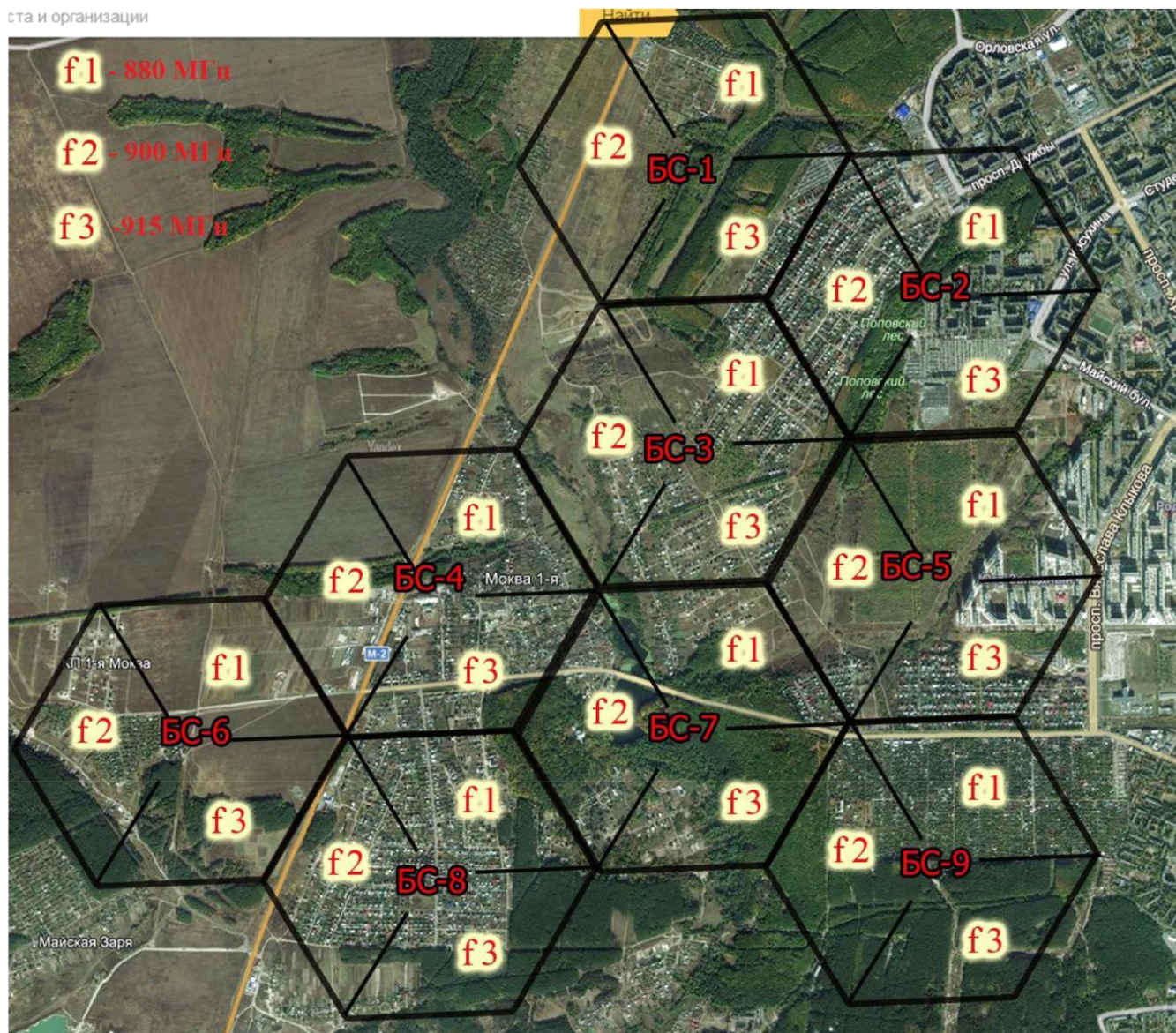


Рисунок 4.5 – Частотно-территориальный план сети.

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

5 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТИПА ЛИНИЙ СВЯЗИ

Согласно рассчитанной емкости сети, информационной нагрузке по определению зон радиопокрытия, для организации широкополосного доступа по технологии LTE в микрорайоне КЗТЗ г. Курск потребуется 9 базовых станций типа «макро». Пропускная способность каждой eNB на начальном этапе функционирования сети составит 158 Мбит/с, а всей сети LTE в микрорайоне 1,106 Гбит/с. После запуска сети в работу наступает этап оптимизации сети, в ходе которого пропускная способность базовых станций может быть увеличена способом размещения дополнительных радиомодулей. Для реализации сети ШПРД выбран производитель оборудования компания Alcatel-Lucent.

5.1 Базовая станция eNodeB

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



Рисунок 5.1 – Внешний вид Alcatel-Lucent 9926 eNodeB

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

Новый BBU можно использовать вместе с уже установленными BBU. Новинка разработана с тем, чтобы оператор мог внедрить централизованную

сетевую архитектуру, что позволит оператору поддерживать сети NGN, виртуализацию RAN или vRAN. а также переходить к развертыванию сети 5G.

Спецификация цифрового BBU:

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

Спецификация радиочастотной платформы:

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

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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



Рисунок 5.2 – Элементы eNodeB Alcatel-Lucent 9926 а) Радиочастотный блок (RRU); б) Приемо-передающая антенна

5.2 Alcatel-Lucent 9471 Wireless Manager Mobility

Alcatel-Lucent 9471 Менеджер Wireless Mobility (WMM) является комбинированный объектом управления мобильностью и обслуживания поддержки GPRS узла (MME / SGSN) в пакетном ядре сети (EPC). Он

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

обеспечивает сигнализацию, производительность и абонентскую масштабируемость, необходимые для современных мобильных услуг и обеспечивает большой потенциал для поддержки больших масштабов формата макро и метро для развертывания сотового сети.



