

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

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Кафедра информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА В
ЮГО-ВОСТОЧНОМ ОКРУГЕ Г. ЗЕЛЕНОГРАД МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Выпускная квалификационная работа студентки

очной формы обучения

**направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
4 курса группы 07001209**

Акулининой Анастасии Олеговны

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

Рецензент
Инженер Цеха
Белгородского ОРТПЦ
Анисимов В.Ю.

БЕЛГОРОД 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА	6
1.1 Описание объекта для проектирования сети.....	6
1.2 Анализ существующей сети связи.....	8
2 РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ДОСТУПА LTE.....	12
2.1 Определение перечня предоставляемых услуг	12
2.2 Описание технологии широкополосного радиодоступа LTE.....	13
3 ГЛАВА 3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ	24
3.1 Расчет частотных каналов.....	25
4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТИПА РАДИОЛИНИЙ СВЯЗИ.....	31
4.1. Выбор оборудования транспортной сети.....	31
5 ЭКОЛОГИЯ, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ	41
5.1 Экологическая характеристика.....	41
5.2 Техника безопасности на производстве	42
6. ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	44
6.1 Этап строительства сети LTE.....	44
6.2 Расчет капитальных вложений на первом этапе.....	45
6.3 Расчет разовой и ежегодной планы за использование в РФ радиочастотного спектра.....	47
6.4 Расчет годовых эксплуатационных расходов.....	50
6.5 Расчет тарифных доходов.....	55
6.6 Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации.....	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	63

ВВЕДЕНИЕ

Высокоскоростная сеть беспроводного доступа – это активная тенденция нашего поколения. В настоящие дни стремительно создаётся и развивается.

Первая в России сотовая сеть появилась в 1991 году, когда свою работу в аналоговом стандарте NMT-450i начала компания «Дельта Телеком». В то время пользоваться услугами сотовой связи могли себе позволить только состоятельные люди. Сегодня 2016 год, значит, прошло около 25 лет. Эти годы были очень успешными. Устройства становятся все более мощными легкими, их стоимость уменьшается, а сотовая связь стала намного совершеннее. Теперь она выполняет не только функции телефонного разговора, но и доступ к развлекательным функциям современности. Несмотря на все положительные тенденции развития мобильного широкополосного доступа требования абонентов растут гораздо быстрее, чем это может себе позволить техника.

Задачи состоит в том, чтобы выполнить потребности абонентов. Актуальность состоит в том, что постоянно растет количество пользователей, так же возрастает потребность в более быстрых емких услугах связи. Доступ абонента в сети практически круглосуточно, и ему необходима эта услуга, ведь мы живем в век информационных технологий. Не должно быть перегрузок и долгих подключений между базовыми станциями – мобильность залог успешного провайдера.

Целью проекта расширить зону присутствия оператора связи для предоставления абонентам Юго-Восточной части города Зеленоград широкополосного беспроводного доступа к современным услугам связи.

Задачи данного проекта:

- Анализ инфраструктуры населенного пункта
- Анализ существующей сети связи;

- Выбор варианта реализации высокоскоростной сети широкополосного доступа в г. Зеленоград Московской области;
- Выбор сетевых технологий для реализации сети;
- Выбор варианта проектирования сети;
- Расчет нагрузок;
- Расчет зоны радио покрытия;
- Выбор и расчет объема оборудования;
- Разработка рекомендаций по строительству широкополосной сети абонентского доступа;
- Технико-экономическое обоснование.

Диплом состоит из 6 глав, в которых решаются поставленные задачи.

1 АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЪЕКТА

1.1 Описание объекта для проектирования сети

Объектом для проектирования город Зеленоград Московской области был выбран не случайно. Это населенный объект с многовековой историей, расположенный на 37 километров северо-западнее от Москвы с общей площадью в 37,1 км². Первый из округов образованный за пределами Московской кольцевой автодороги. Один из главных научно-производственных центров советской и российской электроники и микроэлектроники.

В настоящее время самый аленький округ Москвы.

Временем основания города принято указывать 3 марта 1958 год, в период Великой отечественной войны. Правительство в те годы приняло решения распределить население Москвы, и построить город в районе станции Крюкова. Зеленоград планировали сделать спутником столицы России с небольшим количеством жителей и зданиями не выше четырех этажей. В городе так же планировалось перевезти предприятия легкой промышленности, также шарикоподшипниковый и часовой заводы. Данная идея так и не была воплощена в жизнь.

В 1962 году строящийся город по распоряжению председателя Государственного комитета по электронной технике Шокина Александра Ивановича было положено развитие электроники и микроэлектроники в целях создания главного центра микроэлектроники «Научный центр». Так же в городе стали строиться многоэтажные здания.

Население города значительно выросло со дня основания, по настоящее время. В 2016 году оно составило 237 897 человек и постоянно увеличивается.

Изучая рельеф и географического положения местности можно сказать, что территория равнинная.

Главными реками Зеленограда являются Сходня и её правый приток Горетовка протекаю через весь центр города в направлении с севера–запада на северо-восток.

Упомянув растительный покров города можно указать, что расположен в пределах Клинско-Дмитровского ботанико-географического района, где преобладают еловые леса с сосной и дубом. Сосна и дуб являются дополнением к основной породе и не образуют больших территорий сосняков и дубняков.

В 2016 год в городе Зеленоград главными операторами мобильной связи являются МТС, МегаФон, Билайн, Теле2.

Главным фиксированным оператором связи в городе Зеленоград - ОАО «Ростелеком». В настоящее время ОАО «Ростелеком» предлагает свои абонентам услуги: стационарная аналоговая телефония, доступ в сеть Интернет по технологиям FTTB и ADSL.

В настоящее время в городе Зеленоград Московской области высокоскоростная сеть LTE покрывает более 70% занимаемой территории.

Увеличить зоны радио покрытия является одной из главных и приоритетных задач в регионе, так как увеличивается количество абонентов. Технология высокоскоростной сети беспроводного доступа откроет новые возможности для жителей города

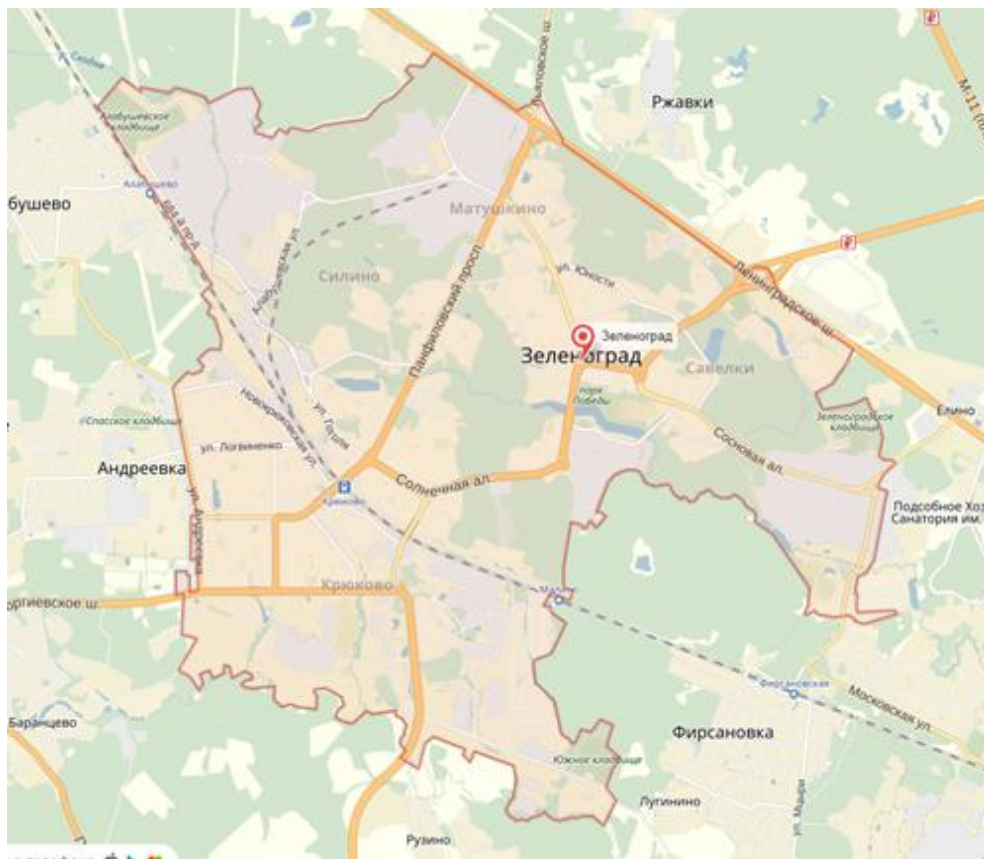


Рисунок 1.1 – Город Зеленоград

1.2 Анализ существующей сети связи

Для подтверждения актуальности и конкурентоспособности нашего проекта необходимо более подробно проанализировать существующую сеть связи, а также предоставляемые пакеты услуг абонентам и технологии, с помощью которых осуществляются задачи.

