

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра «Компьютерные технологии»

«Допушен к защите»  
Заведующий кафедрой КТ

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«    » 20 г.  
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проектирование сети беспроводного широко  
полосного доступа города Кентау

Специальность Вычислительная техника и программное обеспечение

Выполнил (а) Келгенбаев Т.К. БВТ<sub>4</sub>-10  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Ержан А.А. доктор ф.н (PhD)  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Ермешева З.Д. с.и.н. профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Ермешева «23» 05 2014 г.  
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Майдарбекова Ж.К. к.т.н. доцент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Май «23» 05 2014 г.  
(подпись)

по применению вычислительной техники:

Ержан А.А.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Ер «24» 05 2014 г.  
(подпись)

Иормоконтролер: Ержан А.А.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Ер «24» 05 2014 г.  
(подпись)

Рецензент: Аржабалов А.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Ар «24» 05 2014 г.  
(подпись)

Алматы 2014 г.

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет „Информационные технологии“  
Специальность „Вычислительная техника и программное обеспечение“  
Кафедра „Компьютерные технологии“

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Келгенбаев Талгат Калобекович  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта „Проектирование сети беспроводного широкополосного доступа города Кентау“

утверждена приказом ректора № 115 от «24» сентября 2013 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. Обзор технологий широкополосной беспроводной связи
2. Концепция LTE
3. Технические требования к построению и функционированию сети LTE
4. Энергетический расчет параметров проектируемой сети
5. Безопасность и надежность
6. Техно-экономические обоснования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)  
в дипломном проекте 39-рисунков, 24-таблиц

#### Рекомендуемая основная литература

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Варукина Л.А., Воскобойн В.П. Сети LTE и LTE Advanced: Архитектура, технологии и регулирование - М.: Эко-Трендз, 2011 - 411 с.
2. Дюсбаев М.К. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела в дипломных проектах - Алматы: АИЭС, 2003 - 27 с.
3. Хакимжанов Т.Е. Безопасность жизнедеятельности. Расчет административных систем. Методические указания к выполнению раздела в дипломных проектах - Алматы АИЭС, 2002.
4. Основы экономики телекоммуникаций (связь): Учебник для вузов / Под ред. Горелик М.А. и Голубицкой Е.А. - М.: Радио и связь, 1997 - 224 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Безопасн. жизнедеят.	Шайдарбекева М.К.	12-22.05.14	Шайдарбекева
Железнодорожная	Брауншварц З.О.	29.04-23.05.14	Брауншварц
Основная часть	Ержан А.А.		Ержан





Бұл дипломдық жобада Кентау қаласына арналған LTE технологиясы негізінде желісіз кең жолақты қосылысты жобалау қарастырылған. 4G стандартының негізгі көрсеткіштерінің салыстырмасы, LTE базалық станциясының құрылымы, LTE желісінің құрылымы мен жұмыс істеуінің талаптары қарастырылды. Жобалау барысында бизнестік жоба жазылды. Және де, дипломдық жобада қауіпсіздік мәселелері қарастырылып, техникалық жақтары айқындалды.

## АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассматривается проектирование сети беспроводного широкополосного доступа для города Кентау, на базе технологий LTE. Были рассмотрены сравнения ключевых показателей технологий стандарта 4G, архитектура базовой станций LTE, требования к построению и функционированию сети LTE. В процессе разработки был составлен бизнес-план. Также, дипломный проект содержит вопросы безопасности жизнедеятельности и освещены технические стороны проекта.

## ANNOTATION

This degree project considers the designing of wireless broadband network access for Kentau City on the basis of the LTE technologies. In this project were considered comparisons of key indexes of 4G standard technologies, architecture of LTE base station, requirements for the construction and functioning of LTE network. The business plan was prepared during the development process. This degree project also includes the issues of life safety and highlights the technical aspects of the project.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7.
<b>1 Описание объекта, выбор технологии беспроводной связи</b>	<b>8.</b>
1.1 Описание объекта для проектирования сети	8.
1.2 Обзор технологий широкополосной беспроводной связи	8.
1.3 Эволюция развития мобильной беспроводной связи (GSM)	11.
1.4 Право называться 4G	13.
1.5 Сравнение ключевых технологий стандарта 4G (LTE и WiMAX)	14.
<b>2 Концепция LTE</b>	<b>18.</b>
2.1 IMT – Advanced	18.
2.2 Архитектура базовой сети LTE (SAE)	18.
2.3 Радио интерфейс сети LTE	22.
2.4 Модуляции в LTE	27.
2.5 Физический уровень LTE	34.
<b>3 Технические требования к построению и функционированию сети LTE</b>	<b>38.</b>
3.1 Основные технические требования к радио интерфейсу сети LTE	38.
3.2 Спектральная эффективность сети LTE	44.
3.3 Использование MIMO в технологии LTE	49.
<b>4 Энергетический расчёт параметров проектируемой сети</b>	<b>54.</b>
4.1 Выбор оборудования	54.
4.2 Планирование радио сети LTE	56.
4.3 Процесс планирования сети LTE	56.
4.4 Расчёт энергетического бюджета	57.
4.5 Расчёт ёмкости проектируемой сети	62.
<b>5 Безопасность жизнедеятельности</b>	<b>66.</b>
5.1 Воздействие излучения на организм человека	66.
5.2 Организационный метод защиты от электромагнитного излучения	67.
5.3 Метод защиты расстоянием	69.
5.4 Охрана окружающей среды на предприятии связи	71.
<b>6 Технико-экономическое обоснование проектирования сети беспроводного доступа в г. Кентау</b>	<b>73.</b>
6.1 Обоснование проектирования широкополосной системы Радиосвязи	73.
6.2 Расчёт капитальных затрат	74.
6.3 Расчёт эксплуатационных расходов	76.
6.4 Расчёт доходов от реализации услуг и прибыли	78.
6.5 Анализ результатов и определение экономического эффекта	79.
Заключение	84.
Литература	85.
Приложение	87.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный мир живет в эпоху стремительного расцвета технологий широкополосной беспроводной связи. Беспроводные цифровые коммуникации, стремительно стартовав, продолжают развиваться весьма быстро. Этому способствует постоянное развитие в микроэлектронике, позволяющий выпускать все более сложные (и при этом все более дешевые) средства беспроводной связи. Бум мобильной связи, сравнимый лишь с ростом производства персональных компьютеров и развитием Интернета, не замедляется уже четверть века. Мобильных телефонов во всем мире уже гораздо больше, чем обычных проводных телефонных аппаратов. Стремительными темпами развиваются локальные и персональные сети, широко внедряются беспроводные сети регионального масштаба.

Резкое увеличение объемов трафика в сетях связи говорит о повышении популярности высокоскоростных сервисов, связанных с передачей мультимедийной информации и видео. Росту трафика в мобильных сетях способствуют популярность смартфонов типа iPhone и ультра компактных персональных компьютеров, а также «мобилизация» популярных сервисов Gmail, YouTube, Google и др. Темпы настолько велики, что могут привести к достижению пика пропускной способности сот систем второго (2G) и третьего (3G) поколений. Не удивительно, что интерес операторов к системам следующего поколения перешел из теоретической плоскости в практическую.

Низкая стоимость, широкие функциональные возможности по передаче данных, телефонии и видеопотоков, быстрота развертывания делают беспроводные сети одним из основных направлений развития телекоммуникационной индустрии.

Задачей моей дипломной работы является выбор беспроводной системы широкополосного доступа, отвечающей современным требованиям к информационным технологиям, технико-экономическое обоснование выбранной мною системы и рассмотрение вопросов по экологии и безопасности жизнедеятельности.

# **1 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА, ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ**

## **1.1 Описание объекта для проектирования сети**

Внедрение новой технологии я опишу на примере городка Кентау. Город Кентау был образован в 1955 году на базе рабочих посёлков Кантаги и Миргалымсай для развития Ачисайского полиметаллического месторождения. В 1971 году был утверждён генеральный план развития городка, согласно которому Кентау был застроен 4-5-этажными домами. Население городка в советское время основным образом составляли выходцы из России - потомки репрессированных: русские, греки, немцы, евреи, чеченцы, корейцы и т. д., а также казахи, узбеки и татары.

В 1959 году в Кентау был основан трансформаторный завод, известный как ведущий казахстанский производитель трансформаторного оборудования широкого применения, поставляемого для всех отраслей экономики, включая электроэнергетику, металлургию, машиностроение, транспорт, нефтегазовый комплекс, жилищно-коммунальный сектор. АО «Кентауский трансформаторный завод» поставляет оборудование подразделениям ЗАО «НК Каз мунай газ», «СНПС-Актобемунайгаз», «Тенгиз шевройл», «Каражан басмунай» осуществляет большой объем поставок специального оборудования различным подразделениям АО «Казакстан Темир Жолы» и ряду других фирм, работающих в различных отраслях промышленности Республики Казахстан. Вся продукция сертифицирована Государственной системой сертификации Российской Федерации №РОСС KZ.ME22. B00378 от 12.08.2004г., Госстандартом Республики Казахстан и имеет сертификаты соответствия, также заводом был получен сертификат соответствия по безопасности № РОСС KZ. MB03.B00501 и Российский сертификат соответствия НИЦ ВВА г. Москва по добровольной сертификации № РОСС KZ. MB03. H00410. Система управления качеством подходит международному стандарту ISO 9001-2000.

Город Кентау находится в 192 километрах от города Шымкент. Площадь города составляет 18 квадратных километров с численностью населения около 83 тысяч человек.

Плотность застройки – в общем средняя, но есть и густонаселённые районы и частный сектор в черте города.

## **1.2 Обзор технологий широкополосной беспроводной связи**

Совершенствование беспроводной связи сопровождается непрерывной сменой технологий, в основе которых лежат стандарты сотовой связи CDMA и GSM, а также стандарты систем передачи данных IEEE 802 (рис.1.1).



Исторически технологии беспроводной связи формировались по двум независимым направлениям – системы передачи данных (WiMAX, Wi-Fi) и системы сотовой связи (телефонная связь).

