## Глава 2. Аналитическое обзор технологии технология 4G

## 2.1 Развитие технологии LTE

Разработка технологии LTE как стандарта официально началась в конце 2004 года. Перед исследователями встал вопрос о выборе технологии физического уровня, которая бы обеспечила высокую скорость передачи данных. Были предложены два варианта: W-CDMA, уже использующуюся в сетях HSPA, и OFDM – новая технология радиоинтерфейса. После проведенных исследований было решено использовать технологию OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов.

В мае 2006 года в рамках проекта 3GPP была создана первая спецификация на радиоинтерфейс E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access). Эта спецификация вошла в основу 3GPP Release 7. В декабре 2008 года была утверждена версия стандартов 3GPP Release 8, которая фиксировала архитектурные и функциональные требования к системам LTE. В середине 2009 года появились первые опытные системы на основе LTE. В конце 2009 года шведская телекоммуникационная компания TeliaSonera, совместно с Ericsson объявила о запуске первой в мире коммерческой сети в Стокгольме и Осло. На сегодняшний день сети стандарта LTE развернуты в более чем 80 странах мира и их число быстро увеличивается.

## 2.2 Краткое рассмотрение основных параметров технологии LTE

Стандарт LTE представляет собой обладающий большой гибкостью эфирный интерфейс. Тип сети носит название E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (развивающаяся универсальная наземная сеть радиодоступа). Ниже приведены основные параметры технологии LTE.

1. Технология множественного доступа:
* прямой канал (Downlink – DL) – OFDMA;
* обратный канал (Uplink – UL) – SC-FDMA;
1. Рабочий диапазон частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц;

1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 - 2,5 ГГц; 2,6 - 2,7 ГГц.

1. Битовая скорость:
* прямой канал (DL) MIMO 2TX×2RX: 100 - 300 Мбит/с;
* обратный канал (UL): 50 - 172,8 Мбит/с.
1. Ширина полосы радиоканала: 1,4 - 20 МГц.
2. Радиус ячейки: 5 – 30 км.
3. Емкость ячейки (количество обслуживаемых абонентов):
* более 200 пользователей при полосе 5 МГц;
* более 400 пользователей при полосе больше 5 МГц.
1. Мобильность: скорость перемещения до 250 км/ч.
2. Параметры MIMO:
* прямой канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX;
* обратный канал (UL): 2TX×2RX.
1. Заначение задержки (latency): 5мс.
2. Спектральная эффективность: 5 бит/сек/Гц.
3. Поддерживаемые типы модуляции:
* прямой канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM.
* обратный канал (UL): QPSK, 16 QAM.
1. Дуплексное разделение каналов: FDD, TDD.

## 2.3 Сетевая архитектура стандарта LTE

Архитектура сети LTE разработана таким образом, чтобы обеспечить поддержку пакетного трафика с «бесшовной» мобильностью, минимальными задержками доставки пакетов и высокими показателями качества обслуживания. Основной целью разработчиков стандарта LTE были максимально возможное упрощение структуры сети и исключение дублирующих функций сетевых протоколов, характерных для системы 3G UMTS.



Рисунок 2.1- Обобщенная структура сети LTE

В архитектуре стандарта LTE все сетевое взаимодействие происходит между двумя узлами: базовой станцией (eNB) и блоком управления мобильностью (MME), который включает в себя сетевой шлюз GW (Gateway).

На физическом уровне сеть LTE состоит из двух компонентов: сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE (System Architecture Evolution).

Сеть E-UTRAN состоит из базовых станций eNB. Базовые станции являются элементами полносвязной сети и соединены между собой по принципу «каждый с каждым». Каждая eNB имеет интерфейс S1 с базовой сетью SAE, построенной по принципу коммутации пакетов. На eNB в сетях LTE возложены следующие функции: управление радиоресурсами, шифрование потока пользовательских данных, маршрутизация в пользовательской плоскости пакетов данных по направлению к обслуживающему шлюзу, диспетчеризация и передача вызывной и вещательной информации, измерение и составление отчетов для управления мобильностью.

 Базовая сеть SAE, называемая еще EPC (Evolved Packet Core), содержит узлы MME/UPE, состоящие из логических элементов ММЕ и UPE. Логический элемент MME (Mobility Management Entity) отвечает за решение задач управления мобильностью абонентского терминала и взаимодействует с базовыми станциями с

 помощью протоколов плоскости управления C-plane.