Рисунок 5.3 – Внешний вид Alcatel-Lucent 9471

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

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

Преимущества и особенности:

- Снижает затраты и обеспечивает защиту инвестиций;
- Сочетает в себе SGSN и MME на (ATCA) платформе промышленного стандарта вычислений;

- Может обслуживать общую базу данных UE с общими ресурсами для сетей 2G / 3G, а также абоненты / LTE 4G;
- Высокая производительность и масштабируемость;
- Промышленный стандарт x86 и ATCA на базе платформы поддерживают сети масштаба макро, метро, и микро сот;
- Распределенная архитектура обработки с высокой производительностью многоядерных процессоров обеспечивает высокую абонентскую емкость и масштабируемость;
- В сочетании MME / SGSN с абонентским гибким лицензированием упрощает планирование и проектирование даже при изменении технологии 2G / 3G / LTE;
- Проверенная на практике программное обеспечение, которое было внедрено в крупнейшие мировые LTE сети демонстрирует надежность;
- Снижение сигнализации сети и улучшение пользовательской надежности;
- Расширенные возможности восстановления сессии поддерживают непрерывность обслуживания абонентов;
- Платформа для миграции в NFV и виртуальные MME и SGSN функции для улучшения использования сети и операционной эффективности.

5.3 Service Router - Mobile Gateway 7750

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

- Сотовые шлюзы для сетей доступа сотовой радиосвязи;

- Надежный gatekeeper беспроводного доступа (TWAG) для 3GPP сетей доступа;
- Evolved Packet Шлюз передачи данных (EPDG) для ненадежных сетей (не-3GPP).

Сотовые шлюзы

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

Шлюз Trusted Wireless Access (TWAG)

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

Evolved Packet Шлюз передачи данных (EPDG)

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

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Рисунок 5.4 – Внешний вид Alcatel-Lucent 7750

Преимущества и особенности:

Обеспечение ультра-широкополосных услуг мобильной связи с масштабируемостью и производительностью

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

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

Упрощение сети, снижение затраты

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

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

- Шлюз доступа Trusted Wireless (TWAG)

- Evolved Packet Шлюз передачи данных (EPDG)

- Политики и наборы команд по обеспечению соблюдения (PCEF)

- Использование Security (IPSec);

- шлюз для Wi-Fi WLAN сетей;

- Обеспечение конвергенции фиксированной и мобильной широкополосной связи.

- Упрощенная операции трансляции пакетов Service Aware управления с 5620 Service Aware Manager (SAM)

- Гибко наращивать возможности и производительность в мобильной сети
- Проверенная технология масштабирования ультра-широкополосных услуг мобильной связи без снижения производительности всей сети и и огромного количества потоков услуг пакетной передачи IP;

- Гибкость для поддержки сетевых функций виртуализации (NFV) с виртуализованных Mobile Gateway (VMG).

Базовые станции макросот Alcatel-Lucent 9926 соединяются по оптическим каналам с EPC на базе Alcatel-Lucent 9471 WMM. Радиоблок RRU и антенна находятся на мачте, причем RRU оптическим кабелем соединен с 9926.

Сервисные шлюзы (S-GW, P-GW, SIP, SGSN) реализованы на модуле 7750 Service Router и входят в состав EPC. Аппаратура, на которой реализована EPC имеет в своём составе оптические интерфейсы для подключения к внешним сетям и для подключения базовых станций. Общая схема организации связи представлена на рисунке 5.5.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