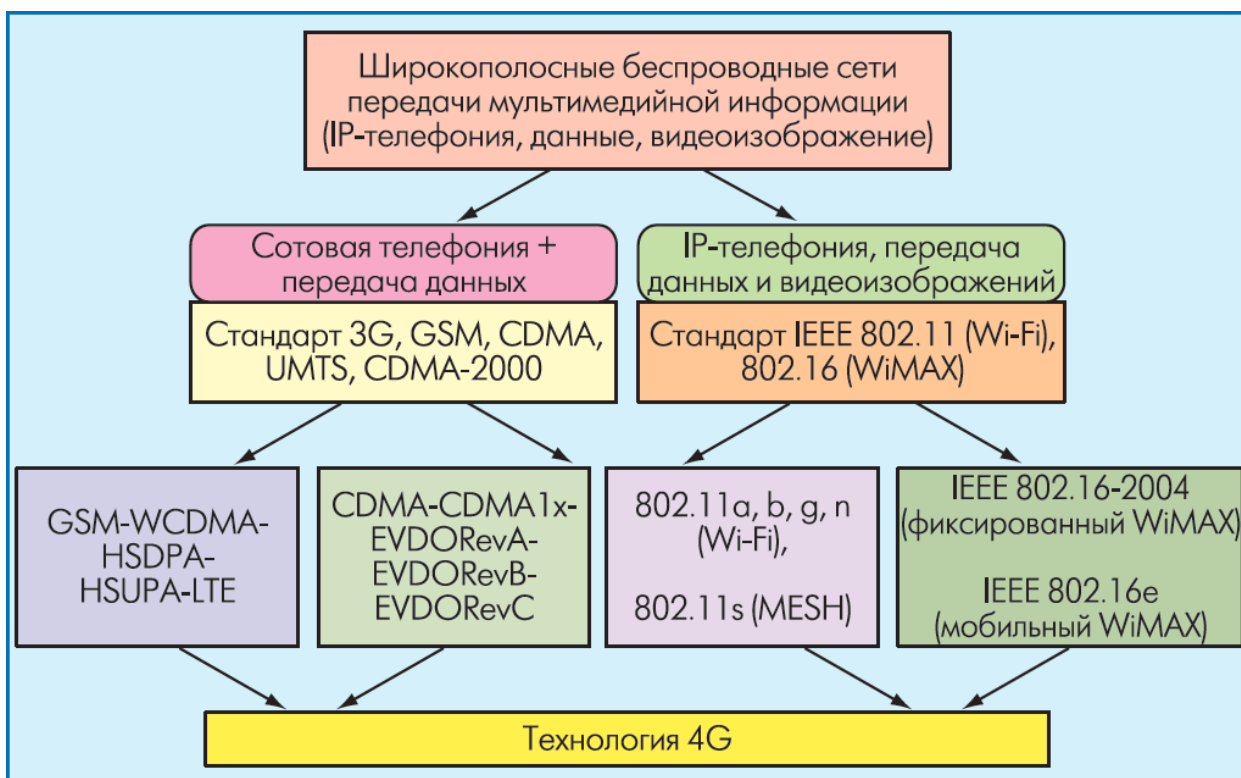


Рисунок 1.1 - Основные направления развития технологии широкополосной связи

Но в последнее время наблюдается очевидная тенденция к соединению этих функций. Вдобавок, объем пакетных данных в сетях сотовой связи третьего поколения (3G) уже превышает объем голосового трафика (рис. 1.2.), что связано с внедрением технологий HSPA [2]. В свою очередь, новейшие сети передачи информации обязательно обеспечивают заданный уровень качества услуг (QoS) для разных типов трафика. Осуществляется поддержка приоритезации отдельных потоков информации, притом, как на сетевом/транспортном уровнях (на уровне TCP/IP), так и на MAC-уровне (стандартов IEEE 802.16).

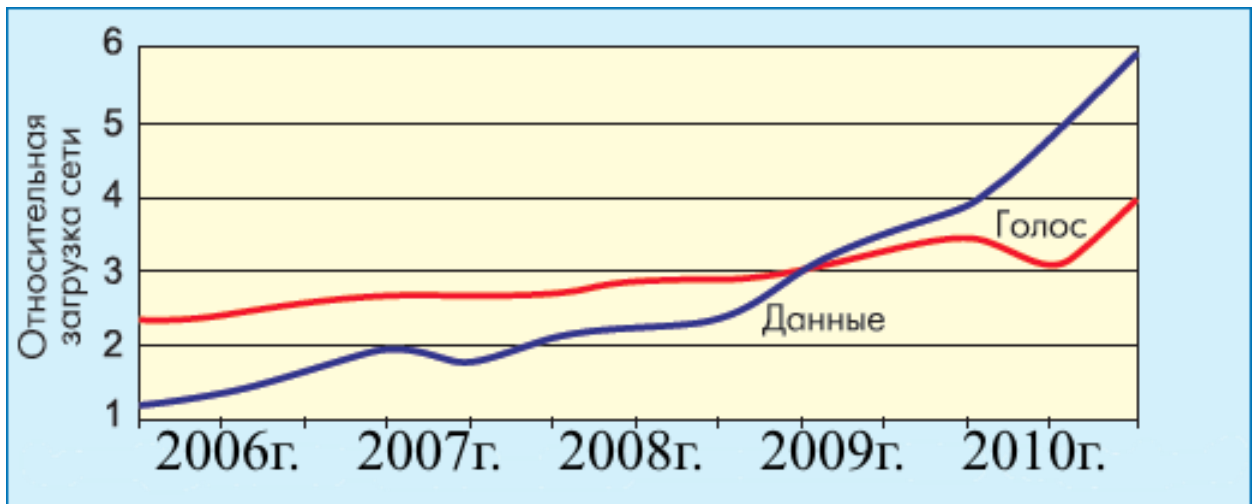


Рисунок 1.2 - Соотношение объемов трафика голоса и данных в сетях WCDMA

Это разрешает применять их для передачи мультимедийной информации, оказания услуг голосовой связи и т.п. В связи с этим само понятие сетей следующего, четвертого, поколения (4G) неразрывно связано (если не синонимично) с творением универсальных мобильных мультимедийных сетей передачи информации. На данный момент две группы технологий очевидно нацелены на оказание универсальных услуг связи. Это WiMAX (как совершенствование линии IEEE 802) и технологии сотовой связи поколений "супер 3G". Причем каждая из них занимает свою нишу на безграничном рынке беспроводной связи.

Технология крепленного WiMAX (IEEE 802.16-2004) не оправдала возлагавшихся на нее надежд по быстродействию, объему зоны покрытия и ценовым характеристикам. Но операторы справедливо ожидают качественного прорыва от мобильного WiMAX (IEEE 802.16e), который уже начал энергично внедряться во всех странах мира, в том числе Россию.

Технологии 3G уже больше применяются операторами сотовой связи во всем мире. Они развиваются по двум направлениям – линия UMTS (WCDMA) и линия CDMA (cdma2000). Например, российский сотовый оператор "МегаФон" в Санкт-Петербурге начал коммерческую эксплуатацию сети из 450 базовых станций на основе технологии UMTS/HSPA.

Мегафон предоставляет услуги широкополосного мобильного доступа в Интернет на базе технологии 3G в восьми больших городках России. Еще раньше ОАО "Московская Сотовая Связь" под торговой маркой "Скай Линк" развернуло сети по технологии CDMA2000 1X EV-DO в диапазоне 450 МГц на территории 31 субъекта РФ [1].

Однако требования конечных пользователей к предоставляемым услугам (рис. 1.3.) неизменно повышаются. Мобильные сети должны применяться не только для сотовой связи, но и для передачи видео, мобильного ТВ, музыки и работы с Интернетом с большими скоростями и качеством передачи.

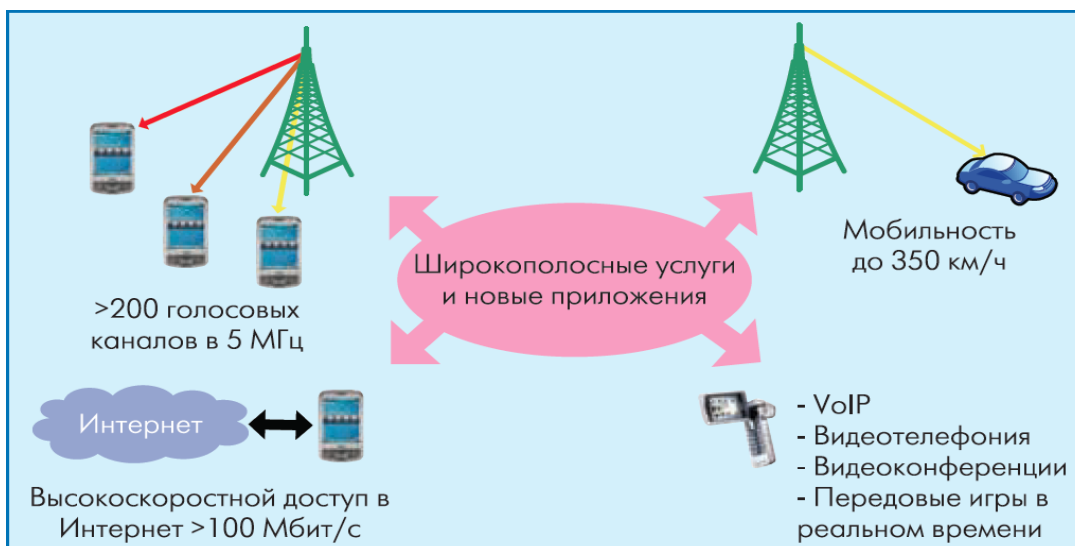


Рисунок 1.3 - Услуги широкополосного мобильного доступа

Именно с этой целью в рамках проекта сотрудничества в творений сетей следующего поколения 3GPP (3G Partnership Project) была начата разработка технологии LTE.

### 1.3 Эволюция развития мобильной беспроводной связи (GSM)

В конце 1990-х с целью совершенствования спецификаций для технологий GSM был образован 3GPP (**3rd Generation Partner ship Project**) – организация, ответственная за разработку, поддержку и совершенствования семейства стандартов GSM. GSM (от названия группы Groupe Spécial Mobile, позже переименован в Global System for Mobile Communications) (русск. СПС-900) — глобальный цифровой стандарт для мобильной сотовой связи, с разделением частотного канала по принципу TDMA и средней степенью безопасности. Изобретен под эгидой Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI) в конце 80-х годов.

С того времени все стандарты, связываемые с технологией GSM разрабатываются и обслуживаются 3GPP (табл. 1.1.). 3GPP, как предполагает его имя, состоит из ряда партнеров. Эти партнеры представляют собой организации по стандартизации, расположенные по всему миру и отвечающие за: одобрение и обслуживание граней действия 3GPP, выделение ресурсов, и работу в качестве апелляционного органа по процедурным вопросам.

Изначально, GSM разрабатывалась в качестве сети с коммутацией каналов, которая отлично подходит для передачи звука, но совсем не подходит для передачи данных. Все изменилось с принятием General Packet Radio Service (GPRS) стандарта, теперь обслуживаемый 3GPP, как и все остальные GSM стандарты. GPRS предоставил способ пересылки пакетов по сети GSM, и его часто описывают, как 2,5G стандарт.

Способы передачи данных по сетям GSM продвинулись еще дальше с принятием стандарта Enhanced Data Rates for GSM Evolution, также

общеизвестного как EDGE. Представленная в 2003 технология EDGE обеспечивает втрое более большую производительность по сравнению с GPRS и сама по себе является 3G технологией, основанной на ITU спецификациях для 3G.