Рисунок 2.2 - Архитектура базовой сети SAE

Кроме этого, MME распределяет сообщения вызова (paging) к eNB, управляет протоколами плоскости управления, назначает идентификаторы абонентским терминалам, обеспечивает безопасность сети, проверяет подлинность сообщений абонентов и управляет роумингом.

Логический элемент UPE (UserPlaneEntity) отвечает за передачу данных пользователей согласно протоколам плоскости пользователя U-plane. Элемент UPE выполняет следующие функции: сжатие заголовков IP-протоколов, шифрование потоков данных, терминацию пакетов данных.

Архитектура базовой сети SAE представляет собой пакетныйPS-домен системы LTE, который предоставляет как голосовые, так и всю совокупность IP-услуг на основе технологий пакетной коммутации данных. В основу базовой сети SAE положена концепция «все через IP» и то обстоятельство, что доступ к ней может осуществляться как через сети радиодоступа второго и третьего поколений (UTRAN/GERAN), так и через сети не-3GPP (WiMAX, Wi-Fi), а так же через сети, использующие проводные IP-технологии (ADSL+, FTTH).

## 2.4 Радиоинтерфейс сети LTE

Радиоинтерфейс сети LTEE-UTRAN поддерживает оба метода дуплексного разнесения каналов: частотный FDD и временной TDD. Функционирование сетей LTE может осуществляться в частотных диапазонах с различной шириной. Сигналы нисходящего и восходящего направлений могут занимать полосы от 1,4 до 20 МГц в зависимости от количества активных ресурсных блоков. Передача информации в восходящем и нисходящем направлениях организована в кадрах, длительность которых равна 10 мс. Кадры подразделяются на более мелкие временные структуры – слоты.

В режиме с частотным разнесением FDD кадр делится на 20 слотов, нумеруемые от нулевого до 19-го, каждый из которых имеет длительность 0,5 мс. В режиме FDD временной ресурс в пределах кадра разделен пополам для передачи в противоположных направлениях. Физические каналы в режиме FDD в противоположных направлениях имеют обязательный дуплексный разнос. Режим временного разнесения каналов TDD имеет асинхронную природу. Передача данных в режиме TDD происходит одновременно в обоих направлениях в одном диапазоне частот.

Особенностью радиоинтерфейса в линии «вниз» сети E-UTRAN является использование технологии множественного доступа OFDMA – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением. Одна из основных целей использования технологии OFDMA является борьба с помехами, вызванных многолучевым распространением сигнала, так как OFDM-сигнал рассматривается как множество медленно модулируемых узкополосных сигналов, а не как один быстро модулируемый широкополосный сигнал. Технология OFDM основана на формировании многочастотного сигнала, состоящего из множества поднесущих частот. При формировании OFDM-сигнала поток последовательных информационных символов длительностью Ти/N разбивается на блоки, содержащие N символов; Ти – длительность одного символа. Блок последовательных информационных символов преобразуется в блок параллельных символов, в котором каждый информационный символ соответствует определенной частоте многочастотного сигнала.



Рисунок 2.3 - Структурная схема формирования OFDM-сигнала

В линии «вниз» сети E-UTRAN применяют следующие виды модуляции: QPSK, 16 QAM, 64 QAM. При формировании OFDM/QAM-сигнала используется дискретное обратное быстрое преобразование Фурье(ОБПФ). Формирование OFDM-сигнала в передатчике базовой станции сети LTEE-UTRAN показано на рисунке 2.3.

Для борьбы с межсимвольной интерференцией используются циклические префиксы ЦП (СР). Применяют короткие и длинные префиксы, длительность которых 4,7 мкс и 16,7 мкс соответственно.

Для линии «вниз» сети E-UTRAN определены три физические и четыре транспортных каналов:

* PDCCH (Physical Downlink Control Channel) – физический канал управления «вниз»;
* PDSCH (Physical Downlink SharedChannel) – общий транспортный физический канал линии «вниз», предназначенный для передачи данных и мультимедиа с высокой скоростью;
* ССРСН (Common Control Physical Channels) – общий физический канал управления, передает служебную информацию;
* ВСН (Broadcast Cannel) – транспортный вещательный канал;
* РСН (Paging Cannel) – транспортный канал вызова (пейджинга);
* DL-SCH (Downlink Shared Channel) – общий транспортный канал линии «вниз»;
* MCH( Multicast Channel) – транспортный канал вещания в группе.