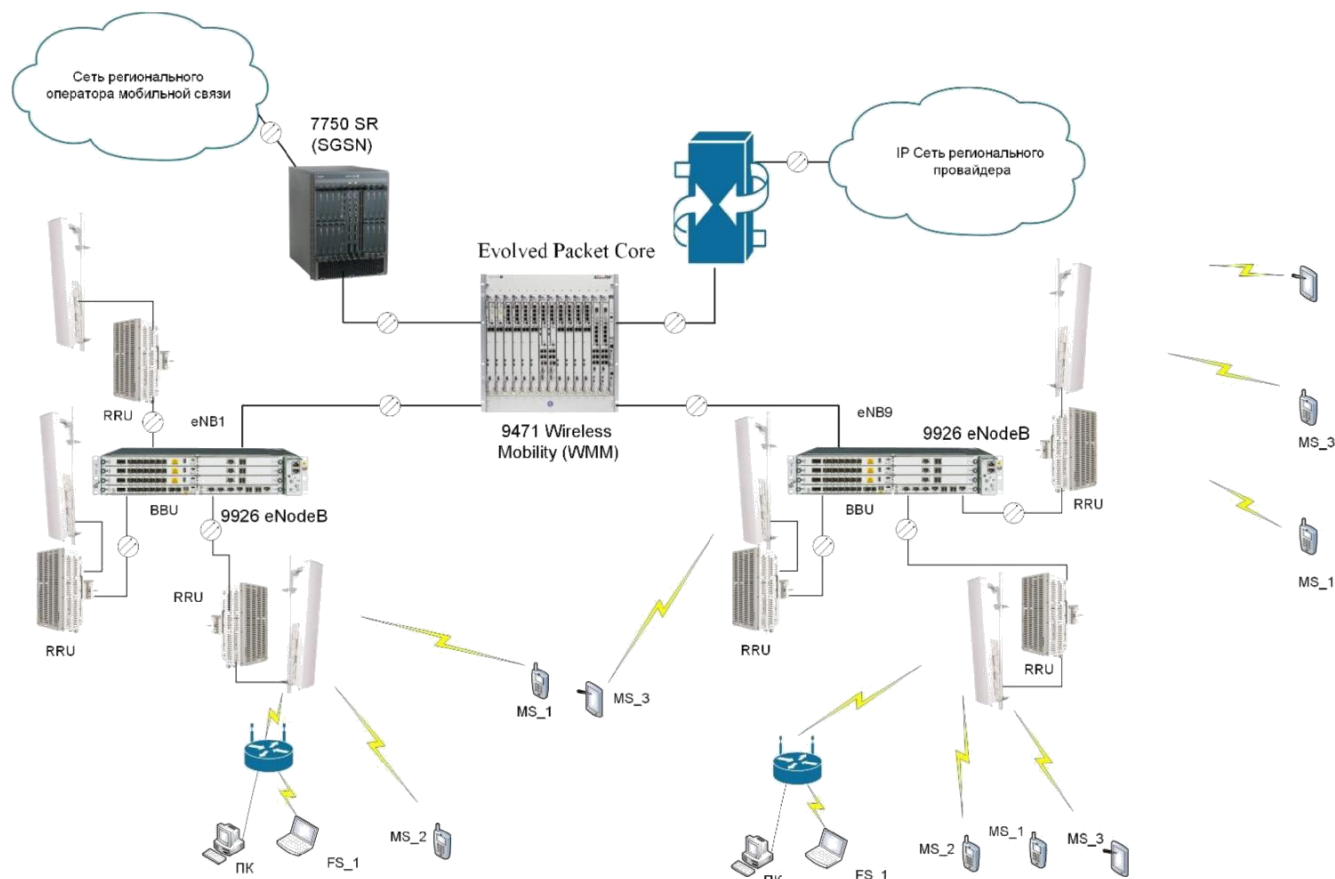


Рисунок 5.5 - Проектируемая схема организации связи сети LTE в микрорайоне КЗТЗ

Таким образом, для реализации сети широкополосного радиодоступа в микрорайоне КЗТЗ г. Курск 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.

6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

В данной главе дипломного проекта проводится технико-экономическое обоснование организации беспроводного доступа в микрорайоне КЗТЗ г. Курск с использованием технологии LTE.

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

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

6.1 Расчет капитальных вложений в проект

На этапе строительства сети LTE планируется реализовать мероприятия:

- строительство радиобашен, установка БС, установка контейнера для размещения оборудования БС, ввод в эксплуатацию БС;
- строительство волоконно-оптической линии связи на участках;
- установка маршрутизатора «9471 WMM» в помещении АТС;
- установка шлюза SGSN «7750 SR» в помещении ОПТС, подключение сети EPS LTE к внешним сетям;

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6.1.1 Расчет капитальных вложений на первом этапе

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

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

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

Определим затраты на прокладку кабеля.

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

$$C_{\Sigma} = C_{ок} * L_{ок}, \quad (6.1)$$

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

$L_{ок}$ – длина прокладываемого оптического кабеля, $L_{ок} = 10$ км.

$$C_{\Sigma} = 45000 * 10 = 450000 \text{ (руб.)}.$$

Расчет капитальных вложений на первом этапе приведен в таблице 6.1.

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

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 6.1 – Расчет капитальных вложений на первом этапе

Наименование и техническая характеристика оборудования, типы выполняемых работ	Количество	Цена единицы с НДС 18%,руб.	Стоимость итого, руб.
Сетевое оборудование			
Базовая станция Alcatel-Lucent 9926 eNodeB - RRU производитель «Alcatel-Lucent»; (в комплекте) Антенна приемо-передающая (в комплекте).	9	380 000	3 420 000
Комплект электроснабжения БС	9	70 000	630 000
Вспомогательные компоненты для монтажа	9	20000	300 000
Evolved Packet Core (EPC) Alcatel-Lucent 9471 Wireless Manager Mobility	1	465000	465 000
7750 Service Router - Mobile Gateway	1	66 000	66 000
Media Gateway	1	170 000	170 000
Программное обеспечениеММЕ	1	330 000	330 000
Кабель оптический ОКСТМ-10-01-0,22-4Е(1.5)	10 км	20 000	200 000
Монтаж оптического кабеля [19]	10 км.	300 000	3000 000
Итого			8 581 000
Тара и упаковка		0,5%	52 905
Транспортные расходы		4%	423 240
Заготовительно-складские расходы		1%	105 810
Установка и настройка		15%	1 587 150
Сумма			2 169 105
Дополнительное оборудование			
Установочно-монтажные комплекты	9	65 000	585 000
Антенно фидерные тракты, сигнализация и РРЛ	9	30 000	270 000
Контейнер цельнометаллический для размещения оборудования eNB, производитель ООО «ПМК»	9	30 000	270 000
ИБП Liebert«GXT2-1500 RT230»	9	20 000	180 000
Блок грозозащиты	9	2 000	18 000
Сплит-система «Hitahi Lury RAS/RAC-0,8 LH1/LH2»	9	10 000	90 000
Конвектор «Timit W4CT 1104D 1500W»	9	3 000	27 000
Итого			1 170 000
Тара и упаковка		0,5%	5850
Транспортные расходы		4%	46800
Заготовительно-складские расходы		1%	11700
СМР		15%	2 970 390
Итого			3 034 740
ИТОГО по смете			14 954 845
Разовая плата за спектр для РЭС (60 МГц)			840 000
ВСЕГО			15 794 845

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

Общие капитальные вложения на организацию сети связи в микрорайоне «КЗТЗ» городе Курск составили $K = 15\,794\,845$ руб.

