МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра „Телекоммуникационные системы"

«Допущен к защите»

Заведующий кафедрой ___________

____
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

____________ «____»____________ **20__ г.**
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проектирование многоканальной телекоммуникационной сети в городе Капчагай

Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и тк

Выполнил (а) Кунесбеков А.С. МТС 10-07
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель ____________________________
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Бекиццева А.И., к.э.н., доцент
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

____________ «02» июня 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Дюсебаев М.К., д.т.н., проф.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

____________ 13.06 2014 20___ г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:

____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

____________ «______»____________ 20__ г.
(подпись)

____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

____________ «______»____________ 20__ г.
(подпись)

Нормоконтролер: ст. преподаватель ТКС Кондратович А.Я.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

____________ «18» 06 2014 г.
(подпись)

Рецензент: ____________________________
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

____________ «______»____________ 20__ г.
(подпись)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет радиотехники и связи
Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и тк.
Кафедра "Телекоммуникационные системы"

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студент Кунесбеков Абылайхан Сейлбекович
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Проектирование многоканальной телекоммуникационной сети в городе Капчагай

утверждена приказом ректора № ___ от «___» сентября 20___ г.
Срок сдачи законченной работы «___» _____ 20___ г.
Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:
1) Выбор оборудования для системы WiMAX, а также задачи, цели, преимущества WiMAX
2) Анализ города Капчагай, стандар IEEE 802.16e
3) Расчет напряженности поля, определение зоны, учитывающей рельеф местности
4) Составление бизнес-плана
5) Разработка мероприятий по безопасности жизнедеятельности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1) График статистического распределение отметок местности.
2) Зависимость медианного значение напряженности поля от расстояния на равнинно-холмистой местности.
3) График для определения поправочного коэффициента на неровной местности
4) График нормированного логарифмически нормального закона
5) Рельеф местности в направлении 1
6) График для определение поправки, учитывающей рельеф местности

Рекомендуемая основная литература

1) „Анатомия беспроводных сетей" / Джек Маккалоу.
2) „Сети и системы радиодоступа" / Григорьев В. А Логутенко О.И. 2005.
3) „Беспроводные линии связи и сети" / Столлингс В. 2003.-640с.
4) Сайт о беспроводных технологии www.telecomnet.ru

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Экконом. часть	Бекенеева А.И.		[подпись]
Досебаев М.К.	БЖД	17.03 – 13.06.14	[подпись]

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Анализ города Капчагай	25.04.14	10%
2	Задачи, цели, преимущества WiMAX	27.04.14	10%
3	Стандарт IEEE 802.16e-2005	30.04.14	10%
4	Выбор оборудования для системы WiMAX	2.05.14	10%
5	Расчет напряженности поля	10.05.14	10%
6	Расчет поправочного коэффициента, учитывающего высоту приемных антенн	16.05.14	10%
7	Определение поправки, учитывающей рельеф местности	18.05.14	10%
8	Расчет ожидаемой дальности связи	25.05.14	5%
9	Безопасность жизнедеятельности	10.06.14	10%
10	Технико-экономическое обоснование проекта	2.06.14	10%
11	Вычислительная техника		5%

Дата выдачи задания «____»_____20___ г.

Заведующий кафедрой _____ _____
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ _____
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ Кунсебеков Д.С.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аннотация

Целью данного дипломного проекта является изучение особенностей новой антенной технологии eNodeB и ее применение в стандарте четвертого поколения сотовой связи LTE. Дипломная работа состоит из пяти глав. В нем рассматриваются особенности архитектуры сетей LTE, взаимоувязанная структура транспортных и логических каналов. Также в данной работе достаточно подробно рассматривается и производится расчет технологических характеристик радиоинтерфейса стандарта LTE, с учетом особенностей применения технологии eNodeB. Излагаются принципы технологий WCDMA и UMTS, лежащие в основе организации передачи данных в нисходящем и восходящем направлениях, изучается структура физических каналов в обоих направлениях, организация в них пользовательской и служебной информации, используемые методы модуляции и кодирования.

Аңдатпа

Бұл дипломдық жобаның мақсаты жаңа антенналық eNodeB технологиясының ерекшеліктерін және оның ұялы байланысының төртінші ұрпақ LTE стандартында қолдануының зерттеу болып табылады. Берілген жоба төрт бөлімнен тұрады. Бұл жобада LTE желілерінің архитектурасы, транспорт және логиколық арналарынық құрылымы қарастырылады. Оған қоса LTE радиоинтерфейсінің eNodeB технологиясын қолданғандағы техникалық сипатамаларының есептелуі көрсетіледі.

Annotation

The aim of this diploma project is to study features of the new antenna technology eNodeB and its application in the standard fourth-generation cellular network LTE. Thesis consists of five chapters. It examines the characteristics of the network architecture LTE, Bilateral and structure of transport and logical channels. Also in this paper is considered in detail and calculated technological characteristics of the radio interface standard LTE, allowing for the application of technology eNodeB. Outlines the principles of WCDMA technology and UMTS, the underlying data transfer to the downstream and upstream directions, study the structure of the physical channels in both directions, organizing them in a custom and proprietary information used modulation and coding.

Содержание

Введение 8
1 Анализ способов построения и функционирования сетей LTE 9
1.1 Архитектура сети LTE 9
1.2 Стеки протоколов, каналы и услуги. Реализованные на различных уровнях 14
1.3 Управление мобильностью пользовательских терминалов 23
2 Типы предоставления сервисов и услуг в сети LTE 27
2.1 Услуги в сетях LTE 27
2.2 Передача интернет-файлов 30
2.3 Отправка электронной почты 31
2.4 Передача мультимедийных сообщений 32
2.5 Эффективность пользования и метод мультимедийного вещания 33
2.6 Организация передачи потокового видео 35
3 Расчет параметров WCDMA 37
3.1 Расчет чувствительности приемника UMTS 37
3.2 Расчет максимально допустимых потерь сети WCDMA 41
3.3 Расчет восходящей линии WCDMA 44
3.4 Расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника базовой станции 44
3.5 Определение мощности принимаемого сигнала 46
3.6 Расчет эффективно излучаемой мощности мобильной станции 46
3.7 Определение максимально допустимых потерь 47
3.8 Расчет нисходящей радиолинии WCDMA 47
3.9 Определение минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника МС 47
3.10 Определение требуемой мощности принимаемого сигнала 48
3.11 Расчет эффективно излучаемой мощности базовой станции 49
3.12 Расчет допустимых потерь на трассе 49
3.13 Планирование и расчет радиосетей LTE. Расчет энергетического бюджета для сети LTE 50
3.14 Оценка емкости сети LTE 51
4 Безопасность жизнедеятельности 56
4.1 Анализ условий труда обслуживающего персонала 56
4.2 Расчет обеспечения электромагнитной безопасности 58
4.3 Расчет заземления антенны 62
5 Бизнес – план 67
5.1 Техническое и экономическое обоснование сети четвертого поколения 67
5.2 Анализ продукции 67
5.3 Оценка рынка сбыта 68

5.4 Маркетинг 69
5.5 Стадии развития 70
5.6 Финансовый план 70
5.7 Расчет капитальных затрат 70
5.8 Эксплуатационные расходы 72
5.9 Расходы на трудовые ресурсы 73
5.10 Расходы на оборудование 74
5.11 Расчет накладных расходов 75
5.12 Расчет ожидаемых годовых доходов 76
5.13Доходы от услуг международных и междугородных голосовых звонков 77
5.14 От услуг доступа в интернет 77
5.15 От подключения каждого нового абонента к сети 78
5.16 Расчет срока окупаемости 79
Заключение 80
Список литературы 81
Приложение А 82

Введение

На сегодняшний день мобильная связь четвертого поколения (4G) является очень актуальным вопросом в мире и дальнейшее ее развитие этой мобильной технологии LTE (Long Term Evolution), жизненно важно и необходимо для всего человечества, а также для модернизации предыдущих поколений телекоммуникационной сети. Сейчас, почти во многих странах мира используют эту данную мобильную связь четвертого поколения. Для решения существенных задач (вопросов) в области телекоммуникаций является именно эта технология, т.е. LTE. Следовательно, мобильные сети связи, осуществленные на стрежне данной технологии, называют сети – LTE. Эта сеть выделяется из всех предыдущих поколений сетей, со своей быстротой и качественной передачи данных, а также улучшенной голосовой связью, что сразу выходит лидером на рынке телекоммуникации.

LTE (Long Term Evolution) – это мобильная технология связи четвертого поколения (4G).

Технология LTE – это основное направление эволюции сетей сотовой связи третьего поколения (3G). Международное объединение Third Generation Partnership Project (3GPP), разрабатывающее перспективные стандарты мобильной связи, утвердило LTE в качестве следующего после UMTS стандарта широкополосной сети мобильной связи.

Международный союз электросвязи выбрал в качестве стандартов беспроводной широкополосной связи четвёртого поколения (4G) две технологии LTE-Advanced и WirelessMAN-Advanced (базируется на стандарте WiMAX). В соответствии с критериями, определёнными экспертами, стандартом беспроводной связи четвёртого поколения могут считаться технологии, обеспечивающие пиковую скорость передачи данных 100 Мбит/с в движении и 1 Гбит/с при стационарном использовании.

1 Анализ способов построения и функционирования сетей LTE

1.1 Архитектура сети LTE

Данный раздел дипломного проекта предназначен исследованию главных основ построения сетей LTE и организации в них различного рода абонентских услуг, т.к. сети LTE являются дальнейшим развитием сетей второго и третьего поколений, детальное рассмотрение структуры и назначение базовых сетевых узлов (пользовательских регистров, коммутаторов, контроллеров и т.п.).

При разработке архитектуры сети LTE были приняты во внимание такие общие принципы как:

- логически разделены транспортные (под) сети передачи пользовательских данных и служебной информации;
- сеть радиодоступа и базовая пакетная сеть полностью освобождены от транспортных функций. Схемы адресации, используемые в этих сетях, не должны быть связаны со схемами адресации, используемыми при реализации транспортных функций.

Тот факт, что некоторые функции сети радиодоступа или базовой пакетной сети физически реализованы в том же оборудовании, что и некоторые транспортные функции, не говорит о том, что транспортные функции являются частью указанных сетей:

- управление мобильностью абонентов и/или пользовательских терминалов полностью возложено на сеть радиодоступа;
- функциональное отделение интерфейсов сети радиодоступа должно иметь несколько возможных опций;
- интерфейсы должны базироваться на логической модели блока, управляемого данным интерфейсом;
- один физический элемент сети может реализационно содержать в себе несколько логических блоков.

Архитектура сети LTE разработана таким образом, чтобы обеспечить поддержку пакетного трафика с так называемой “гладкой” (“бесшовной”, seamless) мобильностью, минимальными задержками доставки пакетов и высокими показателями качества обслуживания.

Мобильность как функция сети обеспечивается двумя её видами: дискретной мобильностью (роумингом) и непрерывной мобильностью (хэндовером). Поскольку сети LTE должны поддерживать процедуры роуминга и хэндовера со всеми существующими сетями, для LTE-абонентов (терминалов) должно обеспечиваться повсеместное покрытие услуг беспроводного широкополосного доступа.

Пакетная передача позволяет обеспечить все услуги, включая передачу пользовательского голосового трафика. В отличие от большинства сетей

предыдущих поколений, в которых наблюдается достаточно высокая разнотипность и иерархичность сетевых узлов (так называемая распределённая сетевая ответственность), архитектуру сетей LTE можно назвать “плоской”, поскольку практически всё сетевое взаимодействие происходит между двумя узлами: базовой станцией (БС), которая в технических спецификациях называется B-узлом (Node-B, eNB) и блоком управления мобильностью БУМ (MME, Mobility Management Entity), реализационно, как правило, включающим и сетевой шлюз Ш (GW, Gateway), т. е. имеют место комбинированные блоки MME/GW.

Отметим, что контроллер радиосети, игравший весьма значительную роль в сетях предыдущих поколений, устранён от управления потоком данных (фактически он даже отсутствует в структурных схемах), а его традиционные функции — управление радиоресурсами сжатие заголовков, шифрование, надёжная доставка пакетов и др. переданы непосредственно БС.

БУМ работает только со служебной информацией — так называемой сетевой сигнализацией, так что IP-пакеты, содержащие пользовательскую информацию, через него не проходят. Преимущество наличия такого отдельного блока сигнализации в том, что пропускную способность сети можно независимо наращивать как для пользовательского трафика, так и для служебной информации. Главной функцией БУМ является управление пользовательскими терминалами (ПТ), находящимися в режиме ожидания, включая перенаправление и исполнение вызовов, авторизацию и аутентификацию, роуминг и хэндовер, установление служебных и пользовательских каналов и др.

Среди всех сетевых шлюзов отдельно выделены два: обслуживающий шлюз ОШ (S-GW, Serving Gateway) и шлюз пакетной сети (P-GW, Packet Data Network Gateway), или, короче, пакетный шлюз (ПШ). ОШ функционирует как блок управления локальной мобильностью, принимая и пересылая пакеты данных, относящиеся к БС и обслуживаемым им ПТ. ПШ является интерфейсом между набором БС и различными внешними сетями, а также выполняет некоторые функции IP-сетей, такие, как распределение адресов, обеспечение пользовательских политик, маршрутизация, фильтрация пакетов и др.

Как и в большинстве сетей третьего поколения, в основу принципов построения сети LTE положено разделение двух аспектов: физической реализации отдельных сетевых блоков и формирования функциональных связей между ними. При этом задачи физической реализации решаются, исходя из концепции области (domain), а функциональные связи рассматриваются в рамках слоя (stratum).

Первичным разделением на физическом уровне является разделение архитектуры сети на область пользовательского оборудования (UED, User Equipment Domain) и область сетевой инфраструктуры (ID, Infrastructure Domain). Последняя, в свою очередь, разделяется на (под) сеть радиодоступа

(E-UTRAN, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) и базовую (пакетную) (под) сеть (EPC, Evolved Packet Core).

Пользовательское оборудование — это совокупность ПТ с различными уровнями функциональных возможностей, используемых сетевыми абонентами для доступа к LTE-услугам. При этом в качестве пользовательского терминала может фигурировать как реальный (“живой”) абонент, пользующийся, к примеру, услугами голосового трафика, так и обезличенное устройство, предназначенное для передачи и приёма определённых сетевых или пользовательских приложений.

На рисунке 1.1 показана обобщённая структура сети LTE, из которой видно наличие двух слоёв функциональных связей: слоя радиодоступа (AS, Access Stratum) и внешность слоя радиодоступа (NAS, Non-Access Stratum). Показанные на рисунке 1.1 овалы со стрелками обозначают точки доступа к услугам.

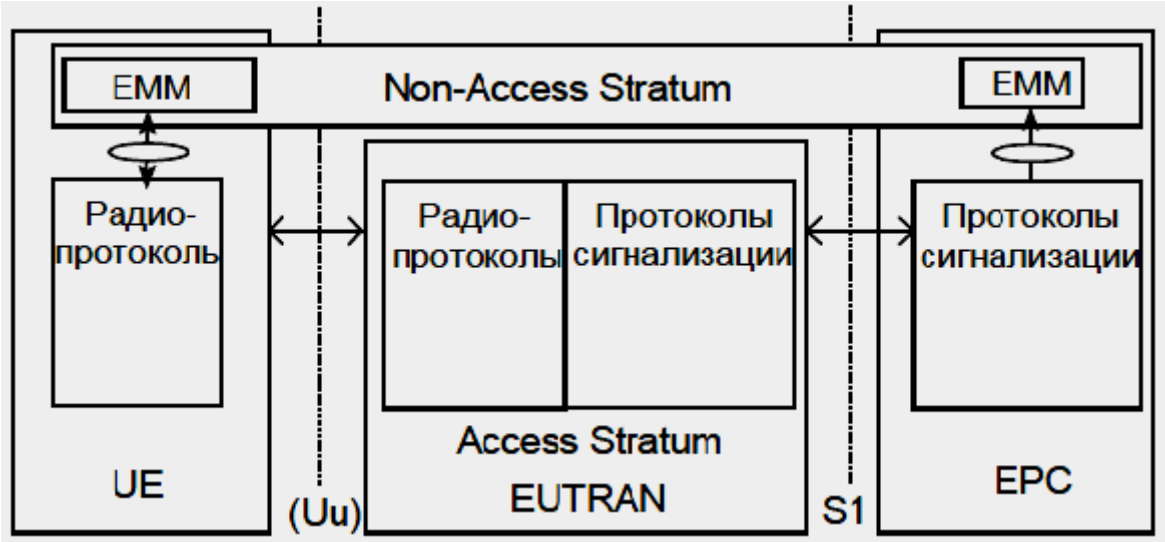


Рисунок 1.1 – Обобщенная структура сети LTE

Стык между областью UE пользовательского оборудования и областью сети радиодоступа UTRAN называется Uu-интерфейсом; стык между областью сети радиодоступа и областью базовой сети EPC S1-интерфейсом. Состав и функционирование различных протоколов, относящихся к интерфейсам Uu и S1, разделены на две так называемых плоскости: пользовательскую плоскость (UP, User Plane) и плоскость управления (CP, Control Plane).

Вне слоя доступа действуют механизмы управления мобильностью в базовой сети (EMM, EPC Mobility Management).

В пользовательской плоскости реализованы протоколы, обеспечивающие передачу пользовательских данных по радиоканалу. К плоскости управления относятся те протоколы, которые в различных

аспектах обеспечивают соединение между ПТ и сетью. Также к этой плоскости относятся протоколы, предназначенные для транспарентной (прозрачной) передачи сообщений, относящихся к предоставлению различных услуг.

Область сети радиодоступа логически разделена на два уровня: уровень радиосети (RNL, Radio Network Layer) и уровень транспортной сети (TNL, Transport Network Layer). Взаимодействие входящих в область сети радиодоступа БС осуществляется на основе X2-интерфейса (рисунке 1.2). Кроме того, имеет место транзитное соединение между базовыми станциями и базовой сетью через блок управления мобильностью (S1-MM-интерфейс) или обслуживающий узел (S1-U-интерфейс) — на рисунке 1.2 не показаны. Таким образом, можно утверждать, что S1-интерфейс поддерживает множественные отношения между набором БС и блоками БУМ/ОУ.

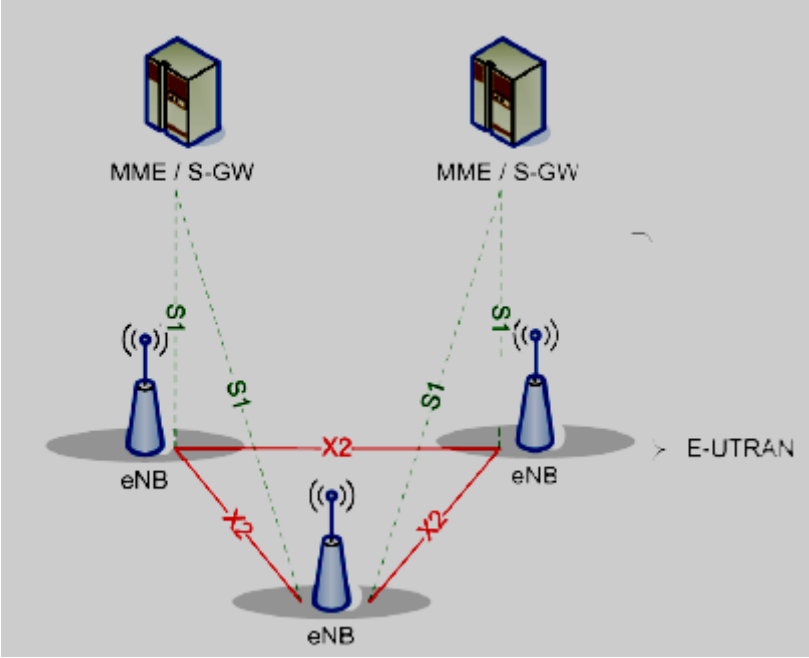


Рисунок 1.2 – Соединение функциональных узлов сети радиодоступа

Прежде, чем обратиться к изучению протоколов сети LTE, определённых в различных интерфейсах и плоскостях, рассмотрим назначение функциональных блоков сети радиодоступа.

На БС в сетях LTE возложено выполнение следующих функций:

- управление радиоресурсами: распределение радиоканалов, динамическое распределение ресурсов в восходящих и нисходящих направлениях, так называемое диспетчеризация ресурсов (scheduling) и др.;
- сжатие заголовков IP-пакетов, шифрование потока пользовательских данных;

- выбор блока управления мобильностью при включении в сеть пользовательского терминала при отсутствии у того информации о прошлом подключении;
- маршрутизация в пользовательской плоскости пакетов данных по направлению к обслуживающему шлюзу;
- диспетчеризация и передача вызывной и вещательной информации, полученной от БУМ;
- диспетчеризация и передача сообщений PWS (Public Warning System, система тревожного оповещения), полученных от БУМ;
- измерение и составление соответствующих отчётов для управления мобильностью и диспетчеризации.

Блок управления мобильностью обеспечивает выполнение следующих функций:

- передача защищённой информации о точках доступа к услугам и защищённое управление точками доступа;
- передача информации в базовую сеть для управления мобильностью между различными сетями радиодоступа;
- управление БС, находящимися в состоянии ожидания, включая перенаправление вызовов;
- управление списком зон отслеживания ПТ;
- выбор обслуживающего шлюза и шлюза пакетной сети для сетей радиодоступа различных стандартов;
- выбор нового блока управления мобильностью при выполнении хэндовера;
- роуминг;
- аутентификация;
- управление радиоканалом, включая установку выделенного канала;
- поддержка передачи сообщений PWS.

Обслуживающий узел отвечает за выполнение следующих функций:

- выбор точки привязки локального местоположения (Local Mobility Anchor) при хэндовере;
- буферизация пакетов данных в нисходящем направлении, предназначенных для ПТ, находящихся в режиме ожидания, и инициализация процедуры запроса услуги;
- санкционированный перехват пользовательской информации;
- маршрутизация и перенаправление пакетов данных;
- маркировка пакетов транспортного уровня;
- формирование учётных записей пользователей и идентификатора класса качества обслуживания для тарификации;
- тарификация абонентов.

Наконец, шлюз пакетной сети обеспечивает выполнение следующих функций:

– Фильтрация пользовательских пакетов;
– санкционированный перехват пользовательской информации;
– распределение IP-адресов для ПТ;
– маркировка пакетов транспортного уровня в нисходящем направлении;
– тарификация услуг, их селекция.