В линии «вверх» радиоинтерфейса сети LTEE-UTRAN используется технология SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) – множественный доступ с мультиплексированием с частотным разнесением передачи на одной несущей. Схема передачи данных с помощью технологии SC-FDMA показана на рисунке 2.4.

Модулятор

FFT

Размещение по поднесущим

IFFT

Добавление ЦП

Удаление ЦП

FFT

Эквалайзер

IFFT

Демодулятор

Рисунок 2.4 - Передача данных с помощью технологии SC-FDMA

Для исключения взаимного влияния пользователей в линии «вверх» сети E-UTRAN вводятся циклические префиксы, а также используются эффективные эквалайзеры в приемных устройствах. Распределение частотного ресурса между абонентами осуществляется ресурсными блоками, каждому из которых соответствует полоса частот 180 кГц, что при разносе между соседними поднесущими частотами в 15 кГц соответствует 12 поднесущим. Максимальное количество доступных ресурсных блоков зависит от выделения системе диапазона частот, значение которого может доходить до 20 МГц.

В линии «вверх» сети LTEE-UTRAN используются три физических и два транспортных каналов:

* PRACH (Physical Random Access Channel) – физический канал произвольного доступа;
* PUCCH (Physical Uplink Control Channel) – физический канал управления «вверх»; PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) – физический распределительный транспортный канал линии «ввер».

## 2.5 Основные техническое характеристика технологии LTE

## 2.5.1 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.

Таблица 2.1

Диапазоны частот для сети радиодоступа E-UTRA

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номера рабочих диапазонов | Диапазон частот, МГц | Вид дуплекса |
| Линия «вверх»(UL) | Линия «вниз»(DL) |
| 1 | 1920 - 1980 | 2110 - 2170 | FDD |
| 2 | 1850 – 1910 | 1930 – 1990 | FDD |
| 3 | 1710 – 1785 | 1805 – 1880 | FDD |
| 4 | 1710 – 1755 | 2110 – 2155 | FDD |
| 5 | 824 – 849 | 869 – 894 | FDD |
| 6 | 830 – 840 | 875 – 885 | FDD |
| 7 | 2500 – 2570 | 2620 – 2690 | FDD |
| 8 | 880 – 915 | 925 – 960 | FDD |
| 9 | 1749,9 – 1784,9 | 1844,9 – 1879,9 | FDD |
| 10 | 1710 – 1770 | 2110 – 2170 | FDD |
| 11 | 1427,9 – 1452,9 | 1475 – 1500,9 | FDD |
| 12 | 698 – 716 | 728 – 746 | FDD |
| 13 | 777 – 787 | 746 – 756 | FDD |
| 14 | 788 – 798 | 758 – 768 | FDD |
| 17 | 704 – 716 | 734 – 746 | FDD |
| 18 | 815 – 830 | 860 – 875 | FDD |
| 19 | 830 – 845 | 875 – 890 | FDD |
| 33 | 1900 – 1920 | TDD |
| 34 | 2010 – 2025 | TDD |
| 35 | 1850 – 1910 | TDD |
| 36 | 1930 – 1990 | TDD |

Из таблицы видно, что диапазоны, предназначенные для развития сетей LTE, уже освоены или осваиваются в Таджикистане для работы сетей мобильной связи и беспроводного доступа различных технологий. Поэтому, создание в Таджикистан LTE-сетей сопровождается трудностями с выбором и получением разрешения на использование частотного диапазона. Таким образом, будущее внедрения сетей LTE в Таджикистане связано с необходимостью реформирования использования радиочастотного спектра на основе национальных процедур его высвобождения и перепланирования.

##  2.5.2 Взаимодействие стандарта LTE с UMTS/GSM и стандартами

##  не-3GPP

Поддержка мобильности абонентского терминала при его перемещении из зоны обслуживания одной сети в зону обслуживания другой – является важной задачей, возникающей при взаимодействии сети LTE с сетями мобильной связи стандартов 3GPP (UMTS/GSM/HSPA+). Взаимодействие сети LTE с сетями 3GPP заключается в обеспечении дискретной мобильности (роуминга) и обеспечения непрерывной мобильной связи (хэндовера).