Способы передачи данных были еще больше улучшены с выпуском очередного 3G стандарта от 3GPP под названием High Speed Packet Access (HSPA). Сети EDGE в теории обеспечивали быстроту нисходящей передачи данных (down link data rate) до 1 МБ/с, тогда как HSPA сети теоретически могли обеспечивать нисходящей передачи данных до 14 МБ/с. Поэтому HSPA сети должны были обеспечивать больший прирост нисходящей скорости передачи данных; однако на практике это не подтвердилось. К примеру, в начале 2009 года организация Vodafone провела тест HSPA+ сети, обещавшей нисходящую быстроту обмена данными до 16 МБ/с, однако они признали, что большинство пользователей получит быстроту загрузки, не превышающую 4 МБ/с.

HSPA+, также общеизвестная под названием Evolved HSPA, является расширением начального стандарта HSPA и обеспечивает теоретически вероятную быстроту загрузки данных до 56 МБ/с. Добавочным аспектом технологии HSPA+ стала необязательная архитектура all-IP. Архитектура all-IP является главной инновацией в отрасли беспроводных телекоммуникаций, а также необходимым элементом для LTE. HSPA+ также применяет антенную технологию под названием Multiple Input/Multiple Output (MIMO). Как и all-IP архитектура, MIMO являет собой технологию, также применяемой в LTE.

Итак, если взглянуть на то, с чего начинали технологии GSM, как сеть с коммутацией каналов, предназначенная для эффективных голосовых приложений большей мобильности, и где они находятся сегодня с EDGE, HSPA и HSPA+, становится очевидно, что 3GPP прогрессивно развивало GSM стандарт, чтобы сделать его стандартом обмена данными большой мобильности (к этим данным звук тоже относится). Наряду с неизменным и большим увеличением скорости обмена данными, 3GPP также представила большие изменения архитектуры, нужные для осуществления их задачи по достижению максимальных вероятностей GSM в третьем поколении и переходе к четвертому поколению [3].

Таблица 1.1 - Поколения мобильной телефонии

Стандарт МСЭ	Технологии
0G	PTT • MTS • IMTS • AMTS • Mobitex • Autotel/PALM • ARP
1G	NMT • AMPS • Hicap
2G	GSM • iDEN • D-AMPS • IS-95 • PDC • CSD • GPRS • HSCSD • WiDEN
2.75G	EDGE/EGPRS • CDMA2000 (1xRTT)
3G	UMTS (W-CDMA • FOMA) • CDMA2000 (1xEV-DO/IS-856) • TD-SCDMA • WiMAX
3.5G	UMTS (HSPA • HSDPA • HSUPA) • CDMA2000 (EV-DO Rev.A)
3.75G	UMTS (HSPA+) • CDMA2000 (EV-DO Rev.B/3xRTT)
4G	WiMAX • LTE
5G	не утверждён

#### Доступ в Интернет (технологии передачи данных)

Проводные	xDSL • DOCSIS • Ethernet • FTTh • PON • Коммутируемый доступ • ISDN • Связь по ЛЭП
Беспроводные	Wi-Fi • iBurst • DECT • WiBro/WiMAX • UMTS-TDD • HSPA • EV-DO • Спутник • LTE • Wireless USB • GPRS • EDGE • WiGig

### 1.4 Право называться 4G

На данный момент за приоритетное право именоваться связью 4G соперничают: технология Wimax (основана на стандарте IEEE 802.16e) и мобильный протокол передачи данных 3GPP Long Term Evolution (LTE).

Основная технология 4G – OFDM (ортогональное частотное уплотнение).

Существует много разных мнений о будущем сетей 4 поколения: выбор остановился между мобильным WiMAX и LTE, хотя в последнее время все больше организаций мобильного сектора дают предпочтение именно последнему.

Long Term Evolution (LTE) также является собой 3G-стандарт беспроводного широкополосного доступа, LTE – последний стандарт семейства GSM, развитый на основе GSM на базе архитектур от коммутации каналов до All-IP. После стандарта General Packet Radio Service (GPRS), в том числе и стандарты Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) и High Speed Packet Access (HSPA), стандарты GSM постепенно, но неумолимо, переходят к архитектуре All-IP.



## 1.5 Сравнение ключевых технологий стандарта 4G (LTE и WiMAX)

Данное сравнение составлено по материалам WiMAX-форума и на мой взор, это достаточно объективные данные. Системы с технологией HSPA (3GPP релиз 6) коммерчески доступны с 2007 года. Технология предполагает частотное дуплексирование (FDD) с шириной каждого дуплексного канала 5 МГц. В нисходящем канале применяется модуляция QPSK либо 16-QAM, двойное пространственное разнесение на приеме ( $1 \times 2$  SIMO), пиковая быстрота 14 Мбит/с. В восходящем канале модуляция BPSK либо QPSK, антенная конфигурация  $1 \times 2$  SIMO пиковая скорость 5,8 Мбит/с.

В то же время на рынке были системы WiMAX (релиз 1.0) с временным дуплексированием (TDD). При схожей ширине полосы 10 МГц они обеспечивали быстрота в нисходящем канале в 2–3 раза большую чем у HSPA, поскольку в WiMAX при TDD всеобщая пропускная способность динамически распределяется между нисходящим и восходящим каналами, истинное значение привести невозможно.

Следующим шагом в эволюции систем HSPA являются технологии HSPA+ (HSPA релиз 7 и отдельные поправки релиза 8). Системы HSPA+ стали доступны в конце 2008 года. В нисходящем канале их отличает модуляция 64-QAM с SIMO ( $1 \times 2$ ) или 16-QAM с MIMO ( $2 \times 2$ ). В восходящем канале добавлена модуляция 16-QAM и улучшены вероятности для VoIP. Поправки в соотношений с релизом 8 (внедрение ожидается не ранее 2009 года) разрешают применять в нисходящем канале режим MIMO ( $2 \times 2$ ) с модуляцией 64-QAM, рассматривается вероятность использования MIMO больших порядков в нисходящем канале и MIMO ( $2 \times 2$ ) — в восходящем канале.

Сравнивая HSPA+ и мобильный WiMAX (табл. 1.2.), можно сделать следующие выводы: Мобильный WiMAX (релиз 1.5) имеет сравнимые с HSPA+ (релиз 8) пиковая быстрота в нисходящем канале при одинаковых модуляции, скорости кодирования и ширине канала. При этом у мобильного WiMAX в восходящем канале пиковая быстрота больше в 2 – 3 раза. [4]

Таблица 1.2. - Сравнение параметров реальных систем LTE (по отчетам производителей; и мобильного WiMAX (релиз 1.5) в одинаковых частотных условиях при FDD с полосами 2×20 МГц

Параметры	LTE			WiMAX Релиз 1.5	
	Motorola	T-Mobile	Qualcomm		
Нисходящий канал					
Антенна БС	2×2 4×4	2×1	4×2	2×2	4×4
Модуляция и скорость кодирования					
	64-QAM, 5/6	64-QAM, 5/6	64-QAM	16-QAM, 3/4	64-QAM, 5/6
Скорость, Мбит/с	117 и/или 226	114	277	289	
Восходящий канал					
Антенна АС		1×2	1×2	1×2	
Модуляция и скорость кодирования					
	-	64-QAM	16-QAM	64-QAM, 5/6	
Скорость, Мбит/с		50.1	75	69,1	

Системы HSPA + ограничены шириной канала 2×5 МГц в традиционных спектральных условиях сетей 3G. Мобильный WiMAX поддерживает ширину канала до 20 МГц, как частотное, так и временное дуплексирование. Его частотные профили планируются в диапазонах 700, 1700, 2300, 2500 и 3500 МГц. Мобильный WiMAX обеспечивает «гладкую» IP-сеть - e2e или P2P (из конца в конец).

Сетевая архитектура полностью IP-сеть. В системе LTE применяются технологии и методы, уже используемые в мобильном WiMAX, поэтому следует ожидать схожей эффективности систем LTE (табл. 1.2. и 1.3.).

Таблица 1.3 - Сравнение ключевых параметров LTE и WiMAX

Параметр	Мобильный WiMAX (IEEE 802.16e – 2005)	3GPP-LTE (E-UTRAN)
Тип сети	WiMAX Forum ALL-IP network	UTRAN, движущийся в направлении к All-IP Evolved UTRA CN с IMS
Технология множественного доступа: Прямой канал (DL) Обратный канал (UL)	OFDMA OFDMA	OFDMA SC-FDMA
Рабочий диапазон частот	2,3 – 2,4 ГГц, 2,496 – 2,69 ГГц 3,3 – 3,8 ГГц	Новые частотные диапазоны (около 2 ГГц)
Битовые скорости: DL UL	75 Мбит/с (MIMO 2TX x 2RX) 25 Мбит/с	100 Мбит/с (MIMO 2TX x 2RX) 50 Мбит/с
Ширина полосы радиоканала	5; 8,75; 10 МГц	1,25 – 20 МГц
Радиус ячейки	2 – 7 Км	5 Км
Емкость ячейки (количество обслуживаемых абонентов)	100 – 200 пользователей	Более 200 пользователей при полосе 5 МГц Более 400 пользователей при большей полосе
Спектральная эффективность	3,75 бит/сек/Гц	5 бит/сек/Гц
Мобильность: Скорость перемещения Переходы из ячейки в ячейку	До 120 Км/ч Жестко регламентированы	До 250 Км/ч Гибкость перехода из ячейки в ячейку
Наследуемые стандарты	От IEEE 802.16a до 16d	GSM/GPRS/EGPRS/UMTS/HSPA
Параметры MIMO: DL UL Количество кодовых слов	2TX x 2RX 1TX x NRX (включает SM) 1	2TX x 2RX 2TX x 2RX 2
Стандартизация	IEEE 802.16e-2005 PHY и MAC CN стандартизован Форумом WiMAX	RAN (PHY + MAC) + CN
Роуминг	Новый (разработан Форумом WiMAX)	Автоматический (разработан для GSM/UMTS)
Прогноз внедрения: Законченный стандарт Начало внедрения Массовый выпуск	2005 Период с 2007 по 2008 2009	2007 2010 2012

В эволюции систем 3GPP следующим шагом, причем стратегическим шагом, являются системы Long Term Evolution (LTE). Их отличает технология OFDMA – в нисходящем канале и SC-FDMA — в восходящем. Модуляция — до 64-QAM, ширина канала — до 20 МГц, дуплексирование TDD и FDD. Применены адаптивные антенные системы, эластичная сеть доступа.