1.2 Стеки протоколов, каналы и услуги. Реализованные на различных уровнях

На рисунке 1.3 показан относящийся к различным плоскостям стек протоколов, разделённый на следующие уровни (подуровни):

– физический (PHY) уровень;
– (под) уровень управления доступом к среде MAC (Medium Access Control);
– (под) уровень управления радиоканалом RLC (Radio Link Control);
– (под) уровень протокола конвергенции (слияния) пакетных данных PDCP (Packet Data Convergence Protocol).
– (под) уровень управления радиоресурсами RRC (Radio Resource Control);
– подуровень протокола, функционирующего вне слоя доступа (NAS-протокол).

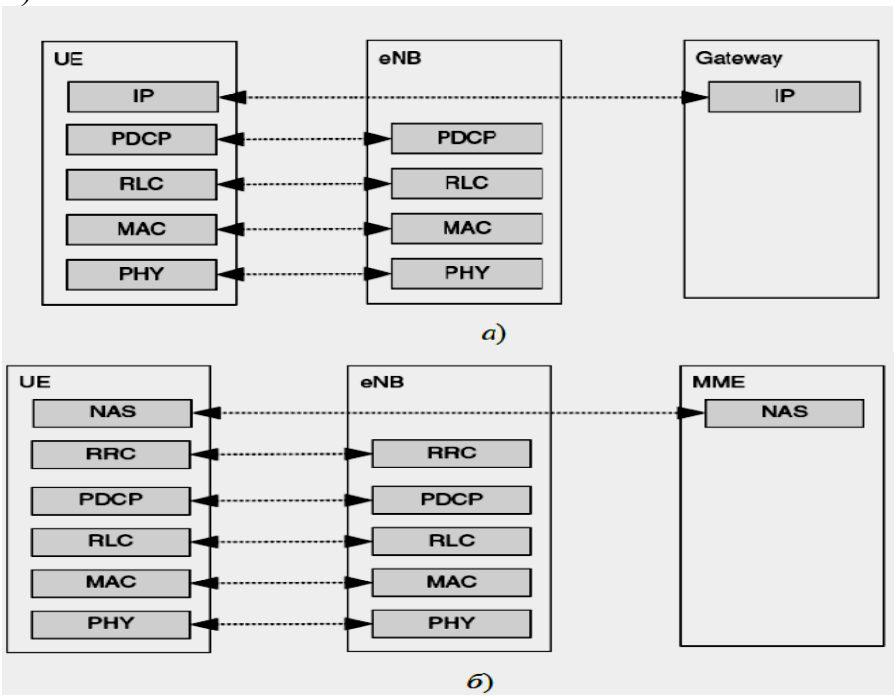


Рисунок 1.3 – Стек протоколов в пользовательской плоскости (а) и в плоскости управления (б)

Как видно из рисунке 1.3, на подуровнях MAC и RLC в пользовательской плоскости выполняются такие же функции, что и в плоскости управления. Функции подуровня RRC ограничены только плоскостью управления: это вещание системной информации, вызов, управление радиоканалом, управление соединением на данном подуровне, обеспечение управление мобильностью, управление и составление отчётов об измерении параметров ПТ.

Также в плоскость управления отнесён протокол обмена информацией вне слоя доступа (протокол NAS) и локализованный между БУМ и ПТ; он предназначен для решения задач, не связанных с вопросами радиодоступа: управление сквозным каналом передачи данных, аутентификация и защита пользовательских данных и др.

На нижнем, физическом уровне, называемом также уровнем 1 (L1, Layer 1) реализованы услуги по передачи данных на более высокие уровни. Выполнение таких услуг связано с обеспечением следующих функций:

- обнаружение ошибок в транспортном канале и индикация об этом на более высокие уровни;
- помехоустойчивое кодирование и декодирование данных в транспортном канале;
- гибридные запросы на повторную пересылку пакетов данных.
- энергетическое выравнивание физических каналов с помощью весовых множителей;
- модуляция и демодуляция физических каналов;
- частотная и временная синхронизация;
- измерение радиочастотных характеристик и индикация об этом на более высокие уровни;
- разнесённая передача и параллельная антенная обработка (методы MIMO, Multiple Input Multiple Output);
- формирование диаграммы направленности;
- радиочастотная обработка сигналов.

Точки доступа к услугам между физическим уровнем и MAC-подуровнем обеспечиваются транспортными каналами, а между MAC-подуровнем и RLC-подуровнем — логическими каналами.

На рис. 1.4 показана структура канального уровня, называемого также уровнем 2 (L2, Layer 2) в нисходящем и восходящем направлениях; различие структур в том, что в нисходящем направлении на MAC-подуровне происходит управление приоритетом нескольких ПТ, в то время как в восходящем направлении такое управление относится только к одному ПТ. На MAC-подуровне обеспечивается выполнение следующих основных функций:

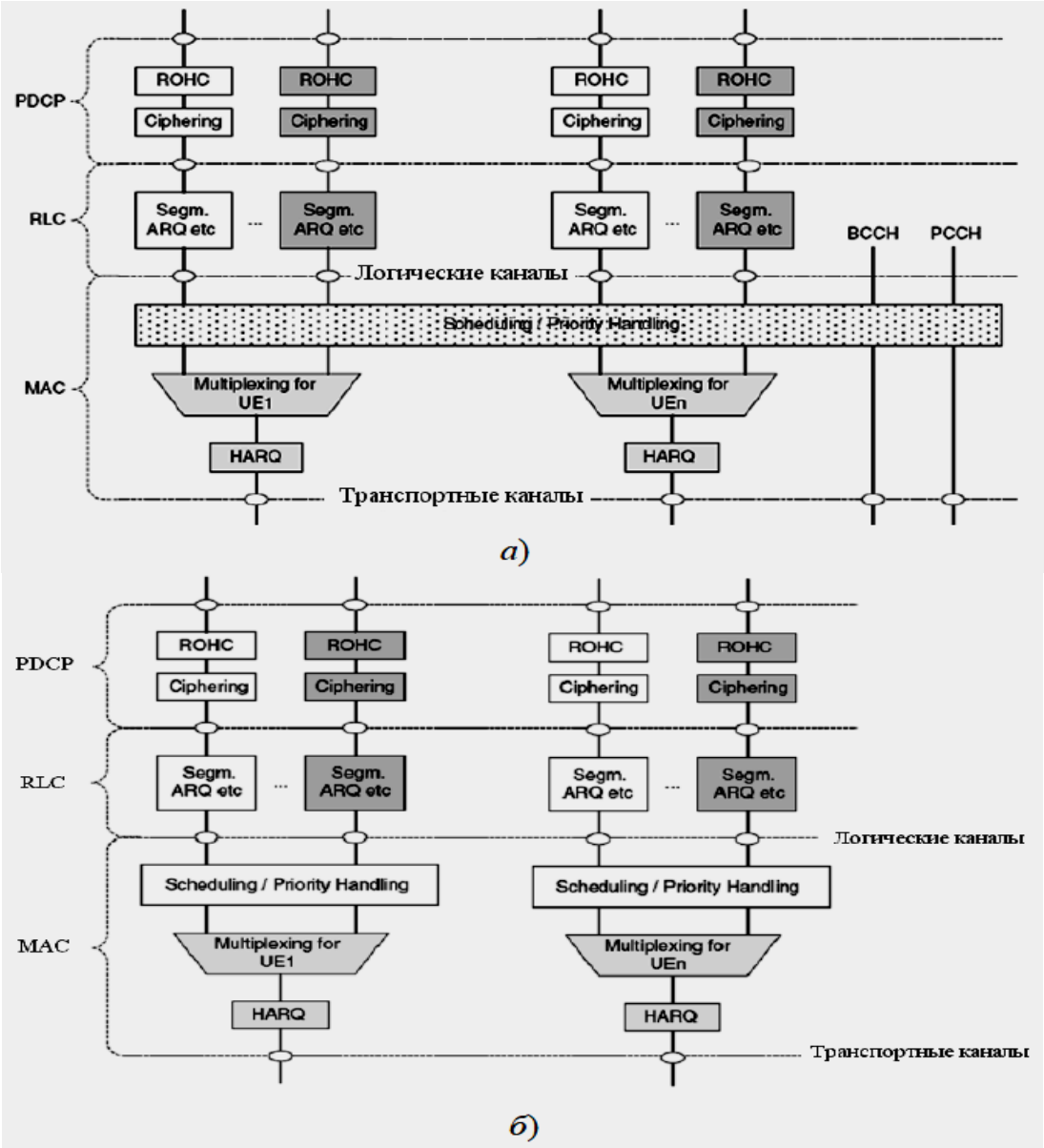


Рисунок 1.4 – Структура канального уровня в нисходящем (а) и восходящем (б) направлениях

- мультиплексирование пакетов услуг (SDU, Service Data Unit), относящихся к одному или нескольким логическим каналам, в транспортные блоки транспортных каналов и выполнение обратных функций;
- диспетчеризация составления отчётов;
- исправление ошибок через запросы на повторную передачу;
- управление приоритетом между логическими каналами;
- идентификация услуг мультимедийного вещания (MBMS, Multimedia Broadcast Multicast Service);
- выбор транспортного формата;
- выравнивание содержимого пакетов данных.

Передача данных на RLC-подуровне может происходить в двух режимах: с подтверждением (AM, Acknowledge Mode) либо без подтверждения (UM, Unacknowledge Mode). Режим без подтверждения, при его возможном использовании в радиоканале, допускает некоторую потерю пакетов данных. В режиме с подтверждением используется механизм автоматических запросов на повторную передачу потерянных пакетов.

На RLC-подуровень возложены следующие функции:

- передача пакетов данных на более высокий уровень;
- исправление ошибок через запросы на повторную передачу (только в режиме с подтверждением);
- конкатенация (сцепление), сегментация и повторная сборка пакетов услуг;
- повторная сегментация пакетов данных (только в режиме с подтверждением);
- изменение порядка следования пакетов данных;
- функционирование протокола обнаружения ошибок (только в режиме с подтверждением);
- отбрасывание искаженных пакетов услуг;
- повторная установка соединения на уровне RLC.

Перечислим функции PDCP-подуровня:

- сжатие и восстановление заголовков по протоколу ROHC (Robust Header Compression);
- передача пользовательских данных;
- последовательная доставка пакетов данных более высокого уровня (в режиме с подтверждением);
- двойное обнаружение пакетов услуг с более низкого уровня (в режиме с подтверждением);
- повторная передача пакетов услуг при хэндовере (в режиме с подтверждением);
- шифрование и дешифрование;
- отбрасывание искаженных пакетов услуг в восходящем направлении;
- передача управляющей информации;
- основные услуги и функции RRC-подуровня включают следующее;
- вещание системной информации, относящейся как к слою доступа, так и к его внешности;
- осуществление вызовов;
- установка, регулирование и снятие соединения на RRC-подуровне между ПТ и сетью;
- функции защиты информации, включая управление ключами шифрования;
- установка, конфигурирование, регулировка и снятие сквозного радиоканала;

– функции управления мобильностью;
– подтверждение услуг мультимедийного вещания;
– управление качеством обслуживания;
– составление отчётов об измерении параметров, относящихся к ПТ;
– прямой обмен сообщениями между ПТ и сетевой областью вне слоя доступа.

Рассмотрим стеки протоколов, функционирующих в различных сетевых интерфейсах.

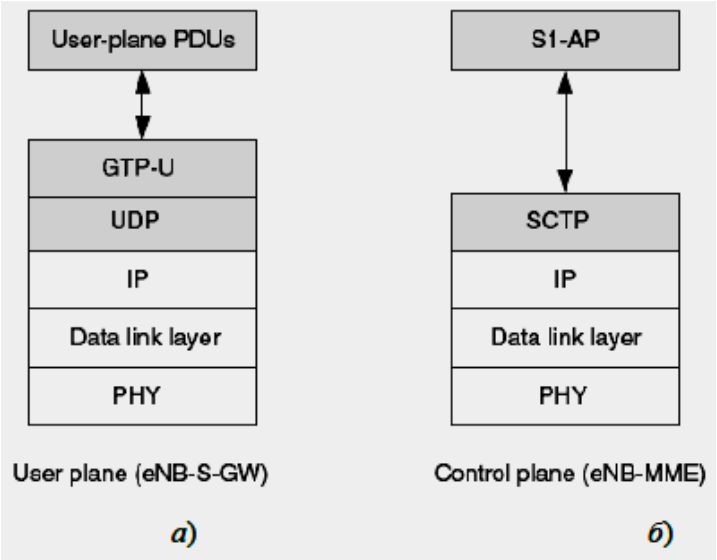


Рисунок 1.5 – Стек протокола S1в пользовательской плоскости (а) и плоскости управления (б)

На рисунках 1.5 и 1.6 представлены стеки похожих протоколов S1 и X2 соответственно. Интерфейс S1-U протокола S1 в пользовательской плоскости, определенный между БС и ОУ, использует протокол GTP-U (GPRS Tunneling Protocol) туннелирования пакетов, обеспечивая негарантированную доставку пользовательских данных. Будучи достаточно простым, этот IP-протокол позволяет установить несколько туннелей между каждым набором концевых узлов.

Как уже было сказано, в плоскости управления между БС и БУМ определён интерфейс S1-MM, использующий на транспортном уровне TCP-подобный протокол SCTP передачи потока служебной информации.

На уровне приложений используются протоколы S1-AP и X2-AP.

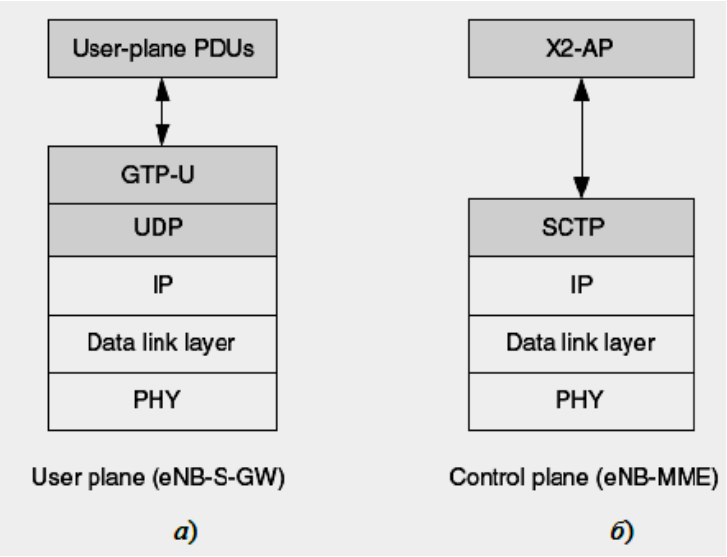


Рисунок 1.6 – Стек протокола X2 в пользовательской плоскости (а) и плоскости управления (б)

Большинство пользовательских приложений описываются набором показателей качества обслуживания QoS. В любой пакетной сети должны быть заложены механизмы, обеспечивающие передачу пакетных данных пользователей с различным приоритетом.

В сетях LTE (также, как и в сетях UMTS) вводится понятие сквозного канала (end-to-end bearer) между двумя оконечными точками: либо между двумя пользователями, либо, например, между пользовательским терминалом и каким-либо интернет-сервером. Соответственно этому, возникают понятия части сквозного канала — на разных уровнях и в различных сетевых узлах: радиоканал (radio bearer), внешний канал (external bearer) и др. В частности, имеет место понятие канала, переносящего ряд параметров качества обслуживания, устанавливаемого между ПТ и шлюзом пакетной сети (рисунке 1.7); в LTE-спецификациях такой канал называется EPS-канал (EPS bearer, EPS — Evolved Packet System, выделенная пакетная система). Каждый IP-поток, например, голосовой трафик, передаваемый посредством IP-протокола (VoIP), связан с индивидуальным EPS-каналом, и, в соответствии с этим, сеть способна устанавливать различным абонентам разные приоритеты. Когда IP-пакет приходит извне (внешняя IP-сеть, интернет), он классифицируется обслуживающим узлом по качеству обслуживания на основе предустановленных параметров, отображается в соответствующий EPS-канал и далее передаётся по радиоканалу между БС и ПТ. Таким образом, существует взаимно-однозначное соответствие между EPS-каналом и радиоканалом.

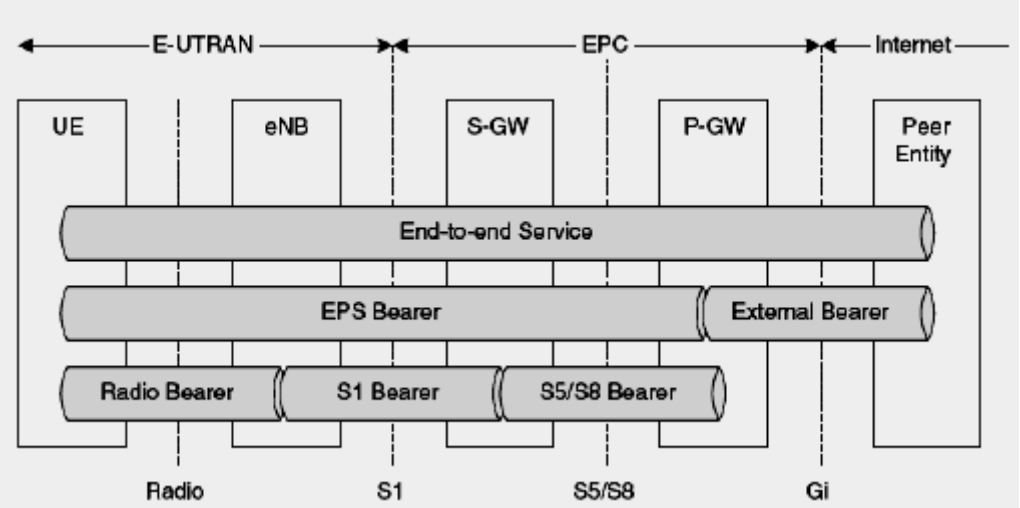


Рисунок 1.7 – Архитектура сквозного канала

Обратимся к рассмотрению совокупности каналов, обеспечивающих “вертикальную” (между различными уровнями) и “горизонтальную” (между различными узлами) передачу информации. На рисунке 1.8 показано отображение физических, транспортных и логических каналов в нисходящем направлении.

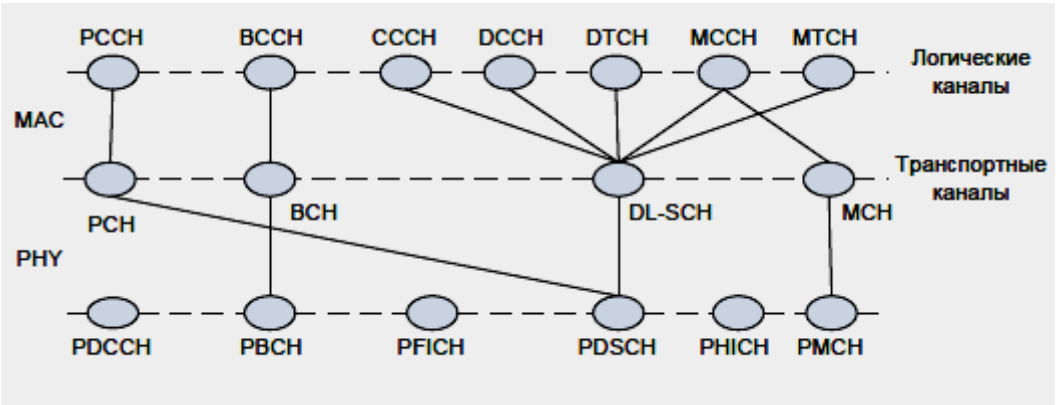


Рисунок 1.8 – Отображение физических, транспортных и логических каналов в нисходящем направлении

Логические каналы определяются типом информации, которая в них содержится, и подразделяются на два класса: управляющие, переносящие служебную информацию, и трафиковые, в которых содержится полезная пользовательская информация. В нисходящем направлении определены пять управляющих логических каналов:

- вызывной управляющий канал PCCH (Paging Control Channel), предназначенный для поиска абонента (терминала) в сети посредством передачи вызывной информации;
- вещательный управляющий канал BCCH (Broadcast Control Channel), используемый для передачи в сети служебной информации;

- общий управляющий канал CCCH (Common Control Channel), при использовании которого обеспечивается связь между сетью и ПТ, не имеющим соединения на RRC-подуровне (RRC-соединения);
- выделенный управляющий канал DCCH (Dedicated Control Channel), также предназначенный для обеспечения связи между сетью и ПТ, но имеющим RRC-соединение;
- групповой управляющий канал MCCH (Multicast Control Channel), при помощи которого обеспечивается совместная (для нескольких пользователей) передача мультимедийных услуг.

Наряду с управляющими, определены два трафиковых логических канала:

- выделенный трафиковый канал DTCH (Dedicated Traffic Chanel), устанавливаемый между двумя абонентами для передачи пользовательской информации;
- групповой трафиковый канал MTCH (Multicast Traffic Chanel), устанавливаемый для передачи услуг мультимедийного вещания.

Передача пользовательской или служебной информации с более высокого на более низкий уровень описывается в терминах отображения каналов: логических — на транспортные, транспортных — на физические.

Логический канал PCCH в нисходящем направлении отображается на транспортный вызывной канал PCH (Paging Channel), поддерживающий прерывистый (для экономии энергии) приём пакетов данных.

Логический канал BCCH отображается либо на транспортный вещательный канал BCH (Broadcast Channel), либо транспортный нисходящий совместный канал DL-SCH (Downlink Shared Channel). Канал BCH характеризуется фиксированной конфигурацией транспортного блока, и именно на него настраивается ПТ после синхронизации в соте. В канале DL-SCH поддерживаются адаптивные методы модуляции и кодирования, управление мощностью, гибридные автоматические запросы на повторение, многоантенные технологии и др.

Логические каналы MCCH и MTCH отображаются либо в транспортный групповой канал MCH (Multicast Channel), либо в транспортный нисходящий совместный канал DL-SCH. Канал MCH поддерживает групповую передачу мультимедийных услуг от нескольких сот.

Логические каналы CCCH, DCCH и DTCH отображаются в транспортный канал DL-SCH.

Итак, семь логических каналов отображаются на четыре транспортных канала. Далее, при переходе на физический уровень, происходит отображение транспортных каналов на шесть физических каналов.

Транспортный канал BCH отображается в физический вещательный канал PBCH (Physical Broadcast Channel), который передаётся во временном интервале длительностью 40 мс, называемый кадром.

Транспортные каналы PCH и DL-SCH отображаются в физический нисходящий совместный канал PDSCH (Physical Downlink Shared Channel).