Основными интерфейсами взаимодействия сети LTE с сетями 3GPP являются интерфейсы S3, S4 и S12. Данные интерфейсы обеспечивают взаимодействие логического элемента управления мобильностью MME и шлюза S-GW сети LTE с сервисным узлом SGSN сетей 3G с помощью туннельного протокола GTP (GPRSTunnellingProtoсol). Протокол GTP предназначен для передачи данных плоскости управления (протокол GTP-C) и для передачи данных плоскости пользователя (протокол GTP-U). В условиях роуминга шлюз S-GW визитной сети взаимодействует с шлюзом P-GW (шлюз взаимодействия с пакетными сетями) домашней сети. Взаимодействие сети LTE с другими 3GPP для оказания традиционных услуг телефонии осуществляется с помощью как традиционной технологии коммутации каналов (TDM), так и технологии коммутации пакетов на базе сервисной подсистемы IMS.

Хэндовер между сетью LTE и другой сетью 3GPP при осуществлении голосового вызова происходит с помощью взаимодействия логического элемента MME с сервером MSC по интерфейсу Sv в случае вызовов из сети LTE в традиционный домен коммутации каналов (CS-домен); и с помощью взаимодействия логического элемента MME с узлом SGSN по интерфейсу S3 в случак голосового вызова из сети LTE в домен коммутации пакетов (PS-домен).

Взаимодействие сети LTE с сетями не-3GPP разделяется на взаимодействие с сетями с гарантированной безопасностью – «надежными» и взаимодействие с сетями с негарантированной безопасностью – «ненадежными». В качестве «надежных» сетей могут выступать присоединенные сети других стандартов (cdma2000, WiMAX), в качестве «ненадежных» - публичные IP-сети Интернета. Взаимодействие сети LTE с «надежными» сетями стандартов не-3GPP осуществляется посредством шлюза P-GW, взаимодействие с «ненадежными» сетями – посредством шлюза ePDG.

С учетом концепции построения базовой сети EPC «все через IP» мобильность абонентского терминала при взаимодействии сети LTE с сетями не-3GPP основана на протоколах управления мобильностью в IP-сетях:

* протоколы управления мобильностью на базе хостов - HBM (HostBasedMobility) – MIPv4, DSMIPv6;
* протоколы управления мобильностью на базе сети – NBM (NetworkBasedMobility) – PMIPv6.

Идентификация абонентского терминала по IP-адресу и маршрутизация осуществляется так же как в IP-сетях.

## 2.5.3 Использование технологии MIMO в сетях LTE

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

MIMO (MultipleInputMultipleOutput – множественный вход – множественный выход) – технология, которая представляет собой беспроводной доступ, предусматривающая использование нескольких передатчиков и приемников для одновременной передачи большего количества данных. Технология MIMO использует эффект передачи радиоволн, называемый многолучевым распространением, когда передаваемые сигналы отражаются от множества объектов и препятствий и принимающая антенна воспринимает сигналы под разными углами и в разное время. С применением технологии MIMO становится возможным увеличить помехоустойчивость каналов связи, уменьшить относительное число битов, принятых с ошибкой. Работа систем MIMO может быть организована по двум принципам: по принципу пространственного уплотнения и по принципу пространственно-временного кодирования.

В первом случае различные передающие антенны передают различные части блока информационных символов или различные информационные блоки. Передача данных ведется параллельно с двух или с четырех антенн. На приемной стороне производится прием и разделение сигналов различных антенн. Во втором случае, со всех передающих антенн осуществляется передача одного и того же потока данных с использованием схем предварительного кодирования.

Антенные конфигурации технологии MIMO могут принимать симметричные (2×2, 4×4) и несимметричные (1×2, 2×4) значения. На рисунке 3.4 показана структурная схема MIMO-системы с двумя передающими и двумя принимающими антеннами, реализованная по принципу пространственно-временного кодирования.

 Рисунок 2.5 Структурная схема MIMO-системы 2×2

## 2.4 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 информа

При планировании сети LTE, в первую очередь, необходимо определить каким образом будут реализованы решения построения транспортной сети и сети радиодоступа E-UTRA. Примером построения сети LTE может служить схема, показанная на рисунке 2.2

Для сравнения выберем три основных варианта организации связи:

1. Построение сети LTE«с чистого листа». В этом случае компания-оператор связи осуществляет строительство полностью всех объектов связи, которые будут включены в сеть LTE.

Построение сети LTE способом аренды всех компонентов связи у сторонних операторов, за исключением оборудования базовых станций. Арендуемыми объектами будут: вышки для базовых станций и все компоненты транспортной сети.Построение сети LTEуниверсальным способом. Этот вариант включает в себя оба способа построения сети, приведенные выше.