6.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов

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

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

Затраты на оплату труда

Для расчета годового фонда заработной платы необходимо определить численность штата производственного персонала. Выбранное в дипломном проекте оборудование не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала. Поэтому вся группа по обслуживанию оборудования будет состоять из ниже перечисленных специалистов для аварийно-профилактических работ. В таблице 6.2 приведен рекомендуемый состав обслуживающего персонала.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 6.2 – Состав обслуживающего персонала

Наименование должностей	Оклад, руб.	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Инженер по обслуживанию и мониторингу сети	20 000	1	20 000
Монтажник высотник	20 000	2	40 000
Итого (ФЗП)		3	60 000

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

$$OT_2 = ЗП \cdot N_m \cdot Пр \cdot K_p \cdot K_{вр}, \quad (6.2)$$

где $ЗП$ – основной фонд заработной платы, $ЗП = 60\,000$ руб.;

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

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

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

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

$$OT_2 = 60000 \cdot 12 \cdot 1,3 \cdot 1,15 \cdot 1,04 = 1\,119\,456 \text{ (руб.)}.$$

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

$$СВ = OT_2 \cdot 0,3$$

$$СВ = 1\,119\,456 \cdot 0,3 = 335\,836,8 \text{ (руб.)}$$

Амортизационные отчисления

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

$$A = K_{осн.i} \cdot H_{a.i}, \quad (7.3)$$

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

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

$$A = 7\,751\,000 \cdot 0,05 = 387\,550 \text{ (руб.)}.$$

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Материальные затраты

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

$$M = Z_n + Z_m, \quad (7.4)$$

где Z_n – затраты на оплату электроэнергии;

Z_m – затраты на материалы и запасные части.

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

$$Z_n = T \cdot 24 \cdot 365 \cdot P, \quad (7.5)$$

где T – тариф на электроэнергию, $T = 3,26$ руб./кВт/час;

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

$$Z_n = 3,26 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1,35 \cdot 9 = 346\,974,84 \text{ (руб.)}.$$

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

$$Z_m = K \cdot 0,01 \quad (7.6)$$

$$Z_m = 15\,794\,845 \cdot 0,01 = 157\,948,45 \text{ (руб.)}.$$

Величина общих материальных затрат составит:

$$M = 346\,974,84 + 157\,948,45 = 504\,923,29 \text{ (руб.)}.$$

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

$$Z_{\text{общ. ар.}} = Z_{\text{ар}} \cdot N_{\text{ар}}, \quad (7.7)$$

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

$N_{\text{ар}}$ – количество арендуемых мест подвеса, $N_{\text{ар}} = 9$.

$$Z_{\text{общ. ар.}} = 300\,000 \cdot 9 = 2\,700\,000 \text{ (руб.)}.$$

Прочие расходы

Прочие расходы предусматривают общие производственные и

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

$$З_{np} = 0,4 \cdot OT \quad (6.8)$$

$$З_{np} = 0,4 * 1\,716\,499,2 = 686\,599,68 \text{ (руб.)}.$$

Расчет за пользование спектром

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

$$ПР = СР \times K_{\text{ДИАП}} \times K_{\text{РЧ}} \times K_{\text{ТЕХ}}; \quad (7.9)$$

где:

$ПР$ - размер разовой платы, руб.;

$СР$ - ставка разовой платы, руб.;

$K_{\text{ДИАП}}$ - коэффициент, учитывающий используемый диапазон радиочастот (для проектируемой сети LTE коэффициент равен – 2 [20]);

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

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

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

$$K_{\text{РЧ}} = \sum N; \quad (7.10)$$

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

N - количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов).

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

$$N = \Delta F \text{ (МГц)} / 1 \text{ МГц}, \quad (7.11)$$

где:

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

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

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

$$K_{\text{ТЕХ}} = K_{\text{ПЕРСП}} \times K_{\text{РЕГ}} \times K_{\text{СОЦ}}; \quad (7.12)$$

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

$K_{\text{РЕГ}}$ - коэффициент, учитывающий интенсивность использования

соответствующих выделенных полос радиочастот в субъекте (части субъекта) Российской Федерации и сформированный на основании плотности населения на территории субъекта (части субъекта) Российской Федерации, степени развития сетей подвижной радиотелефонной связи и степени экономического развития субъекта (части субъекта) Российской Федерации (Для Курской области $K_{\text{рег}}=1$) [20];

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

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

$$П_P=70000\times2\times60\times0,1=840000 \text{ руб.}$$

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

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

$$П_{Г} = \sum_{i=1}^4 П_{Г}^i (KB) , \quad (7.13)$$

где:

$$П_{Г(KB)}=C_{Г}/4\times K_{ДИАП}\times K_{РЧ}\times K_{ТЕХ}\times ДР/ДК; \quad (7.14)$$

$П_{Г}$ - размер ежегодной платы, руб.;

$П_{Г(KB)}$ - размер ежегодной платы за квартал, руб.;

$C_{Г}$ - ставка ежегодной платы, руб. (264 000 руб.) [20]

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

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

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

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тогда

$$П_{Г(КВ)} = 264000 \times 2 \times 60 \times 0,1 \times 365 / 365 = 3\,168\,000$$

Ежегодные затраты на аренду частотного ресурса шириной 60 МГц. будут составлять 792 000 рублей.