Транспортный канал MCH отображается в физический канал группового вещания PMCH (Physical Multicast Channel).

Оставшиеся три физических канала: физический управляющий канал индикатора формата PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel), физический нисходящий управляющий канал PDCCH (Physical Downlink Control Channel) и физический канал индикатора гибридного запроса на повторение PHICH (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel) являются автономными, т. е. на них транспортные каналы не отображаются. Каналы PDCCH и PCFICH используется для информирования ПТ о выделении ресурсов для транспортных каналов PCH и DL-SCH, а также параметров модуляции и кодирования. Канал PHICH, как следует из его названия, используется для передачи запросов на повторную передачу.

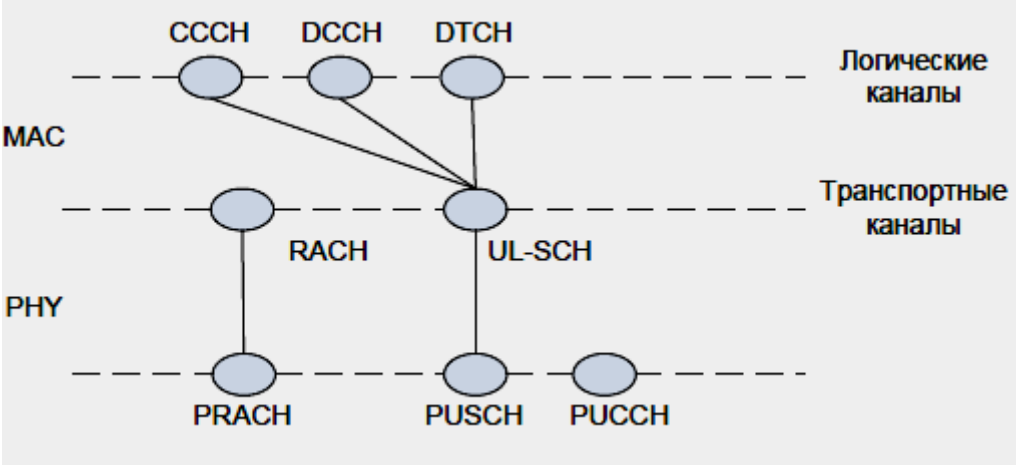


Рисунок 1.9 – Отображение физических, транспортных и логических каналов в восходящем направлении

Рассмотрим взаимное отображение логических, транспортных и физических каналов в восходящем направлении (рисунке 1.9), когда имеют место три логических канала, из которых два управляющих и один трафиковый, два транспортных канала и три физических.

Как и для нисходящего направления, логические общий CCCH и выделенный DCCH управляющие каналы используются для передачи служебной информации между сетью и ПТ, соответственно, не имеющим либо имеющим RRC-соединение. Также аналогично нисходящему направлению, определён логический выделенный трафиковый канал DTCH, предназначенный для передачи пользовательской информации одному ПТ.

Все три логических канала отображаются в один транспортный восходящий совместный канал UL-SCH (Uplink Shared Channel), поддерживающий адаптивные методы модуляции и кодирования, управление

мощностью, гибридные автоматические запросы на повторение, полустатическое и динамическое распределение ресурсов. Другой транспортный канал восходящего направления — канал случайного доступа RACH (Random Access Channel) используется для передачи определённой информации (запроса на предоставление выделенного канала) от ПТ с возможностью возникновения коллизий, когда подобный запрос поступает от других ПТ.

Транспортный канал RACH отображается на физический канал случайного доступа PRACH (Physical Random Access Channel), который переносит соответствующую преамбулу случайного доступа. Транспортный канал UL-SCH отображается на физический восходящий совместный канал PU-SCH (Physical Uplink Shared Channel). Оставшийся физический восходящий управляющий канал PU-CCH (Physical Uplink Control Channel) является автономным — на него не отображаются транспортные каналы. Он используется для передачи отчетов об индикации качества нисходящего канала, запросов на порядок следования пакетов данных и др.

1.3 Управление мобильностью пользовательских терминалов

В сетях LTE для каждого ПТ определены два состояния по отношению к RRC-подуровню: соединение (RRC CONNECTED) и ожидание (RRC IDLE). Функционируя, ПТ переходит (рис. 1.10) из состояния RRC-ожидания в состояние RRC-соединения, когда соединение успешно установлено; далее, ПТ может обратно вернуться в состояние RRC-ожидания, разорвав соединение на RRC-подуровне.

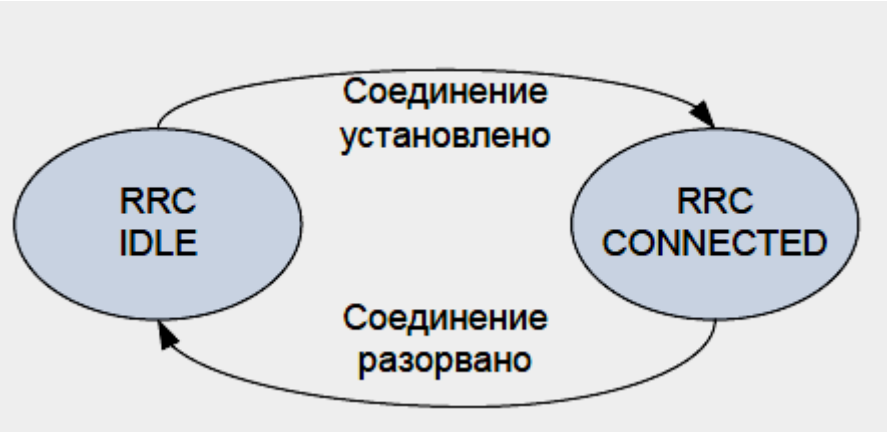


Рисунок 1.10 – Изменение состояний ПТ

Находясь в состоянии RRC-ожидания, ПТ может проводить мониторинг вызывного канала, получать вещательную информацию, совершать измерения, относящиеся к обслуживающей соте и, при необходимости, осуществлять её изменение. Кроме того, в этом состоянии

возможна установка определённого цикла прерывистой передачи для экономии излучаемой мощности ПТ. В этом состоянии управление мобильностью осуществляется самим ПТ.

В состоянии RRC-соединения может происходить передача индивидуальной информации, относящейся к определенному ПТ, в обоих направлениях, а также вещательной (групповой) информации в нисходящем направлении, установка цикла прерывистой передачи. ПТ осуществляет мониторинг управляющих каналов, связанных с совместными транспортными каналами, чтобы определить график следования пакетов данных. Для этих целей обеспечивается обратная связь, дающая информацию о текущем качестве канала, выполняются необходимые измерения, относящиеся к обслуживающей соте, а также отсылаются в сеть отчёты об измерениях. В отличие от RRC-ожидания, в состоянии RRC-соединения управление мобильностью производится сетью.

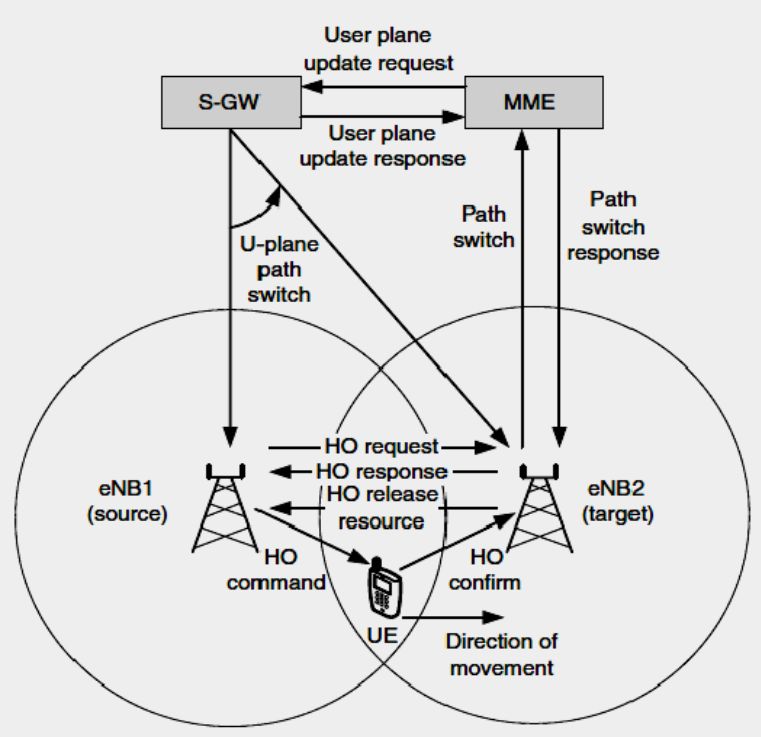


Рисунок 1.11 – Активный хэндовер

Важнейшей особенностью всех сотовых сетей мобильной связи, в том числе, сетей LTE, является поддержка “бесшовной” мобильности абонента по отношению к смене различных базовых станций, обслуживающих узлов и сетей (т. е. сетевых шлюзов). Требования к эффективности мобильности ещё более повышаются при использовании таких чувствительных к задержкам отдельных пакетов приложений, как VoIP. Как известно, в основе бесшовной мобильности лежат различные процедуры хэндовера — эстафетная передача активного (т. е. находящегося в режиме сеанса связи или соединения)

абонента при пересечении им различных географических зон. Понятно, что для типичного пользователя смена сот (БС) происходит значительно чаще, чем смена обслуживающего шлюза и, тем более, самой базовой сети. Поэтому для подготовки к выполнению хэндовера используется сигнализация по интерфейсу X2, действующему между различными БС.

Как известно, эффективность выполнения хэндовера является одним из наиболее важных показателей качества работы сетей; плохо отрегулированные хэндоверные параметры (уровень принятия решения, гистерезис и др.) могут привести к излишней загрузке служебных каналов и даже к потерям сеансов связи, обусловленных неудачными хэндоверами. Описанию алгоритмов хэндовера, выполняемых в различных сетях, посвящено большое количество спецификаций (в частности, процедура хэндовера достаточно детально прописана в спецификации TS 36.413). Далее в качестве иллюстрации, без претензии на сколь-нибудь глубокое изучение, рассмотрен простой пример LTE-хэндовера при смене соты в пределах одних и тех же БУМ и ОУ.

В отличие, например, от сетей GSM, где анализ окружающей обстановки и выбор соты-кандидата на хэндовер осуществляется контроллером базовых станций, в сетях LTE подобные действия доверены самому ПТ, хотя, конечно, окончательное решение о хэндовере принимается сетью. На рисунке 1.11 показан пример хэндовера активного ПТ, перемещающегося из соты БС1 в соту БС2.

По мере движения в указанном направлении ПТ отправляет отчёт об измерениях обслуживающей базовой станции БС1, из которого следует, что качество сигнала, принимаемого от соседней базовой станции БС2, стало лучше, чем от БС1. Подготавливая хэндовер, БС1 по интерфейсу X2 отправляет в БС2, называемую в этом случае це́левой, запрос на хэндовер

HO REQUEST. При этом на окончательное решение о хэндовере может повлиять текущий приоритет пользователя, информации о котором передаётся по EPS-каналу.

Целевая БС2 конфигурирует требуемые ресурсы в соответствии с принятой по EPS-каналу информации QoS и резервирует для абонента сотовый идентификатор C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identifier), а также, возможно, преамбулу канала случайного доступа. Разумеется, идентификатор C-RNTI является уникальным для каждого ПТ в пределах соты.

После того, как целевая БС2 отвечает (все ещё) обслуживающей БС1 о готовности выполнить хэндовер HO RESPONSE, БС1 выдаёт команду ПТ HO COMMAND о смене радиоканала, в которой содержатся необходимые параметры: новый временный идентификатор C-RNTI (тот, что был зарезервирован), преамбула канала случайного доступа и время её существования и др.

После получения команды на хэндовер ПТ синхронизируется в новой соте, и осуществляет доступ в сеть через канал RACH; сеть, в свою очередь, выделяет ПТ необходимые ресурсы и устанавливает необходимое время упреждения. Осуществив таким образом, доступ к сети, ПТ отсылает своей новой обслуживающей БС2 сообщение, подтверждающее выполнение хэндовера HO CONFIRM, БС2 оповещает об этом БУМ PATH SWITCH, а тот обслуживающий узел сообщением USER PLANE UPDATE REQUEST, в котором ПТ теперь помечается как обслуживаемый БС2.

Далее обслуживающий узел переключает управление ПТ на БС2, отсылая туда через БУМ соответствующие команды USER PLANE UPDATE RESPONSE и PATH SWITCH RESPONSE. После получения команды PATH SWITCH RESPONSE, БС2 информирует БС1 об успешном хэндовере, высылая ей сообщение о высвобождении ресурсов HO RELEASE RESOURSE, которые до этого были зарезервированы для ПТ. На этом процедура хэндовера считается выполненной.

В ходе подготовки и выполнения хэндовера между базовыми станциями БС1 и БС2 могут быть установлены туннели: один — для передачи данных восходящего направления, другой — для передачи данных нисходящего направления. Это делается для того, чтобы обеспечить передачу длинных пакетов в случае переполнения буферов.

Выше уже было отмечено, что при выполнении процедуры хэндовера абоненту присваивается временный идентификатор C-RNTI. Аналогичные идентификаторы присваиваются абоненту, пользовательскому и сетевому оборудованию также и при совершении различных других процедур, связанных и с сетью радиодоступа, и с базовой сетью.

Так, в механизмах управления мощностью TPC (Transmit Power Control) по физическим восходящим каналам PUSCH и PUCH используются соответствующие идентификаторы TPC-PUSCH и TPC-PUCCH.

Для глобальной идентификации БУМ используется идентификатор GUMMEI (Globally Unique MME Identity), который конструируется из идентификатора самой сети мобильной связи путём добавления кода группы блоков БУМ и кода самого БУМ.

Глобальная идентификация сот сетей LTE осуществляется посредством сотового глобального идентификатора ECGI (E-UTRAN Cell Global Identifier), формируемого добавлением к сетевому идентификатору локального (т. е. используемого в пределах одной сети) идентификатора соты CI (Cell Identity). Аналогичным образом осуществляется глобальная идентификация базовых станций.

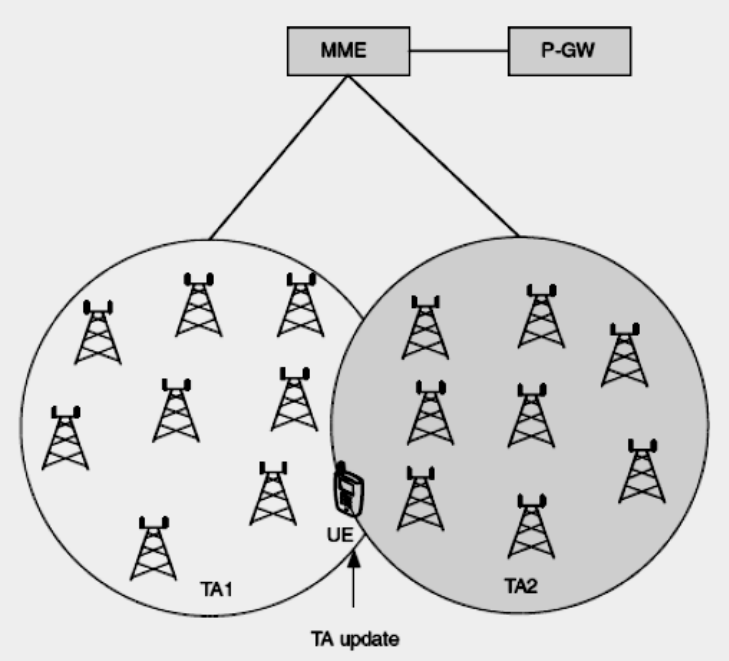


Рисунок 1.12 – Зона отслеживания

Для управления мобильностью ПТ, находящегося в состоянии ожидания, вводится понятие зоны отслеживания (TA, Tracking Area) как площади, покрывающей зону обслуживания нескольких базовых станций (рисунке 1.12). С каждой зоной отслеживания связан соответствующий идентификатор TAI (Tracking Area Identity). ПТ может быть одновременно зарегистрирован в нескольких зонах отслеживания, что позволяет экономить энергию в условиях высокой мобильности, поскольку отпадает необходимость в постоянном обновлении местоположения.

2 Типы предоставления сервисов и услуг в сети LTE

2.1 Услуги в сетях LTE

Развитие новых сетевых технологий, обеспечивающих предоставление всё большего числа разнообразных услуг, заставляют мировое телекоммуникационное сообщество взглянуть на вопросы качества услуг связи и систему их управления как на один из важнейших факторов эффективного развития конкурирующего рынка предоставления услуг связи.

Понятие качества услуг связи (QoS, Quality of Service) было официально утверждено Международным союзом электросвязи в рекомендации Е.800 (применительно ещё к телефонным сетям общего пользования и цифровым сетям интегрального обслуживания), и оно понимается как суммарный эффект от параметров обслуживания, определяющий степень удовлетворения пользователя услугами связи.

Система управления качеством — это совокупность параметров и механизмов, которые обеспечивают соответствие качества услуг установленным требованиям. Целью введения такой системы является максимизация удовлетворения пользователя предоставленной услугой для повышения спроса на неё.

Начало развития системы управления качеством в сетях мобильной связи, по-видимому, следует датировать 1997 г., когда был выпущен соответствующий релиз Rel'97/98, предназначенный для модифицированной сети GSM/GPRS с возможностью пакетной передачи данных. В основе обеспечения качества услуги лежит понятие PDP-контекста (PDP, Packet Data Protocol), представляющего собой набор параметров, описывающих текущее состояние пользователя или терминала по отношению к возможным услугам и способам их предоставления. При соединении ПТ с базовой пакетной сетью, с целью установления логической связи между ПТ и различными сетевыми узлами для передачи IP-пакетов в прямом и обратном направлениях, происходит так называемая активизация PDP-контекста.

Первоначально, согласно Rel'97/98, одному терминалу разрешалось иметь один PDP-контекст на один PDP-адрес. В дальнейшем, в ходе разработки концепции мобильных сетей 3-го поколения, была развита новая концепция PDP-контекста для поддержки новых требований, а именно, возможность использования для одного PDP-адреса нескольких PDP-контекстов, имеющих свои профили качества обслуживания. При этом первый PDP-контекст, открываемый для соответствующего PDP адреса, называется первичным контекстом, а последующие PDP-контексты, открытые для того же самого PDP адреса — вторичными контекстами. Однако использование вторичных PDP контекстов требует, чтобы они были связаны с точкой доступа к сети APN первичного PDP контекста.

Основная идея построения такой структуры управления — дифференцирование качества обслуживания в соответствии с параметрами PDP-контекста. Таким образом, все приложения абонента, совмещающие использование одного PDP-контекста, имеют одинаковый профиль качества обслуживания. Несколько потоков с одинаковыми характеристиками образуют совокупный профиль качества обслуживания. Для дифференцированной обработки передаваемых пакетов в соответствии с требованиями QoS, для одного ПТ одновременно должны быть активизированы и первичные, и вторичные контексты. Пример вариантов создания PDP-контекстов показан на рисунке 1.13.

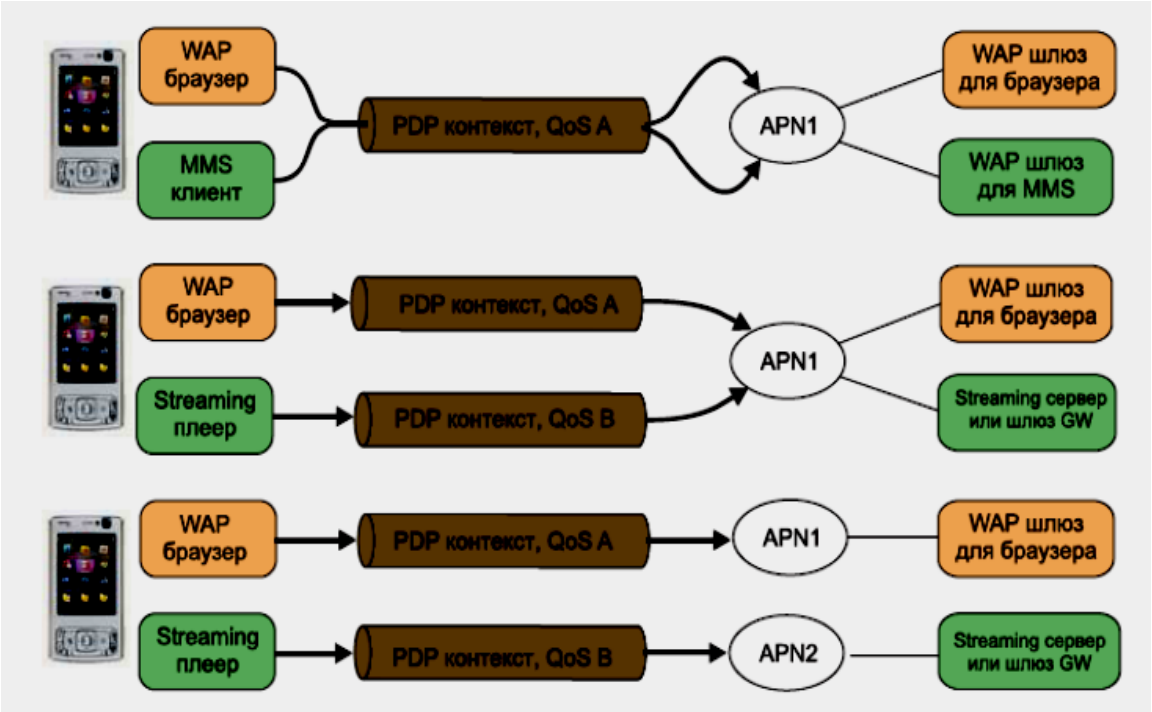


Рисунок 1.13 – Варианты организации различных PDP-контекстов

Развитие рынка пользовательских услуг связано, прежде всего, с увеличением услуг, предоставляемых в пакетном режиме. Более того, как уже говорилось, в мобильных сетях третьего и четвертого поколений передача услуг, в том числе, речевого общения, на основе канальной коммутации фактически отсутствует; реализация пакетной передачи речи базируется на технологиях VoIP (Voice over IP) или PoC (Push-to-talk over Cellular).

Наряду с пакетной передачей речи основными услугами являются следующие:

- передача интернет файлов (web-browsing);
- доставка электронной почты;
- мультимедийные сообщения (MMS, Multimedia Messaging Service), в том числе, мультимедийное вещание;
- потоковое видео (streaming);
- интерактивные игры в реальном времени.