Предположим, что оператором связи, осуществляющим проектирование сети LTE является компания, которая уже занимается предоставлением услуг фиксированной связи и имеющая развитую транспортную сеть в районе планирования. Такой компанией-оператором в городе Хорог может выступать ОАО «Индиго». В этом случае идеально подходит универсальный способ построения сети LTE.

##  Глава 3. Расчетный часть

 **3.1 Расчет пропускной способности сети, расчет потенциальных**

 **абонентов.**

 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 OFDM, 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 сельской местности, а это значит, что плотность абонентов будет невысока и базовые станции должны устанавливаться на максимальном удалении друг от друга с целью закрыть каждой eNB как можно большую территорию. В связи с этим нужно подобрать соответствующий частотный диапазон. В данном случае нужно руководствоваться правилом, что чем ниже частота, тем дальше распространение радиосигнала. Частотный диапазон 791 – 862 МГц вполне подойдет для выполнения этой задачи. Тип дуплекса выберем частотный – FDD.

## 3.2 Расчет пропускной способности сети. Расчет количества

## потенциальных абонентов

Пропускную способность, или емкость, сети оценивают, базируясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях.

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 FDD на основании 3GPPR elease 9 для разных конфигураций MIMO, представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Средняя спектральная эффективность для сети LTE

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Линия | Схема MIMO | Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц) |
| UL | 1×21×4 | 1,2541,829 |
| DL | 2×24×24×4 | 2,933,434,48 |

Для системы FDD средняя пропускная способность 1 сектора eNB может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность канала:

$R=S∙W,$ (3.1)

где *S* – средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц);

*W* – ширина канала (МГц); *W* = 10 МГц.

Для линии DL:

*RDL* = 3,43 · 10 = 34,3 Мбит/с.

Для линии UL:

*RUL* = 1,829 · 10 = 18,29 Мбит/с.

Средняя пропускная способность базовой станции *ReNB* вычисляется путем умножения пропускной способности одного сектора на количество секторов базовой станции; число секторов eNB примем равное 3, тогда:

$R\_{eNB}=R\_{DL/UL}∙3$ (3.2)

Для линии DL:

*ReNB.DL* = 34,3 · 3 = 102,9 Мбит/с.

Для линии UL:

*ReNB.UL* = 18,29 · 3 = 54,87 Мбит/с.

 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 *Nк* рассчитывается по формуле:

$N\_{k}=\left[\frac{Δf\_{∑}}{Δf\_{к}}\right]$ , (3.3)

где *Δf∑* - полоса частот, выделенная для работы сети и равная 71 МГц;

*Δfк* – полоса частот одного радиоканала; под радиоканалом в сетях LTE определяется такое понятие как ресурсный блок РБ, который имеет ширину 180 кГц, Δ*f*к = 180 кГц.

$$N\_{к}=\frac{71000}{180}≈395 (каналов)$$

Далее определим число каналов *Nк.сек*, которое необходимо использовать для обслуживания абонентов в одном секторе одной соты:

$N\_{к.сек}=\left[\frac{N\_{к}}{\left(N\_{кл}∙M\_{сек}\right)}\right],$(3.4)

где *Nк* – общее число каналов;

*Nкл* – размерность кластера, выбираемое с учетом количества секторов eNB, примем равным 3;

*Mсек* – количество секторов eNB, принятое 3.

$$N\_{к.сек}=\left[\frac{395}{\left(3∙3\right)}\right]≈43 (канала).$$

Далее определим число каналов трафика в одном секторе одной соты *Nкт.сек*. Число каналов трафика рассчитывается по формуле:

$N\_{кт.сек}=N\_{кт1}∙N\_{к.сек},$ (3.5)

где *Nкт1* – число каналов трафика в одном радиоканале, определяемое стандартом радиодоступа(для OFDMA*Nкт1* = 1...3); для сети LTE выберем *Nкт1* = 1.

$$N\_{кт.сек}=1∙43≈43 \left(канала\right).$$

В соответствии с моделью Эрланга, представленной в виде графика на рисунке 3.1, определим допустимую нагрузку в секторе одной соты *Асек* при допустимом значении вероятности блокировки равной 1% и рассчитанным выше значении *Nкт.сек*. Определим, что *Асек* = 50 Эрл.