Большинство абонентов имеют доступ к глобальной среде Internet с помощью технологии HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access — пакетная передача данных от базовой станции к мобильному телефону) при использовании 3G модемов операторов мобильной связи МТС, Мегафон. На рисунке 1.2 представлена схема организации существующие сети в городе Зеленогорск.

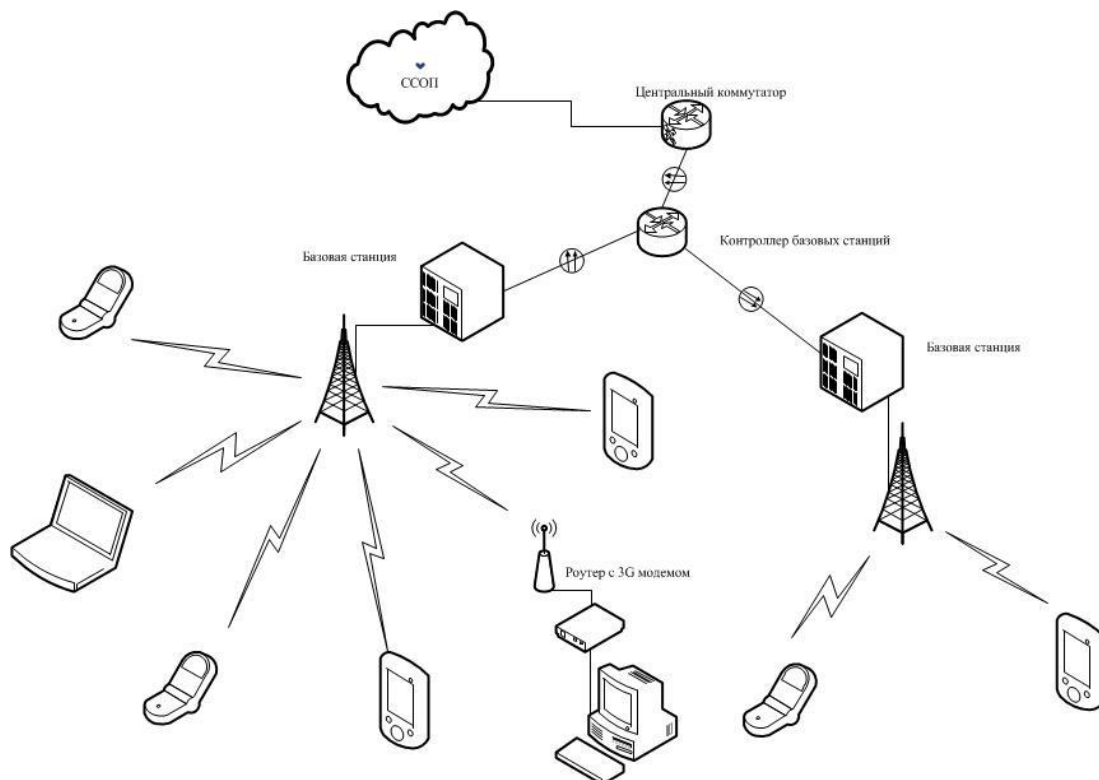


Рисунок 1.2 – Схема организации связи сотового оператора города Зеленоград Московской области.

С помощью технологии HSDPA операторы не могут предоставить услуги абонентам на необходимом уровне, так как существуют ограничения скорости передачи информации.

Для реализации современных услуг связи необходимо иметь широкополосные частотные каналы, что не реализуемо в существующих радиосистемах. Прокладывать новую кабельную инфраструктуру экономически не целесообразно, поэтому очевидно применение беспроводных технологий широкополосного доступа для реализации целей проекта. На сегодняшний день таких технологий несколько и наиболее распространенные и перспективными считаются WiMAX стандарта IEEE 802.16e (Mobile WiMAX) и LTE Advance. В таблице 1.1 представлены основные характеристики технологий мобильного WiMAX и LTE

Таблица 1.1 - Основные характеристики технологий мобильного WiMAX и LTE

Параметр	LTE (по описаниям)				WiMAX Rel 1.5	
	Motorola		T- Mobile	Qualcomm		
Антенны базовой станции	2x2	4x4	2x4	4x2	2x2	4x4
Канал (ширина полосы)	2x20 МГц				2x20 МГц	
Модуляция	64QAM-5/6		64QAM-5/6	64QAM-?	64QAM-5/6	
Пиковая скорость при скачивании данных (в абонентский терминал)	117 Мбит/с	226 Мбит/с	144 Мбит/с	277 Мбит/с	144.6 Мбит/с	289 Мбит/с
Антенны терминала	--	--	1x2	1x2	1x2	
Модуляция	--	--	64QAM	64QAM	64QAM-5/6	
Пиковая скорость при закачивании данных (к базовой станции)	--	--	50.4 Мбит/с	75 Мбит/с	69.1 Мбит/с	

Выводы

Стандарт IEEE 802.16m будет максимально отражать спецификацию и требования IMT-Advanced

Мобильный WiMAX rel 1.5 и LTE имеют схожие характеристики. На линии от базовой станции используется OFDMA с многоуровневой модуляцией и кодированием. Пиковые скорости имеют схожие характеристики при скоростях корректирующего кода и одинаковых кратностях модуляции. Так же используется и FDD и TDD дуплексирование при ширине канала до 20

МГц. В данных технологиях используется MIMO большей кратности и уменьшение задержки.

Спектральная эффективность и пропускная способность мобильного WiMAX, релизе 2.0 имеет лучшие параметры, в отличие от LTE.

Для построения сетей требуется выделение частотного спектра, и многорежимные абонентские устройства.

В данном дипломном проекте была выбрана технология LTE, так как ее реализация будет проще на существующей инфраструктуре сетей 3G.

2 РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА LTE

2.1 Определение перечня предоставляемых услуг

Спектр услуг, предоставляемых сетями LTE

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

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

2.2 Описание технологии широкополосного радиодоступа LTE

Главными принципами построения сетевой архитектуры LTE-SAE являются общая опорная точка и узел шлюза (Gateway Node, GW) для всех остальных технологий доступа. Архитектура оптимизирована в плоскости на функциональном уровне для пользователя. Во всех интерфейсах реализуются протоколы на базе IP. Интеграция технологий доступа, не относящихся к 3GPP, реализуется на базе IP как у абонента, так и в сети.

Архитектура использует переход на меньшее количество узлов, которое снижается с четырех до двух (базовые станции и шлюзы). Применяется разделение функций интерфейса сети радиодоступа RAN-CN, аналогично как у WCDMA/HSPA. Также разделяются плоскость управления и плоскость пользователя между системой управления мобильностью (MME) и шлюзом. Шлюз, который может выполнять функции устройства сети пакетных данных (PDN), так и сервисного шлюза, конфигурируется под выполнение обеих ролей или какой-нибудь одной из них. PDN-шлюз служит общей опорной точкой для всех остальных технологий доступа. Этим в границах одной или нескольких технологий доступа обеспечивается стабильная точка присутствия для всех пользователей на основе IP, вне зависимости от мобильности [3]. Архитектура сети представлена на рисунке 2.1

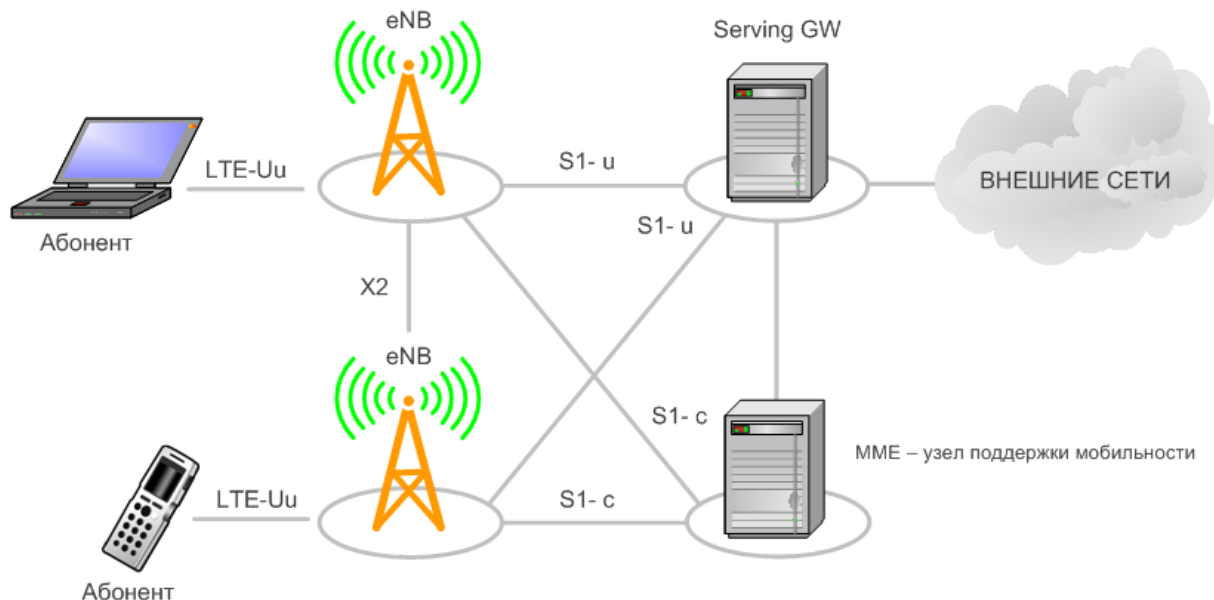


Рисунок 2.1 – Архитектура сети LTE

eNB – базовые станции; Serving GW – общий шлюз доступа; LTE-Uu - физический интерфейс пользователя; X2 - физический интерфейс между базовыми станциями для обеспечения хэндовера ; S1-u - интерфейс передачи пользовательских данных; S1-c – служебный интерфейс MME