Рассмотрим некоторые аспекты организации вышеперечисленных пакетных услуг в сетях мобильной связи. При этом с целью последующего анализа характеристик качества обслуживания, важно указать привязку различных составляющих процедуры предоставления услуги к сетевым элементам.

2.2 Передача интернет-файлов

Передача интернет-файлов является доминирующим трафиком в фиксированных IP-сетях, где для поиска и доставки информации используется гипертекстовый протокол HTTP (Hyper-Text Transfer Protocol). Ожидается, что в ближайшем будущем эта услуга такое же место займёт и в мобильных сетях.

С формальной точки зрения передача интернет-файлов представляет собой один или несколько последовательных доступов к различным интернет-станицам, содержащим, в общем случае, информацию о структуре страницы, текст, адрес (URL, Universe Resource Location) самой страницы и входящих в неё объектов: рисунков, таблиц и т. п. Средний объём одной интернет-страницы по данным исследований составляет около 150 Кбайт.

На рисунке 1.14 показана последовательность действий, совершаемых в сети фиксированной связи при осуществлении типичной процедуры передачи интернет-страницы, из которой можно выделить следующие этапы:

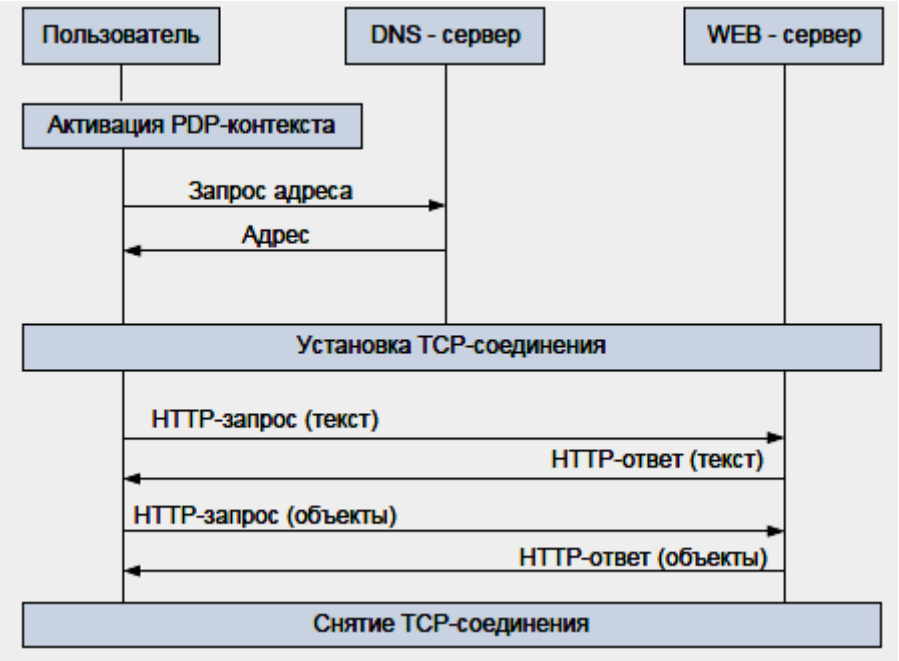


Рисунок 1.14 – Процедура передачи интернет-страницы

- активизация PDP-контекста, необходимая в начале каждой нового сеанса связи и обеспечивающая параметры связи между ПТ и сетью;
- запрос адреса услуги через сервер доменных имён (DNS-сервер, Domain Name Server), переводящий числовой IP-адрес в строковый адрес;
- установка TCP-соединения (Transmission Control Protocol) на транспортном уровне.

При этом, в зависимости от используемой версии HTTP-протокола и реализации интернет-браузера, может оказать необходимым установка нескольких TCP-соединений:

- запрос на сервер первого объекта (текста) интернет-страницы;
- получение первого объекта (текста) интернет-страницы;
- запрос на сервер последующих объектов интернет-страницы;
- получение последующих объектов (текста) интернет-страницы;
- снятие TCP-соединения.

2.3 Отправка электронной почты

Электронная почта (e-mail) — одна из наиболее распространённых интернет-услуг, выполняемых в режиме отложенного времени. Электронное письмо состоит из заголовка, содержащего служебную информацию об авторе письма, получателе, пути прохождения по сети и др., и тела сообщения, содержащего собственно суть письма.

К достоинствам электронной почты относятся простота и дешевизна пересылки, а также возможность пересылки дополнительной нетекстовой информации, например, рисунков. К недостаткам — неопределённое время доставки (и вообще негарантированную доставку), доступ третьих лиц во время пересылки, что, впрочем, частично компенсируется возможностью предварительной криптозащиты.

Услуга электронной почты универсальна в том смысле, что множество сетей, построенных на разных принципах и оперирующих различными протоколами, имеют стандартизированный интерфейс (шлюз) к электронной почте.

Традиционные IP-сети используют несколько протоколов для передачи почты: SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) — только для отправки сообщений; POP 2 (Post Office Protocol Version 2) — только для получения сообщений; POP 3 (Post Office Protocol Version 3) и IMAP (Interactive Mail Access Protocol) — для отправки и получения сообщений.

Кратко рассмотрим механизм функционирования протокола SMTP; по аналогичному сценарию работают и другие почтовые протоколы.

Протокол SMTP спроектирован на основе следующей модели взаимодействия: по запросу пользователя отправляющая сторона (sender-SMTP) устанавливает двусторонний канал с получающей стороной (receiver-SMTP), причём получателем может быть как оконечный хост назначения, так и какой-либо промежуточный узел. Далее отправителем генерируются SMTP-команды и отправляются получателю, который, в свою очередь, отправляет ответы обработки полученных команд отправителю. Простейший алгоритм работы протокола выглядит следующим образом (рисунке 1.15):

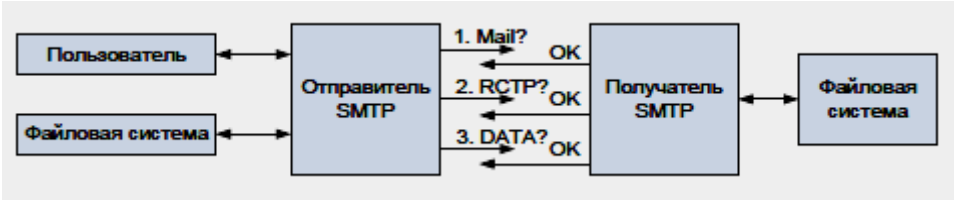


Рисунок 1.15 – Простейший алгоритм работы почтового протокола SMTP

После установления SMTP-соединения по любому из транспортных протоколов отправитель посылает команду MAIL, идентифицирующую атрибуты отправителя почты, например, его адрес. Если получатель может принять почтовое сообщение, то он отправляет в ответ команду OK.

Отправитель отсылает команду RCPT, идентифицирующую атрибуты получателя почты, например, адрес почтового ящика. Если получатель готов принять почту в данный почтовый ящик, то он отвечает командой OK, если нет, то — отказом принять почту в указанный почтовый ящик. Если отправитель указал несколько почтовых ящиков, в которые следует поместить сообщение, то получатель может отказать части из них, при этом транзакция соединения не заканчивается.

Отправитель отправляет данные получателю SMTP. Если получатель успешно принял все данные, то он отправляет команду OK.

2.4 Передача мультимедийных сообщений

Мультимедийные сообщения можно рассматривать как усовершенствование услуги коротких сообщений (SMS, Short Message Service), когда наряду с текстовой информацией передаётся изображение и звук. При этом отличительными особенностями такой услуги является ограниченный объём данных (в отличие, например, от потоковых услуг) и то, что она выполняется не в реальном времени.

Описанию услуг по предоставлению мультимедийных сообщений в сетях третьего и четвёртого поколений посвящены спецификации TS 22.140 и TS 23.140. Кратко рассмотрим основные особенности организации сети LTE с услугой мультимедийных сообщений.

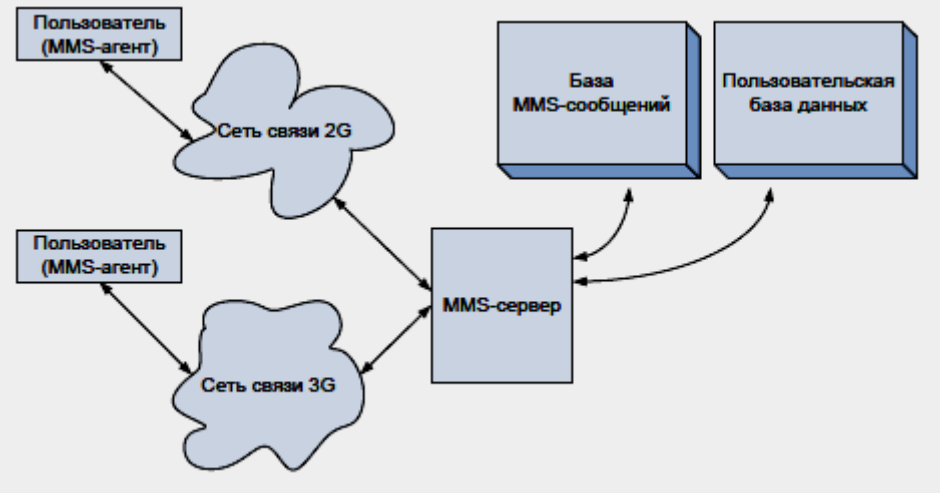


Рисунок 1.16 – Структурная схема сети LTE с поддержкой мультимедийных сообщений

На рисунке 1.16 представлена структурная схема организации различных сетей в обобщённую сеть с поддержкой услуги мультимедийных сообщений, для которой вводится ряд базовых понятий.

Окружение мультимедийной услуги (MMS-окружение, MMSE, Multimedia Messaging Service Environment) — совокупность сетевых элементов, отвечающих за доставку мультимедийных сообщений и находящихся под управлением единого узла. При этом в случае роуминга гостевая сеть рассматривается как часть MMS-окружения, хотя домашние пользователи этой сети рассматриваются как часть другого MMS-окружения.

MMS-сервер предназначен для хранения и управления входящими и исходящими сообщениями, а также их пересылкой между различными узлами — в этом случае он называется транзитным MMS-сервером.

2.5 Эффективность пользования и метод мультимедийного вещания

Рассмотренная выше услуга передачи мультимедийных сообщений реализует двухточечную (PTP, point-to-point) модель организации связи в отличие от модели “точка — много точек” (PTM, point-to-multipoint) вещательных услуг, когда пакеты данных от одного источника перелаются одновременно нескольким пользователям, объединённым в специальную вещательную группу. Вещание услуг оказывается эффективным и оправданным в том случае, когда большая группа пользователей заинтересована в получении идентичного содержания (контента) услуги, как, например, при мобильном телевизионном вещании, причём эффективность вещания повышается не только в беспроводной инфраструктуре, но также затрагивает и базовую сеть.

Отметим, что вещательные услуги, в том числе, для мобильных пользователей, могут быть обеспечены посредством независимых вещательных сетей, таких как DVB-H (Digital Video Broadcast Handheld) или DMB (Digital Multimedia Broadcast), которые функционируют (при наличии специализированных ПТ) совместно с сотовыми сетями мобильной связи.

Предоставление услуг вещания осуществляется в соответствующей зоне вещания (BA, Broadcast Area), т. е. части области покрытия сотовой сети, которая в предельном случае может совпадать со всей территорией покрытия. Источником (провайдером) вещательных услуг может быть как сама сотовая сеть, так и независимый провайдер.

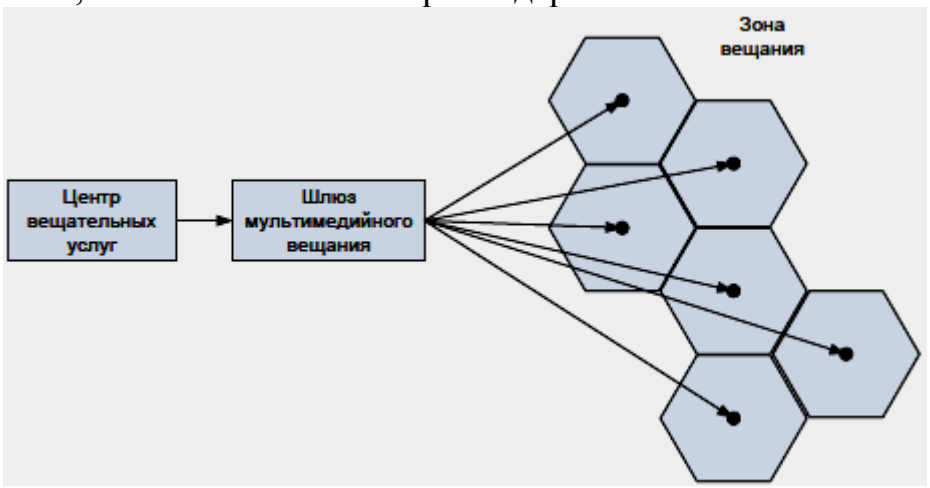


Рисунок 1.17 – Упрощённая структурная схема организации вещательных услуг

Архитектура и особенности сети LTE с возможностью предоставления вещательных услуг описаны в спецификации TS 23.246, а протоколы и форматы представления таких услуг — в спецификации TS 26.346.

На рисунке 1.17 представлена упрощённая структурная схема организации вещательных услуг. Связь между сетью и провайдером осуществляется через центр вещательных услуг ((e)BM-SC, Evolved Broadcast Multicast Service Center), пакеты данных от которого поступают в шлюз мультимедийного вещания ((e)MBMS Gateway, MBMS-шлюз) и далее — на БС, находящиеся в зоне вещания. Понятно, что необходима адаптация потоков данных, направляемых в вещательные услуги, приведением их в соответствие с возможностью радиосети. Услуги мультимедийного вещания передаются в нисходящем групповом управляющем канале MCCH (параметры физического канала, информация о доступе, наличие данной услуги в соседних сотах и др.) и групповом трафиковом канале MTCH, по которому передаётся пользовательская информация.

2.6 Организация передачи потокового видео

При предоставлении услуги потокового видео, например, как части услуги мультимедийного вещания, соответствующий сервер устанавливает связь с мобильным пользователем, передавая информацию с той скоростью, которая необходима для непрерывного воспроизведения видео в декодере. Такая скорость определяется различными факторами: алгоритмами видеосжатия, цветовой глубиной (т. е. числом воспроизводимых цветов), размером экрана ПТ, разрешением, временем задержки и др. При этом результат должен быть воспроизведён на экране с задержкой, не более 1 с.

Для обеспечения передачи потоковое видео в сетях третьего и четвертого поколений комиссия IETF1 разработала ряд соответствующих протоколов: протокол передачи потокового видео в реальном времени RTSP (Real-Time Streaming Protocol), транспортный протокол передачи в реальном времени RTP (Real-Time Transport Protocol), протокол описания сеанса SDP (Session Description Protocol). Взаимодействие этих протоколов в целях организации услуг потокового видео представлено в спецификации TS 26.234.

На рисунке 1.18 показана организация передачи потокового видео между ПТ и внешним видеосервером. Перед началом передачи услуги необходимо активизация первичного PDP-контекста, что имеет место, например, если абонент находится в состоянии постоянной готовности (always on). При активизированном первичном PDP-контексте между ПТ и видеосервером на основе протокола RTSP устанавливается сеанс обмена служебной информацией.

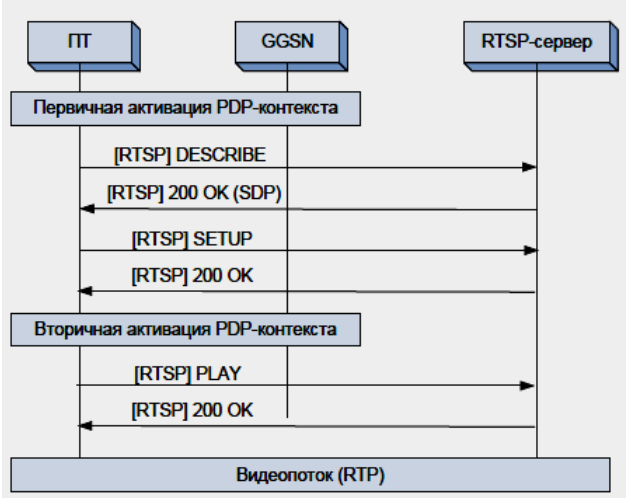


Рисунок 1.18 – Организация передачи потокового видео

Вначале на сервер посылается запрос DESCRIBE, который означает, что сервер должен предоставить информацию о запрашиваемой услуге потокового видео (параметры кодирования, номера портов и др.).

Видеосервер отвечает командой 200 OK, описывающей услугу в виде SDP-сообщения.

После получения ответного сообщения ПТ передаёт на сервер команду SETUP, в которой содержатся номера портов, через которые будет осуществлён приём потоков данных. Сервер подтверждает приём, отсылая пользователю команду 200 OK.

Далее выполняется процедура вторичной активации PDP-контекста, в ходе которой определяется ряд параметров качества обслуживания QoS, связанных с передачей потокового видео. Определение и передача QoS-параметров может быть реализована с использованием управляющего протокола передачи данных в режиме реального времени (RTCP, Real-time Transport Control Protocol). Также в ходе процедуры вторичной активации PDP-контекста сеть резервирует физические ресурсы, которые будут использованы для передачи видеопотока. По завершении процедуры активации ПТ отсылает серверу команду PLAY, после чего сервер высылает пользователю подтверждение и может начать передачу видеопотока с использованием протокола передачи данных в режиме реального времени (RTP, Real-time Transport Protocol).

Однако воспроизведение видео в ПТ начинается не сразу. Для компенсации разброса значений временных задержек, с которыми пользователю доставляются пакеты, на прикладном уровне реализован видеобуфер, по заполнении которого и начинается воспроизведение видео. Понятно, что при хорошем качестве обслуживания, видео-буфер должен непрерывно заполняться новыми пакетами, так чтобы воспроизведение видео выполнялось непрерывно.

3 Расчет параметров WCDMA

3.1 Расчет чувствительности приемника UMTS

Задача расчета радиолиний – это оценка максимальных допустимых потерь. Зная значение допустимых потерь, и используя подходящую модель распространения, можно вычислить радиус соты. При расчете радиолиний учитываются параметры антенн, потери в кабелях, выигрыши от разнесения, запасы на замирания и.т.д. Результатом расчета является максимальные разрешенные потери.

Основные параметры использующиеся в расчете:

E_b/N_0 – отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума. Требуемое отношение E_b/N_0 зависит от типа сервиса, скорости передвижения абонента и радиоканала.

Минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника является характеристикой оборудования, и оно будет индивидуальным для оборудования разных производителей, также оно будет разным для приемников базовой и мобильной станций, вследствие различий в сложности их устройства. Однако, значения требуемого отношения E_b/N_0 определено спецификациями 3GPP для различных типов радиоканала. Данные требования с учетом параметров оборудования WCDMA BTS представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Значения E_b/N_0 для различных типов

Восходящая линия	E_b/N_0, дБ	E_b/N_0, дБ	E_b/N_0, дБ	E_b/N_0, дБ
тип сервиса	Телефония	64 кбит/с	144 кбит/с	384 кбит/с
скорость	3 км/ч			
	120 км/ч			
	4,4	2	1,4	1,7
	5,4	2,9	2,4	2,9
Нисходящая линия	E_b/N_0, дБ	E_b/N_0, дБ	E_b/N_0, дБ	E_b/N_0, дБ
тип сервиса	Телефония	64 кбит/с	144 кбит/с	384 кбит/с
скорость	3 км/ч			
	120 км/ч			
	7,9	5	4,7	4,8
	7,4	4,5	4.2	4,3

Требуемое значение E_b/N_0 зависит от

– типа услуги (скорость передачи, требование к BER, BLER, метод канального кодирования);

– радиоканала (скорость движения абонента, частота, многолучевость);

– типа соединения (мягкий хэндовер, разнесенный прием, использование быстрого управления мощностью).

Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника определяется как:

$$P_{пр}\,(дБмВт) = P_{ш}\,(дБмВт) + (E_b/N_{0\ треб}\,(дБ) - G_{обр}\,(дБ)), \qquad (3.1)$$

где $(E_b/N_0)_{треб}$ – требуемое значение E_b/N_0;

$G_{обр}$ – выигрыш от обработки;

$P_ш$ – мощность собственных шумов приемника.

Основные параметры использующиеся в расчете:

E_b/N_0 – отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума.

Требуемое отношение E_b/N_0 зависит от типа сервиса, скорости передвижения абонента и радиоканала.

Минимально допустимый уровень сигнала на входе приемника зависит от требуемого отношения E_b/N_0, скорости передачи данных пользователя, качества аналоговых компонентов приемника, уровня помех. Помехи могут создавать разные источники: абоненты из обслуживающей соты, абоненты обслуживающиеся другими сотами, а также другие источники, создающие действующие в диапазоне используемого частотного канала.

Мощность собственных шумов приемника

$$P_ш = N + K_ш\ (дБмВт), \qquad (3.2)$$

где N – мощность теплового шума в приемнике, дБмВт;

$K_ш$ – коэффициент шума приемника (дБ).

$$N = k \cdot T \cdot B, \qquad (3.3)$$

где k – постоянная Больцмана ($1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

T – температура проводника.

Мощность теплового шума в приемнике зависит от полосы пропускания фильтра. Для стандарта UMTS полосу согласованного фильтра можно принять равной 3.84 МГц.

Определить чувствительность приемника $P_{пр}$ (дБмВт), если известны температура проводника, Т°, тип линии (DL, UL), коэффициент шума приемника $К_ш$ (дБ), полоса согласованного фильтра приемника В (МГц), отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума E_b/N_0 (дБ), выигрыш от обработки $G_{обр}$ (дБ). Ниже представлены исходные данные.