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

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

$N\_{аб.eNB}=M\_{сек}∙\left[\frac{A\_{сек}}{A\_{1}}\right],$ (3.6)

где *A1* – средняя по всем видам трафика абонентская нагрузка от одного абонента; значение *A1* может составлять (0,04...0,2) Эрл. Так как проектируемая сеть планируется использоваться для высокоскоростного обмена информацией, то значение *A1* примем равным 0,2 Эрл. Таким образом:

$$N\_{аб.eNB}=3∙\left[\frac{50}{0,2}\right]≈750 \left(абонентов\right).$$

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

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

где *Nаб* – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определим как 20% от общего числа жителей. Общее число жителей Раштского района составляет 24500 человек. Таким образом, количество потенциальных абонентов составит 4900 человек, тогда:

$$N\_{eNB}=\left[\frac{2250}{750}\right]+1≈4 \left(eNB\right).$$

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

$R\_{N}=\left(R\_{eNB.DL}+R\_{eNB.UL}\right)∙N\_{eNB}$, (3.8)

*RN* = (102,9 + 54,87) · 7 ≈ 1104,39 (Мбит/с).

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

$R\_{т.ЧНН}=\frac{Т\_{т}∙q}{N\_{ЧНН}∙N\_{д}}$ , (3.9)

где *Тт* - средний трафик одного абонента в месяц, *Тт* = 30 Гбайт/мес;

*q* – коэффициент для сельской местности, *q* = 2;

*NЧНН* – число ЧНН в день,*NЧНН* = 7;

*Nд* – число дней в месяце, *Nд* = 30.

$R\_{т.ЧНН}=\frac{30∙2}{7∙30}=0,28 $ (Мбит/с)

Определим общий трафик проектируемой сети в ЧНН *Rобщ./ЧНН* по формуле:

*Rобщ./ЧНН = Rт.ЧНН · Nакт.аб*, (3.10)

где *Nакт.аб* – число активных абонентов в сети; определим число активных абонентов в сети как 80% от общего числа потенциальных абонентов *Nаб*, то есть *Nакт.аб* = 1920 абонентов.

*Rобщ./ЧНН* = 0,28 · 1920 = 1097,6 (Мбит/с).

Таким образом, *RN*>*Rобщ./ЧНН*. Это условие показывает, что проектируемая сеть не будет подвергаться перегрузкам в ЧНН.

## 3.3 Выбор оборудования транспортной сети

Основными отличиями технологии LTE от предшествующих технологий мобильной связи 2G и 3G являются:

* организация связи, как голосовой, так и передачи данных по IP-протоколу;
* высокие скорости передачи данных;
* упрощенная архитектура сети.

Оборудование транспортной сети следует выбирать, в первую очередь руководствуясь особенностями технологии LTE, а так же, чтобы данное оборудование отвечало требованиям надежности, отличалось эффективностью, гибкостью, компактностью, обладало широким набором функций и удовлетворяло понятию «цена – качество». Главным условием при выборе оборудования транспортной сети является надежная передача данных пользователей согласно рассчитанной пропускной способности сети LTE.

Транспортная сеть проектируемой сети LTE будет реализована с помощью оптоволоконных линий передач по технологии Ethernet. В технологии Ethernet (стандарт IEEE 802.3) определены следующие скорости: Ethernet на скорости 10 Мбит/с, FastEthernet на скорости100 Мбит/с, GigabitEthernet на скорости 1 Гбит/с и 10 GigabitEthernet на скорости 10 Гбит/с. Скорости в 1 и 10 Гбит/с подходят для транспортной сети. Существенным преимуществом систем Ethernet является широкая масштабируемость и максимальная приближенность к стеку протоколов IP.

В мире проектирования мобильных сетей существуют различные решения выбора оборудования как сети радиодоступа, так и транспортной сети. Компании – производители оборудования для сетей мобильной связи предоставляют операторам пакеты готовых решений, состоящих из подобранного по различным показателямстека аппаратуры. В пакеты готовых решений для реализации транспортной сети мобильного оператора могут входить рабочие станции, коммутаторы, маршрутизаторы, мультисервисные станции, а также специализированное оборудование для управления сетью, что решение компании «Cisco Systems» для реализации транспортной сети LTE является лучшим по многим параметрам, и, хотя цена на оборудование данного производителя больше, зато высокое качество исполнения и высокий уровень технической поддержки позволяют сделать выбор именно в пользу данной продукции.