Главным компонентом архитектуры SAE является Evolved Packet Core (EPC). EPC служит эквивалентом сети GPRS. Компонентами EPC являются

MME (узел управления мобильностью — Mobility Management Entity) — это ключевой контролирующий модуль для сети доступа LTE. Он отвечает за процедуры обеспечения мобильности, хэндовера, слежения и пейджинга UE (пользовательского устройства — User Equipment). Он участвует в процессах активации/деактивации сетевых ресурсов и так же отвечает за выбор SGW для UE при начальном подключении и при хэндовере внутри LTE со сменой узла ядра сети (Core Network — CN). Он отвечает за аутентификацию пользователя (при взаимодействии с HSS). Сигнализация слоя без доступа (Non-Access Stratum — NAS) оканчивается в MME и данный узел так же отвечает за генерацию и распределение временных идентификаторов для UE. Он проверяет авторизацию UE для доступа к сервис-провайдерам мобильных сетей (Public Land Mobile Network — PLMN) и реализует роуминговые ограничения для UE. MME является

заключительной точкой сети для шифрования/защиты целостности сигнализации NAS и отвечает за управление безопасностью. Узаконенный перехват сигнализации так же обеспечивается MME. MME предоставляет плоскость функций контроля для обеспечения мобильности между LTE и сетями доступа 2G/3G через интерфейс S3 установленный к MME от SGSN. MME так же соединен интерфейсом S6a с домашним HSS для роуминга UE.

SGW (обслуживающий шлюз — Serving Gateway): Предназначен для обработки и маршрутизации пакетных данных поступающих из/в подсистему базовых станций. SGW маршрутизирует и направляет пакеты с пользовательскими данными, в то же время выполняя роль узла управления мобильностью (mobility anchor) для пользовательских данных при хэндовере между базовыми станциями (eNodeB), а также как узел управления мобильностью между сетью LTE и сетями с другими технологиями 3GPP. Когда UE свободен и не занят вызовом, SGW подключает нисходящий канал данных (Down Link — DL) и производит пейджинг, если требуется передать данные по DL в направлении UE. Он управляет и хранит состояния UE (например требования по пропускной способности для IP-сервисов, внутреннюю информацию по сетевой маршрутизации). Он так же предоставляет копию пользовательских данных при узаконенном перехвате

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

PCRF (узел выставления счетов абонентам - Policy and Charging Rules Function): Это - общее название для устройств в рамках SAE EPC, которые

отслеживают поток предоставляемых услуг, и обеспечивают тарифную политику. Для приложений, требующих контроль или начисление платы в режиме реального времени, может использоваться дополнительный сетевой элемент под названием Applications Function (AF).

Распределение интеллекта в LTE-SAE

Для обеспечения необходимой функциональности в рамках LTE, в структуре SAE, слой управления сдвигается от ядра к периферии. Управляющие узлы RNC удаляются и управление радиочастотным ресурсом передается базовым станциям. Новый тип базовых станций получил название eNodeB или eNB.

3GPP устанавливает архитектуру распределительной сети для LTE с требованием поддержки двух ключевых интерфейсов: S1 — интерфейс между LTE eNBs и EPC (Evolved Packet Core - включает S-GW и MME) X2 интерфейс, объединяющий eNBs с другими eNBs в определенные логические группы (рис.2.2).

Эти два интерфейса применяются при передаче пакетов контрольной плоскости (обмен сообщениями) и канальной плоскости (пользовательские данные). Кроме того, улучшение покрытия обеспечивают микросоты (маломощные eNBs для покрытия небольшой площади), пикосоты (обычно помещения офисных комплексов, торговых центров, вокзалов) или фемтосоты (жилые дома и небольшие офисы).

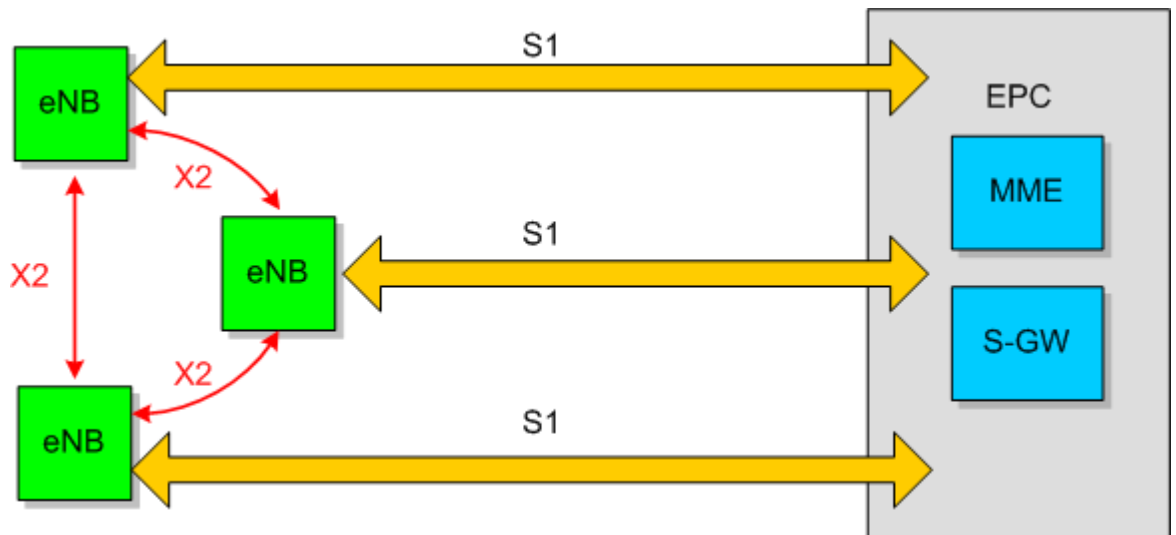


Рисунок 2.2 – Логическая архитектура LTE

По степени эволюции беспроводных технологий их функциональность дополнялась: появились распределенный радиоконтроль (Distributed Access Control) и плоскость полезных данных IP (IP Bearer Plane). eNBs на базовых станциях представляют собой конечные точки IP с поддержкой плоскости полезных данных IP. В этой плоскости передается пользовательский трафик через туннели GTP и сигнальный трафик через туннели SCTP. eNBs, служащие в качестве конечных точек IP, отображают пользовательский трафик на несущие потоки IP (S1) между контроллерами eNBs и S-GW/MME. Если пользователь перемещается в другую соту, то интерфейс несущего IP-потока (X2) между eNBs разных сот можно использовать для обмена протокольными сообщениями для координации эстафетной передачи между соседними узлами

На рисунке 2.2 изображен интерфейс X2 между eNBs, а также представлен интерфейс S1 между eNBs и контроллерами. Предполагается, что интерфейс S1 будет выполнен в основном по соединениям «точка – точка» между eNB и контроллерами, хотя возможны и соединения «точка — множество точек». Стандартно интерфейс X2 реализуется по многоточечным соединениям между подмножеством соседних ячеек, обычно находящихся в одной подсети IP. Их количество может достигать 32 и даже 64, однако, как ожидается, в типичной функциональной модели будет не более 4–16 ячеек.

Интерфейс X2 выиграет от низкой задержки при обмене протокольными сообщениями между сотами в одной подсети IP, а также от стабильности работы сети, особенно после введения расширенных возможностей LTE (редакция 10 и более поздние версии), таких как скоординированная многоточечная передача Coordinated Multipoint Transmission (CoMP).