Результаты годовых эксплуатационных расходов приведены в таблице 7.3.

Таблица 6.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Виды расходов	Сумма расходов, руб.
Фонд оплаты труда годовой ($ОТ_2$)	1 716 499,2
Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды ($СВ$)	514 949,76
Амортизационные отчисления ($А$)	387 550
Материальные затраты ($М$)	504 923,29
Аренда мест подвеса БС ($З_{общ.ар}$)	2 700 000
Прочие расходы ($З_{пр}$)	686 599,68
Аренда частоты	3 168 000
ВСЕГО	9678521,93

Таким образом, общие эксплуатационные расходы равны 9 678 522 руб.

6.3 Расчет тарифных доходов

Емкость данной сети LTE определяется исходя из принципа, что к ней подключится максимальное количество абонентов.

Население в микрорайоне КЗТЗ составляет около 10000 человек. Рассчитаем примерное количество подключившихся абонентов к проектируемой сети для доступа к сети Интернет через USB-LTE модем и другие устройства ($N_{аб. нт}$), учитывая коэффициент проникновения услуги 45%

Так как доступ в сеть осуществляется через USB-LTE модем, который обычно покупается один на семью и устройство поддерживающего технологию LTE (смартфон), то в среднем на семью приходится 2 устройства, то $N_{аб. нт}$ примет следующее значение:

$$N_{аб. нт} = (10000/2) \times 0.45 = 2250 \text{ (человек).}$$

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 63

Предполагаемые тарифные планы по предоставлению доступа в сеть Интернет с помощью USB-LTE модемов показаны в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Предполагаемые тарифные планы и их стоимость

Тарифный план	Скорость подключения	Стоимость тарифа, руб./мес.	Порог	Доля абонентов от $N_{аб. нм}$, %	Примерное число подключившихся пользователей
T1	до 500 кбит/с	400	-	26	585
T2	до 1 Мбит/с	450	-	26	585
T3	до 2 Мбит/с	500	-	20	450
T4	до 4 Мбит/с	600	50 Гб	14	315
T5	до 6 Мбит/с	700	70 Гб	14	315

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

$$D_1 = \sum_{i=1}^5 T_i \cdot N_i, \quad (6.9)$$

где T_i – стоимость тарифного плана;

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

$$D_1 = [400 \cdot 585 + 450 \cdot 585 + 500 \cdot 450 + 600 \cdot 315 + 700 \cdot 315] \cdot 12 = \\ = [234000 + 263250 + 225000 + 189000 + 220500] \cdot 12 = 13\,581\,000 \text{ (руб.)}$$

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

$$D_2 = N_{аб. нм} \cdot (Z_n - Z), \quad (6.10)$$

где Z_n – стоимость продажи одного USB-LTE модема, $Z_n = 2990$ руб.;

Z – закупочная цена одного USB-LTE модема, $Z = 2000$ руб.

$$D_2 = 2250 \cdot (2990 - 1800) = 2\,677\,500 \text{ (руб.)}.$$

11070006.11.03.02.130.ПЗВКР

Лист
64

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

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

$$D_{общ} = D_1 + D_2 \quad (6.11)$$

$$D_{общ} = 13\,581\,000 + 2\,677\,500 = 16\,258\,500 \text{ (руб.)}.$$

6.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта

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

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

$$NPV = PV - IC, \quad (6.12)$$

где PV – денежный доход,

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

$$PV = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n}; \quad (6.13)$$

где P_n – доход, полученный в n -ом

году, i – норма дисконта,

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 65
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

T – количество лет, для которых производится расчет.

$$IC = \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}} ; \quad (6.14)$$

где I_n – инвестиции в n -ом году,

i – норма дисконта,

m – количество лет, в которых производятся выплаты.

Ставка дисконта может быть рассчитана различными способами, наиболее простым является кумулятивный, при котором в качестве нее выбирается средняя ставка по долгосрочным валютным депозитам крупнейших российских банков, включая Сбербанк РФ. Она составляет приблизительно 15 % и формируется в основном под воздействием внутренних рыночных факторов.

Таблица 6.6 – Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта

Год	P	PV	I	IC	NPV
0	0,00	0,00	23259522,00	23259522,00	-23259522,00
1	13581000,00	11809565,22	9678522,00	31675628,09	-19866062,87
2	14288500,00	22613724,01	9678522,00	38993981,21	-16380257,20
3	15233500,00	32629997,53	9678522,00	45357766,53	-12727768,99
4	16258500,00	41925847,68	9678522,00	50891492,89	-8965645,22
5	16950350	50353167,35	9678522,00	55703428,86	-5350261,51
6	16950350,00	57681271,42	9678522,00	59887721,01	-2206449,59
7	16950350	64053535,82	9678522,00	63526235,92	527299,90
8	16950350,00	69594635,31	9678522,00	66690161,93	2904473,37

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

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

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 66

Точный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

$$PP = T + NPV_n / (|NPV_{n-1}| + NPV_n), \quad (6.15)$$

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

NPV_n – положительный чистый денежный доход в n году;

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

$$PP = 6 + 527299,90 / (|-2038491,18| + 527299,90) = 6,19 \text{ года.}$$

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

$$PI = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} / \sum_{n=1}^m \frac{IC_n}{(1+i)^{n-1}}; \quad (6.16)$$

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

$$PI = 69594635,31 / 66690161,93 = 1,04$$

Так как полученный $PI > 1$ и равен 1,04 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

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1); \quad (6.17)$$

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

$$i_1 = 15; NPV_1 = 527299,90$$

$$i_2 = 20; NPV_2 = -3031043,55$$

$$IRR = 15 + \frac{527299,9}{527299,9 - (-3031043,55)} (20 - 15) = 15,74 \%$$

Согласно расчётам, внутренняя норма доходности проекта составляет 25,74 %, что значительно больше значения цены капитала, за которое принято 15 %, что означает, что проект выгоден в реализации и функционировании.