Следует отметить, что системы LTE это революционное улучшение 3G. LTE являет переход от систем CDMA к системам OFDMA, а также переход к полностью IP-системе с коммутацией пакетов. Поэтому внедрение этой технологии на существующих сетях сотовой связи означает, как минимум,

необходимость новых радиочастотных ресурсов для получения преимущества от большого канала. Кроме того, для обеспечения обратной совместимости нужны двухрежимные абонентские устройства. Поэтому плавный переход от систем 3G к LTE весьма затруднителен.

Учитывая изложенное, в данной дипломной работе, в качестве сети широкополосного беспроводного доступа, как наиболее перспективная технология, будет более подробно рассматриваться технология LTE.

## 2 Концепция LTE

### 2.1 IMT – Advanced

**3GPP Long Term Evolution (LTE)** — название технологии мобильной передачи данных. Проект 3GPP является собой стандарт по развитию технологий CDMA, UMTS для удовлетворения грядущих потребностей в скорости передачи данных.

Стандарт 3GPP LTE, под которым чаще всего имеется вследствие его релиз 9 и более ранние, формально, не является собой стандарт беспроводной связи 4G, однако стандарт LTE-Advanced, под которым подразумевается релиз 10 и более поздние релизы стандарта LTE, утвержден Международным Союзом Электросвязи как стандарт беспроводных сетей, отвечающий всем требованиям беспроводной связи четвертого поколения, и включен в IMT-Advanced. Все имеющиеся на данный момент внедрения сетей LTE относятся к Release 8, 9. Первоначально 3GPP LTE не относился к 4G - четвертому поколению беспроводной связи, так как он не удовлетворял всем условиям Международного Союза Электросвязи относительно 4G, однако позже было разрешено использование этого обозначения, и стандарт 3GPP LTE стали относить к pre-4G, то есть предварительной разновидности стандартов 4-го поколения. Вместе со стандартом WiMAX Release 2, или просто WiMAX 2, что чаще применяется как название стандарта, (стандарт IEEE 802.16m) LTE Advanced являются на данный момент всеми стандартами, утвержденными в IMT-Advanced.

### 2.2 Архитектура базовой сети LTE (SAE)

**SAE** (англ. **System Architecture Evolution** — эволюция системной архитектуры) это архитектура ядра сети, изобретенное консорциумом 3GPP для стандарта беспроводной связи LTE.

SAE является эволюционным продолжением ядра сети GPRS, с некоторыми отличиями:

- целиком построена на IP (**All IP Network** — **AIPN**) — Первые концепции 3G были изобретены, с тем, что звук так же передается по системе с коммутацией каналов. С тех пор наблюдался переход к IP-сетям. Соответственно архитектура SAE построена на базе IP-сети.

- упрощенная архитектура — архитектура SAE снижает эксплуатационные и капитальные расходы. Новая, ровная модель, означает, что понадобится повысить пропускную способность узлов только двух типов (базовых станций и шлюзов), чтобы они справились с трафиком в случае его высокого роста.

- обеспечивает меньшую задержку RAN — с увеличением требуемых уровней взаимодействия и более быстрых ответов, концепция SAE обеспечит уровень задержки в районе 10 мс.



- обеспечивает большую пропускную способность на сети радиодоступа (**radio access network — RAN**) — предполагается, что нисходящий канал (**Down Link**) будет со скоростью свыше 100 Мбит/с, и главное внимание системы будет сосредоточено на мобильности полосы пропускания, от сети понадобится поддерживать гораздо больше уровней данных.
- поддерживает мобильность между несколькими гетерогенными RAN, включающим поддержку, как систем типа GPRS, так и не-3GPP систем (например WiMAX)

Построение конкурентной технологии построения сетей мобильной связи на основе сетей мобильной связи WIMAX (стандарт IEEE 802.16e) активизировало усилия участников проекта 3GPP по разработке на основе технологии OFDM эволюционного варианта сети UMTS, названного LTE.

Сеть LTE состоит из двух важнейших компонентов: сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE (System Architecture Evolution), которые интегрируются в сеть GPRS.

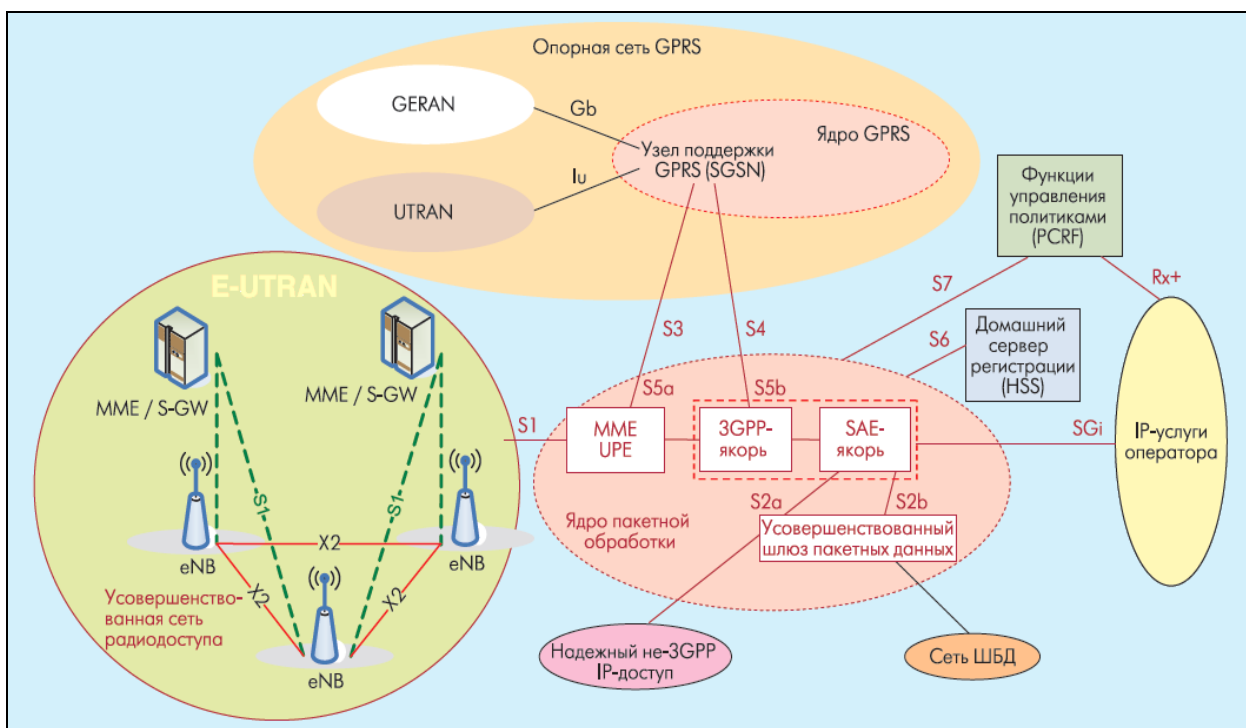


Рисунок 2.1 - Взаимодействие сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE.

Главными требованиями проекта 3GPP к сети SAE были: максимально вероятное упрощение структуры сети и исключение дублирующих функций сетевых протоколов, характерных для систем UMTS.

Сеть радиодоступа E-UTRAN рассмотрена в ряде технических спецификаций, согласно которым она состоит только из базовых станций eNB (evolved Node B). Базовые станции eNB являются элементами полносвязной сети E-UTRAN и соединены между собой по принципу «каждый с каждым» при помощи интерфейса X2. Интерфейс X2 поддерживает хэндовер мобильного терминала в состоянии LTE-ACTIVE. Каждая базовая станция имеет интерфейс S1 с базовой сетью SAE, построенной по принципу коммутации пакетов.

Главным компонентом архитектуры SAE является собой **Evolved Packet Core (EPC) – ядро пакетной обработки**. EPC прислуживает эквивалентом сети GPRS. Компонентами EPC являются [1]:

**Mobility Management Entity (MME)** — узел управления мобильностью. Предназначен для осуществления «эстафетной передачи» (хэндовера) между базовыми станциями сети LTE, а также сетей второго и третьего поколений данного оператора. **MME** — это ключевой контролирующий модуль для сети доступа LTE. Он отвечает за процесс обеспечения мобильности, хэндовера, слежения и пейджинга **UE (Пользовательского Устройства — User Equipment)**. Он участвует в процессах активации/деактивации сетевых ресурсов и так же отвечает за отбор SGW для UE при первоначальном подключении и при хэндовере внутри LTE со сменой узла Ядра Сети (Core Network — CN). Он отвечает за аутентификацию пользователя (при взаимодействии с HSS). Сигнализация Слоя Без Доступа (Non-Access Stratum — NAS) оканчивается в MME и данный узел так же отвечает за генерацию и распределение временных идентификаторов для UE. Он проверяет авторизацию UE для доступа к сервис-провайдерам мобильных сетей (Public Land Mobile Network — PLMN) и использует роуминговые ограничения для UE. MME является заключительной точкой сети для шифрования/защиты целостности сигнализации NAS и отвечает за управление безопасностью. Узаконенный перехват сигнализации так же обеспечивается MME. MME предоставляет плоскость функций контроля для обеспечения мобильности между LTE и сетями доступа 2G/3G через интерфейс S3 установленный к MME от SGSN. MME так же соединен интерфейсом S6 с домашним HSS для роуминга UE.

**Serving SAE Gateway** или просто **Serving Gateway (SGW)** — обслуживающий шлюз сети LTE. Предназначен для обработки и маршрутизации пакетных данных поступающих из/в подсистему базовых станций. По сути, заменяет MSC, MGW и SGSN сети UMTS. SGW имеет прямое соединение с сетями второго и третьего поколений того же оператора, что упрощает передачу соединения в /из них по причинам ухудшения зоны покрытия, перегрузок и т.п. SGW маршрутизирует и направляет пакеты с пользовательскими данными, в то же время выполняя роль узла управления мобильностью (mobility anchor) для пользовательских данных при хэндовере между **базовыми станциями (eNodeB)**, а так же как узел управления

мобильностью между сетью LTE и сетями с иными технологиями 3GPP. Когда UE свободен и не занят вызовом, SGW проключает **нисходящий канал данных (Down Link — DL)** и производит пейджинг, если требуется передать данные по DL в направлении UE. Он управляет и сохраняет состояния UE (например требования по пропускной способности для IP-сервисов, внутреннюю информацию по сетевой маршрутизации). Он так же предоставляет копию пользовательских данных при узаконенном перехвате.

**Public Data Network (PDN) SAE Gateway** или просто **PDN Gateway (PGW)** — (**Пакетный шлюз — Packet Data Network Gateway**) шлюз к/от сетей прочих операторов. Если информация (голос, данные) передаются из/в сети данного оператора, то они маршрутизируются именно через PGW. Пакетный шлюз обеспечивает соединение от UE к внешним пакетным сетям данных, являясь точкой входа и выхода трафика для UE. UE может иметь одновременно соединение с более чем одним PGW для подключения к нескольким сетям. PGW выполняет функции защиты, фильтрации пакетов для каждого пользователя, поддержку биллинга, узаконенного перехвата и сортирование пакетов. Иная значительная роль PGW — являться узлом управления мобильностью между 3GPP и не-3GPP технологиями, такими как WiMAX и 3GPP2 (CDMA 1X и EvDO).