Это обеспечивает гораздо более высокий уровень прямого взаимодействия. Данное подключение, также позволяет направлять многие вызовы напрямую, поскольку большое количество звонков и соединений в сети предназначаются для мобильных устройств в той же или соседних сотах. Новая структура позволяет направлять вызовы по более короткому маршруту и с минимальным использованием ресурса ядра сети.

В дополнение к реализации 1 и 2-го уровней OSI, eNB управляет рядом других функций, которые включают в себя контроль радио ресурсов (включая управление доступом), балансировку нагрузки и управление мобильностью, включая принятие решений о хэндовеере для мобильных пользователей или оборудования (UE). Гибкость, заложенная в eNB, позволяет им поддерживать дальнейшее расширение функциональности для перехода от LTE к LTE Advanced.

Особенности радиointерфейса LTE

С одной стороны, в основе радиointерфейса LTE лежит все тот же принцип OFDM. При этом 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. Это облегчает обслуживание многих абонентов,

работающих с низкими скоростями, а также позволяет использовать частотные скачки для смягчения эффектов узкополосного многолучевого распространения.

С другой стороны, учитывая присущие этой технологии сигналы с высоким отношением пикового значения к среднему PAPR (Peak-to-Average Power Ratio), которые порождаются параллельной передачей нескольких сотен близко расположенных поднесущих, был предложен новый подход. Известно, что для мобильных устройств сигналы с большим PAPR создают целый ряд проблем связанных с конструкцией усилителя мощности и потреблением энергии от батарей. Именно поэтому 3GPP остановился на новой схеме передачи для восходящего канала SC-FDMA.

SC-FDMA восходящего канала представляет собой гибридную схему передачи, которая сочетает низкие значения PAPR, присущие системам с одной несущей, таким как GSM и CDMA с гибким распределением частот OFDM. Алгоритм генерации сигнала SC-FDMA показаны на рисунке 2.3, который является фрагментом одного из рисунков отчета 3GPP TR 25.814 об исследовании физического уровня LTE [7].



Рисунок 2.3 – Генерация сигнала SC-FDMA

В левой части рисунка 2.3 символы данных изображены во временной области. Символы преобразуются в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье и затем, в частотной области, они распределяются в

нужные места общего спектра несущей. Затем их необходимо снова преобразовать во временную область, чтобы перед передачей добавить к ним циклический префикс. Альтернативное название технологии SC-FDMA — распределенная OFDM с дискретным преобразованием Фурье (DFT-SOOFDM).

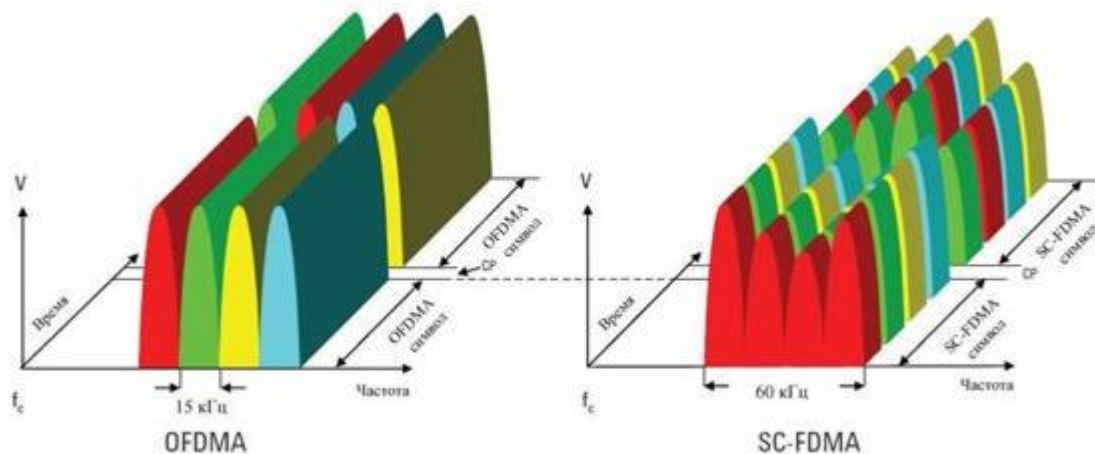


Рисунок 2.4 – Пример передачи серии символов данных QPSK в OFDMA и SC-FDMA

Альтернативное описание этой технологии представлено на рисунке 2.4, где в частотной и временной областях показано, как OFDMA и SC-FDMA передают последовательность из восьми символов QPSK. В этом упрощенном примере число поднесущих (M) было сокращено до четырех. Для OFDMA четыре (M) символа обрабатываются параллельно, причем каждый из них модулируется собственной поднесущей с соответствующей фазой QPSK. Каждый символ данных занимает полосу 15 кГц на время передачи одного символа OFDMA, которое равно 66,7 мкс. В начале следующего символа OFDMA вставляется защитный интервал, содержащий циклический префикс (CP). CP представляет собой копию конца символа, добавленную к началу символа. Благодаря параллельной передаче, символы данных имеют ту же длину, что и символы OFDMA.

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, но благодаря последовательной передаче символы данных получаются короче, т.е. равными $66,7/M$ 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 символов данных вставляется CP.

Характеристики радиointерфейса:

Фактически стандарт LTE обладает в большой степени совместимостью с эфирным интерфейсом других систем подвижной связи. Сеть называется E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (развивающаяся универсальная наземная сеть радиодоступа). Далее указаны основные технические параметры технологии LTE [5].

1. Технология множественного доступа:

- прямой канал (Downlink – DL) – OFDMA;
- обратный канал (Uplink – UL) – SC-FDMA;

2. Диапазон используемых частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 - 2,5 ГГц; 2,6 - 2,7 ГГц.

3. Битовая скорость:

- прямой канал (DL) MIMO 2TX×2RX: 100 - 300 Мбит/с;
- обратный канал (UL): 50 - 172,8 Мбит/с.

4. Ширина полосы радиоканала: 1,4 - 20 МГц.

5. Радиус сектора: 5 – 30 км.

6. Емкость соты (количество обслуживаемых абонентов):

- более 200 пользователей при полосе 5 МГц;
- более 400 пользователей при полосе больше 5 МГц.

7. Мобильность: скорость перемещения до 250 км/ч.

8. Параметры MIMO:

- прямой канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX;

- обратный канал (UL): 2TX×2RX.

9. Значение задержки (latency): 5мс.

10. Спектральная эффективность: 5 бит/сек/Гц.

11. Поддерживаемые типы модуляции:

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

- обратный канал (UL): QPSK, 16 QAM.

12. Дуплексное разделение каналов: FDD, TDD.

Радиочастотный спектр технологии LTE

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

Из таблицы видно, что диапазоны, предназначенные для развития сетей LTE, уже освоены или осваиваются в России для работы сетей мобильной связи и беспроводного доступа различных технологий. Поэтому, создание в России LTE-сетей сопровождается трудностями с выбором и получением разрешения на использование частотного диапазона. В таблице 2.1 представлены диапазоны разрешенных частот.

Таблица 2.1- Диапазоны частот для сети радиодоступа E-UTRA

№	Оператор	Частотный диапазон (UL/DL), МГц	Ширина канала, МГц	Тип дуплекса	Номер в 3GPP
1	Yota (Мегафон)	2500-2530 / 2620-2650	30	FDD	Band 7
2	Мегафон	2530-2540 / 2650-2660	10	FDD	Band 7
3*	Мегафон	2575-2595	20	TDD	Band 38
4	МТС	2540-2550 / 2660-2670	10	FDD	Band 7
5*	МТС	2595-2615	20	TDD	Band 38
6	Билайн	2550-2560 / 2670-2680	10	FDD	Band 7
7	Ростелеком/ Теле2	2560-2570 / 2680-2690	10	FDD	Band 7
8**	Ростелеком/ Теле2	832-839.5 / 791-798.5	7.5	FDD	Band 20
9**	МТС	839.5-847 / 798.5-806	7.5	FDD	Band 20
10**	Мегафон	847-854.5 / 806-813.5	7.5	FDD	Band 20
11**	Билайн	854.5-862 / 813.5-821	7.5	FDD	Band 20
12***	МТС	2595-2620	25	TDD	Band 38
13	Теле2	453-457.4 / 463-467.4	4.4	FDD	Band 31

*- частоты выделены только для использования на территории Москвы и Московской области.

**-выделенная ширина канала (7,5 МГц) не соответствует стандартным.

***- за исключением территории города Москвы, Московской Области. Республики Крым и города Севастополь.

Таким образом, будущее внедрения сетей LTE в России связано с необходимостью реформирования использования радиочастотного спектра на основе национальных процедур его высвобождения и перепланирования.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 января 2011 года № 57-р распределены полосы частот для перспективных радио технологий, включая LTE.

Это диапазоны 800 – 900 МГц; 2,3 – 2,4 ГГц; 2,5 – 2,7 ГГц. 8 сентября 2011 года на заседании Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) полосы радиочастот 791 – 862 МГц, 2500 – 2690 МГц, 2300 – 2400 МГц определены для создания на территории Российской Федерации сетей связи LTE и последующих его модификаций.