Результаты произведённых расчётов технико-экономических показателей сводим в таблице 6.7.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 6.7 – Техничко-экономические показатели

Показатели	Значение
1. Емкость сети (USB/моб.), абонентов	10 000
2. Пропускная способность сети, Гбит/с	12,104
3.Количество базовых станций стандарта LTE, шт.	9
4. Капитальные вложения общие, руб.	15 794 845
6. Годовые эксплуатационные расходы руб.	9 678 522
10. Срок окупаемости капитальных затрат, лет	6 лет и 4 месяца
11. Индекс рентабельности, %	4
12. Численность персонала, человек	3
13. Внутренняя норма доходности IRR, %	15.74

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

7 ОХРАНА ТРУДА, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОЕКТА

7.1 Биологическое действие СВЧ излучения. Методы защиты от СВЧ излучения

В настоящее время, по мере активного развития и разработок в области техники связи СВЧ-диапазона, все большее внимание уделяется вопросам защиты работающих от воздействия электромагнитных полей (ЭМП).

Радиооборудование проектируемой сети необходимо более подробно рассмотреть на предмет опасности воздействия СВЧ излучения.

Хорошо известен «тепловой эффект» микроволн, связанный с повышением температуры облучаемой ткани, применяется в медицине. Идея такого лечения заключается в создании температурных градиентов в различных органах тела, меняющих условия функционирования пораженного органа.

Наряду с этим, неконтролируемое воздействие как высокой и средней, так и низкой интенсивности СВЧ-излучения на организм человека может привести к возникновению различных заболеваний.

В общем случае реакция организма на ЭМИ радиодиапазона идет до некоторого порогового значения плотности потока мощности. Начиная с порогового значения плотности потока мощности и до ее значений, вызывающих заметный нагрев тканей (превышающий $0,1^{\circ}\text{C}$), биологический эффект не меняется.

Доля поглощенной СВЧ-энергии и ее относительное распределение в различных тканях и органах зависят от формы и размеров объекта его ориентации в поле, длины волны, электрических свойств тканей. В микроволновом диапазоне линейные размеры облучаемого объекта сравнимы с длиной волны или превышают ее. Количественной мерой поглощения служит отношение поглощенной в объекте мощности к общей мощности ЭМИ,

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

падающего на его поперечное сечение в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. В связи с тем, что различные ткани организма обладают разной толщиной, диэлектрической проницаемостью и проводимостью, максимумы поглощения могут возникать и внутри объекта облучения. Например, на частоте 918 мГц максимум поглощения для головы человека локализован в центральной области головы и составляет 0,458 мВт/см³ при плотности потока мощности облучения 1 мВт/см².

Традиционно многие исследователи объясняли биологическое действие микроволн только наличием тепловых эффектов, которые возникали при интенсивности > 10 мВт/см². Однако, в последнее время обнаружено отчетливое действие на организм СВЧ-излучения меньшей интенсивности, когда температура повышалась несущественно. При этом интересным является обнаружение частотных и энергетических окон при воздействии низкоинтенсивных модулированных электромагнитных полей на головной мозг. Наиболее отчетливые реакции клеток в мозговой ткани наблюдаются в случае модулирования СВЧ полей диапазона 150—450 мГц частотами от 1 до 20 Гц при интенсивности микроволн 0,1—1 мВт/см², что соответствует наведенной в ткани мозга напряженности электрической составляющей 1—10 В/м.

Очень малая энергия ЭМИ, необходимая для оказания существенного влияния на функционирование организмов, свидетельствует о том, что ЭМИ не случайный для живых организмов фактор, что сигналы ЭМИ вырабатываются и используются в определенных целях самим организмом, а внешнее облучение лишь имитирует вырабатываемые организмом сигналы. Проникая в организм, внешние излучения на определенных (резонансных) частотах трансформируются в информационные сигналы, осуществляющие управление и регулирование восстановительными или приспособительными процессами в организме.

Организационный метод защиты от электромагнитного излучения

Наиболее общим эффектом действия радиоволн на организм человека

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

(электромагнитных излучений малых уровней) является дезадаптация - нарушение функций механизма, регулирующих приспособительные реакции организма к изменениям условий внешней среды (к теплу, холоду, шуму, психологических травм т. п.) т. е. СВЧ поле является типичным стрессом.

Имеющаяся система взглядов о характере взаимодействия низкоинтенсивного СВЧ-излучения с биологическими объектами только начинает формироваться, она не является бесспорной, но безусловно важна для понимания и управления процессами жизнедеятельности.

В диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, связанного с воздействием ЭМП, оно оценивается по предельно допустимой плотности потока мощности.

Особое значение имеет безопасность жизнедеятельности профессионалов, работающих с СВЧ-излучением. В этой связи в России предусмотрены следующие обоснованные с точки зрения медицины уровни непрерывного СВЧ облучения:

- а) в течение 8 часов — 10 мкВт/см^2 ;
- б) до 2 часов в сутки — 100 мкВт/см^2 ;
- в) до 20 минут в сутки — 1000 мкВт/см^2 .