Исходные данные 1:	
E_b/N_0, дБ	4,5
тип линии	DL
$К_ш$, дБ	7
$273^0 + T^0$	18
В, МГц	4,18
$G_{обр}$, дБ	4,6
Исходные данные 2:	
E_b/N_0, дБ	2,9
$10^6 \cdot R_{чип}$, чип/с	0,64
$R_{польз}$, кбит/с	64
$273^0 + T^0$	18
В, МГц	0,64
$К_ш$, дБ	2,7
Н	0,6
Исходные данные 3:	
$L_{фидер}$, дБ	2,4
$G_{бс}$, дБ	17
L_{ff}, дБ	3
Исходные данные 4:	
$P_{мс}$, дБмВт	18
$G_{мс}$, дБ	0
$L_{тело}$, дБ	2
Исходные данные 5:	
E_b/N_0, дБ	4,3
$10^6 \cdot R_{чип}$, чип/с	0,64
$R_{польз}$, кбит/с	64
273°+Т°	28
В, МГц	0,64
$К_ш$, дБ	6
Н	0,6
Исходные данные 6:	
L_{ff}, (дБ)	2.8
$L_{тело}$, (дБ)	2
$G_{МС}$, (дБ)	0

Исходные данные 7:

$P_{БС}$, дБ	35
$L_{фидер}$, дБ	2,4
$G_{БС}$, дБ	17

Исходные данные 8:

Конфигурация системы	TDD20 МГц (конф. кадра 2)
Линия	DL
Соотношение длительности кадров, T%	74 %
Спектральная эффективность, SFDDaverage бит/с/Гц	1,69

Исходные данные 9:

Средняя пропускная способность БС, N, Мбит/с	75,04
Число сот	1500

Исходные данные 10:

$T_{аб}$, Гбайт/месяц	26
NBH	20
ND, дней	28

Исходные данные 11:

Средняя частота приема, f, МГц	890
Волновое сопротивление антенно-фидерного тракта, $W_{пр}$, Ом	50
Чувствительность приемника, $\gamma_{ПР}$, мкВ	0,25
Отношение сигнал/шум на выходе приемника, $(S/N)_{вых}$, дБ	11
Коэффициент усиления по мощности приемной антенны, $G_{ПР}$, дБ	7
Затухание в кабеле, $(\alpha \cdot l)_{ПР}$, дБ	4
Затухание в дуплексном фильтре, $\alpha_{ДУ}$, дБ	1
Коэффициент усиления устройства разделения, $G_{УР}$, дБ	2,3
Уровень помех, рекомендуемый для расчета (показатель помеховой обстановки), $E_{ПОМ}$, мкВ/м	1,49
Коэффициент направленного действия антенны БС, $D_{пр}$, дБ	3,1
Девиация частоты, Δf, кГц	5

Исходные данные 12:

Параметры	TDD 20 МГц (конф. кадра 2)
Тип линии	DL
P_{EIRP}, (дБ)	68
H	0,9
S_{Rx}, (дБ)	92
G_{RxA}, (дБ)	7
L_{RxF}, (дБ)	0,5
M_{Build}, (дБ)	8
M_{Shade}, (дБ)	8,7
G_{HO}, (дБ)	2,5

Решение:
Услуга – телефония, скорость абонента – 3 км/час.
Определяем из исходных данных E_b/N_0 = 4,5 дБ.

$$N = k \cdot T \cdot B = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 291 \cdot 4{,}18 \cdot 10^6 = 1{,}68 \cdot 10 - 14 \text{ Вт},$$

$$N = 10 \cdot \log (1{,}68 \cdot 10 - 14/0.001) = - 107{,}7 \text{ дБмВт}.$$

Мощность собственных шумов приемника:

$$P_ш = N + K_ш = - 107{,}7 + 7 = - 100{,}7 \text{ дБ}.$$

Чувствительность приемника:

$$P_{пр} = -100{,}7 + 4{,}5 - 4{,}6 = - 100{,}8 \text{ дБ}.$$

3.2 Расчет максимально допустимых потерь сети WCDMA

Максимально допустимые потери:

$$L_{MARL} = P_{EIRP} – S_{Rx} + G_{RxA} – L_{RxF} – M_{Build} – M_{Int} – M_{Shade} + G_{HO}, \quad (3.4)$$

где P_{EIRP} – ЭИИМ передатчика, дБ;
S_{Rx} – чувствительность приемника, дБ;
G_{RxA} – коэффициент усиления антенны, дБ;
L_{RxF} – потери в фидерном тракте, дБ;
M_{Build} – запас на проникновение в помещение, дБ;
M_{Int} – запас на внутрисистемные помехи, дБ;
M_{Shade} – запас на затенение , дБ;
G_{HO} – выигрыш от хендовера, дБ.

При расчете используется величина запаса на внутрисистемные помехи, которая характеризует возрастание мощности шума на входе приемника. Для расчета принимают, что запас на внутрисистемные помехи равен:

$$M_{Int} = - 10 \cdot \log10 (1-\eta), \quad (3.5)$$

где η – относительная загрузка соты в восходящей или нисходящей линии.

Как видно, запас на внутрисистемные помехи это функция от загрузки соты, чем больше разрешенная нагрузка в соте, тем большую величину

запаса необходимо учесть. При росте нагрузки до 100% запас на помехи стремится к бесконечности и зона обслуживания соты уменьшается до нуля.

Зависимость значения данной величины от загрузки соты представлена на рисунке 3.1.

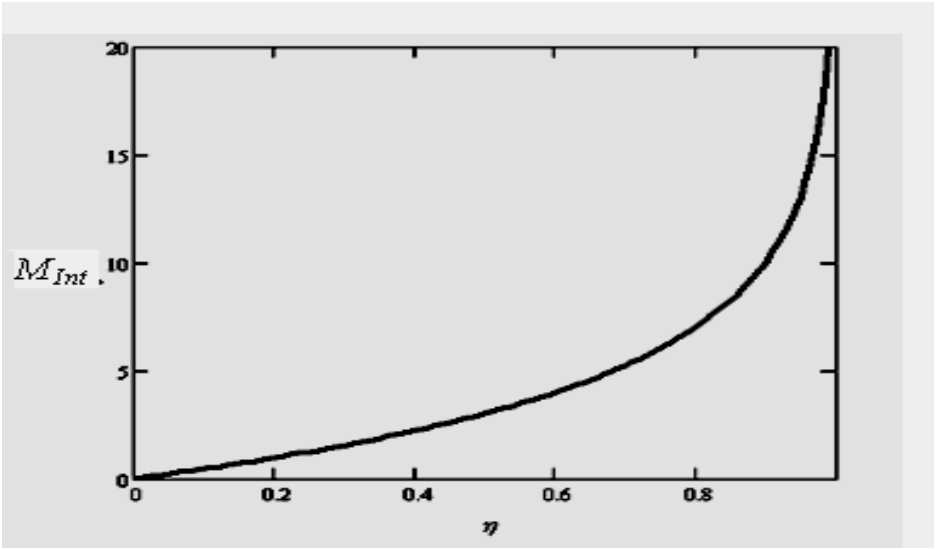


Рисунок 3.1 – Зависимость значения запаса на внутрисистемные помехи от значения относительной загрузки соты

Мягкий хэндовер имеет место в том случае, когда мобильная станция соединена как минимум с двумя сотами одновременно. В случае, если эти соты принадлежат двум разным базовым станциям (eNodeB), то объединение двух восходящих каналов осуществляется контроллером радиосети (RNC). В случае, если соты принадлежат одной базовой станции объединение сигналов осуществляется базовой станцией. В нисходящей линии объединение двух каналов осуществляется RAKE-приемником мобильной станции методом оптимального сложения. Можно рассматривать, как метод разнесенного приема, при использовании которого сигналы разных каналов складываются с учетом их весовых коэффициентов, а коэффициенты усиления в каждом канале прямо пропорциональны среднеквадратичному значению мощности сигнала и обратно пропорциональны среднеквадратичному значению мощности шума в этих каналах.

При оптимальном сложении отношение сигнал/шум на выходе максимально. Выигрыш от мягкого хэндовера достигается за счет макро-разнесенного приема, следовательно уменьшает негативные эффекты от теневых зон и замираний. В реальной сети, зоны обслуживания большинства сот пересекаются. На границе соты мобильная станции может выбрать лучшую соту из доступных в данный момент, то есть мобильная станция не ограничена одним соединением. Это ведет к тому, что запас на замирания может быть снижен при расчете бюджета радиолинии, происходит

уменьшение требуемого значения E_b/N_0 . Выигрыш от мягкого хэндовера зависит от условий распространения радиоволн. В городах, где замирания сигналов очень существенны, корреляция между сигналами, пришедшими от разных источников мала, как результат возрастает выигрыш от использования мягкого хэндовера. Величина выигрыша может меняться в пределах 2-5 дБ. Типичная величина выигрыша для расчета бюджета радиолинии составляет 2-3 дБ.

Алгоритм быстрого управления мощностью введен в UMTS для того, чтобы поддерживать требуемое значение E_b/N_0 на входе приемника постоянным во время быстрых замираний, обусловленных многолучевостью. глубина замираний может доходить до 30 дБ. Быстрое управление мощностью особенно важно для абонентов имеющих малую скорость передвижения, так как они не могут быстро изменить свое положение для компенсации глубоких замираний. На границе соты, мощность передатчика мобильной станции максимальная, таким образом, не остается запаса на управление мощностью для компенсации быстрых замираний.

Для того, чтобы учесть этот процесс в расчете зададимся величиной запаса на быстрые замирания. Величина запаса на быстрые замирания зависит от скорости абонента. Типичные значения величины запаса в зависимости от скорости абонента представлены в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Типичные значения величины запаса на быстрые замирания

Тип абонента, скорость перемещения	Типичная величина запаса на быстрые замирания
Небольшая скорость (3 км/ч)	3-5 дБ
Средняя скорость (50 км/ч)	1-2 дБ
Высокая скорость (120 км/ч)	0.1 дБ

Рассчитать максимально допустимые потери L_{MARL} в сети WCDMA, если известны ЭИИМ передатчика - P_{EIRP} (дБ), чувствительность приемника - S_{Rx}, (дБ), коэффициент усиления антенны - G_{RxA} (дБ), потери в фидерном тракте - L_{RxF}, (дБ), запас на проникновение в помещение - M_{Build} ,(дБ), запас на затенение - M_{Shade}, (дБ), выигрыш от хэндовера - G_{HO} (дБ), загрузка соты - η.

Определим запас на помехи M_{Int}, (дБ):

$$M_{Int} = - 10 \cdot \log10 (1-\eta) = - 10 \cdot \lg(1 - \eta) = - 10 \cdot \lg0{,}1 = 10 \text{ дБ}.$$

Максимально допустимые потери:

$$L_{MARL} = 68 + 92 + 17 – 0{,}58 – 10 – 8{,}7 + 2{,}5 = 152{,}3 \text{дБ}.$$

3.3 Расчет восходящей линии (UL) WCDMA

Расчет восходящей линии (UL) состоит из нескольких этапов:

– расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника базовой станции;
– определение требуемой мощности принимаемого сигнала;
– расчет эффективно излучаемой мощности мобильной станции;
– определение максимально допустимых потерь.

3.4 Расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника базовой станции

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС определяется из формулы (3.1) :

$$P_{прбс}\,(дБмВт) = P_{ш}\,(дБмВт) + (E_b/N_0)_{треб}\,(дБ) - G_{обр}\,(дБ),$$

где $(E_b/N_0)_{треб}$ – требуемое значениеE_b/N_0;
$G_{обр}$ – выигрыш от обработки;
$P_{ш}$ – мощность собственных шумов приемника.

Для анализа выбран тип оборудования БС Nokia Flexi WCDMA BTS. Коэффициент шума приемника данной базовой станции менее 3 дБ. Для расчета примем $K_{ш}$=3 дБ.

Мощность шумов приемника БС из (3.2):

$$P_{ш} = N+K_{ш}\,(дБмВт).$$

Минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника для данного типа сервиса составляет 1,7 дБ при скорости абонента 3 км/ч.

Выигрыш от обработки составляет:

$$G_{обр} = 10\cdot\log(Rчип/Rпольз), \qquad (3.6)$$

где $R_{чип}$ – чиповая скорость стандарта UMTS, чип/с,
$R_{польз}$ – скорость передачи данных пользователя, кбит/с.

Также необходимо учесть выигрыш за счет мягкого хендовера и запас на внутрисистемные помехи. Величину выигрыша примем равной $G_{хо}$=2 дБ. Величину запаса на внутрисистемные помехи. Величину относительной загрузки соты для начального расчета примем равной 50%. Допустимым значением величины относительной загрузки соты считается 50%.

Запас на внутрисистемные помехи равен:

$$M_{Int} = - 10 \cdot \log10(1-\eta).$$

С учетов вышеуказанных факторов, минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС равна:

$$P_{прбс} = P_ш + (E_b/N_0)_{треб} – G_{обр} + L_п – G_{хо} \text{ (дБмВт)}. \quad (3.7)$$

Рассчитать минимально допустимую мощность сигнала на входе приемника базовой станции UMTS, если известны температура проводника, T°, тип линии (DL, UL), коэффициент шума приемника $К_ш$ (дБ), полоса согласованного фильтра приемника B (МГц), отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума E_b/N_0 (дБ), чиповая скорость $R_{чип}$ (чип/с), скорость передачи данных пользователя $R_{польз}$ (кбит/с), загрузка соты - η.

Мощность теплового шума в приемнике:

$$N = k \cdot T \cdot B = 1,38 \cdot 10 – 23 \cdot 291 \cdot 0,64 \cdot 106 = 2,5 \cdot 10 - 15 \text{ Вт},$$

$$N = 10 \cdot \lg(2,5 \cdot 10 - 15/0.001) = - 116 \text{ дБмВт}.$$

Мощность шумов приемника БС из (3.2):

$$P_ш = N + K_ш = - 116 + 2,7 = - 113,3 \text{ дБмВт}.$$

Выигрыш от обработки составляет:

$$G_{обр} = 10 \cdot \log(Rчип/Rпольз)=10\log(0,64 \cdot 106/64 \cdot 103) = 70 \text{ дБ}.$$

Запас на внутрисистемные помехи равен:

$$Mint = - 10 \cdot \log10(1-0.6) = 4 \text{ дБ}.$$

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС равна:

$$P_{прбс} = P_ш + (E_b/N_0)_{треб} – G_{обр} + L_п – G_{хо} = - 113,3 + 2,9 – 70 + 3 – 2 = - 179,4 \text{ дБмВт}.$$

3.5 Определение мощности принимаемого сигнала

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением:

$$P_{пр} = P_{прбс} + L_{фидер} – G_{бс} + L_{ff} \text{ (дБмВт)}, \quad (3.8)$$

где $L_{фидер}$ – потери в фидере, дБ. Как правило, длина и тип фидера выбирается таким образом, чтобы значение затухания в нем составляла не более 3 дБ;

$G_{бс}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции, дБ.;

L_{ff} – запас на быстрые замирания, дБ.

Определить требуемую мощности принимаемого сигнала, если известны потери в фидере $L_{фидер}$ (дБ), коэффициент усиления антенны базовой станции $G_{бс}$ (дБ), запас на быстрые замирания L_{ff} (дБ).

$$P_{пр}=P_{прбс}+ L_{фидер}–G_{бс} + L_{ff} = - 179{,}4 + 2{,}4 – 17 + 3 = - 191 \text{ дБмВт}.$$

3.6 Расчет эффективно излучаемой мощности мобильной станции

Эффективно излучаемая мощность мобильной станции определяется выражением:

$$P_{изМС}=P_{МС}+G_{БС} – L_{тело} \text{ (дБмВт)}, \quad (3.9)$$

где $P_{МС}$ – мощность передатчика мобильной станции. Для расчета взята минимальная мощность мобильной станции определенная стандартом (класс 4 – 21 дБмВт);

$G_{БС}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции, принята равной 0 дБ;

$L_{тело}$ – потери на затухание в теле абонента. Для расчета $L_{тело}$ принимают равным 3 дБ. Необходимо заметить, что потери на затухание в теле учитываются для голосовых типов услуг, и могут не учитываться для услуг по передаче данных.

Рассчитать эффективно излучаемую мощность мобильной станции UMTS, если известны мощность передатчика мобильной станции $P_{мс}$ (дБмВт). коэффициент усиления антенны базовой станции $G_{мс}$ (дБ), потери на затухание в теле абонента $L_{тело}$ (дБ).

$$P_{изМС} = 18 + 0 – 2 = 16 \text{ (дБмВт)},$$

3.7 Определение максимально допустимых потерь

Максимально допустимые потери на трассе равны:

$$L = P_{изМС} - P_{пр} = 16 + 191 = 207 \quad (3.10)$$

3.8 Расчет нисходящей радиолинии(DL) WCDMA

Данный расчет также осуществляется в несколько этапов:

- расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника МС;
- определение требуемой мощности принимаемого сигнала;
- расчет эффективно излучаемой мощности базовой станции;
- определение допустимых потерь на трассе.

3.9 Определение минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника МС

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника МС определяется аналогичным выражением (как и для БС):

$$P_{прмс}\,(дБмВт) = P_{ш}\,(дБмВт) + (E_b/N_0)_{треб}\,(дБ) - G_{обр}\,(дБ).$$

Приемник мобильной станции более простой, чем приемник БС, в нем используются более простые компоненты, следовательно, его коэффициент шума выше. Стандартом коэффициент шума приемника МС должен иметь значение <9 дБ. Для расчета примем $K_ш = 8$ дБ.

Мощность собственных шумов приемника МС:

$$P_ш = N + K_ш\ (дБмВт).$$

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника МС с учетом запаса на внутрисистемные помехи и выигрыш от мягкого хэндовера равна:

$$P_{прМС} = P_ш + (E_b/N_0)_{треб} - G_{обр} - L_п - G_{хо}\ (дБмВт),$$

где $(E_b/N_0)_{треб}$ – минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника для данного типа сервиса составляет 4.8 дБ при скорости абонента 3 км/ч;

$G_{обр}$ = 10log ($R_{чип}/R_{польз}$);

$R_{чип}$ – чиповая скорость стандарта UMTS, чип/с;

$R_{польз}$ – скорость передачи данных пользователя, кбит/с;

$L_п$ – запас на внутрисистемные помехи. Примем что сота в нисходящей линии загружена также как и в восходящий. $L_п$ = 3 дБ;

$G_{хо}$ – выигрыш за счет мягкого хендовера, дБ.

Определить минимально допустимую мощность сигнала на входе приемника МС, если известны температура проводника, Т°, коэффициент шума приемника $К_ш$ (дБ), полоса согласованного фильтра приемника В (МГц), отношение средней энергии бита к спектральной плотности шума E_b/N_0 (дБ), чиповая скорость $R_{чип}$ (чип/с), скорость передачи данных пользователя $R_{польз}$ (кбит/с), загрузка соты - η.

Мощность собственных шумов приемника МС:

$$P_ш = N + K_ш = - 115,7 + 6 = - 109,7 \text{ дБмВт.}$$

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника МС с учетом запаса на внутрисистемные помехи и выигрыш от мягкого хэндовера равна:

$$P_{прМС} = P_ш + (E_b/N_0)_{треб} – G_{обр} –L_п – G_{хо} = - 109,7 + 4,3 –70 + 3 – 2 = - 179,9 \text{ дБмВт,}$$

где $(E_b/N_0)_{треб}$ – минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемникадля данного типа сервиса составляет 4.8 дБ при скорости абонента 3 км/ч;

$$G_{обр} =10 \cdot \log (R_{чип}/R_{польз}) = 10 \cdot \log (0,64 \cdot 106/64 \cdot 103) = 70 \text{ дБ.}$$

3.10 Определение требуемой мощности принимаемого сигнала

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением:

$$P_{пр} = P_{прМС} + L_{тело} – G_{МС} + L_{ff} \text{ (дБмВт),}$$

где $L_{тело}$ – потери на затухание в теле абонента. Для услуг по передачи данных $L_{тело}$=0;

$G_{МС}$ – коэффициент усиления антенны мобильной станции, дБ. Значение $G_{мс}$ принято равным 0 дБ;

L_{ff} – запас на быстрые замирания, дБ.

Определить требуемую мощность принимаемого сигнала $P_{пр}$ для нисходящей радиолинии, если известны запас на быстрые замирания L_{ff} (дБ), коэффициент усиления антенны мобильной станции G_{MC} (дБ),потери на затухание в теле абонента $L_{тело}$ (дБ).

$$P_{пр}= -179,9 + 2 – 0 + 2,8 = - 175,1 \text{ дБмВт}$$

3.11 Расчет эффективно излучаемой мощности базовой станции

Эффективно излучаемая мощность БС:

$$P_{изБС} = P_{БС} + G_{БС} – L_{фидер}, \text{ дБмВт},$$

где $P_{БС}$ – мощность передатчика базовой станции на кодовый канал, дБ;
$G_{БС}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции, дБ;
$L_{фидер}$ – потери обусловленные затуханием в фидере, дБ.

Определить эффективно излучаемую мощность базовой станции $P_{изБС}$, дБ, если известны мощность передатчика базовой станции на кодовый канал РБС (дБ), коэффициент усиления антенны базовой станции $G_{БС}$ (дБ), потери обусловленные затуханием в фидере $L_{фидер}$ (дБ).

$$P_{изБС} = 35 + 17 - 2,4 = 49,6 \text{ дБмВт}.$$

3.12 Расчет допустимых потерь на трассе

Допустимые потери на трассе:

$$L = P_{изБС} - P_{пр} - M_{Build}, \text{ дБ},$$

где M_{Build} – запас на проникновение в помещение, дБ.

Определить допустимые потери на трассе нисходящей линии UMTS, если известен M_{Build} – запас на проникновение в помещение, дБ.

$$L = 49,6 + 175,1 + 12 = 236,7 \text{ дБ}$$

3.13 Планирование и расчет радиосетей LTE. Расчет энергетического бюджета для сети LTE

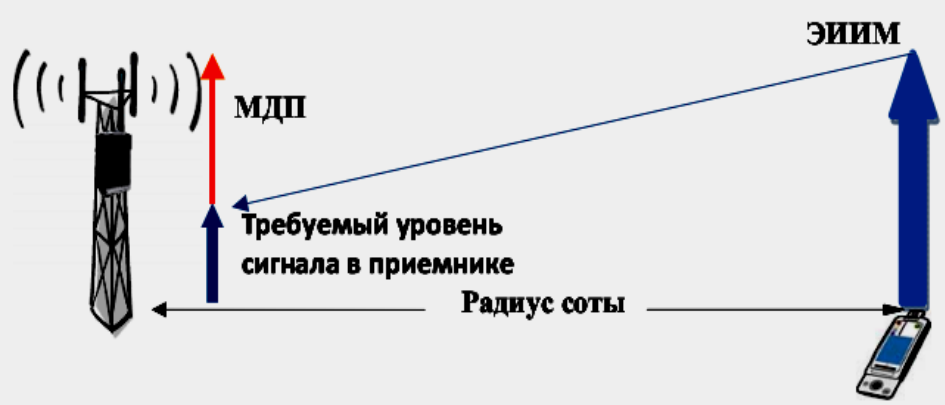


Рисунок 3.2 – Принцип расчета энергетического бюджета

Рассмотрим примеры расчета энергетического бюджета для систем LTE с частотным и временным дуплексом, работающих в диапазоне 2600 МГц. Причем для системы с временным дуплексом рассмотрим два варианта конфигураций кадра 1 и 2, формат специального субкадра – 7. Системная полоса для всех систем рассматривается равной 20 МГц, т.е. в случае FDD системная полоса будет разделяться на два канала по 10 МГц для линии вверх (UL) и линии вниз (DL), а в случае TDD вся полоса 20 МГц будет использоваться как на UL, так и на DL.