Компания «Cisco Systems» на сегодняшний день является безусловным лидером производства коммутационного оборудования в мире. Продукцию данной компании используют в своих сетях свыше 250 операторов мобильной связи более чем в 75 странах мира. В России свое предпочтение коммутационному оборудованию компании «Cisco Systems» отдали такие операторы мобильной связи, как ОАО «ВымпелКом», ОАО «Мобильные Теле Системы» и ОАО «Мегафон». Продукция выпускаемая компанией «Cisco Systems» обладает такими качествами как надежность, производительность, многофункциональность, масштабируемость и безопасность. В данном бакалаврское работе при выборе транспортного оборудования сети LTE предпочтение отдадим оборудованию компании «Cisco Systems».

Оборудование транспортной сети для передачи данных по технологии LTE делится на:

1. Транспортное оборудование сети радиодоступа.
2. Транспортное оборудование интеллектуальной агрегации.

У компании «CiscoSystems» имеются готовые решения построения транспортной сети для мобильных операторов. Воспользуемся одним из них.

В качестве транспортного оборудования сети радиодоступа выберем коммутатор «CiscoME 3600 X 24CX». Данная модель реализована с учетом огромного опыта работы компании «CiscoSystems» с операторами мобильной связи; данная модель обладает аппаратным ускорением, неблокируемой производительностью, низкими задержками и джиттером.

Чипсет коммутатора «CiscoME 3600 X 24CX» разработан специально для се тей CarrierEthernet.

Рисунок 3.2 - Внешний вид коммутатора "CiscoME 3600 Х 24СХ"

Краткая техническая характеристика коммутатора «CiscoME 3600 X 24CX»:

* количество оптоволоконных портов: 6;
* организация IP-маршрутизации;
* поддерживаемые скорости: 10/100/1000 Мбит/с;
* размеры (ш×г×в): 444×516×43;
* вес: 6570 грамм;
* протокол управления: SNMP;
* протоколы передачи данных: OSPF, IS-IS, EIGRP, RIPv2;
* оперативная память: 1024 МБ;
* тип оперативной памяти: DRAM;
* потребляемая мощность: 228 Вт;
* частота входного сигнала: 50/60 Гц;
* входное напряжение: перем. 100-240 В, пост. 48 В;
* пропускная способность: 65 Mpps;
* максимальная скорость передачи данных: 44 Гбит/с;
* fiberethernetcablingtechnology: 1000 Base-LX, 100 Base-BX, 100 Base-FX, 100 Base-LX;
* fiber optic connector: LC, LX-5;
* дистанция передачи по оптико-волоконному кабелю: 80 км;
* длина волны: 1310/1550 нм.



Рисунок 3.3.- Внешний вид маршрутизатора «Cisco 7603 OSR»

Коммутатор «CiscoME 3600 X 24CX» не исключает возможности подключения к нему нескольких базовых станций eNB.

В качестве транспортного оборудования интеллектуальной агрегации выберем оптический сервисный маршрутизатор «Cisco 7603 OSR» (OpticalServiceRouter). Оптический маршрутизатор «Cisco 7603 OSR» предназначен для построения территориально распределенных (WAN) и городских (MAN) сетей. Основной задачей данного маршрутизатора является обеспечение работы критичных IP приложений на скорости оптических каналов связи.

Основные возможности и технические характеристики маршрутизатора «Cisco 7603 OSR»:

* поддержка полного спектра функций ПО Cisco IOS;
* шасси, совместимое со стандартом NEBS;
* высокая доступность платформы благодаря резервированию блоков питания, управляющих модулей и программных возможностей ПО Cisco IOS – Global Resilience IP;

Cisco ME 3600X24CX

Cisco ME 3600X24CX

Cisco ME 3600X24CX

**Сеть радиодоступа E-UTRAN**

Cisco 7603 OSR

**Сеть интеллектуальной агрегации**

**Evolved Packet Core LTE**

**Сервисы и эксплуатация**

Рисунок 3.4 - Схема организации связи транспортной сети

* аппаратное ускорение сетевых услуг благодаря технологии CiscoPXF;
* поддержка технологии MPLS/IP;
* имеет 24 порта 10 Base-FL, 24 порта 10Base-FX, 48 портов 1000 Base-LX, 4 порта 10GBase-ER;
* максимальная производительность: 240 Гбит/с, 30 млн. пакетов/с;
* пропускная способность шины: 32 Гб/с;
* размеры (в×ш×д): 17,78×44,12×55,25;
* вес: 12,25 кг;
* питание: АС 110 - 240 В, DC 48 - 60 В;
* среднее время наработки на отказ: 7 лет;
* условия эксплуатации: температурный режим 0 – 40 °С, влажность 10 – 85%.