**Home Subscriber Server (HSS)** — сервер абонентских данных. HSS является собой объединение VLR, HLR, AUC выполненных в одном устройстве.

**Policy and Charging Rules Function (PCRF)** — узел выставления счетов абонентам за оказанные услуги связи. Это - всеобщее название для устройств в рамках SAE EPS, которые отслеживают поток предоставляемых услуг, и обеспечивают тарифную политику. Для приложений, требующих контроль или начисление платы в режиме настоящего времени, может применяться **запасной сетевой элемент под названием Applications Function (AF)**. [14]

Логический элемент MME (Mobility Management Entity) отвечает за решение задач управления мобильностью абонентского терминала и взаимодействует с базовыми станциями eNB сети E-UTRAN с помощью протоколов плоскости управления S-plane (интерфейс S1-C). Логический элемент UPE (User Plane Entity) отвечает за передачу данных пользователей согласно протоколам плоскости пользователя U-plane и взаимодействует с eNB посредством интерфейса S1-U.

Благодаря интерфейсу S1 базовые станции соединены с несколькими узлами MME/UPE, что разрешает более эластично применять сетевой ресурс. Такой интерфейс именуют S1-flex.

Сеть LTE имеет следующие функциональные отличия от сети UMTS:

1. Базовые станции eNB выполняют функции управления радио ресурсами (Radio Bearer Control), управление доступом (Radio Admission Control), управление мобильностью (Connection Mobility Control), динамическое распределение ресурсов (Dynamic Resource Allocation). Таким образом, в сети радио доступа E-UTRAN базовые станции eNB управляют

протоколами радио интерфейса, комбинируя выполнение функций базовых станций NodeB и большинство функций контроллера RNC сети UMTS.

2. Сетевой элемент управления мобильностью MME отвечает за распределение сообщений вызова (paging) к базовым станциям eNB. Кроме того, MME управляет протоколами плоскости управления: назначения идентификаторов абонентских терминалов, обеспечения безопасности сети, проверки подлинности сообщений абонентов и управления роумингом.

Сетевой элемент плоскости пользователя UPE выполняет сжатие заголовков IP-протоколов, шифрование потоков данных, терминацию пакетов данных плоскости пользователя. Кроме того, UPE управляет протоколами пользовательского уровня, например, хранением текущего статуса абонентского терминала (AT), прерыванием состояния LET-IDLE на уровне абонентских терминалов.

### 2.3 Радио интерфейс сети LTE

LTE базируется на трех главных технологиях: мультиплексирование посредством ортогональных несущих OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), много антенные системы MIMO (Multiple Input Multiple Output) и эволюционная системная архитектура сети (System Architecture Evolution).

Принципиально, что дуплексное разделение каналов может быть, как частотным (FDD), так и временным (TDD). Это разрешает операторам очень эластично применять частотный ресурс. Такое решение раскрывает путь на рынок тем организациям, которые не обладают спаренными частотами. С иной стороны, поддержка FDD очень комфортна для традиционных сотовых операторов, поскольку у них спаренные частоты есть "по определению" – так организованы практически все существующие системы сотовой связи. Сама же по себе система FDD существенно более эффективна в плане использования частотного ресурса, чем TDD, – в ней меньше накладных расходов (служебных полей, промежутков и т.п.).

Обмен между базовой станцией (БС) и мобильной станцией (МС) строится по принципу циклически повторяющихся кадров (в терминологии LTE – радио кадр) [9]. Длительность радио кадра – 10 мс. Все временные параметры в спецификации LTE привязаны к минимальному временному кванту  $T_s = 1 / (2048 \cdot \Delta f)$ , где  $\Delta f$  – шаг между под несущими, стандартно – 15 кГц. Таким образом, длительность радио кадра –  $307200T_s$ . Сам же квант времени подходит тактовой частоте 30,72 МГц, что кратно стандартной в 3G-системах (WCDMA с полосой канала 5 МГц) частоте обработки 3,84 МГц ( $8 \times 3,84 = 30,72$ ).

Стандарт LTE предполагает два типа радио кадров. Тип 1 предназначен для частотного дуплексирования – как для полного дуплекса, так и для полу дуплекса. Такой кадр состоит из 20 слотов (длительностью 0,5 мс), нумеруемых от 0 до 19.

Два смежных слота образуют суб кадр (рис. 2.2.). При полнодуплексном режиме радио кадры в восходящем и нисходящем каналах передаются параллельно, но с оговоренным в стандарте временным сдвигом.

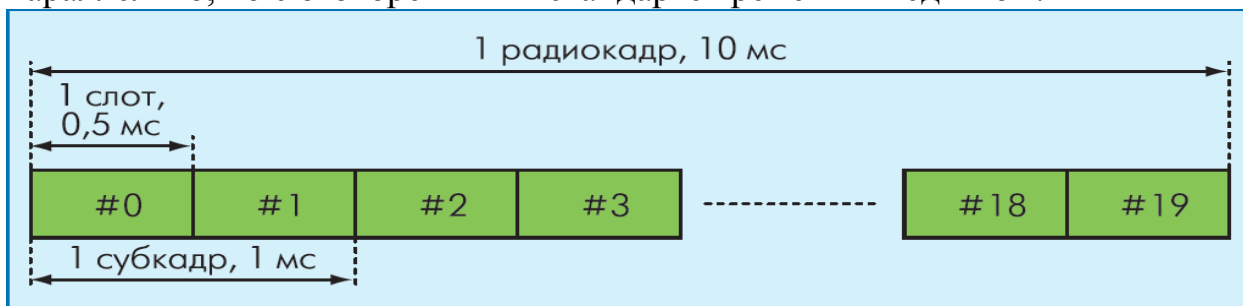


Рисунок 2.2 - Структура кадра LTE при частотном разделении дуплексных каналов

Радио кадр типа 2 (рис. 2.3.) предназначен только для временного дуплексирования. Он состоит из двух полу кадров длительностью по 5 мс. Каждый полу кадр содержит 5 суб кадров длительностью 1 мс.

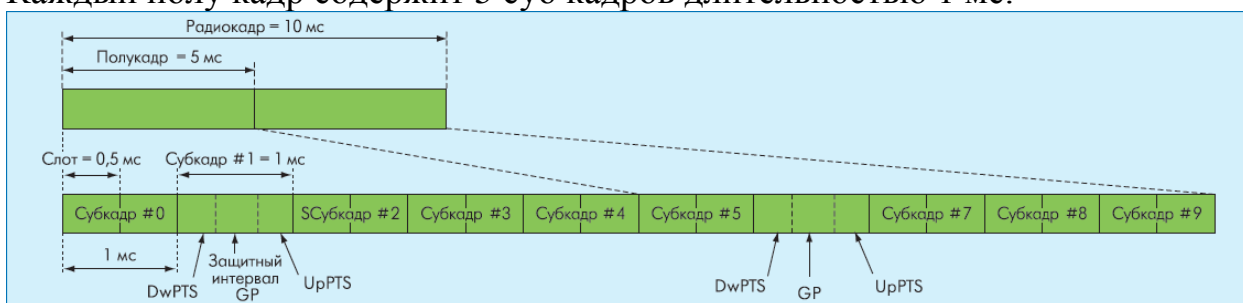


Рисунок 2.3 - Структура кадра LTE при временном разделении дуплексных каналов

Стандарт предполагает два цикла временного дуплексирования – 5 и 10 мс. В первом случае 1-й и 6-й суб кадры идентичны и содержат служебные поля DwPTS, UpPTS и защитный промежуток GP. При 10-мс цикле TDD 6-й суб кадр применяется для передачи данных в нисходящем канале. Суб кадры 0 и 5, а также поле DwPTS всегда относятся к нисходящему каналу, а суб кадр 2 и поле UpPTS – к восходящему. Распределение остальных суб кадров определяется по таблице 2.1, где D – нисходящий канал, U – восходящий, S – суб кадр со особыми полями.



Таблица 2.1 - Распределение суб кадров в радио кадре типа 2

Конфигурация	Цикл TDD, мс	Номер субкадра									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Вероятно несколько вариантов длительности полей DwPTS, UpPTS и GP, но их сумма всегда равна 1 мс.

Как уже отмечалось, в LTE применяется модуляция OFDM, хорошо исследованная в системах DVB, Wi-Fi и WiMAX [1]. Напомним, технология OFDM предполагает передачу широкополосного сигнала посредством независимой модуляции узкополосных под несущих типа:

$$S_k(t) = a_k \cdot \sin [2\pi (f_0 + k\Delta f)]$$

Расположенных с определенным шагом по частоте  $\Delta f$ . Один OFDM-символ содержит набор модулированных под несущих. Во временной области OFDM-символ содержит поле данных (полезная информация) и так именуемые циклический префикс CP (Cyclic Prefix) – повторно передаваемый фрагмент конца предыдущего символа (рис. 2.4.). Назначение префикса – борьба с межсимвольной интерференцией в приемнике вследствие многолучевого распространения сигнала. Отраженный сигнал, приходящий с задержкой, попадает в зону префикса и не накладывается на полезный сигнал.

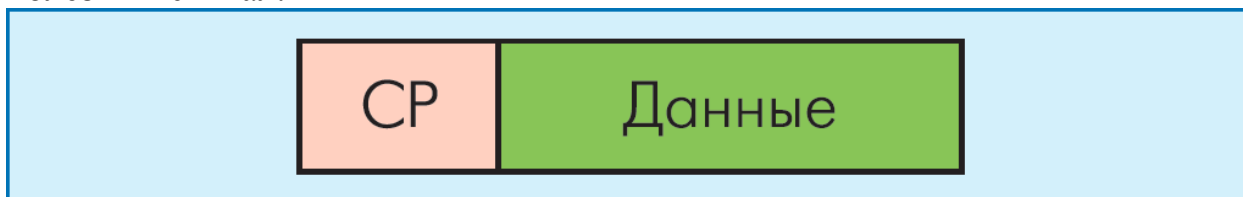


Рисунок 2.4 - OFDM-символ с циклическим префиксом

В LTE принят стандартный шаг между под несущими  $\Delta f = 15$  кГц, что подходит длительности OFDM-символа 66,7 мкс. Каждому абонентскому устройству (АУ) в каждом слоте назначается определенный диапазон канальных ресурсов в частотно-временной области (рис. 2.5.) – ресурсная сетка.