Рассмотрим БС, РЧ-блок каждого сектора которой оснащен двумя приемопередатчиками, выходная мощность передатчиков 20 Вт (43 дБм). РЧ-блок устанавливается в непосредственной близости от антенны. Базовая станция работает на линии вниз в режиме MIMO 2x2 с использованием кросс-поляризованной антенны. Поскольку энергетический бюджет рассчитывается для абонентской станции (АС) на краю соты, т.е. принимающей сигналы от БС с низким отношением сигнал/шум (ОСШ), то БС передает сигналы на эту АС в режиме разнесенной передачи. За счет сложения мощностей сигналов двух передатчиков в пространстве можно получить энергетический выигрыш (3 дБ). В качестве АС рассматриваем USB-модем, класс 3 – ЭИИМ 23 дБм.

Эквивалентная изотропно излучаемая мощность

$$ЭИИМ = P_{TX} + G_{TxDiv} + G_{TxA} - L_{TxF}, \quad (3.11)$$

где P_{TX} – выходная мощность передатчика, дБм;
G_{TxDiv} – выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ;
G_{TxA} – коэффициент усиления антенны, дБи;
L_{TxF} – потери в фидерном тракте, дБ.

Рассчитать ЭИИМ передатчика базовой или абонентской станции, в зависимости от параметров оборудования LTE и восходящей или нисходящей линии сотовой связи.

$$ЭИИМ = 43 + 2,9 + 20 + 0,36 = 65,54$$

3.14 Оценка емкости сети LTE

Емкость, или пропускную способность, сети оценивают, базируясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях. В таблице 2 приведены значения средней спектральной эффективности соты LTE FDD в макросети для двух случаев, специфицированных 3GPP как сценарий 1 (расстояние между сайтами 500 м), и сценарий 3 (расстояние между сайтами 1732 м). 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 пользователях в соте.

Таблица 3.3 – 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

Приведем пример расчета пропускной способности для сетей трех конфигураций, рассмотренных в предыдущем разделе, причем пользоваться будем значениями спектральной эффективности для сценария 1 (расстояние между сайтами 500 м), как наиболее близкого по размерам сот.

Для системы FDD средняя пропускная способность соты может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность.

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

Рассчитаем среднюю пропускную способность соты на линии вниз при конфигурации кадра 1:

RTDD = SFDDaverage.W.T % = 1,69.20000.0,54 = 18,25 Мбит/с,

где SFDDaverage - средняя спектральная эффективность,

W - ширина канала,

T% - доля длительности кадра на линии вверх или вниз.

Рассчитать среднюю пропускную способность соты RTDD и среднюю пропускную способность базовой станции третьей конфигурации RБС3, если известны тип и конфигурация линии, доля длительности кадра на линии вверх или вниз, T%, средняя спектральная эффективностьSFDDaverage, ширина канала W.Ширина канала W берется из конфигурации системы. Например, для FDDW = 20 МГц.

RTDD=SFDDaverage.W. T %=1,69.20000.0,74=25 Мбит/с,

Рассчитать емкость сети LTE FDD RNW (Мбит/с) в мегаполисе при наличии пары полос 10+10 МГц и при переиспользовании N сотовых площадок. Средняя пропускная способность БС, N, Мбит/с.

Емкость сети или суммарная пропускная способность такой сети в направлении к абоненту составит

RNW = RБС· N = 75,04 · 1500 = 112560 Мбит/с.

Рассчитать усредненный трафик абонента в ЧНН RBH (МБит/с), если заданы: Таб, Гбайт/месяц - трафик абонента, NBH - число ЧНН в день; ND- число дней в месяце.

$T_{аб}$ = 26 Гбайт/месяц; NBH = 20; ND = 28.

$R_{BH} = T_{АБ} \cdot 8/N_{BH} \cdot N_D = 26 \cdot 8/20 \cdot 28 = 0{,}37$ Мбит/с.

Используя результаты расчета предыдущей задачи, определить усредненный трафик абонента на DL (линия вниз) в ЧНН R_{DL} (Мбит/с), если известны R_{BH} - усредненный трафик абонента в ЧНН (данные взять из предыдущей задачи), МБит/с; S_{DL} – доля трафик на DL, %.

RBH = 0,37 Мбит/с; SDL = 90%.

RDL = RBH · SDL = 0,37 · 0,9 = 0,33 Мбит/с.

Определить число абонентов NАБ, если известны суммарная пропускная способность RNW, Мбит/с; усредненный трафик абонента на DL в ЧНН RDL, Мбит/с.

RNW = 112560 Мбит/с; RDL = 0,33 Мбит/с.

$$N_{АБ} = R_{NW}/R_{DL} = 122560/0,33 = 341090 \text{ аб.}$$

Таблица 3.4 – Результаты расчетов емкости сети LTE

Трафик абонента, Гбайт/месяц	$T_{АБ}$	26
Число ЧНН в день	$N_{ВН}$	20
Число дней в месяце	$N_{д}$	28
Усредненный трафик абонента в ЧНН, Мбит/с	$R_{ВН}$	0,37
Доля трафик на DL, %	S_{DL}	90
Усредненный трафик абонента на DL в ЧНН, Мбит/с	R_{DL}	0,33
Общий трафик в сети, Гбит/с	R_{NW}	112560
Число абонентов, тыс	$N_{АБ}$	341090

Определить уровень суммарного шума приемника базовой станции (БС) сотовой связи.

Затухание сигнала на прием в антенно-фидерном тракте БС:

$$\alpha_{АТФпр} = \alpha_{ДУ} + (\alpha \cdot 1)_{пр} - G_{УР}, \text{ дБ},$$

где $\alpha_{ДУ}$ – затухание в дуплексном фильтре, дБ;
$(\alpha \cdot l)_{пр}$ – затухание в кабеле, дБ;
$G_{УР}$ – коэффициент усиления устройства разделения, дБ.

$$\alpha_{АТФпр} = 1 + 4 - 2,3 = 2,7 \text{ дБ}.$$

КПД антенно-фидерного тракта приемной антенны БС:

$$\eta_{АФТ} = 10^{-0,1} \cdot \alpha^{АФТпр} = 10^{-0,1} \cdot 2,7 = 0,537.$$

Действующая длина приемной антенны БС:

$$l_д = \frac{\lambda AC}{2\pi} \frac{-b \pm \sqrt{1,64 \cdot Gпр \cdot \eta АФТ}}{120} \text{ (м)},$$

где λАС-БС = c/f = $3 \cdot 10^8/890 \cdot 10^6$ = 0,337 (м) – длина волны на прием БС;

$G_{ПР} = 10^{0,1} \cdot G_{ПР}(дБ) = 10^{0,1 \cdot 7} = 5$ – коэффициент усиления по мощности приемной антенны БС, отн. ед;

$W_{ПР}$ – волновое сопротивление антенно-фидерного тракта БС, Ом.

$$l_д = \frac{0,337}{2\pi}\sqrt{\frac{1,64 \cdot 5 \cdot 50 \cdot 0,537}{120}} = 0,072\ (м),$$

Отношение сигнал/шум на входе приемника, соответствующее заданному отношению на выходе:

$$(S/N)_{ВХ} = \frac{(S/N)_{ВЫХ} \cdot F_{MAX}}{\Delta f \cdot \sqrt{3}},$$

где$S/N_{ВЫХ} = 10^{0,05 \cdot S/N_{ВЫХ}} = 10^{0,05 \cdot 11} = 3,54$ – отношение сигнал/шум на выходе приемника, отн. ед.;

F_{MAX}=3,4 – максимальная звуковая частота модуляции, кГц;

Δf – девиация частоты, кГц.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{ВХ} = \frac{3,54 \cdot 3,4}{5 \cdot \sqrt{3}} = 1,389\ (отн.ед.),$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{ВХ} = 20 \cdot \lg\left(\frac{S}{N}\right)_{ВХ} = 20 \cdot \lg(1,389) = 2,79\ (дБ).$$

В связи с тем, что нужно учитывать запас на ретрансляцию, величину $(S/N)_{ВХ}$ (дБ) нельзя принимать менее 8 дБ (2,51 отн. ед.).

Уровень собственных шумов, приведенных к входу приемника:

$$U_{Ш\,пр} = \frac{\gamma_{ПР}}{\left(\frac{S}{N}\right)_{ВХ}} = \frac{0,25}{2,79} = 0,089\ (В),$$

где $\gamma_{ПР}$ – чувствительность приемника, мкВ;

$(S/N)_{ВХ}$ – отношение сигнал/шум на входе приемника, отн. ед.

Уровень собственных шумов приемника, приведенных к точке приема:

$$N_{\text{СОБ пр}} = \frac{0{,}089}{0{,}072} = 1{,}236 \left(\frac{\text{мкВ}}{\text{м}}\right).$$

Уровень внешних шумов в точке приема:

$$N_{\text{ВНЕШпр}} = \frac{E_{\text{ПОМ}}}{\sqrt{D_{\text{ПР}}}} \left(\frac{\text{мкВ}}{\text{м}}\right),$$

где $E_{\text{ПОМ}}$ – уровень помех, рекомендуемый для расчета (показатель помеховой обстановки), мкВ/м;

$D_{\text{ПР}} = 10^{0{,}1 \cdot D_{\text{ПР}}} = 10^{0{,}1 \cdot 3{,}1} = 2{,}041$ – коэффициент направленного действия антенной системы БС, отн. ед.

$$N_{\text{ВНЕШ пр}} = \frac{1{,}49}{\sqrt{2{,}04}} = 1{,}043 \left(\frac{\text{мкВ}}{\text{м}}\right).$$

Уровень суммарного шума в точке приема:

$$N_{\Sigma ш} = 10\lg\left(N^2_{\text{СОБ пр}} + N^2_{\text{БНЕШпр}}\right) = 10\lg\left(1{,}236^2 + 1{,}043^2 = 4{,}16, \text{дБ}.\right.$$

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ условий труда обслуживающего персонала

Задачей данной части диплома является проектирование сети LTE на базе eNodeB. На основании расчета покрытия методом Окумура-Хата, обозначилось количество необходимых 87 базовых станций eNodeB в аппаратных БС. Сеть LTE строится из базовых станций 4 поколения, которые соединяются с аналогом коммутатора MSC 2G, AGW 4G посредством цифрового радиорелейного оборудования или оптоволоконных сетей SDH,PDH или DWDM.

Благодаря инновационной идее исключения контроллеров, как отдельных блоков системы, но использование их встроенных в базовую станцию, пропадает необходимость учета контроллеров как таковых. Вследствие этого, в аппаратных базовых станций находится следующее оборудование: BTS поколения 2G, RNC поколения 3G, eNodeB поколения 4G, мультиплексоры SDH, PDH,DWDM, контроллер BSC предыдущих поколений, блок питания, питание мачты, аккумуляторные батареи, дизель-генератор(в местах частого отключения электричества), кросс-коннекторы, кондиционеры, средства пожарной безопасности.

Производителем оборудования для реализации беспроводного мобильного доступа LTE является компания Alcatel-Lucent, зарекомендовавшая себя как один из лидеров в производстве беспроводного телекоммуникационного оборудования, так же отличающаяся в средней ценовой политике на продукцию.

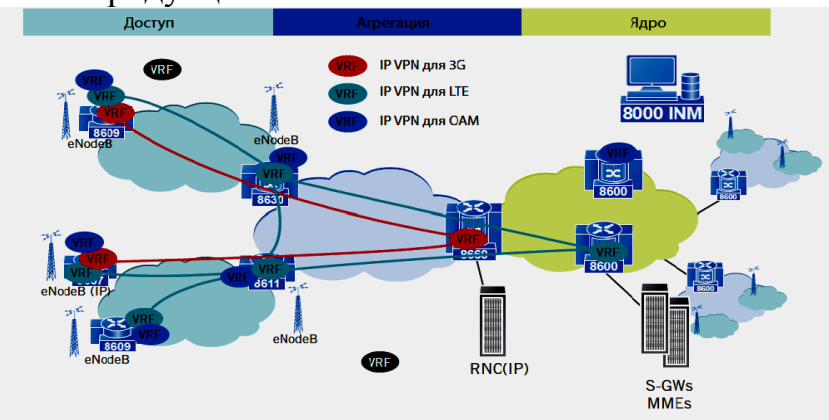


Рисунок 4.1 – Архитектура построения базовых станций eNodeB 8600

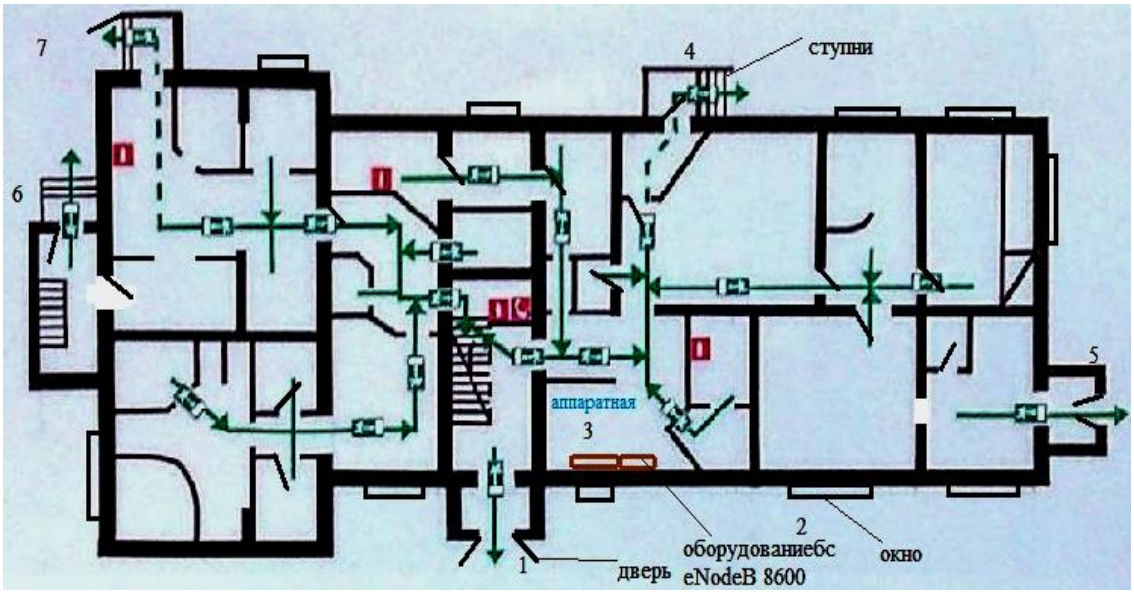
В таблице 4.1 представлены технические характеристики базовой станции компании Alcatel-Lucent.

Таблица 4.1 – Технические характеристики базовой станции eNodeB 8600

Наименование	Значение
Частотный диапазон	698…716 МГц UL 728…746 МГц DL
Ширина канала	20 МГц
Базовая станция-напряжение питания	-48В +24В постоянного тока
Диапазон рабочих температур	от -5^0С до 65^0С
Относительная влажность воздуха	+8%...+100%
Модуляция	OFDMA на DL, SC-FDMA на UL с адаптивной модуляцией поднесущих частот (QAM-64DL, QAM-16UL)
Общий интерфейс подключения к сетям	2 порта Gigabit Ethernet
Устойчивость на вибрации и толчки	В соответствий с ETS 300 019-1-3 класса 3M5
Радиус покрытия	3,5 км (по модели Окумура -Хата)
Конфигурация соты	До 6 секторов
Пропускная способность базовой станции	Пиковая L1 пропускная способность 172,8 Мбит/с на DL и 115 Мбит/с на UL
Максимальное число абонентов	1800 подключенных RRC на eNodeB
Конфигурация MIMO	2x2
Число ресурсных блоков	100 (каждый по 180 КГц)
Чувствительность БС	-122 дБ
Усиление антенны передатчика	16 дБ

Данные устройства находятся под напряжением 40-60В в помещении аппаратной размерами 2,5x2,5x3 (м).

Над зданием расположена непосредственно 80-метровая мачта, из-за которой возникает большая опасность поражения молнией, устройства являются источниками шума. Инженеры отдела эксплуатации при замене выпрямителей, блоков питания и других частей могут прикоснуться к неизолированным частям, питающимся от блока питания в 40-60 В. Поэтому возникает необходимость обеспечения электробезопасности, в состав которой входит наладка защитного заземления по контуру территории вокруг аппаратной, молниезащита, постоянная проверка исправности изоляции и выравнивание потенциалов, целостность диэлектрических защитных ковриков, кожухов, перчаток.



1 – дверь (главный вход); 2 – окно; 3 – оборудование бс eNodeB; 4 – ступни; 5 – служебный вход; 6 – служебный запасной вход; 7 – запасной вход для абонентов.

Рисунок 4.1- План размещение оборудования в аппаратной

Вследствие наличия антенных систем существует влияние электромагнитных волн, которые могут оказывать влияние на обслуживающий персонал. В соответствии с международной классификацией антропогенные источники электромагнитных полей (ЭМП) излучаемые антеннами базовых станций, относятся ко 2 группе – источники, генерирующие излучение в радиочастотном диапазоне от 30 кГц до 300 ГГЦ.

Обмен информацией между базовыми станциями осуществляется посредством радиорелейной связи. Базовые станции обеспечивают связь с мобильными телефонами на частотах 450-1800 МГц. Частота и вид модуляции зависит от типа сотовой связи. Выходная мощность коррелирует с частотой, на которой он работает.

4.2 Расчет обеспечения электромагнитной безопасности

К природным источникам ЭМП относят постоянные электрическое и магнитное поля Земли, а также радиоволны, генерируемые космическими источниками (Солнце, галактики и пр.) или при некоторых процессах, происходящих в атмосфере Земли (например, разряды молнии).

В соответствии с международной классификацией антропогенные источники электромагнитных полей (ЭМП) относятся ко 2 группе – источники, генерирующие излучение в радиочастотном диапазоне от 30 кГц

до 300 ГГЦ, включая микроволны (СВЧ - излучение) в диапазоне от 300 МГц до 300 ГГц.

Основную массу составляют так называемые функциональные передатчики - это источники ЭМП в целях передачи или получения информации, излучающие ее контролируемым образом в окружающую среду. Кроме них во вторую группу входят различное технологическое оборудование (50Гц-1МГц), медицинские терапевтические и диагностические установки (20МГц-3ГГц), средства визуального отображения информации на электронно-лучевых трубках (мониторы ПК, телевизоры и др.).

Микроволновый диапазон электромагнитного поля, в котором работает современная радиосвязь, находится в пределах 450 МГц—2 ГГц. Такие поля, в отличие от ионизирующего излучения (гамма, рентгеновские лучи, коротковолновый ультрафиолет), независимо от их мощности, не могут вызывать ионизацию или вторичную радиоактивность в организме.

При установлении антенны базовой станции вокруг нее фиксируется санитарная зона, за границей которой суммарная мощность излучения не превышает предельно допустимых уровней, установленных санитарными нормами. Место установления антенны базовой станции, которая не попадает в санитарную зону, является вполне безопасным. При этом, чтобы отвести санитарную зону от сооружения, на котором устанавливается антенная система (до трех антенн), последнюю закрепляют на башню, возвышающуюся на 1—2 м над уровнем крыши сооружения, или же на край стены сооружения (только одну отдельную антенну).

В качестве антенн базовых станций систем мобильной радиосвязи общего пользования чаще всего применяются системы, состоящие из нескольких секторных антенн.

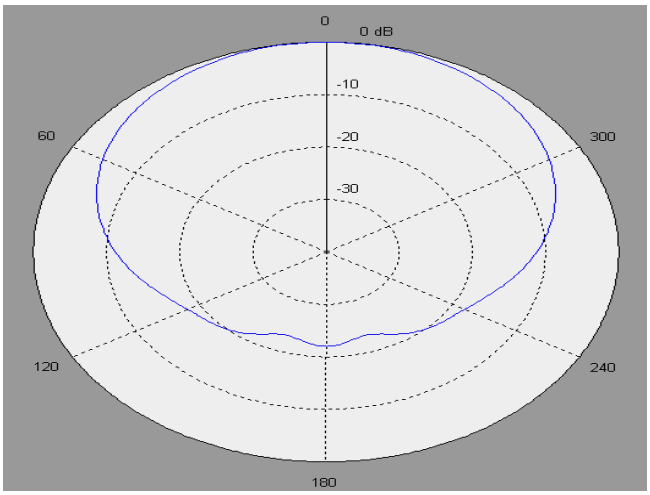


Рисунок 4.2 – Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости секторных антенн базовой станции системы сотовой связи с рабочим сектором 120.

Нижний край антенны базовой станции расположен на высоте 2 м над металлической крышей здания. Расчёты проводились на высоте 2 м над поверхностью крыши без учета ее влияния и в условиях наличия в качестве крыши идеально проводящей подстилающей поверхности. На выбранной высоте расчёт напряженности поля и плотность потока энергии (ППЭ) осуществлялся в направлении максимального излучения (ϕ= 0) и в направлении ϕ= 600.

Результаты расчёта напряжённости энергетически эквивалентного излучаемому широкополосному сигналу монохроматического электрического поля и соответствующей ППЭ, приведены на рисунке 4.3 и 4.4.

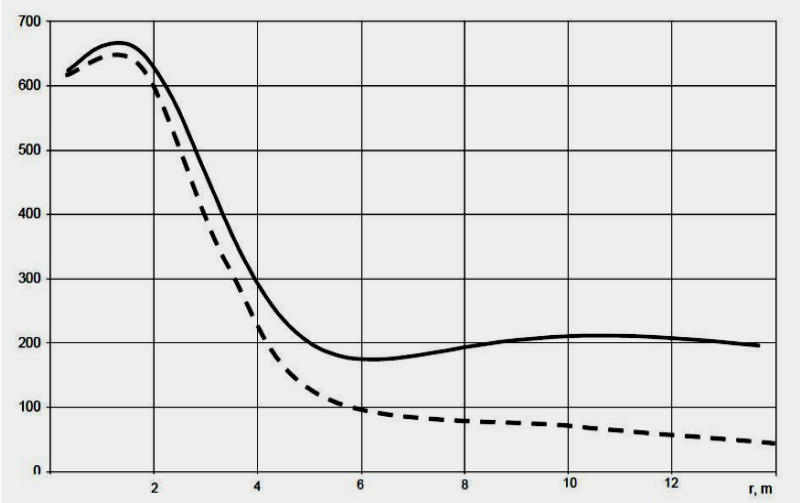


Рисунок 4.3 – Распределение плотности потока энергии (ППЭ) монохроматического электрического поля вблизи секторных антенн с рабочим сектором 120° базовой станции сотовой связи стандарта LTE.