3 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

Процесс планирования радиосетей LTE имеет отличия от других существующих технологий беспроводного доступа. Одни из них является использование многостанционного доступа на базе технологии OFDMA. Данный процесс состоит из двух этапов формирование площади покрытия и обеспечение необходимой емкости.

Радио сеть с использованием технологии LTE будет реализовано на территории со средней плотностью застройки, и высокой плотностью абонентов. Базовые станции будут установлены на минимальном расстоянии друг к другу, для возможности одновременно обслуживать максимальное количество клиентов. В результате необходимо выбрать подходящий частотный диапазон, исходя из того, что чем ниже частота, тем дальше распространение радиосигнала.

Частотный диапазон UL=2595 МГц и DL=2615 МГц для данной территории специально выделен для Москвы и Московской области для оператора МТС. Тип дуплекса является временной TDD с шириной канала равной 20 МГц.

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 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 TDD 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 EDD в макросети для двух случаев, специфицированных 3GPP как сценарий 1 (расстояние между сайтами 500 м), и сценарий 3 (расстояние между сайтами 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 TDD 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, ($\Delta F=20$ МГц);

Для линии DL:

$$R_{TDD} = 1.69 \cdot 20 = 33.8 \text{ Мбит/с}$$

Для линии UL:

$$R_{TDD} = 1.103 \cdot 20 = 22.06 \text{ Мбит/с}$$

При расчете пропускной способности для дуплекса TDD необходимо учитывать долю длительности кадра на линии вверх или вниз.

$$R_{TDD} = \gamma \cdot TDD_{average} \cdot \Delta F \cdot T\%$$

$$R_{TDD} = 1,69 \cdot 20000 \cdot 0,54 = 18,25 \text{ Мбит/с,}$$

где γ $TDD_{average}$ - 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:

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

Для линии DL: $R_{eNB.DL} = 33.8 \cdot 3 = 101.4$ Мбит/с.

Для линии UL: $R_{eNB.UL} = 22.6 \cdot 3 = 67.8$ 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
Линия						
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.

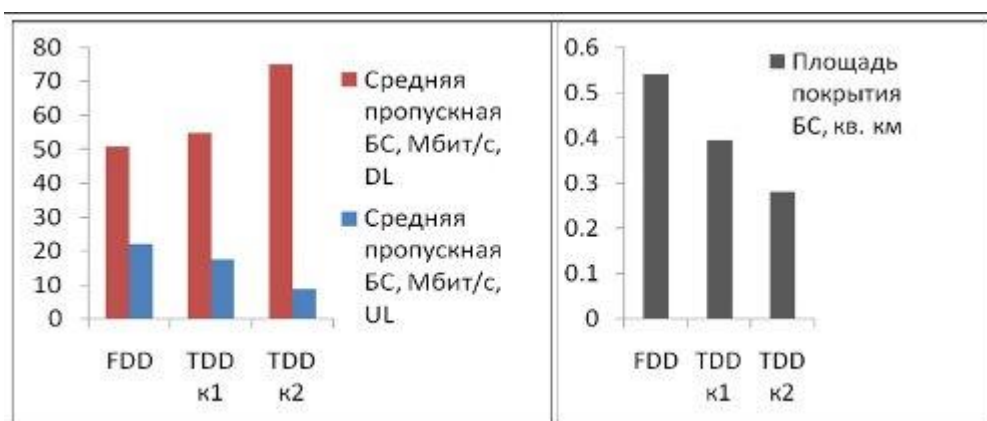


Рисунок 3.1 – Сравнение пропускной способности и площади покрытия трехсекторной БС при разных конфигурациях системы LTE

Единого способа выбор конфигурации системы LTE не существует. Если тип дуплекса определяется отсутствием или наличием парного спектра у оператора, то на выбор конфигурации кадра в TDD могут повлиять требования как к радиопокрытию, так и к пропускной способности.

Чем больше асимметрия кадра TDD и больше длительность кадра на линии вниз, тем, к сожалению, больше ограничения по площади радиопокрытия.

Следующим этапом будет определение количество сот в планируемой сети LTE.

Выбранная нами территория обладает средней плотностью застройки, преобладают частные дома, не выше двух этажей. Радиус соты возьмем равный 0.40 км. С помощью формулы вычислим площадь радио покрытия трехсекторного сайта

$$S_{BS} = 3 \cdot \frac{3\sqrt{3}}{8} \cdot d^2;$$

где, d^2 - это радиус соты необходимой нам плотности застройки.

Таким образом, получаем $S_{BS}=0.33 \text{ км}^2$

Для проектирования сети была выбрана не вся территория города Зеленоград, а только ее Юго-Восточный район. Вычисляем площадь необходимой нам территории с помощью онлайн программы.

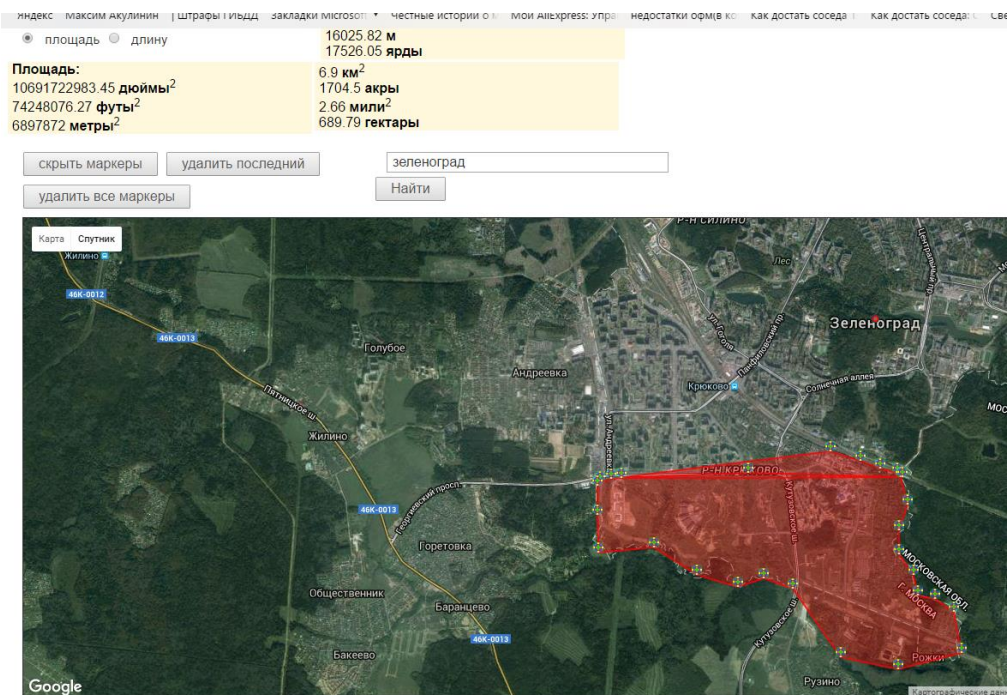


Рисунок 3.2 - Вычисление площади Юго-Восточной части г. Зеленоград

На рисунке представлен скриншот, на котором видно, что вычисляемая площадь составила 6.9 км²

Таким образом, можем вычислить количество необходимых базовых станций и получаем 21 единиц из расчета площадь территории на площадь радио покрытия трехсекторного сайта.

Юго-Восточный район города Зеленоград в административном делении называется район Крюкова и на 2016 год насчитывает около 84.3 тысячи жителей.

Таким образом, из существующей ситуации можем отметить, что на 84.3 тысячи жителей должно приходиться 21 базовая станция исходя из плотности застройки расположения сот и плотности населения. Необходимо отметить, что одновременно в сети находятся 20% абонентов, соответственно не целесообразно размещать такое количество базовых станций, исходя из существующей процентности необходимо установить 16 базовых станций каждая их которых будет рассчитана на 900 абонентов.

4 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ И ТИПА РАДИОЛИНИЙ СВЯЗИ

4.1 Выбор оборудования транспортной сети

Для создания высокоскоростной сети беспроводного доступа по технологии LTE в г. Зеленогорск необходимо 8 базовых станций типа «макро». После запуска сети в работу наступает этап оптимизации сети, в ходе которого пропускная способность базовых станций может быть увеличена способом размещения дополнительных радио модулей. Для реализации высокоскоростной сети беспроводного доступа был выбран производитель оборудования франко-американская компания Alcatel-Lucent.

Базовая станция eNodeB

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



Рисунок 4.1 – 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;

- 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.