Радиорелейная станция и базовая станция включают в себя мощные СВЧ устройства, в которых генераторы высокочастотной энергии имеют мощность около сотен киловатт в импульсном режиме. Даже если небольшая часть этой мощности просачивается в окружающее установочное пространство, это может представлять опасность для окружающих: воздействие достаточно мощного СВЧ излучения на зрение, нервную систему и другие органы человека может вызвать серьезные болезненные явления. Поэтому при работе с мощными источниками СВЧ энергии необходимо неукоснительно соблюдать требования техники безопасности.

В нашей стране установлена безопасная норма СВЧ излучения, т.е. так называемая санитарная норма — 10 мкВт/см^2 . Она означает, что в месте

нахождения обслуживающего персонала мощность потока СВЧ энергии не должна превышать 10 мкВт на каждый квадратный сантиметр поверхности.

Следует отметить, что по мере удаления от мест излучения СВЧ мощности - от резонаторных камер или волноводных систем, где производится обработка с помощью СВЧ энергии - поток излученной энергии быстро ослабевает (обратно пропорционально квадрату расстояния). Поэтому можно установить безопасную границу, где уровень излучения ниже нормы, и выполнить её в виде ограждения, за которое нельзя заходить во время выполнения технологического процесса.

При этом защитные устройства получаются достаточно простыми и недорогими.

К основным способам и средствам защиты от воздействия ЭМП относятся:

- Организационные меры защиты;
- Уменьшение интенсивности излучения от источника;
- Экранирование источника излучения;
- Экранирование или удаление рабочего места от источника излучения;
- Применение средств сигнализации;
- Применение средств индивидуальной защиты.

В зависимости от конкретных условий работы может применяться одно из этих средств или любая их комбинация.

К организационным мерам защиты относятся рациональное размещение оборудования, установление определенных режимов работы установок и обслуживающего персонала, что позволяет уменьшить время пребывания человека в зоне действия ЭМП.

Использование дистанционного управления оборудованием позволяет персоналу исполнять свои функции, находясь вне зоны действия ЭМП.

Метод защиты расстоянием

К работе с установками СВЧ допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие предварительный медосмотр, обучение и сдавшие экзамены по ТБ. Ежегодно персонал, обслуживающий такие установки, проходит медосмотр.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Если работа проходит в условиях повышенной опасности, при дозе облучения, превышающей предельно допустимые нормы, то для работающих устанавливаются укороченный день и дополнительный отпуск.

Для ослабления излучения в источнике могут быть использованы следующие технические средства. Работа на пониженной мощности, когда установка работает, отдавая только часть своей проектной мощности. Такой режим используется в процессе настройки, регулировки и при профилактических работах. Работа на эквивалентную нагрузку, когда установка подключена не к излучающей антенне, а к ее эквиваленту. Это позволяет контролировать режимы работы установки при полной мощности, но без излучения ЭМП. Кроме перечисленных средств, можно уменьшить излучение ЭМП, если своевременно устранять места излучения в волноводах и фидерах, а также уменьшать отраженную волну за счет согласования нагрузок.

Регулярный контроль допустимых уровней ЭМИ осуществляется специальными приборами по методике Минздрава России. Внеплановый контроль обязателен при любых изменениях режимов работы излучающего оборудования, особенно при подключении новых излучателей.

Источник излучения экранируется с помощью специальных экранов. Защитные свойства экранов основаны на отражении и поглощении электромагнитных излучений различными материалами. Лучшими отражающими свойствами обладают металлы, имеющие высокую электропроводность (алюминий, медь, сталь), лучшими поглощающими свойствами обладают диэлектрики, имеющие большие потери. Экраны обязательно заземляются.

Включение предупредительной сигнализации позволяет информировать персонал о том, что установка работает в режиме излучения ЭМП. На каждой установке обязательны зеленая и красная лампы. Зеленая лампа сигнализирует о готовности установки к работе в режиме излучения ЭМП, красная – о наличии

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

излучения. Кроме того, для информации персонала используются предупредительные надписи и плакаты.

При превышении уровней интенсивностей ЭМП по отношению к допустимым используются индивидуальные средства защиты. К ним относятся радиозащитные очки и специальные халаты с капюшонами или комбинезоны.

Предотвращение излучения через отверстие для наблюдения или подачи воздуха осуществляется применением металлических трубок достаточно малого внутреннего диаметра и необходимой длины. Такие трубки являются заградительными волноводами и практически не пропускают СВЧ энергию..

Защита – это заключительный этап всего цикла работ, направленных на обеспечение безопасности персонала и населения, находящихся в зоне действия мощных радиотехнических средств СВЧ. В большинстве случаев под защитой понимаются любые мероприятия, направленные на снижение эффективности воздействующего фактора. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что СВЧ излучение является серьезным негативно воздействующим на организм человека фактором и требует неукоснительного соблюдения всех норм техники безопасности.

7.2 Техника безопасности при установке антенн

Нельзя выполнять работы по установке антенн во время дождя, снегопада, гололедицы, при сильном ветре и т. п. Выходить на крышу можно через люк или слуховое окно. По пожарной лестнице допускается подниматься на здания, имеющие не более двух этажей.

При установке и ремонте антенн каждый работающий обязан иметь следующие защитные средства: диэлектрические перчатки, предохранительный пояс и веревку, очки, рукавицы, фонарь, а также инструмент с изолирующими ручками. Работают на крыше в обуви на резиновой подошве.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Перед выходом на крышу необходимо надеть предохранительный пояс с веревкой для страховки или обвязаться прочной веревкой, второй конец которой закрепить на чердаке за балку или стропила. Крепление веревок за дымовые трубы не допускается.