Согласно сделанному выбору транспортного оборудования на следующем этапе дипломного проектирования составим схему организации связи транспортной сети. Схема организации связи транспортной сети показана на рисунке 3.4.

## 3.4 Выбор оптического кабеля. Определение суммарного затухания

##  на участке

Оптические кабели представляют собой среду передачи, близкую к идеальной. По объемам и скорости передачи информации, надежности и дальности ее доставки оптические кабели значительно опережают другие технологические решения. Поэтому, на сегодняшний день альтернативы им нет. Классификация существующих оптических кабелей по своему назначению показана на рисунке 3.5.

Основным элементом оптического кабеля является оптическое волокно (световод), выполненное в виде тонкого стеклянного волокна цилиндрической формы, по которому передаются световые сигналы с длинами волны 0,85…1,6 мкм. Световод имеет двухслойную конструкцию и состоит из сердцевины и оболочки с разными показателями преломления. Назначениеоболочки – создание лучших условий отражения на границе «сердцевина – оболочка» и защита от помех из окружающего пространства. В существующих конструкциях оптических кабелей применяются световоды двух типов: многомодовые (ступенчатые и градиентные) и одномодовые.

Оптические кабели

Оптические кабели наружной прокладки

Оптические кабели внутренней прокладки

подземные

подвесные

подводные

внутри зданий и сооружений

монтажные

в защитные пластмассовые трубы

в грунты: 1 – 3 и 4 – 5 групп

в скальные грунты и грунты, подверженные мерзлотным деформациям

в кабельную канализацию, в коллекторах и туннелях

по мостам и эстакадам

для прокладки в болотах глубиной до 2 м и более 2 м

навивные, присоединяемые, прикрепляемые

самонесущие для подвески на опорах воздушных линий связи, опорах контактной сети и высоковольтной автоблокировки ж/д, на опорах воздушных линий электропередач

встроенные в грозозащитный трос

на переходах через водные преграды

на морских глубоководных участках

на морских прибрежных участках

Сердцевина служит для передачи электромагнитной энергии.

Рисунок 3.5 - Типы оптических кабелей связи

По частотно – пропускной способности и дальности передачи лучшими являются одномодовыесветоводы. Все многообразие существующих типов кабелей можно разделить на три группы:

* кабели с повивной концентрической скруткой;
* кабели с фигурным сердечником;
* плоские кабели ленточного типа.

В оптических кабелях кроме оптического волокна, как правило, имеются следующие элементы:

* силовые упрочняющие стержни, которые воспринимают на себя продольную нагрузку на разрыв;
* армирующие элементы, повышающие стойкость кабеля при механических воздействиях;
* заполнители в виде сплошных пластмассовых нитей;
* наружные защитные оболочки, предохраняющие кабель от проникновения влаги, паров вредных веществ и внешних механических воздействий.

В настоящее время оптические кабели выпускаются как отечественными, так и зарубежными компаниями. В России крупными производителями оптических кабелей являются: ЗАО «Москабель – Фуджикура», ЗАО НФ «Электропровод», ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания» и ОАО «Завод Сарансккабель».

В данном работе для реализации транспортной сети будут использованы три типа оптических кабелей: для прокладки в грунте, подвесной и для прокладки в канализации.

*a∑* = *nрс · aрс + nнс · aнс + at +aв*, (3.11)

где *nрс* – количество разъемных соединителей, *nрс* ≈ 3;

*aрс* – потери в разъемных соединениях, *aрс* ≈ 0,6 дБ;

*nнс* – количество неразъемных соединений;

*aнс* – потери в неразъемных соединениях, *aнс* ≈ 0,02 дБ;

*at* – допуск на температурные изменения затухания оптического волокна, *at* = 1 дБ;

*aв* – допуск на изменение характеристик компонентов на участке со временем, *aв* ≈ 5 дБ.

Количество неразъемных соединений рассчитывается по формуле:

$ n\_{нс}=\frac{L\_{уч}}{l\_{сд}}-1 $(3.12)

где *Lуч* – длина участка, *Lуч* ≈ 9 км;

*lсд* – строительная длина кабеля, согласно таблице 3.1 *lсд* = 2 км.

$$n\_{нс}=\frac{9}{2}-1≈3 $$

a∑ = 3 · 0,6 + 3 · 0,02 + 1 +5 ≈ 7,8 (дБ)

Суммарное затухание на одном из участков проектируемой транспортной сети между коммутатором «CiscoME 3600X 24CX» и маршрутизатором «Cisco 7603 OSR» составило примерно 7,8 дБ.