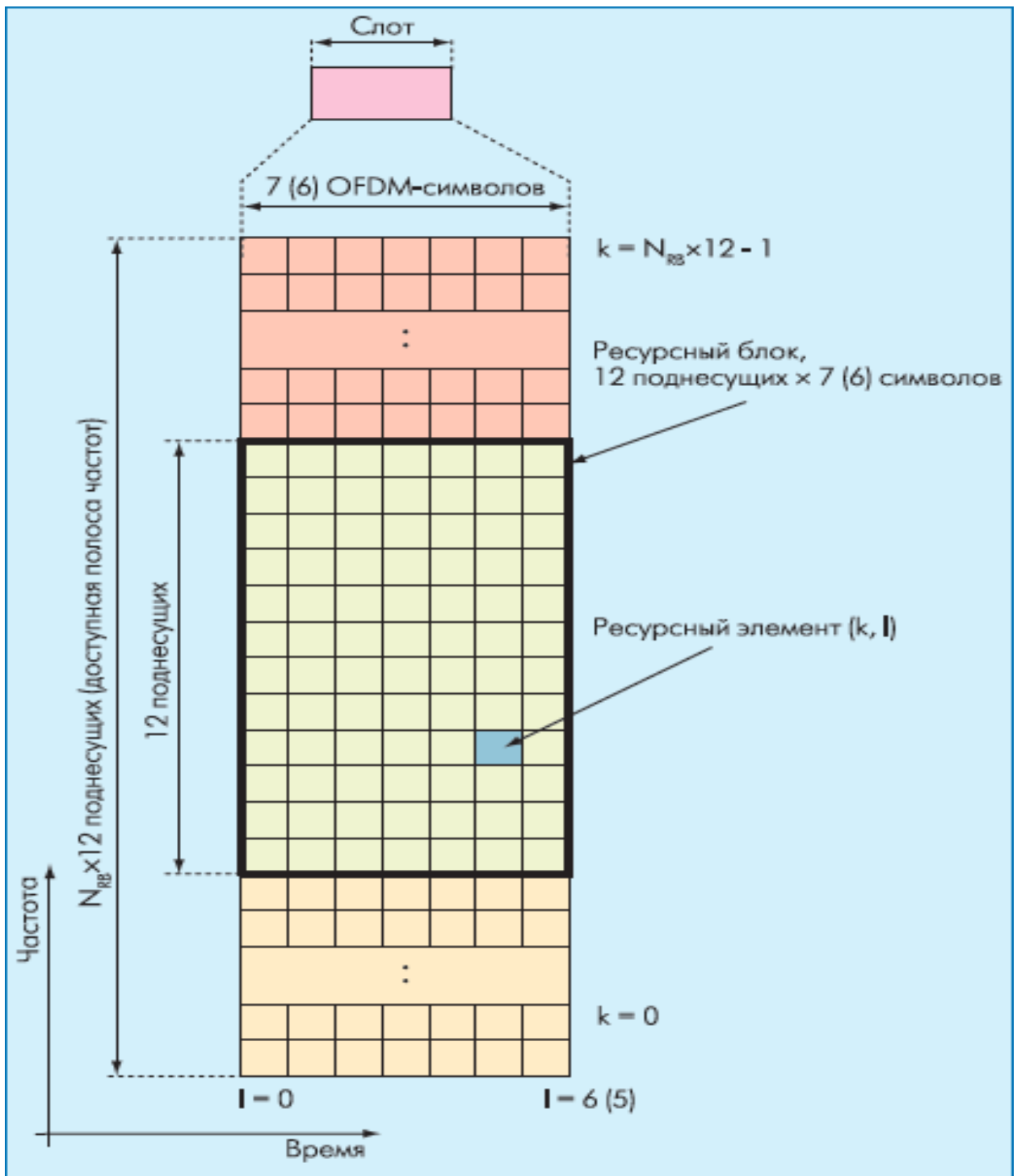


Рисунок 2.5 - Ресурсная сетка LTE при стандартном шаге под несущих  $\Delta f = 15$  кГц

Ячейка ресурсной сетки – так именуемый ресурсный элемент – подходит одной под несущей в частотной области и одному OFDM-символу – во временной. Ресурсные элементы образуют ресурсный блок – минимальную информационную штучку в канале. Ресурсный блок занимает 12 под несущих (т.е. 180 кГц) и 7 или 6 OFDM-символов, в зависимости от типа циклического префикса (табл.2.2.) – так, чтобы всеобщая длительность слота составляла 0,5 мс. Число ресурсных блоков NRB в ресурсной сетке

зависит от ширины полосы канала и составляет от 6 до 110 (ширина частотных полос восходящего/нисходящего каналов в LTE – от 1,4 до 20 МГц).

Таблица 2.2 - Физический префикс в нисходящем канале при  $\Delta f = 15$  кГц

Тип префикса	Длина префикса		Длина слота, OFDM-символов
	$T_s$	мкс	
Стандартный:			7
первый символ слота	160	5,2	
остальные 6 символов слота	144	4,7	
Расширенный	512	16,7	6

Ресурсный блок – это минимальный ресурсный элемент, выделяемый абонентскому устройству планировщиком базовой станции. О распределении ресурсов в каждом слоте базовая станция сообщает в особом управляющем канале.

Длительность префикса 4,7 мкс дает возможность соперничать с задержкой отраженного сигнала, прошедшего путь на 1,4 км больше, чем прямо распространяющийся сигнал. Для систем сотовой связи в условиях городка этого обыкновенно вполне достаточно. Если же нет – применяется расширенный префикс, обеспечивающий подавление межсимвольной интерференции в ячейках радиусом до 120 км. Такие гигантские ячейки полезны для различного рода широковещательных сервисов (MBMS), таких как мобильное ТВ-вещание. Для этих же режимов (только в нисходящем канале) предусмотрена особенная структура слота, с шагом между поднесущими 7,5 кГц и циклическим префиксом 33,4 мкс. В слоте при этом всего три OFDM-символа. Особенный случай широковещательного сервиса являет режим MBSFN (мультимедийный широковещательный сервис для одночастотной сети). В этом режиме несколько БС в определенной MBSFN-зоне одновременно и синхронно транслируют всеобщий широковещательный сигнал.

Каждая под несущая модулируется посредством 4-, 16-и 64-позиционной квадратурной фазово-амплитудной модуляции (QPSK, 16-QAM или 64-QAM). Соответственно, один символ на одной под несущей содержит 2, 4 или 6 бит. При стандартном префиксе символьная быстрота составит 14000 символов/с, что подходит, при FDD-дуплексе, агрегатной быстроты от 28 до 84 кбит/с на под несущую. Сигнал с полосой 20 МГц содержит 100 ресурсных блоков или 1200 под несущих, что отдает всеобщую агрегатную быстроту в канале от 33,6 до 100,8 Мбит/с.

Спецификации LTE определяют несколько закреплённых значений для ширины восходящего и нисходящего каналов между БС и АС (в сетях E-UTRA) (табл. 2.3.). Поскольку в OFDM применяется быстрое преобразование Фурье (БПФ), число формальных под несущих для упрощения процессов цифровой обработки сигнала должно быть кратно  $N = 2n$  (т.е. 128, 256, ..., 2048). При этом частота выборок должна составлять  $F_s = \Delta f \cdot N$ . При заданных в стандарте значениях она оказывается кратной 3,84 МГц – стандартной частоте выборок в технологии WCDMA. Это очень комфортно для создания много модовых устройств, поддерживающих как WCDMA, так и LTE.

Разумеется, при создании сигнала амплитуды "излишних" под несущих (включая центральную под несущую канала) считаются равными нулю.

Таблица 2.3 - Параметры канала передачи между АУ и БС

Ширина канала, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число ресурсных блоков	6	15	25	50	75	100
Число поднесущих	72	180	300	600	900	1200
Число номинальных несущих для БПФ	128	256	512	1024	1536	2048
Тактовая частота для БПФ, МГц	1,92	3,84	7,68	15,36	23,04	30,72

## 2.4 Модуляции в LTE

В LTE применяется модуляция по технологии множественного доступа с одной несущей частотой (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access – SC-FDMA) для Uplink передачи данных – от пользователя к базовой станции (рис. 2.6.) и по технологии ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM-модуляция) для Downlink передачи – от базовой станции к пользователю.

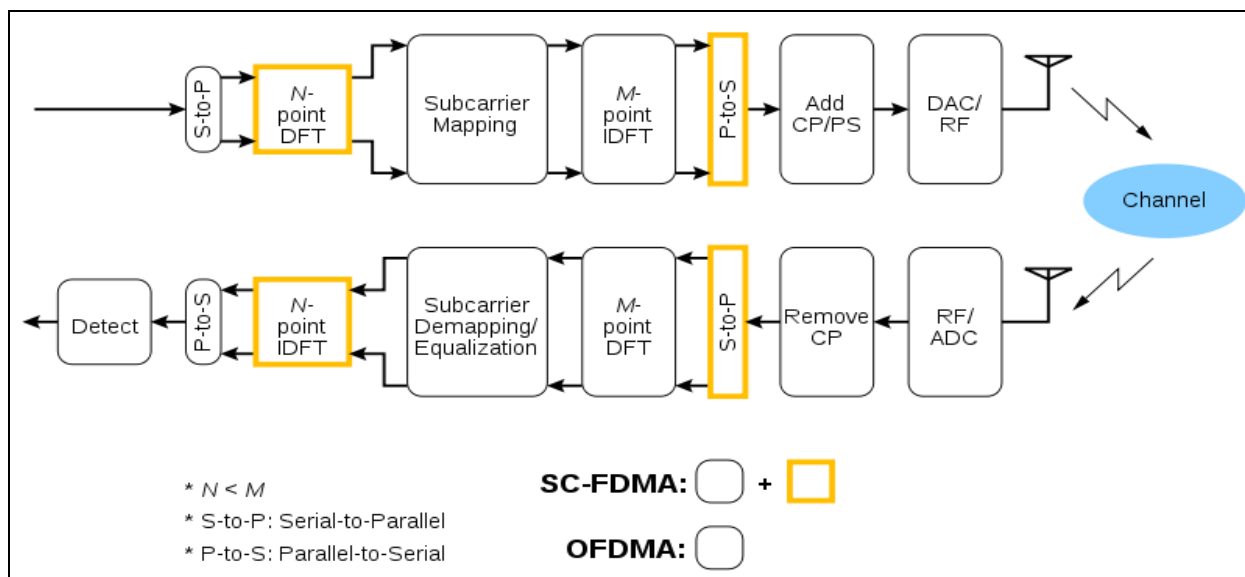


Рисунок 2.6 - Структура SC-FDMA

В системах LTE применяется два главных метода дуплексной связи: дуплекс с частотным разделением (FDD) и дуплекс с временным разделением (TDD). Применяются и иные варианты, в т.ч. FDD с половинной частотой. При этом интеграция режимов TDD и FDD в LTE значительно ближе, чем это было в UMTS. Схема передачи в сторону абонента применяет множественный доступ с ортогональным разделением частот (OFDM), а для передачи в сторону базовой станции применяется современная схема передачи, получившая наименование SC-FDMA. Эта современная схема объединила черты как традиционной схемы с одной несущей, так и схемы OFDM.