На плоские огражденные и неогражденные крыши выход допускается без страхующего каната в обуви на резиновой подошве с надетым предохранительным поясом. При необходимости подхода к краю крыши применение страхующего каната обязательно. Около мачт антенн, установленных на крутых крышах, должны быть устроены выходные люки. На люке прочно закрепляют болт или кольцо, к которому привязывают веревку для страховки. Второй конец ее прикрепляют к предохранительному поясу работающего на крыше.

Элементы антенн доставляют на крышу через чердак или непосредственно с земли при помощи кронштейна с блоком. Антенну устанавливают не менее двух человек (до 5 м). При длине мачты более 5 м количество работников увеличивается, например, при подъеме антенны высотой 7,5 м два человека поднимают мачту, два тянут за оттяжку в сторону подъема, а остальные двое человек страхуют мачту другими оттяжками. При подъеме антенны работающие прикрепляют страхующие веревки к стяжным болтам или к основанию антенны.

При оборудовании снижения антенны (закрепление кабеля к отводной планке и при устройстве ввода в окно комнаты работающий должен "страховаться" веревкой. При монтаже антенны следует пользоваться приставными лестницами. Нижние концы лестниц при установке на полу снабжают резиновыми наконечниками, при установке на грунте - острыми металлическими щупами.

Если работу с лестницы выполняют на высоте более 3-х метров или устанавливают ее на цементном и плиточном полах, во избежание падения лестницу поддерживает специально назначенный для этого работник.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При пробивке отверстий, гнезд или борозд в каменных и бетонных стенах зданий надевают защитные очки и рукавицы. Перед подключением абонентского отвода к телевизионной антенне коллективного пользования проверяют измерительным прибором отсутствие в ней напряжения электросети. При наличии напряжения подсоединять к антенне вход телевизора категорически запрещается.

Грозозащита антенн

Чтобы избежать поражения молнией антенны, телевизора и людей, находящихся внутри здания, необходимо выполнить ряд мероприятий по грозозащите антенны. Металлические мачты, на которых устанавливаются антенны, должны быть заземлены. Так как в антеннах наиболее часто применяются петлевые вибраторы, которые средней точкой соединены с металлической стрелой, а стрела с металлической мачтой, то дополнительных мер по грозозащите не требуется (кроме заземления металлической мачты). Если же мачта деревянная, то по ней необходимо проложить толстый (сечением 15-25 мм²) провод или медную ленту, которые одним концом соединяют с серединами вибраторов, а другой с заземлителем.

Заземлитель представляет собой ряд штырей, закопанных или вбитых в землю на глубину 2-3 м, и соединенных между собой толстым проводом или шиной. Вместо штырей можно использовать стальной оцинкованный лист или другой массивный металлический предмет. Для уменьшения сопротивления заземления размеры закопанного предмета должны быть максимальной величины. Металлическую оплетку коаксиального кабеля фидера также необходимо заземлить. Лучшая грозозащита осуществляется установкой на вершине мачты металлического вертикально расположенного заостренного штыря такой длины, чтобы его острие располагалось хотя бы на 1,5 м выше антенны. Если наружная антенна установлена вблизи высоких сооружений (либо на балконе или лоджии), оборудованных молниеотводами, то устройство

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

грозозащиты не обязательно. Комнатные антенны также не требуют грозозащиты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данного дипломного проекта была спроектирована сеть беспроводного широкополосного радиодоступа в микрорайоне КЗТЗ г. Курск на базе технологии LTE-Advance. Все поставленные перед проектом задачи были решены, а цель достигнута. В процессе выполнения дипломного проекта был проведен анализ существующей сети, в ходе которого было определено предполагаемое количество абонентов сети – 2250 пользователей. Было решено предоставлять абонентам основные услуги Triple Play Services, такие как услуги IP телефонии, IP телевидения и предоставления доступа к глобальной сети Internet.

В качестве основного вендора оборудования на базе, которого построена сеть была выбрана компания-производитель «Alcatel-Lucent». Выбор именно этой компании обусловлен, тем что в её линейке продуктов есть все необходимое оборудование для построения сети беспроводного доступа на базе технологии LTE и оборудование сертифицировано для использования на территории Российской Федерации.

При проектировании были рассчитаны капитальные затраты на реализацию проекта, которые складывались из затрат на приобретение оборудования и строительства волоконно-оптических и кабельных линий связи, а также антенно-мачтовых сооружений. Первоначальные капитальные затраты составили около 26 248 351,8 рублей. Так же были определены сроки окупаемости затрат, рентабельность проекта и чистый доход.

В дальнейшем при увеличении числа пользователей сети возможно увеличение абонентской емкости без существенных затрат на оборудование доступа, так как при проектировании использовались технологии и принципы построения, обеспечивающие гибкость и масштабируемость сети.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

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

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

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

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

16. 3GPP TS 36 104: «E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 9). April 2011.

17. Официальный сайт в сети Интернет компании «Alcatel-Lucent» [Электронный ресурс] // URL: www.alcatel-lucent.com. Дата обращения 26.04.2016.

18. Форум о 4G: WiMAX и LTE [Электронный ресурс] // URL: www.forum4g.ru. Дата обращения 20.04.2016.

19. Мобильный форум России [Электронный ресурс] // URL: <http://www.mforum.ru/>. Дата обращения 27.04.2016.

					11070006.11.03.02.130.ПЗВКР	Лист 81
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