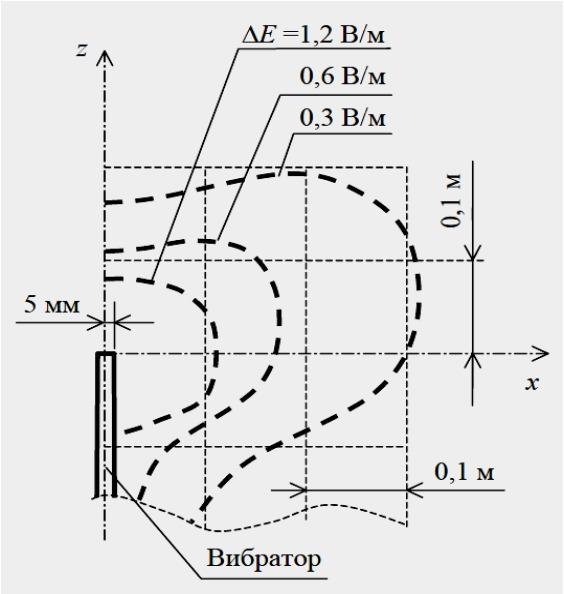


Рисунок 4.4 – Распределение величины поправки ΔE при передаче сигнала

Согласно ГОСТ 12.1.006-84 в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц интенсивность электромагнитная проницаемость (ЭМП) характеризуется поверхностной плотностью потока энергии (ППЭ), энергетическая нагрузка представляет собой произведение плотности потока энергии поля на время его воздействии:

$$ЭН_{ППЭ} = ППЭ*Т. \quad (4.1)$$

Уровни ЭМП на рабочих местах контролируются измерением в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц плотности потока энергии ЭМП с учетом времени пребывания персонала в зоне облучения.

Предельно допустимые значения ППЭ ЭМП в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по следующей формуле:

$$ППЭ_{ПД} = К \cdot \frac{ЭН_{ППЭ_{ПД}}}{Т}, \quad (4.2)$$

где $ППЭ_{ПД}$ - предельно допустимое значение плотности потока энергии, Вт/м^2 (мВт/см^2, мкВт/см^2);

$ЭН_{ППЭпд}$ – предельно допустимая величина энергетической нагрузки, равная 2Вт · ч/м^2 (200 мкВт · ч/см^2);

К – коэффициент ослабления биологической активности, равный 1 для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн;

Т – время пребывания в зоне облучения за рабочую смену, ч.

Во всех случаях, максимальное значение $ППЭ_{ПД}$ превышает 10^0, Вт/м^2 (1000 мкВт/см^2).

Исходя из формулы (4.5) допустимое время пребывания работника в зоне облучения за рабочую смену:

$$Т = \frac{ЭН_{ППЭ_{ПД}}}{ППЭ_{ПД}} \quad (4.3)$$

Значения $ЭН_{ППЭпд}$ и $ППЭ_{ПД}$ найдем исходя из графиков на рисунке НН.

$$ЭН_{ППЭпд} = 200 \text{ мкВт} \cdot \text{ч/см}^2$$

$ППЭ_{ПД} = 650$ мкВт/см^2 (по графикам на рисунке 4.4)

$$T = \frac{ЭН_{ППЭ_{ПД}}}{ППЭ_{ПД}} = \frac{200\ мкВт \cdot ч / см^2}{650\ мкВт / см^2} = 0.3\ ч$$

Исходя из результатов расчетов, работники проводящие обслуживание базовых станций обязаны проводить не более 0,3 ч в непосредственной близи от антенн в течение смены. При работе с антеннами специалисты обязаны соблюдать меры предосторожности и иметь специальные защитные снаряжения, как защитные очки и перчатки. На практике монтажники производят обслуживание и установку БС в неподключенном состоянии, либо на расстоянии 2-10 м от источников излучения, где значения ППЭ намного ниже.

$$T = \frac{ЭН_{ППЭ_{ПД}}}{ППЭ_{ПД}} = \frac{200\ мкВт \cdot ч / см^2}{200\ мкВт / см^2} = 1\ ч$$

,

где $ЭН_{ППЭпд}$= 200 мкВт·ч/см^2;

$ППЭ_{ПД}$ = 200 мкВт/см^2 (по графикам на рисунке 4.7 на расстоянии до 10 м).

Исходя из результатов расчета, допускается, что работник может проводить в среднем 1 ч в аппаратной БС на расстоянии до 10 м за рабочую смену.

Внедрение LTE в Уральске несет большую ответственность за жизнь человека (каждого сотрудника) и обеспечение безопасности инженеров, посещающих аппаратную под мачтой, на защиту от поражения током при прикосновении к неизолированным частям оборудования, от молнии путем прокладки заземляющего контура под землей вокруг аппаратной, от электромагнитных волн, излучаемых оборудованием. Для обеспечения электробезопасности размещаются на плане здания по контуру N=12 электродов на расстоянии по 3 метра друг от друга. При своевременной проверке защитных принадлежностей (кожухов, ковриков, перчаток) на целостность, проверке защитного контура на наличие коррозии и в случае этого быстрой замены на новое, знание в целом правил электробезопасности, пребывание инженеров в аппаратной можно считать безопасным для здоровья и жизнедеятельности.

4.3 Расчет заземления антенны

В качестве основной меры защиты обслуживающего персонала используем защитное заземление. Защитное заземление предназначено для устранения опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим не токопроводящим металлическим частям оборудования,

оказавшимся под напряжением. По условиям безопасности заземление должно обладать сравнительно малым сопротивлением, обеспечить которое можно путем увеличения геометрических размеров одиночного заземлителя (электрода) или применение нескольких параллельно соединенных между собой электродов, именующихся в совокупности групповым заземлителем.

Для защитного заземления часто применяют два вида электродов - стержневые, забиваемые в землю вертикально, и полосовые, укладываемые в грунт горизонтально и предназначенные для соединения вертикальных электродов между собой.

Заземлители можно установить в контурном исполнении. При контурном заземлении заземлители устанавливаются по контуру вокруг заземляемого оборудования. При достаточно близких расстояниях между заземлителями точки земли вокруг контура будут иметь примерно одинаковые потенциалы, благодаря чему уменьшается разность потенциалов между отдельными точками внутри контура, т.е. уменьшается напряжение прикосновения и напряжение шага.

Расчет производим для здания, имеющего размеры 12*6 м. Расчет заземлителя производим по заранее заданному наибольшему допустимому значению сопротивления заземлителя растеканию тока R3. По правилам устройства электроустановок (ПУЭ) для нашего здания R3 не должно превышать 4 Ом.

Цифровая коммутационная система устанавливается в стативы. Корпус статива выполнен из стальных секций с размерами: высота 2130 мм; ширина 770 мм; глубина 500 мм. Коммутационное оборудование расположено в два ряда по четыре шкафа в каждом ряду. Система может работать от самых различных источников питания. Подаваемое на стативы напряжение питание должно находится в пределах от -40,5 до -57,0 вольт.

Комплект радиорелейного оборудования питается от источника питания от -40 до -54 вольт. Высокочастотные части радиорелейного оборудования спроектированы таким образом, что уровни излучений, воздействующих на работников, не превышают нормативных значений (согласно ГОСТ 12.1.006-88 "Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности").

При работе с оборудованием существует вероятность поражения током постоянной частоты обслуживающего персонала. При замене блоков питания, блоков коммутации и т.п. в оборудовании, возможны случайные прикосновения к неизолированным электрическим частям, находящимся под напряжением питания (от 48 до 60 В). Это напряжение опасно для жизни. Поэтому данное оборудование необходимо заземлить.

Питание станции и радиорелейного оборудования осуществляется от единого источника питания. Источник питания размещается в стативах в аккумуляторном помещении. Выпрямители получают питание от промышленного источника питания трехфазного переменного тока

напряжением 380 В.. Статив содержит два выпрямителя. Каждый выпрямитель имеет следующие параметры на выходе: напряжение постоянного тока 48 В.; максимальный ток 120 А. В соответствии с требованиями ГОСТ 12.2007.0 металлические части выпрямителей, которые вследствие повреждения изоляции могут оказаться под напряжением, необходимо соединить с нулевым проводом зануляющей установки. На полу перед выпрямителями имеются резиновые диэлектрические коврики шириной 0,7 м и длинной равной длине выпрямителей. Расчет зануления показан в разделе 5.4.

По степени поражения людей электрическим током помещение аккумуляторной относится к особо опасным помещениям. В аккумуляторной расположены две группы гелевых аккумуляторных батарей емкостью по 490 А каждая. На рисунке 4.5 представлен внешний вид стойки с аккумуляторными батареями.

Рисунок 4.5 – Гелевые аккумуляторные батареи

Данный тип аккумуляторов является необслуживаемым, выделение химически активной среды отсутствует. Помещение аккумуляторной оборудовано естественной вентиляцией

Расчет производим в однородной земле, где грунтом является Суглинок с удельным сопротивлением грунта ρ=100 Ом*м.

Расчет производим по формуле:

$$R_{ГР} = \frac{R_В \cdot R_Г}{R_В \cdot \eta_Г + R_Г \cdot N_В \cdot \eta_В} \quad , \qquad (4.4)$$

где Rв, Rг – сопротивления растекания вертикального и горизонтального электродов, Ом;

ηг, ηв – коэффициенты использования горизонтальных и вертикальных электродов;

nb – число вертикальных электродов.

В качестве материала устройства заземления, выберем стержневой заземлитель круглого сечения, обычно используют стальные трубы с толщиной стенки не менее 3.5 мм (трубы диаметром 5-6 см) и длиной 2.5 – 3.0 м.

Сопротивление растекания вертикального заземлителя определим по формуле:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2\cdot L}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4\cdot t + L}{4\cdot t - L}\right), \qquad (4.5)$$

где L - длина заземлителя, примем ее равной 3 м;

d - диаметр трубы (50мм);

t - глубина залегания от поверхности земли (0.8 м).

$$R_B = \frac{100}{2\cdot 3{,}14\cdot 3}\left(\ln\frac{2\cdot 3}{0{,}05} + \frac{1}{2}\ln\frac{4\cdot 0.8 + 3}{4\cdot 0{,}8 - 3}\right) = 34.52 Ом$$

Разместим на плане здания по контуру: N=12 электродов на расстоянии по 3 метра друг от друга.

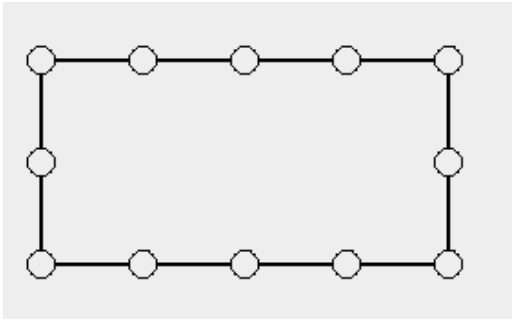


Рисунок 4.6 – Размещение электродов

ηг - коэффициент использования вертикальных электродов группового заземления.

Для связи вертикальных электродов, и в качестве самостоятельного электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4*12 мм.

Сопротивление растекания тока горизонтального заземлителя определяем по формуле

$$R_{Г} = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{dT} \qquad (4.6)$$

Для стальной полосы, проложенной в земле и соединяющей вертикальные заземлители.

Для полосы шириной b=100 mm d=0.5b

$$R_{Г} = \frac{100}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 120} \ln \frac{120^2}{0{,}5 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}8} = 1{,}70 \ \ Ом$$

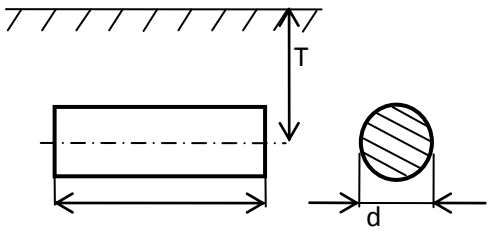


Рисунок 4.4 – Горизонтальный заземлитель

Подставляя найденные значения в формулу получим сопротивление группового заземления, Ом

$$R_{ГР} = \frac{34{,}52 \cdot 1{,}7}{34{,}52 \cdot 0{,}56 + 1{,}7 \cdot 12 \cdot 0{,}76} = 1{,}68 \ \ Ом$$

Вывод

Сопротивление растекания тока группового заземлителя меньше допустимого сопротивления установленного правилом устройства электроустановок (ПУЭ), что повышает безопасность заземляющего устройства.

В процессе эксплуатации не исключена возможность повышения сопротивления растекания тока заземлителя сверх расчетного значения и нарушение целостности заземляющей проводки.

Чтобы исключить указанную опасность, необходим тщательный надзор за состоянием элементов защитного заземления и периодическое сопротивление заземляющего устройства.

5 Бизнес – план

5.1 Техническое и экономическое обоснование сети четвертого поколения

Резюме

Необходимость считаться с непростой ситуацией заставила игроков рынка акцентировать внимание на новых направлениях работы, выводить на новый уровень качество уже доступных потребителям услуг и предлагать сервисы, которые до сих пор не были представлены на рынке или были доступны ограниченному кругу потребителей. В прошлом году сектор мобильной связи превысил сектор фиксированной.

Казахстан является одной из немногих стран мира, где количество абонентов сотовой связи уже в 2005 году превысило количество абонентов проводной связи: соотношение составило более 3 млн. человек к 2,5 млн. соответственно. Такая ситуация стала возможна ввиду нескольких причин. Две основные: специфическое географическое расположение Казахстана и благоприятные экономические условия для развития сотового рынка.

Long Term Evolution это стандарт Европейского Института Стандартов Телекоммуникаций (ETSI), разработанный для внедрения в Европе. В настоящее время услуги по передаче данных стали как никогда востребованы у потребителей. Предшественники LTE GPRS и EDGE, а также UMTS приблизили нас к высокоскоростной передаче данных и качественной голосовой связи. Однако, именно LTE – это технологии высокоскоростной передачи данных, мобильного интернета, с различными приложениями на основе Интернета. LTE поддерживает все мультимедийные услуги 4G. Скорость передачи в радиоканале для мобильного абонента достигает 100 Мбит/с. Сегодня 4G остается наиболее эффективным решением, позволяющим предоставить широким слоям населения широкополосный Интернет. Одно из главных преимуществ этой технологии в том, что производители предлагают LTE-совместимые базовые станции, которые интегрируются в существующую 2G или 3G сеть и поддерживают одновременно несколько стандартов.

Таким образом, капитальные затраты в общей сумме составят: 912 506 225 тг., эксплуатационные расходы: 297 809 184,455, чистый доход: 1 113 451 756,436тг и срок окупаемости 8,6 месяцев.

5.2 Анализ продукции

Целью технического и экономического обоснования сети четвертого поколения в основном говорится исследование целесообразности применения технологии LTE для внедрения на примере города Уральск.

Стандарт Long Term Evolution (LTE) рассматривается многими, как естественный наследник текущих технологий 3G. Частично это связано с тем, что он обновляет сети UMTS до значительно более высоких скоростей передачи данных, как на скачивании, так и на закачке. Спецификация предусматривает пиковую скорость скачивания на уровне в 100Мбит/сек, а закачки – в 50 Мбит/сек. Однако в тестах реального мира скорости передачи данных, скорее всего, будут находиться в районе 5-12 Мбит/сек на скачивании и 2-5 Мбит/сек на закачке.

Технология позволяет значительно снизить стоимость эфирного времени. Таким образом, оператор сотовой связи получает доход не от голосовых услуг, а именно от передачи данных. Выбор неголосовых услуг, доступных при этой технологии уже сейчас очень широк, и что очень важно, постоянно расширяется. На сегодняшний день это и доступ к фондовым биржам, ежедневным новостям, сообщениям о погоде, определение собственного местонахождения (своеобразный гид в большом городе – очень актуально для владельцев автомобилей), а также целое море развлечений – веб-серфинг, видео по запросу, обмен электронной почтой, видеоконференции, а также мобильные игры, где могут принимать участие сразу несколько человек.

5.3 Оценка рынка сбыта

Сотовая связь – один из наиболее динамично развивающихся сегментов рынка телекоммуникаций Казахстана. По отчетам казахстанских операторов связи, доходы от услуг мобильной телефонии, в том числе и предоставления неголосовых услуг, составят более 55% из всей структуры отрасли телекоммуникаций.

Особенность страны - огромная территория и низкая плотность населения вносят в работу компаний определенные коррективы. Охватить сотовой связью такую территорию на 100 процентов довольно сложно, поскольку население распределено по территории страны неравномерно, поэтому компании разрабатывают региональные программы развития.

Однако мобильная телефония Казахстана демонстрирует самый успешный рост. По итогам 2010 года сотовая связь нашей страны достигает цифры – 100 номеров на 100 абонентов. Число абонентов мобильной связи составит порядка 15,4 миллионов человек, что совпадает с численностью населения Казахстана. Но данная цифра отражает лишь количество проданных SIM-карт, а у одного человека их может быть и две, и три. Таким образом, по оценкам АИС, количество активных абонентов операторов сотовой связи составляет порядка 11 миллионов человек.

Многие компании-операторы хотели бы выйти на рынок сотовой связи Республики Казахстан, но получить лицензию сложно, и потому полноценной конкуренции, как мне кажется, в области сотовой связи нет.

В настоящее время рынок делят между собой четыре оператора: «GSM Казахстан», «Кар-Тел», «Mobile Telecom Service». Первые три работают в цифровом стандарте GSM, «Алтел» перешел с аналогового стандарта AMPS/NAMPS на стандарт связи третьего поколения CDMA 2000.

5.4 Маркетинг

Маркетинг в области телекоммуникаций имеет некоторые особенности, заключающиеся в том, что конечным товаром здесь является услуга связи, предоставляемая оператором. Оборудование связи, которое устанавливается на сети или у потребителя тесно связано с конечной услугой, которая невещественна, не переходит в собственность потребителя и тесно связана с временными факторами. Часто пользователь не может заранее судить о полном перечне услуг и их качестве, и это накладывает на проведение маркетинговой политики определенные сложности и требует специальных подходов и методов.

Успешная реализации любого проекта заключается в обеспечении системы сбыта и реализации услуг по предоставлению каналов передачи данных и телефонии. Учитывая большое количество конкурентов и возрастающий интерес к интернет – услугам, следует отметить, что в ближайшие несколько лет рынок возрастет в несколько раз.

В стадии завоевания рынка целесообразным будет запуск сети в тестовом режиме на определенный период времени с минимальными тарифами.

Новые технологии и услуги связи должны удовлетворять требованиям пользователей к качеству и разумной цене, предоставляемых услуг, иначе их внедрение обречено на неудачу. Поэтому стратегическая цель маркетинга компании заключается в создании репутации надежного провайдера связи в РК.

Сеть, построенная на оборудовании Alcatel-Lucent, призвана решить задачу быстрой и простой организации каналов связи для обмена данными между абонентами, расположенными в зоне действия системы, в том числе для предоставления высокоскоростного Интернет сервиса и услуг телефонной связи.

Таким образом, продукцией в данном случае будет являться предоставление потребителю транспортных услуг построенной сети, а именно:

- услуги голосовой связи;
- услуги передачи данных;
- услуги по сдаче в аренду каналов связи.

Данная услуга будет подключаться без взимания абонентской платы в качестве дополнительного сервиса к основным услугам, таким образом, будет подключаться бесплатно.

5.5 Стадии развития

Организация радио доступа на базе стандарта LTE проводится за счет внутренних средств компании. Компания закупает необходимое оборудование непосредственно у компании производителя – «Alcatel-Lucent». Приобретает и устанавливает необходимое оборудование, получает лицензию на необходимые частоты, комплектует квалифицированный персонал по содержанию и обслуживанию нового стандарта мобильной связи, то есть, проводит все работы, связанные с деятельностью данного проекта (беспроводной абонентской линии).

5.6 Финансовый план

Финансовый план является частью бизнес-плана, который включает в себя расчет общих капитальных затрат, доходов, эксплуатационных расходов, прибыли, рентабельности и срока окупаемости.

В ходе реализации проекта необходимо учесть затраты на:

- получение лицензий на радиочастоты в диапазоне частот до 3 ГГц;
- обучение персонала для построения и обслуживания новой сети;
- создание и реализацию маркетинга и продаж по данной технологии;
- эффективное управление компанией с использованием современных информационных технологий.

Проектируемую сеть планируется организовать с использованием базовых станций в комплекте с абонентскими модулями. Следует заметить, что сеть строится на основе уже существующего провайдера. Стоимость оборудования приведена в таблице 5.1.

5.7 Расчет капитальных затрат

Реализация проекта производится по следующим этапам:

- разработка построения сети;
- монтаж оборудования;
- настройка системы;
- сдача в эксплуатацию.

Поэтому капитальные затраты определим по формуле:

$$\sum K = Ko + Kc + Kм + Ktp, \quad (5.1)$$

где Ц – цена оборудования сети;

КП – стоимость перевозки оборудования до г. Уральск на транспорте;

КД – стоимость доставки оборудования с железнодорожного тупика до мест установки;

КУ – стоимость монтажа и установки оборудования.