Технология OFDM общеизвестна с середины 1960-х гг. и в реальное время применяется во многих беспроводных системах. Применение OFDM в беспроводной мобильной связи сдерживалось по двум главным причинам. Первая заключается в том, что для выполнения нужных быстрых преобразований Фурье требуется достаточно большая вычислительная мощность. Однако непрерывное совершенствование технологий обработки сигнала привело к тому, что эту причину уже нельзя считать препятствием на пути внедрения OFDM, и теперь эта технология образует основу нисходящего канала LTE. Иным фактором, сдерживающим применение OFDM в мобильных системах, были присущие этой технологии сигналы с большим отношением пикового значения к среднему (PAR), которые порождаются параллельной передачей нескольких сотен недалеко расположенных под несущих. Для мобильных устройств сигналы с большим PAR создают значительный ряд проблем, связанных с конструкцией усилителя мощности и потреблением энергии от батарей. Именно поэтому 3GPP остановился на новой схеме передачи SC-FDMA.

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



название множественного доступа с ортогональным разделением частот (OFDMA). Данный метод разрешает закреплять отдельные под несущие за различными пользователями. Это облегчает обслуживание многих абонентов, работающих с невысоким быстродействием, а также разрешает применять частотные скачки для смягчения эффектов узкополосного многолучевого распространения.

SC-FDMA являет собой гибридную схему передачи, которая сочетает невысокие значения PAR, присущие системам с одной несущей, таким как GSM и CDMA, с большой длительностью символа и эластичным распределением частот OFDM. Принципы генерации сигнала SC-FDMA показаны на рисунке, который является фрагментом одного из рисунков отчета 3GPP TR 25.814 об исследовании физического уровня LTE.



Рисунок 2.7 - Структурная схема генерации сигнала SC-FDMA

В левой части рисунка 2.7, символы данных представлены во временной области. Символы преобразуются в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье и затем, в частотной области, они распределяются в необходимые места всеобщего спектра несущей. Затем их требуется снова преобразовать во временную область, чтобы перед передачей добавить к ним циклический префикс. Альтернативное название технологии SC-FDMA — распределенная OFDM с дискретным преобразованием Фурье (DFT-SOFDM).

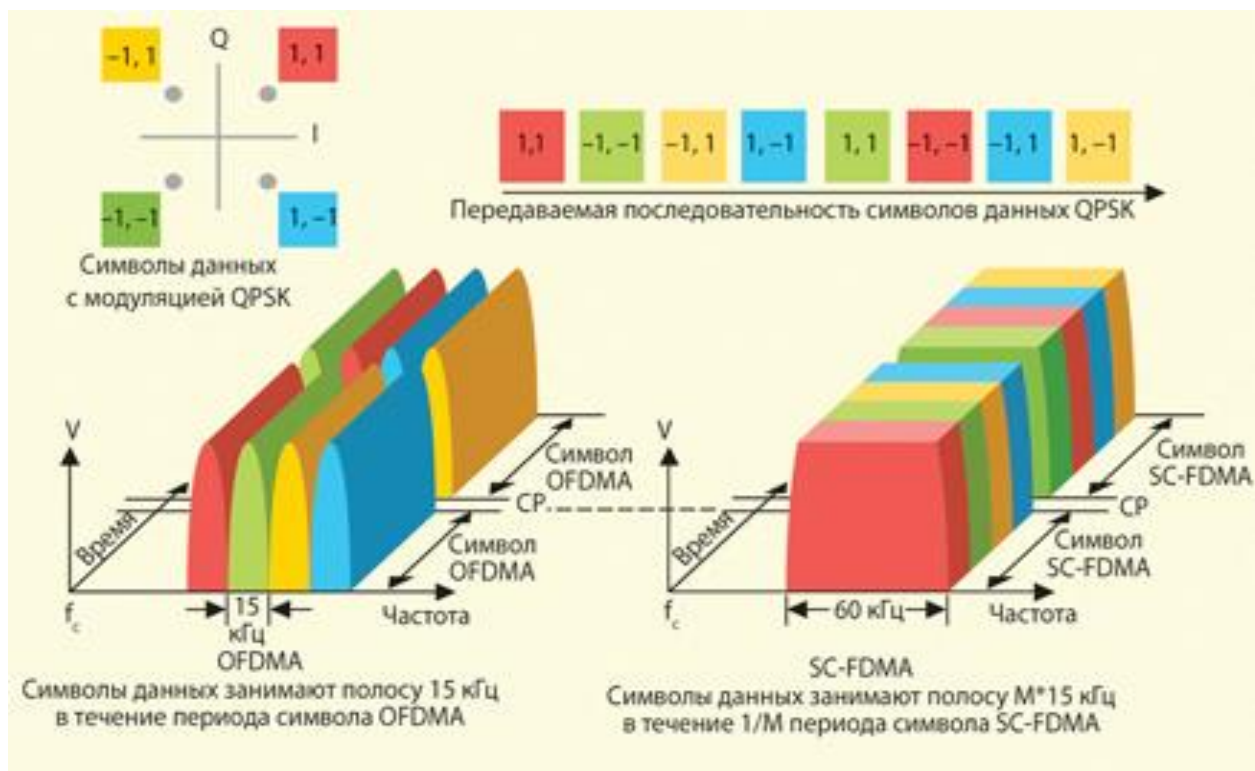


Рисунок 2.8 - Сравнение передачи серии символов данных QPSK в OFDMA и SC-FDMA

Альтернативное описание этой технологии приведено на рисунке 2.8, где в частотной и временной областях показано, как OFDMA и SC-FDMA передают последовательность из восьми символов QPSK. В этом упрощенном примере число под несущих ( $M$ ) было сокращено до четырех. Для OFDMA четыре ( $M$ ) символа обрабатываются параллельно, причем каждый из них модулируется личной под несущей с соответствующей фазой QPSK. Каждый символ данных занимает полосу 15 кГц на время передачи одного символа OFDMA, которое равно 66,7 мкс. В начале следующего символа OFDMA вставляется защитный промежуток, содержащий циклический префикс (CP). CP являет собой копию конца символа, добавленную к началу символа. Благодаря параллельной передаче, символы данных имеют ту же длину, что и символы OFDMA.

В случае SC-FDMA символы данных передаются последовательно. Поскольку в данном примере применяются четыре под несущих, за один период символа SC-FDMA передаются четыре символа данных. Период символа SC-FDMA имеет ту же длину, что и символ OFDMA, т.е. 66,7 мкс, но благодаря последовательной передаче символы данных получаются короче, т.е. равными  $66,7/M$  мкс. В связи с повышением быстрой следования символов для их передачи требуется более большая полоса. В итоге каждый символ занимает в спектре 60 кГц, а не 15 кГц, как было в случае более медлительных символов, применяемых в OFDMA. После передачи четырех символов данных вставляется CP.

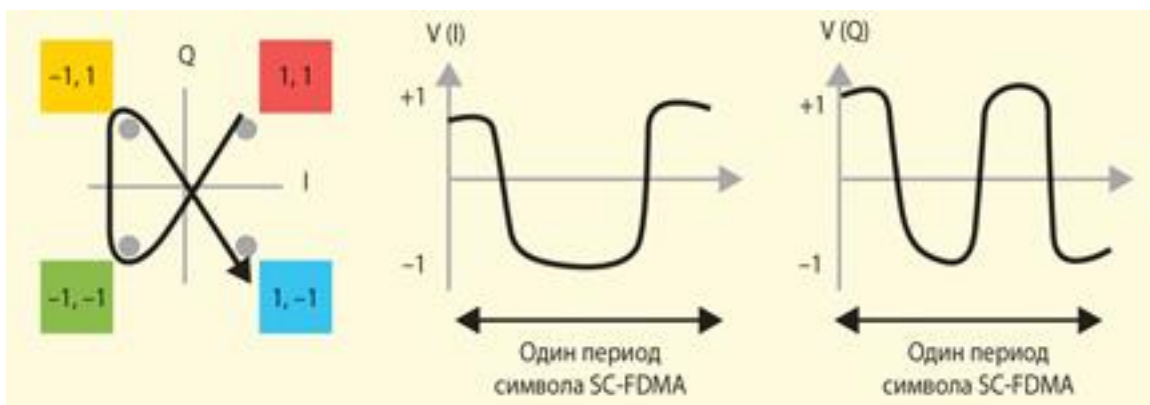


Рисунок 2.9 - Создание символа SC-FDMA во временной области

В продолжение графического сравнения OFDMA и SC-FDMA на рисунке 2.9, показан детальный процесс генерации сигнала SC-FDMA. Сначала создается представление последовательности символа данных во временной области. В данном примере с четырьмя под несущими для генерации одного символа SC-FDMA требуются четыре символа данных. Применяя первые четыре цветных символа QPSK (см. рис. 2.8.), процесс сотворяет один символ SC-FDMA во временной области, рассчитывая траекторию, переходящую от одного символа данных QPSK к иному. Это делается со скоростью в  $M$  раз большей скорости символов SC-FDMA, так что в итоге один символ SC-FDMA содержит  $M$  последовательных символов данных QPSK. Чтобы не усложнять рассмотрение, мы не будем обсуждать фильтрацию переходов между символами, хотя в любой реалистичной схеме такая фильтрация обязательно присутствует.

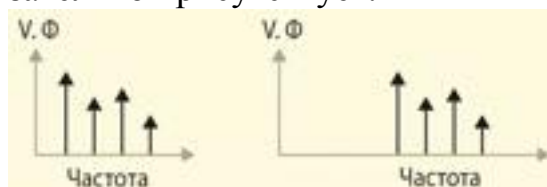


Рисунок 2.10 - Дискретное преобразование Фурье

После сотворения IQ-представления одного символа SC-FDMA во временной области следующим шагом является представление его в частотной области с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ; см. рис. 2.10.). Частота дискретизации ДПФ выбирается таким образом, чтобы форма одного символа SC-FDMA во временной области полностью представлялась  $M$  бинами ДПФ, отстоящими друг от друга на 15 кГц, причем каждый бин являет одну под несущую с неизменной амплитудой и фазой в течение одного периода символа SC-FDMA равного 66,7 мкс. При этом всегда существует однозначное соотношение между числом символов данных, передаваемых за один период символа SC-FDMA, и числом сотворяемых бинов ДПФ, которое, в свою очередь, равно числу занимаемых под несущих. Это достаточно логично: с ростом числа символов данных, передаваемых за один период SC-FDMA, сигнал во временной области

изменяется быстрее, что приводит к расширению полосы и, следовательно, требует большего числа бинов ДПФ для полного представления сигнала в частотной области.