а)



б)

Рисунок 4.2 – Элементы eNodeB Alcatel-Lucent 9926: а) Радиочастотный блок (RRU); б) Приемо-передающая антенна

Alcatel-Lucent 9764 Компактная метро базовая станция

Alcatel-Lucent 9764 Compact метро (CMCO) является малогабаритной, высоко производительной eNB, которая может быть развернута в сложных условиях, чтобы улучшить зону покрытия LTE и производительность сети. Это часть концепции микро сот.

Компактный форм-фактор (~ 6 л) 9764, связанные с набором опций, таких как внешняя антенная опора, позволяет обеспечивать быстрое и недорогое внедрения сот даже в условиях плотной городской застройки, где доступ к оборудованию является не только трудным но и сопровождается проблемой внешнего вида городской инфраструктуры. 9764 может быть легко интегрирован с городской «мебелью», в том числе на автобусных остановках и рекламных вывесках. 9764 доступен для многочисленных FDD и TDD видов дуплекса и поставляется с 3 выходными конфигурациями питания: 2x1W, 2x2W, и 2x5 Вт.



Рисунок 4.3 – Внешний вид микросоты Alcatel-Lucent 9764 Compact

Преимущества и особенности

- Ультра-компактный форм-фактор (всего 6 литров на 2x1 и 2x2W продукции, 8 литров для продуктов 2x5 Вт);
- Интегрированные направленные антенны и поддержка для подключения внешних антенн или распределенных антенных систем;
- Электрические или оптические GbE интерфейсы, Малый форм-фактор подключаемых модулей для многократного транзита данных;
- Максимально способность по производительности LTE в общественных местах для улучшения качества;
- Поддержка около 200 активных пользователей в соте;

- Опционально встроенная точка доступа Wi-Fi;
- До 150 Мбит пропускная с конфигурациями при 2x2 MIMO;
- Имеет поддержку разных производителей HetNet, для развертывания под макро сеть любого производителя;
- Сетевые возможности самоорганизации, такие как автоматический поиск соседей, методы ослабления помех и управления движением маршрутизацией;
- Безграничная мобильность в макро сети;
- Имеет поддержку и готовность работать в LTE Advanced;
- Поддержка функции агрегации полос с адаптивной архитектурой;

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 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 4.4 – 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.

Alcatel-Lucent 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.

7750 Service Router - Mobile Gateway

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 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 преемственность 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, обеспечивая 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.



Рисунок 4.5 – 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. Часть сети, состоящая из микросот на базе 9764 Compact реализована в следующем порядке. К 9926 подключается 9764 Compact (микро базовая станция) оптическим волокном и устанавливается в заданное место, например устанавливается на фасад здания.

Сервисные шлюзы (S-GW, P-GW, SIP, GGSN) 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 5.6.

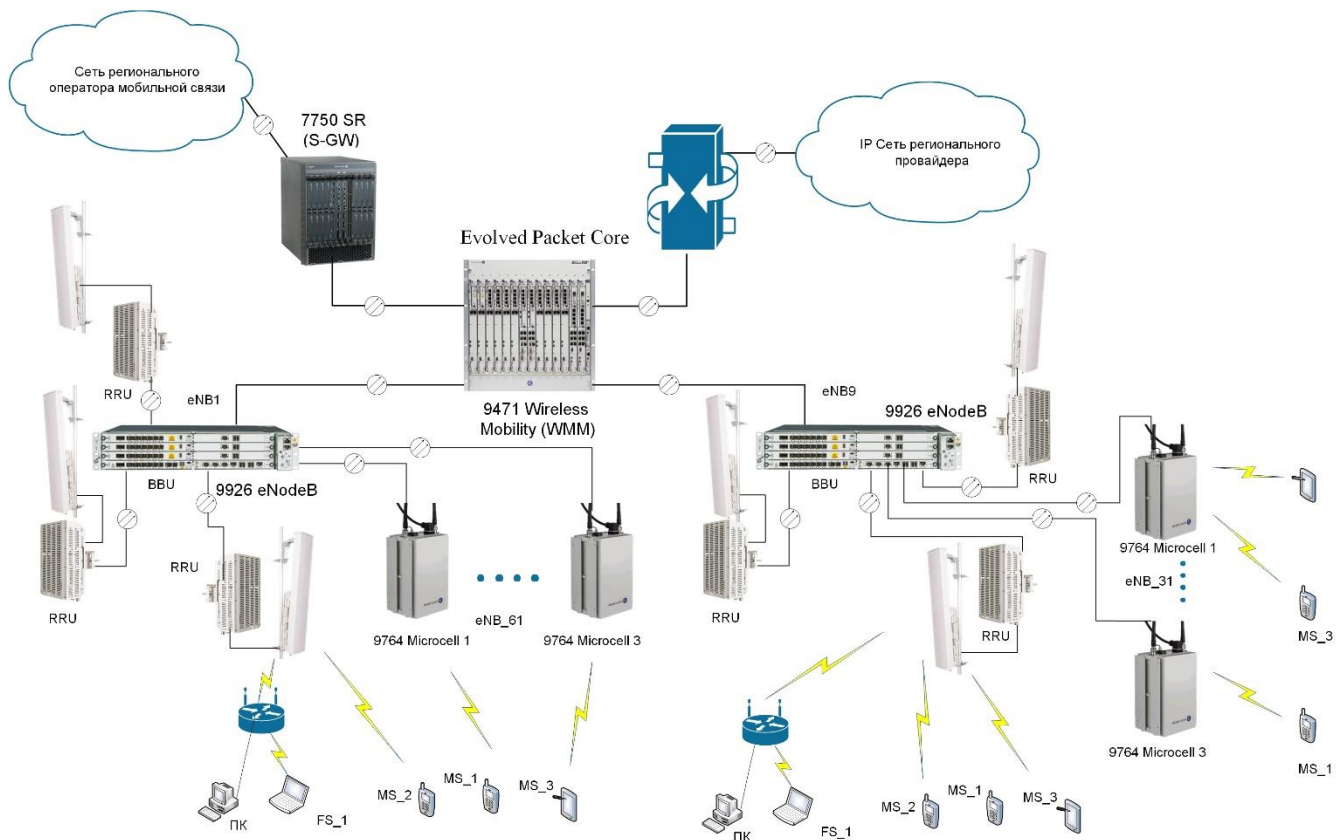


Рисунок 4.6 - Проектируемая функциональная схема организации связи сети LTE в г. Зеленогорск

5 ЭКОЛОГИЯ, ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

5.1 Экологическая характеристика

Экология нашей планеты занимает важное место в принятии решений о создании или эксплуатации всего нового в мире. Прежде чем воплощать свои планы в жизнь необходимо задуматься о том, повлияет ли данный проект на окружающую нас среду.

Экологические факторы – это свойства среды обитания каким – либо образом воздействующие на живой организм.

Существуют различные факторы влияния, они делятся на:

- Абиотические факторы – влияние неживой природы, прямо или косвенно воздействующие на живые организмы. Например: состав и прозрачность воды, воздействие огня и т.п.
- Биотические факторы – влияние живых организмов непосредственно или косвенно на среду обитания. Например, изменение структуры или состава почвы, микроклимата леса и т.д..
- Антропогенные факторы – различные формы деятельности людей, оказывающие значительные изменения окружающей среды обитания других (орошение болот, вырубка лесов и т. п.)

Среди экологических факторов окружающей среды, отдельно хотелось бы рассмотреть электромагнитные волны и их влияние на окружающую среду.

Электромагнитные поля - это особая форма существования материи, характеризующаяся совокупностью электрических и магнитных свойств. Основными параметрами являются: частота, длина волны и скорость распространения. Природными источниками электромагнитных волн являются: поле Земли электрическое и постоянное магнитное, также атмосферные разряды (например молнии).

Естественное электрическое поле Земли создается избыточным отрицательным зарядом на поверхности. Его напряженность составляет от 100 до 500 В/м, во время грозных облаков оно может увеличиваться.

Экологические аспекты нашей планеты являются важной особенностью, как человечества, так и мира в целом, так как нам необходимо максимально сохранить нашу планету для многих поколений. Именно поэтому каждое новое изобретение, или творение должно быть одобрено и оценено Санэпидстанцией или Роспотребнадзором.

Существует много различных мнений и суждений о влиянии, как самих радиоволн, так и оборудование, которое их принимает или вырабатывает. Можно отметить, что доказательств о негативном влиянии нет, есть только личные мнения и суждения.

С уверенностью можно отметить, что беспроводные высокоскоростные технологии это одно из лучших достижений человечества и использования окружающей нас среды.

5.2 Техника безопасности на производстве

Техникой безопасности на предприятии является совокупность мероприятий технического и организационного характера, направленная на предотвращение несчастных случаев на производстве и на формирование безопасных условий труда.

Целью создания охраны труда на различных предприятиях является безопасность людей находящихся на месте работы. Для этого прилагается огромный труд и большие денежные затраты. На каждом предприятии существует специальная служба безопасности, которая разрабатывает различные методы, которые помогают не допустить несчастные случаи и создать безопасные условия труда.