Таблица 5.1 – Оборудование для организации сети

Наименование	Кол-во	Цена в тг.	Сумма в тг.
Базовая станция (в полном комплекте)	80	10 000 000	800 000 000
Дополнительные батареи (8 часов в автономном режиме)	80	4 000	320 000
Стойка для батарей	80	1 500	120 000
Электрические провода от места подключения до eNodeB	280	1 000	280 000
Элемент опорного уровня MME	1	45 000	45 000
SGW	1	30 000	30 000
AGW	1	30 000	30 000
PCRF	1	15 000	15 000
HSS	1	22 500	22 500
Лицензия	1	150 000	150 000
Генератор и система питания	80	8 000	640 000
Всего			801 652 500

Таблица 5.2 – Капитальные затраты на оборудование

Наименование затрат	Стоимость в тг.
Стоимость оборудования, (Ц)	801 652 500
Перевозка оборудования в г. Уральск на самолете, (Кп, 5% от стоимости оборудования)	40 082 625
Установка и монтаж оборудования, (Ку, 8% от стоимости оборудования)	64 132 200
Всего	905 867 325

Таблица 5.3– Расчет затрат на организацию рабочего места

Наименование	Цена, тыс. тенге	Кол-во	Стоимость, тыс. тг.
Компьютер	79 000	51	4 029 000
Ноутбук	125 500	11	1 380 500
Стол офисный	15 000	51	765 000
3 в 1 (Принтер, ксерокс, сканер)	18 500	11	203 500
Стул	3 900	51	198 900
Шкаф	6 200	10	62 000
Итого			6 638 900

Таблица 5.4 – Капитальные затраты

Наименование вложений	Стоимость в тг.
Капитальные вложения на оборудование, транспортировку и монтаж	905 867 325
Капитальные вложения на организацию рабочих мест	6 638 900
Всего	912 506 225

Таким образом, капитальные затраты составят:

К=912 506 225 тг.

5.8 Эксплуатационные расходы

В процессе обслуживания и предоставления услуг связи осуществляется деятельность, требующая расхода ресурсов предприятия. Сумма затрат за год и составит фактическую производственную себестоимость или величину годовых эксплуатационных расходов.

$$Э = ФОТ + Сн + А + Э + М + Н , \quad (5.2)$$

где ФОТ – фонд оплаты труда;
Сн – социальный налог;
А – амортизационные отчисления;
Э – электроэнергия для производственных нужд;
М – материальные затраты;
Н – накладные расходы.

Э=ФОТ+Сн+А+Э+М+Н=45 840 000+50 424+202 250 760+1 916 006,4+45 293 366,25+2 458 627,805=297 809 184,455

5.9 Расходы на трудовые ресурсы

$$Р_{ТРУД} = ФОТ + Сэл. \quad (5.3)$$

а) Фонд оплаты труда;

Для обслуживания проектируемой сети требуется определенный штат сотрудников (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Необходимый штат сотрудников

Наименование должностей	Кол-во единиц	Ежемесячная зар. плата в тг.	Зар.плата в год, в тг.
Технический директор	1	600 000	7 200 000
Инженер отд.планирования	4	200 000	2 400 000
Гл.инженер отд. Мониторинга	4	190 000	2 280 000
Инженер отд. Мониторинга	2	140 000	1 680 000
Инженер-монтажник	10	160 000	1 920 000
Программист	3	180 000	2 160 000
Системный администратор	3	170 000	2 040 000
Финансовый директор	1	500 000	6 000 000
Бухгалтер	2	150 000	1 800 000
Маркетолог	2	150 000	1 800 000
Менеджер по продажам	6	100 000	1 200 000
Менеджер по фроду	5	80 000	960 000
Директор по подбору кадров	1	400 000	4 800 000
Специалист Отдела Кадров	4	130 000	1 560 000
Директор Call-Centre	1	300 000	3 600 000
Оператор Call-Centre	10	90 000	1 080 000
Офис-менеджер	4	120 000	1 440 000
Водитель	3	110 000	1 320 000
Уборщица	3	50 000	600 000
Всего	69		45 840 000

Основная заработная плата за год составит: ФОТ =45 840 000 тг.

б) Социальный налог;

Социальный налог составляет 11% от фонда оплаты

$$С_Н = ФОТ \cdot 0,11 = 45\ 840\ 000 \cdot 0,11 = 50\ 424 \text{ тг.}$$

Итого затраты на трудовые ресурсы составят:

$$Р_{ТРУД} = 45\ 840\ 000 + 50\ 424 = 45\ 890\ 424 \text{ тг.}$$

5.10 Расходы на оборудование

$$Р_{ОБОРУДОВАНИЕ} = М+А+С_{ЭЛ} \qquad (5.5)$$

а) Амортизационные отчисления;

Амортизация оборудования сети варьируется в зависимости от типа и составляет от 7 до 25 %. Расчет произведем укрупненным методом и примем среднее значение 25 % от цены оборудования:

$$А1 = 801\ 652\ 500 \cdot 0,25 = 200\ 413\ 125 \text{тг.}$$

Амортизация компьютеров и комплект. оборудования составляет 30% от цены:

$$А2 = (4\ 029\ 000+1\ 380\ 000+203\ 500) \cdot 0,3 = 5\ 612\ 500 \cdot 0,3 = 1\ 683\ 750 \text{ тг.}$$

Амортизация офисной мебели составляет 15% от цены:

$$А3 = (765\ 000+198\ 900+62\ 000) \cdot 0,15 = 1\ 025\ 900 \cdot 0,15 = 153\ 885 \text{ тг.}$$

Суммарная амортизация составит:

$$А = А1+А2+А3 = 200\ 413\ 125+1\ 683\ 750+153\ 885 = 202\ 250\ 760 \text{ тг.}$$

б) Затраты на электроэнергию;

Затраты на электроэнергию складываются из затрат на освещение и производственных затрат, так как затраты на освещение существенно меньше производственных затрат примем затраты на освещение как 5 % от производственных затрат.

Затраты электроэнергии на оборудование рассчитывается по формуле

$$C_{ЭЛ..} = W \cdot T \cdot S, \qquad (5.6)$$

где W – потребляемая мощность, W=16,8кВт;

Т – количество часов в год (24·30·12=8640);

S – тариф, равный 1 кВтч=13,2 тг.

Таким образом, затраты на электроэнергию составят

$$С_{ЭЛ.} = 16,8 \cdot 8640 \cdot 13,2 = 1\ 916\ 006,4 \text{ тг.}$$

в) Затраты на материалы;

Затраты на материалы и запасные части принимают в размере 5% от стоимости системы

$$М = 905\ 867\ 325 \cdot 0,05 = 45\ 293\ 366,25 \text{ тг.}$$

Расходы на обслуживание оборудования составили:

$Р_{ОБОРУДОВАНИЕ}$ = 45 293 366,25+202 250 760+1 916 006,4=249 460 132,65 тг

5.11 Расчет накладных расходов

$$Р_{НАКЛАДНЫЕ} = Р_{ОБУЧ} + К_{ПЧ} + К_{КРЫШ} + К_{РЕКЛАМА} + Р_{ПРОЧИЕ} \quad (5.7)$$

а) Расходы на обучение персонала;

Данная сеть строится на базе уже существующих сетей оператора, количество внедренных базовых станций по г.Уральск совпадает с рассчитанным, поэтому нет необходимости в расширении штата, но в связи с тем, что данная технология является уникальной не только по Казахстану, но и по всему миру. Требуется необходимость в повышении квалификации работников службы эксплуатации БС и мониторинга и управления БС.

Таблица 5.6 – Затраты на обучение сотрудников

Наименование	Стоимость в тг.	Количество (4 инженера отдела эксплуатации, 4 инженера отдела мониторинга и управления БС)	Итого
Транспортные расходы (авиабилеты с направлением маршрутов Уральск-Алматы, туда и обратно)	81 000 (цена в два конца для одного человека)	8	648 000
Затраты на семинар	100 000 (для одного сотрудника)	8	800 000
Всего			1 448 000

б) Расходы на аренду полосы частот составляют 150 000 тыс. тенге в год;

в) Аренда крыш для расположения приемо-передающих антенн 120тыс тенге в год за 1 базовую станцию, что составит 125 280 тыс. тг.;

г) Затраты на рекламу, постеры, раздаточный материал составят 75 000 тыс.тг.;

д) Прочие расходы составят 30% от капитальных затрат, то есть 660 347,805 тыс. тг.

Накладные расходы составили:

$$Р_{НАКЛАДНЫЕ} = 1\ 448\ 000 + 150\ 000 + 125\ 280 + 75\ 000 + 660\ 347{,}805 = 2\ 458\ 627{,}805 тг$$

5.12 Расчет ожидаемых годовых доходов

Доходная часть бюджета построена с учетом следующих прогнозов:

- среднемесячный телефонный трафик на 1 клиента составит 800 минут для физических и 500 минут для юридических лиц;
- среднемесячный объем трафика на 1 клиента составит 512 Мбайт при средней стоимости 1 Мбайта 1 тенге для юридических и 512 Мбайт при средней стоимости 1 Мбайта также 1 тенге для физических лиц;
- подключение к услуге (инсталляционных работ) будет предоставляться бесплатно в автоматическом режиме;

– для расчета доходов по телефонному трафику принят среднестатистический тариф – 8 тенге за 1 полную / неполную минуту для юридических и 5 тенге за 1 полную / неполную минуту для физических лиц.

Расчет доходов от предоставления услуг производится по приблизительным тарифам операторов. Согласно статистических данных операторов сотовой связи, услугами предыдущего поколения связи 3G пользуется порядка 30 % всех абонентов, поэтому в рамках данного проекта предположим, что первоначальный охват абонентов составит 20% от количества жителей Уральска. Тогда приблизительная численность абонентов в первый год составит 55 620 абонентов (19 520 абонентов – юридические лица, 36 100 абонентов - физические).

5.13 Доходы от услуг международных/междугородних голосовых звонков

$$Д_{исх} = 12 \cdot N \cdot T_{исх} \cdot t, \quad (5.8)$$

где N– число предполагаемых абонентов сети;

t – среднемесячный телефонный трафик - 5тг;

$T_{исх}$ – предлагаемые тарифы (smart-200 для юрид.,smart-300 для физ. лиц).

От физических лиц

$$Д_{исх.юр} = 12 \cdot 36\,100 \cdot 5 \cdot 300 = 649\,800\,000 \text{ тг};$$

От юридических лиц

$$Д_{исх.физ} = 12 \cdot 19\,520 \cdot 5 \cdot 200 = 234\,240\,000 \text{ тг.};$$

Тогда доход от услуг международной/междугородной телефонии составит

$$Д_{исх} = Д_{исх.юр} + Д_{исх.физ} = 234\,240\,000 + 649\,800\,000 = 884\,040\,000 \text{ тг.}$$

5.14 От услуг доступа в интернет

$$Д_{int} = 12 \cdot N \cdot T_{int} \cdot V_{int}, \quad (5.9)$$

где N – число предполагаемых абонентов сети;

V_{int} – объем трафика;

T_{int} – тариф за 1 Мбайт трафика.

От юридических лиц

$$Д_{int.юр} = 12 \cdot 19\,520 \cdot 1 \cdot 512 = 119\,930\,880 \text{ тг};$$

От физических лиц

$$Д_{int.физ} = 12 \cdot 36\ 100 \cdot 1 \cdot 512 = 221\ 798\ 400 \text{ тг.};$$

Тогда доход от услуг доступа в Интернет составит

$$Д_{int} = Д_{int.юр} + Д_{int.физ} = 119\ 930\ 880 + 221\ 798\ 400 = 341\ 729\ 280 \text{ тг.}$$

н

5.15 От подключения каждого нового абонента к сети

$$Д_{абон} = 12 \cdot N \cdot Т_{абон}, \qquad (5.10)$$

где N – число предполагаемых абонентов сети (39 045);
$Т_{абон}$ – тариф абонентской платы (за интернет в месяц 990 тг).

Тогда доход от подключения абонентов составит

$$Д_{абон} = 12 \cdot 39\ 045 \cdot 990 = 463\ 854\ 600 \text{ тг.}$$

Рассчитаем доход от реализации всех услуг

$$Д_{реал} = Д_{исх} + Д_{int} + Д_{под} = 884\ 040\ 000 + 341\ 729\ 280 + 463\ 854\ 600 = 1\ 689\ 623\ 880 \text{ тг.}$$

Из расчетов видно, что основную долю составляет доход от телефонных разговоров, что в процентном эквиваленте равно 89 %. Услуги от доступа в сеть Интернет составят 11%. (см. рисунок 5.1).

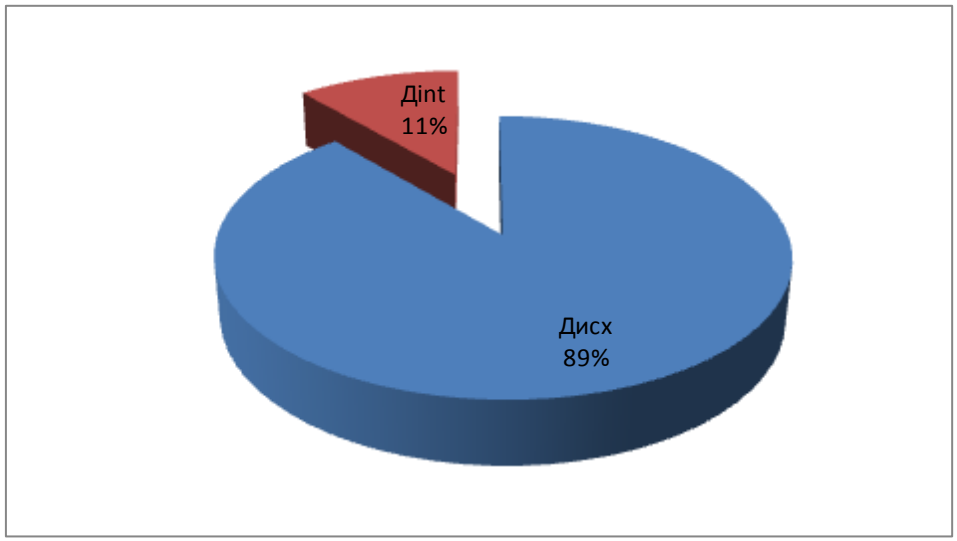


Рисунок 5.1 – Структура доходов от реализации услуг

5.16 Расчет срока окупаемости

Для расчета срока окупаемости необходимо знать величину абсолютной экономической эффективности.

Абсолютная экономическая эффективность определяется как отношение чистого дохода ($Д_{чист}$) к стоимости капитальных вложений:

$$E = \frac{Д_{чист}}{K} \tag{5.11}$$

Доход от реализации:

$$Д_{реализ} = Д – Эр, \tag{5.12}$$

$$Д_{реализ} = 1\,689\,623\,880 – 297\,809\,184{,}455 = 1\,391\,814\,695{,}545 \text{ тг.}$$

Таким образом:

$$Д_{чис} = Д_{реализ} – 0{,}2 \cdot Д_{реализ} = Д_{реализ} \cdot 0{,}8, \tag{5.13}$$

$$Д_{чист} = 1\,391\,814\,695{,}545 \cdot 0{,}8 = 1\,113\,451\,756{,}436 \text{тг}$$

Поэтому

$$Е = Д_{чист} / К = 1\,113\,451\,756{,}436 / 912\,506\,225 = 1{,}22021$$

Расчетный срок окупаемости определяется как величина, обратная абсолютной экономической эффективности:

$$Т = 1 / Е = 1 / 1{,}22021 = 0{,}819 \text{ года} = 8{,}6 \text{ мес.}$$

Вывод

Теоретический срок окупаемости проекта составил чуть более 8,6 месяцев, реальный же срок, необходимый для внедрения, тестирования, запуска сети для применения, на практике составит около года.

Заключение

В дипломном проекте было произведено исследование мобильного стандарта 4G и оценка внедрения этой технологии в рамках стандарта LTE в городе Уральске. В работе было произведено и обосновано параметры систем LTE-технологии. На основании анализа, предпочтение во внедрении было отдано именно этой технологии, т.е. 4G в городе Уральске. Оборудование опорного уровня и базовых станций выбрано eNodeB. Обоснование выбора системы производилось с учетом технических характеристик системы, возможности применения системы, стоимости системы и других факторов. В расчетной части проекта выполнен расчет параметров LTE, WCDMA, UMTS, также расчет эффективно излучаемой мощности мобильной станции и расчет восходящей и нисходящей радиолинии WCDMA. Произведен расчет радиосетей LTE, энергетического бюджета для этой сети.

В разделе безопасности жизнедеятельности были проведены: анализ условий труда обслуживающего персонала, расчет электромагнитной безопасности и расчет заземления антенны.

В экономической части дипломного проекта были произведены: анализ продукции, техническое и экономическое обоснование сети четвертого поколения, расчет накладных ресурсов, расчет ожидаемых годовых доходов и самое главное, представлен бизнес-план проектируемой системы с указанием срока окупаемости проекта.

Список литературы

1. Биккенин Р. Р. Теория электрической связи : учебное пособие для студ. высших учебных заведений / Р. Р. Биккенин, М. Н. Чесноков.—М. : Издательский центр “Академия”, 2010. —336 с.
2. Макаров С. Б. Телекоммуникационные технологии: введение в технологии GSM : учеб. пособие для высш. учеб. заведений / С. Б. Макаров, Н. В. Певцов, Е. А. Попов, М. А. Сиверс.—М. : Издатель-ский центр “Академия”, 2006.—256 с.
3. Волков А. Н. UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения / А. Н. Волков, А. Е. Рыжков, М. А. Сиверс. —СПб. : Издательство “Линк”, 2008.—224 с.
4. Кааринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааринен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен, С. Найан, В. Ниеми. —М. : Техносфера, 2007.—464 с.
5. Попов Е. А. Технология GPRS пакетной передачи данных в сетях GSM : учеб. пособие / Е. А. Попов.—СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008.—182 с.
6. Солонина А. И. Основы цифровой обработки сигналов. Курс лек-ций / А. И. Солонина, Д. А. Упахович, С. М. Арбузов, Е. Б. Соловьёва - СПб. : БХВ - Петербург, 2005. —768 с.
7. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко - СПб. : БХВ —Петербург, 2011.—768 с.
8. Варукина Л.И. Планирование сетей LTE, технические предпосылки объединения операторов. MForum.ru, 2010.
9. http://www.memst.kz/ru/forum/PAGE_NAME=read&FID=10&TID=88
10. http://bookre.org/reader/file=1300247&pg=6 4G: LTE LTE-Advanced for Mobile Broadband (Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold)
11. http://www.freebookcentre.net/mobile-books-download/4G-Wireless-Systems-LTE-Technology-(PDF-Slides-82P).html
12. http://mapsstyle.ru/karta-uralska.html

Приложение А

Расчет параметров WCDMA, LTE

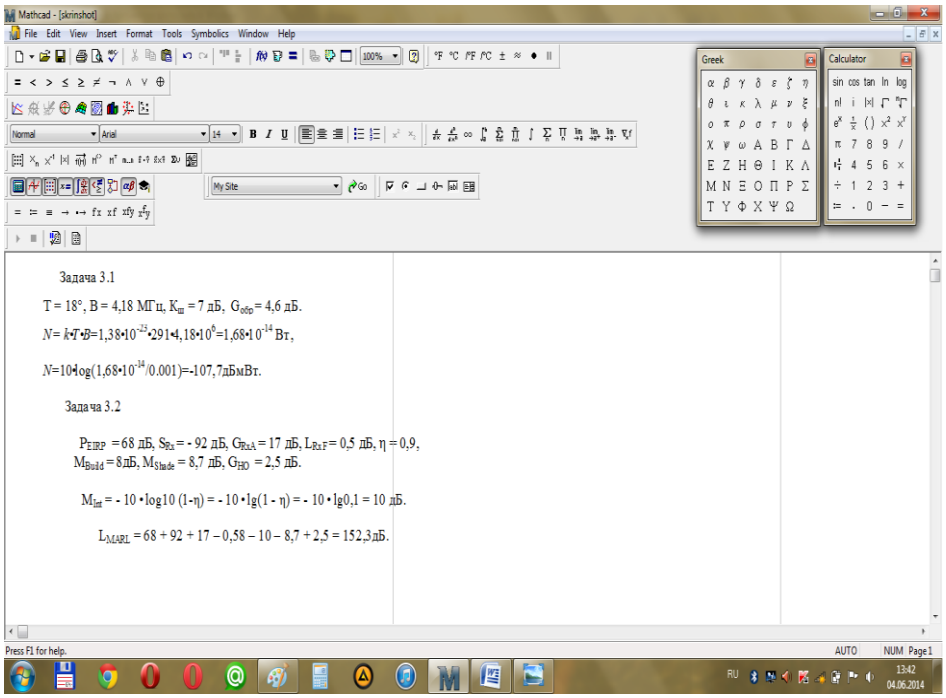


Рисунок А1 – Расчет чувствительности приемника UMTS

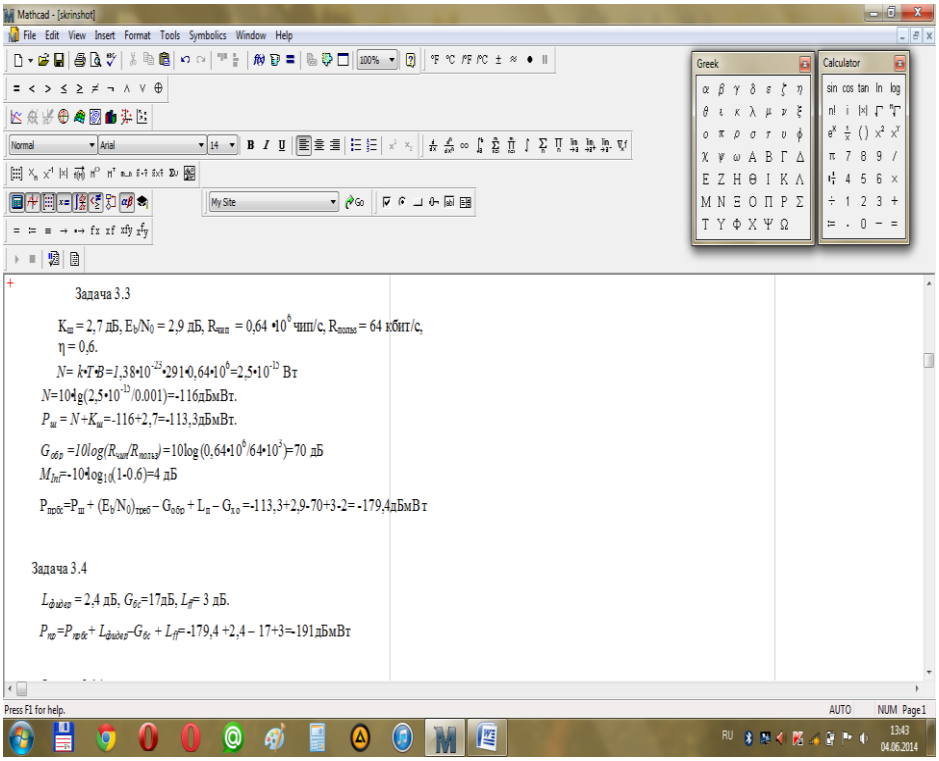


Рисунок А2 – Расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника базовой станции