Несоблюдение правил безопасности, так же как и неосторожное обращение с электрооборудованием может привести к тяжелым последствиям, даже к смертельному исходу.

Задачами техники безопасности является создание условий работы на объекте, при которых обеспечивается высокая производительность труда и полностью исключается возникновение каких - либо травм.

Электрозащитные и индивидуальные средства защиты используются при монтажных работах, должны соответствовать всем современным средствам защиты.

Для того чтобы не допустить различного рода травм необходимо своевременно принимать меры предосторожности. К ним относятся:

- обеспечение стандартными плакатами по технике безопасности, указывающими место безопасной работы, запрещающими или разрешающими производство
 - подача к месту монтажа электрической сети напряжением 12 или 36 В, если по условиям работы или окружающей среды использовать электрооборудование
 - своевременная и надлежащая подготовка фронта работ;
 - проверка знаний персоналом правил техники безопасности и требований пожарной безопасности.

Техника безопасности является одним из важных критериев в организации рабочего процесса, ведь за тем, как мы выполняем эти требования, заключается сохранение нашего здоровья, а порой даже жизни.

6 ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

Данная глава диплома будет посвящена технико-экономической стороне организации высокоскоростной сети беспроводного доступа в городе Зеленоград.

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 Этап строительства сети LTE

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

- строительство радиобашни, установка БС, установка контейнера для размещения оборудования БС, ввод в эксплуатацию БС;
- строительство волоконно-оптической линии связи на участках;
- установка БС «Alcatel-Lucent 9926 eNodeB» на территории г. Зеленоград; установка мультисервисной платформы «Alcatel-Lucent 9471 Wireless Manager Mobility» в помещении ОПТС, подключение сети EPC LTE к внешним сетям;

6.2 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.

Вычислим 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, $C_{ок} = 600\,000$ руб;

$L_{ок}$ – длина прокладываемого оптического кабеля, $L_{ок} = 8$ км.

$$C_{\Sigma} = 600\,000 * 8 = 4\,800\,000 \text{ (руб.)}$$

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%).

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).	16	420 000	6 720 000
Комплект электроснабжения БС	16	55 000	880 000
Вспомогательные компоненты для монтажа	16	18000	288 000
Evolved Packet Core (EPC) Alcatel-Lucent 9471 Wireless Manager Mobility	1	396000	396000
7750 Service Router - Mobile Gateway	1	48 000	48 000
Media Gateway	1	143 000	143 000
Программное обеспечениеММЕ	1	785 000	785 000
Кабель оптический	18 км	15 000	270 000
Монтаж оптического кабеля	18 км.	250 000	250 000
Итого			3 060 000
Тара и упаковка		1%	30 600
Транспортные расходы		4%	122 400
Заготовительно-складские расходы		1%	30 600
Установка и настройка		20%	612 000
Сумма			795 600
Дополнительное оборудование			
Установочно-монтажные комплекты	16	220 000	3 520 000
Антенно фидерные тракты, сигнализация	16	150 000	2 400 000
Контейнер цельнометаллический для размещения оборудования eNB, производитель ООО «ПМК»	16	70 000	1 200 000
ИБП Liebert«GXT2-1500 RT230»	16	16000	256 000
Блок грозозащиты	16	12 000	192 000
Сплит-система «Hitachi Luxury RAS/RAC-0,8 LH1/LH2»	16	10 000	160 000
Конвектор «Timit W4CT 1104D 1500W»	16	5 000	80 000
Итого			7 728 000
Тара и упаковка		1%	77 280
Транспортные расходы		4%	309 120
Заготовительно-складские расходы		1%	77 280
СМР		17%	1 313 760
Итого			3 554 880
ИТОГО по смете			15 138 480
Неучтенное оборудование		12%	1 816 617,6
ВСЕГО			16 955 097,6

Тара и упаковка составляют 1%, транспортные расходы – 4%, заготовительно-складские расходы – 1% от стоимости оборудования. Стоимость неучтенного оборудования – 12% от общей стоимости оборудования.

Общие капитальные вложения на организацию сети связи в городе Зеленогорск составили $K = 16\,955\,097.6$ руб.

6.3 Расчет разовой и ежегодной планы за использование в РФ радиочастотного спектра

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:

$$P_p = C_p \times K_{\text{диап}} \times K_{\text{рч}} \times K_{\text{тех}}$$

$$P_p = 70000 \times 2 \times 20 \times 0,3 = 840000 \text{ (руб.)}$$

где:

P_p - размер разовой платы, руб.;

C_p - ставка разовой платы, руб.;

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

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

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

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

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)

Расчет размера ежегодной платы

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:

$$П_{Г} = \sum_{i=1}^4 П_{Г(КВ)}^i$$

$$П_{Г} = 316\,800 \text{ (руб)}$$

где:

$$П_{Г(КВ)} = С_{Г} / 4 \times K_{\text{ДИАП}} \times K_{\text{РЧ}} \times K_{\text{ТЕХ}} \times ДР / ДК$$

$$П_{Г(КВ)} = 264000 / 4 * 2 * 2 * 0,3 * 92 / 92 = 79200 \text{ (руб)}$$

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

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

$С_{Г}$ - ставка ежегодной платы, руб.;

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

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

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

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

$ДК$ - количество дней в оплачиваемом квартале.

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

При использовании пользователем радиочастотным спектром (далее - пользователь) нескольких радиотехнологий сотовой связи в одной полосе радиочастот расчет размера ежегодной платы за полосу радиочастот осуществляется с применением максимального значения для радиотехнологии, используемой в данной полосе радиочастот.

Размер установленной ежегодной платы в отношении разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов для радиоэлектронных средств (далее - РЭС) сетей связи общего пользования, по которым в течение года с даты выдачи разрешения не зарегистрированы РЭС, увеличивается в 10 раз с момента истечения этого срока до момента регистрации РЭС.

Размер установленной ежегодной платы в отношении разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов для РЭС технологических и выделенных сетей связи, РЭС радио и телевизионного вещания, а также для РЭС, используемых в районах Крайнего Севера и в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера, по которым в течение двух лет с даты выдачи разрешения не зарегистрированы РЭС, увеличивается в 10 раз с момента истечения этого срока до момента регистрации РЭС.

(п. 5 в ред. Приказа Минкомсвязи России от 04.09.2014 N 279)

Расчет коэффициента, учитывающего используемый диапазон радиочастот
Утратил силу. - Приказ Минкомсвязи России от 04.09.2014 N 279.

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, кроме РЭС системы MMDS, земных станций спутниковой связи (далее - ЗССС) и узловых (центральных) станций VSAT, рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{pq} = \sum N$$

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

N - количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов).

(п. 7 в ред. Приказа Минкомсвязи России от 04.09.2014 N 279)

Примечание: Количество N для передатчиков телевизионного вещания (за исключением РЭС системы MMDS) рассчитывается по количеству используемых радиочастотных каналов, для радиорелейных станций, репортажных телевизионных станций и базовых (абонентских) станций радиоудлинителей телефонных каналов по количеству используемых передатчиками радиочастот.

(примечание в ред. Приказа Минкомсвязи России от 04.09.2014 N 279)

Расчет коэффициента, учитывающего технологию, применяемую при использовании радиочастотного спектра

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

$$K_{ТЕХ} = K_{ПЕРСП} \times K_{РЕГ} \times K_{СОЦ}$$

$$K_{тех}=0,1*3*1=0,3$$

6.4 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Эксплуатационными расходами ($P_{эк}$) называются текущие расходы предприятия на производство услуг связи. В состав эксплуатационных расходов входят все расходы на содержание и обслуживание сети. Эксплуатационные расходы по своей экономической сущности выражают себестоимость услуг связи в денежном выражении. В связи эксплуатационные расходы рассчитываются на

основе группировки затрат по экономическим элементам, принятой для всех отраслей экономики предприятий всех форм собственности:

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

Затраты на оплату труда

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

Таблица 6.2 – Состав обслуживающего персонала

Наименование должностей	Оклад, руб.	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Инженер по обслуживанию и мониторингу сети	86 000	1	86 000
Электромеханик	45 000	2	90 000
Монтажник высотник	46 000	2	92 000
Итого (ФЗП)		5	536 104

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

$$\Phi OT_2 = \Phi ЗП \cdot N_m \cdot Pr \cdot K_p \cdot K_{ср}, \quad (6.2)$$

где $\PhiЗП$ – основной фонд заработной платы, $\PhiЗП = 536\,104$ 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_{ep} – коэффициент, учитывающий доплату за работу с вредными условиями труда, $K_{ep} = 1,04$.

$$\PhiОТ_2 = 536\,104 * 12 * 1,3 * 1,15 * 1,04 = 10\,002\,414 \text{ (руб.)}.$$

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

$$СВ = \PhiОТ_2 * 0,3$$

$$СВ = 10\,002\,414 * 0,3 = 3\,000\,725 \text{ (руб.)}$$

Амортизационные отчисления.

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

$$A = K_{осн.i} * H_{a.i}, \quad (6.3)$$

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

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

$$A = 16\,955\,097,6 * 0,05 = 847\,754,88 \text{ (руб.)}.$$

Материальные затраты

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

$$M_3 = Z_{эн} + Z_m, \quad (6.4)$$

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

Z_m – затраты на материалы и запасные части.

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

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

где T – тариф на электроэнергию, $T = 4.16$ руб./кВт/час;

P – мощность оборудования, для еNB $P = 1.35$ кВт.

$$Z_{эн} = 4.16 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1,35 \cdot 8 = 393569.28 \text{ (руб.)}.$$

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

$$Z_m = K \cdot 0,01 \quad (6.6)$$

$$Z_m = 16\,955\,097.6 \cdot 0.01 = 169\,550,09 \text{ (руб.)}.$$

Величина общих материальных затрат составит:

$$M_3 = 393569.28 + 169\,550,09 = 563\,119,37 \text{ (руб.)}.$$

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

$$Z_{\text{общ. ар.}} = Z_{\text{ар.}} \cdot N_{\text{ар.}}, \quad (6.7)$$

где $Z_{\text{ар.}}$ – стоимость одного места подвеса в год, $Z_{\text{ар.}} = 230\,000$ руб.

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

$$Z_{\text{общ. ар.}} = 230\,000 \cdot 16 = 3\,680\,000 \text{ (руб.)}$$

Прочие расходы

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

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 \cdot \Phi OT \quad (6.8)$$

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 \cdot 10\,002\,414 = 4\,000\,965 \text{ (руб.)}$$

Результаты годовых эксплуатационных расходов приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Виды расходов	Сумма расходов, руб.
Фонд оплаты труда годовой (ΦOT_2)	10 002 414
Страховые взносы в государственные внебюджетные фонды (CB)	3 000 725
Амортизационные отчисления (A)	847 754,88

Окончание таблицы 6.3

Материальные затраты (M_3)	563 119,37
Аренда мест подвеса БС ($Z_{общ.ар}$)	3 680 000
Прочие расходы ($Z_{пр}$)	4 000 965
Аренда частоты	792 000
ВСЕГО	22 886 978,25

Таким образом, получается, что общие эксплуатационные расходы равны 22 886 978,25 \approx 22,9 млн. руб.

6.5 Расчет тарифных доходов

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

Население в Юго-Восточной г. Зеленогорске составляет 84.3 тысячи человек. Рассчитаем примерное количество подключившихся абонентов к проектируемой сети для доступа к сети Интернет через USB-LTE модем ($N_{аб.инт}$), учитывая коэффициент проникновения услуги 40 %

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

$$N_{аб.инт} = (84300/4)*0.4 = 8431 \text{ (человек).}$$

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

Таблица 6.4 – Предполагаемые тарифные планы и их стоимость

Тарифный план	Скорость подключения	Стоимость тарифа, руб./мес.	Порог	Доля абонентов от $N_{аб.инт}$, %	Примерное число подключившихся пользователей
T1	до 500 кбит/с	200	-	15	1265
T2	до 1 Мбит/с	250	-	25	2108
T3	до 2 Мбит/с	300	-	45	3793
T4	до 4 Мбит/с	450	45 Гб	13	1096
T5	до 6 Мбит/с	550	60 Гб	2	169

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

$$D_1 = \sum_i T_i \cdot N_i \cdot 12, \quad (6.10)$$

где T_i – стоимость тарифного плана;

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

$$\begin{aligned} D_1 &= [200 \cdot 1265 + 250 \cdot 2108 + 300 \cdot 3793 + 450 \cdot 1096 + 550 \cdot 169] \cdot 12 = \\ &= [253000 + 527000 + 1137900 + 493200 + 92950] \cdot 12 = 30\,048\,600 \text{ (руб.)} \end{aligned}$$

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

$$D_2 = N_{аб.инт} \cdot (Z_n - Z_3), \quad (6.11)$$

где Z_n – стоимость продажи одного USB-LTE модема, $Z_n = 2\,290$ руб.;

Z_3 – закупочная цена одного USB-LTE модема, $Z_3 = 1\,690$ руб.

$$D_2 = 8430 \cdot (2290 - 1690) = 5\,058\,000 \text{ (руб.)}$$

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

$$D_{\text{общ}} = D_1 + D_2 \quad (6.13)$$

$$D_{\text{общ}} = 30\,048\,600 + 5\,058\,000 = 35\,106\,600 \text{ (руб.)}$$

6.6 Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации

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

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

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

где: PV – денежный доход;

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

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

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

i – норма дисконта,

T – количество лет, для которых производится расчет.

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

где: I_n – инвестиции в n -ом году,

i – норма дисконта,

m – количество лет, в которых производятся выплаты.

Ставка дисконта может быть рассчитана различными способами, наиболее простым является кумулятивный, при котором в качестве нее выбирается средняя ставка по долгосрочным валютным депозитам и составляет приблизительно 20 %. Данная ставка формируется в основном под воздействием внутренних рыночных факторов.

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

Таблица 6.6 – Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта

Год	P	PV	I	IC	NPV
0	0	0	39 842 076	39 842 076	-39 842 076
1	35 106 600	31 915 091	22 886 978	60 648 420	-28 733 329
2	70 213 200	89 942 529	22 886 978	79 563 278	10 379 251
3	105 319 800	169 070 853	22 886 978	96 758 604	72 312 250
4	140 426 400	264 983 974	22 886 978	112 390 718	152 593 256
5	175 533 000	373 976 157	22 886 978	126 601 731	247 374 426

Из таблицы можно заметить, что окупаемость проекта наступает на третий год реализации проекта. Этот прогноз учитывает первоначальный объем проникновения. Более точный расчет приведен ниже.

Точный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

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

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

NPV_n – положительный чистый денежный доход в n году;

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

$$PP=2+751\ 814/(32\ 755\ 248+ 751\ 814) = 2,02 \text{ года.}$$

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

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

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

$$PI = 8454787 / 6149632,41 = 1,37$$

Полученный коэффициент $IP > 1$ равен 1.37, а это значит, что проект является рентабельным.

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

IRR должен быть выше средневзвешенной цены инвестиционных ресурсов:

$$IRR > i$$

где i – ставка дисконтирования

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

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

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

$$I_1 = 20; NPV_1 = 5475979,48$$

$$I_2 = 35; NPV_2 = -4922457,93$$

$$IRR = 20 + \frac{5475979,48}{5475979,48 - (-4922457,93)} (35 - 20) = 27,89 \%$$

Согласно расчётам, внутренняя норма доходности проекта составляет 27,89 %, что значительно больше значения цены капитала, за которое принято 10 %, что означает, что проект выгоден в реализации и функционировании.

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

Таблица 6.7-Технико-экономические показатели проекта

Показатели	Значение
1. Количество планируемых абонентов	8431
2. Пропускная способность сети, Гбит/с	12,104
3. Количество базовых станций стандарта LTE, шт.	16
4. Капитальные вложения общие, руб.	16955097,6
6. Годовые эксплуатационные расходы руб.	10100000
10. Срок окупаемости капитальных затрат, лет	2 года
11. Индекс рентабельности, %	1,37
12. Численность персонала, человек	5
13. Внутренняя норма доходности IRR, %	27.89

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработан проект в юго-восточном округе города Зеленоград Московской области с использованием технологии LTE. Проект является рентабельным и будет приносить большую прибыль, как оператору, так и абонентам. Количество базовых станций равно 16, рассчитано относительно проникновения абонентов, имеет большую пропускную способность.

Была выбрана базовая станция Alcatel-Lucent 9926 eNodeB, она предназначена для быстрого развертывания LTE сетей, поддерживает до 24 сот и 16 тысяч подключений, поддерживает необходимый для нас режим LTE-TDD.

Цель проекта расширить, зону присутствия оператора связи для предоставления абонентам юго-восточной части города Зеленоград широкополосного беспроводного доступа к современным услугам связи, была достигнута. Так же выполнены все поставленные задачи, такие как:

- Анализ инфраструктуры населенного пункта
- Анализ существующей сети связи;
- Выбор варианта реализации высокоскоростной сети широкополосного доступа в г. Зеленоград Московской области;
- Выбор сетевых технологий для реализации сети;
- Выбор варианта проектирования сети;
- Расчет нагрузок;
- Расчет зоны радио покрытия;
- Выбор и расчет объема оборудования;
- Разработка рекомендаций по строительству широкополосной сети абонентского доступа;
- Техничко-экономическое обоснование.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. – М: Горячая линия – Телеком, 2007.
2. Вишне夫斯基 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.

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.