Теперь самое время задать вопрос: «Как же может SC-FDMA сохранить стойкость к многолучевому распространению при столь коротких символах данных?». В OFDMA модулирующие символы данных остаются неизменными в течение периода символа OFDMA равного 66,7 мкс, тогда как символ SC-FDMA меняется со временем, поскольку содержит  $M$  коротких символов данных. Стойкость к многолучевому распространению процесса демодуляции OFDMA обусловлена большой длиной символов данных, которые накладываются непосредственно на отдельные поднесущие. К благополучию, стойкость к разбросу задержки обусловлена именно неизменной природой каждой поднесущей, а не постоянством символов данных. Как видно ранее, ДПФ изменяющегося во времени символа SC-FDMA создает набор бинов ДПФ, постоянных в течение символа SC-FDMA, несмотря на то, что модулирующие символы данных при этом изменяются. В этом и заключается главное свойство процесса ДПФ, что изменяющийся во времени символ SC-FDMA, состоящий из  $M$  последовательных символов данных, является в частотной области  $M$  не меняющимися во времени поднесущими. Таким образом, даже SC-FDMA с присущими ему короткими символами данных обладает достаточной стойкостью к многолучевому распространению. На рисунке 2.8 все поднесущие SC-FDMA показаны с неизменной амплитудой, но в настоящих условиях каждая поднесущая имеет свою амплитуду и фазу в течение каждого символа SC-FDMA.

Для окончания генерации сигнала SC-FDMA выполняются те же операции, что и для OFDMA. Обратное БПФ преобразует смещенный по частоте сигнал во временную область, а затем прибавление CP обеспечивает свойственную OFDMA фундаментальную стойкость к многолучевому распространению.

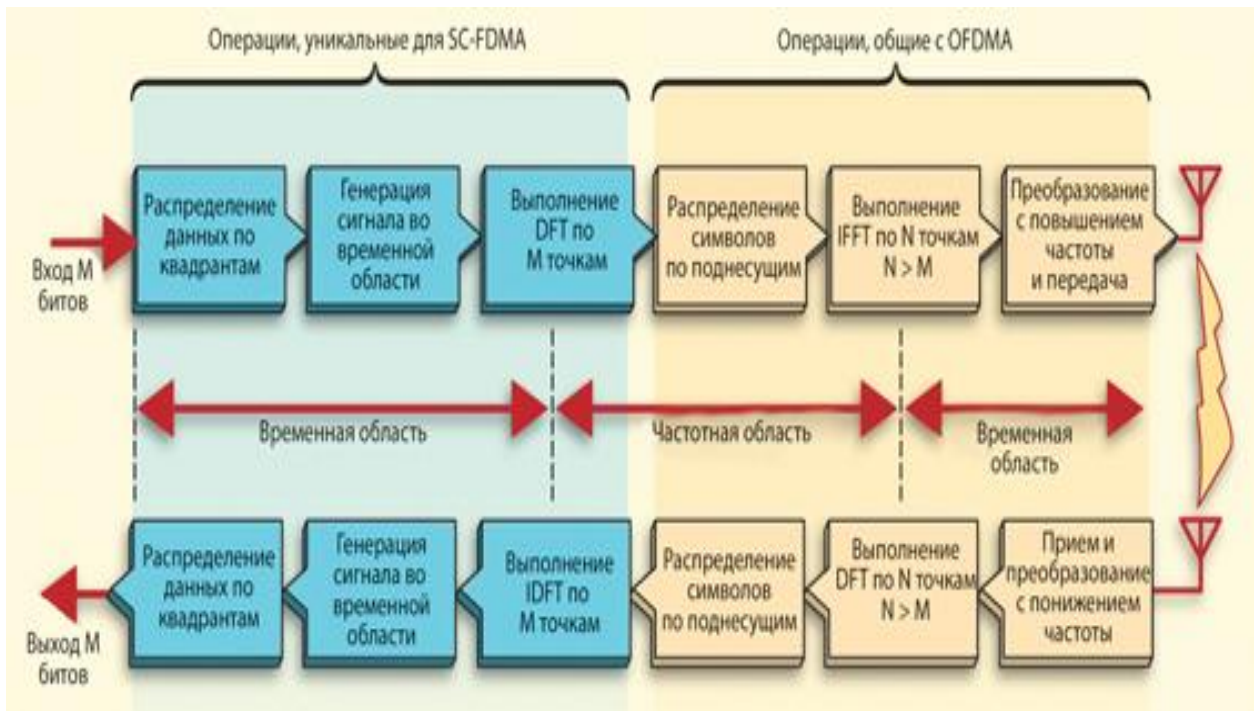


Рисунок 2.11 - Упрощенная модель генерации и приема SC-FDMA

Рисунок 2.11, иллюстрирует неслучайную взаимосвязь между SC-FDMA и OFDMA. Оранжевые блоки представляют обработку OFDMA, а синие блоки представляют дополнительную обработку во временной области, нужную для SC-FDMA. Главное, на чем необходимо сконцентрировать внимание, это то, что сигнал, преобразованный из частотной области обратно во временную область, является собой не что иное, как смещенную по частоте разновидность последовательности символов QPSK. Данный пример демонстрирует главную причину создания SC-FDMA, а именно, PAR конечного сигнала не превышает PAR исходных символов данных, которые в данном случае являются символами QPSK. Это существенно отличается от OFDMA, где параллельная передача тех же символов QPSK создает статистические пики, очень аналогичный на Гауссовский шум, которые значительно превышают PAR исходных символов данных. Ограничение PAR с помощью SC-FDMA существенно снижает потребность в том, чтобы мобильное устройство работало с высокими пиками мощности. Это снижает и затраты, и энергопотребление.

Как уже раньше было указано, для передачи данных в сети LTE каждая под несущая модулируется посредством 4-, 16- и 64- позиционной квадратурной фазово-амплитудной модуляции (QPSK, 16-QAM или 64-QAM). Соответственно, один символ на одной под несущей содержит 2, 4 или 6 бит. Сигнал с квадратурной фазовой модуляцией (QPSK) в координатах I/Q приведен на рисунке 2.12.

При этом, сигнал на выходе модулятора:

$$u(t) = I(t) \cos(2\pi f_c t) + Q(t) \sin(2\pi f_c t),$$



- где  $I(t)$  и  $Q(t)$  – сигналы, полученные сглаживанием символов  $I$  и  $Q$  с помощью сглаживающего фильтра.

Для уменьшения полосы частот модулирующая последовательность пропускается через сглаживающий фильтр с импульсной характеристикой типа «приподнятый косинус».

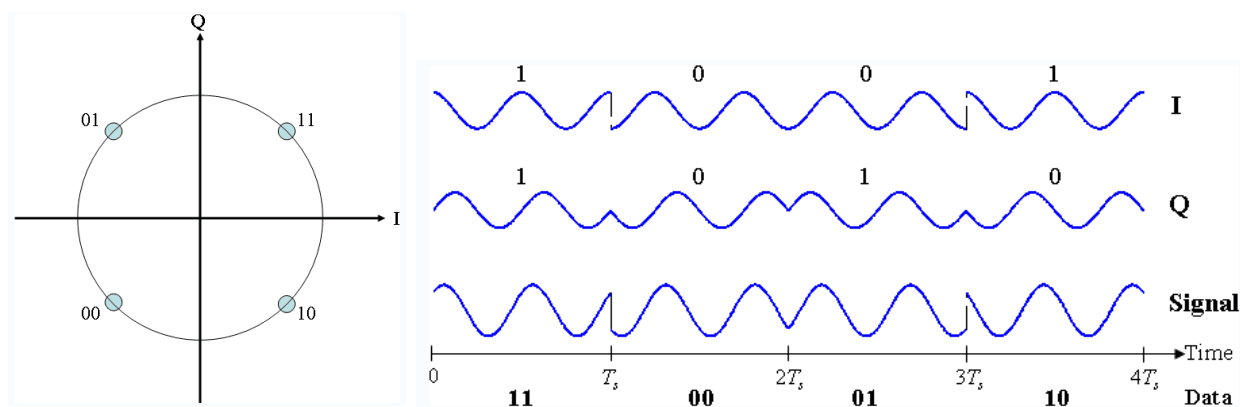


Рисунок 2.12 - Структура сигнала QPSK

## 2.5 Физический уровень LTE

Физический уровень LTE состоит из двух типов сигналов, общеизвестных как физические сигналы и физические каналы. Физические сигналы генерируются на уровне 1 и применяются для синхронизации системы, идентификации ячейки и оценки радиоканала. Физические каналы необходимы для передачи данных, поступающих с более высоких уровней, подключая управление, расписание и полезные данные. В таблице 2.4, показаны физические сигналы и каналы восходящего соединения.

В восходящем соединении применяются две структуры фрейма, первая для FDD типа один и вторая — для FDD типа два. Фрейм типа один имеет длительность 10 мс и состоит из десяти субфреймов, каждый из которых занимает два слота по 0,5 мс. На рисунке 2.13, показано распределение PUSCH и DMRS по структуре фрейма. Число символов в слоте зависит от длины CP. Для нормального CP в каждом слоте содержится семь символов SC-FDMA. Для расширенного CP, который применяется при большом разбросе задержки, в каждом слоте содержится шесть символов SC-FDMA. Опорные сигналы демодуляции передаются в четвертом символе каждого слота (т.е. в символе с номером 3). При этом, PUSCH может передаваться в любом другом слоте.

Таблица 2.4 - Сигналы и каналы восходящего соединения

Сигналы восходящего соединения	Полное наименование	Назначение
DMRS	Опорный сигнал (демодуляция)	Применяется базовой станцией для синхронизации с абонентским оборудованием и для оценки канала восходящего соединения. Связан с PUCCH или PUSCH
SRS	Опорный зондирующий сигнал	Применяется для оценки канала при отсутствии PUCCH или PUSCH
Каналы восходящего соединения	Полное наименование	Назначение
PRACH	Физический канал произвольного доступа	Установка соединения
PUCCH	Физический управляющий канал восходящего соединения	Расписание, ACK/NACK
PUSCH	Общий физический канал восходящего соединения	Полезные данные

На рисунке 2.14. Показана структура фрейма один в частотной и временной областях. Каждый вертикальный столбик являет одну под несущую. Передачи сгруппированы в блоки, называемые блоками ресурсов (RB), которые состоят из 12-ти соседних под несущих длительностью 0,5 мс. Кроме PUSCH и DMRS на рисунке показан PUCCH, который всегда привязан к крайнему RB в полосе канала, причем в каждом следующем слоте он попеременно привязывается либо к самой нижней частоте, либо к самой верхней.



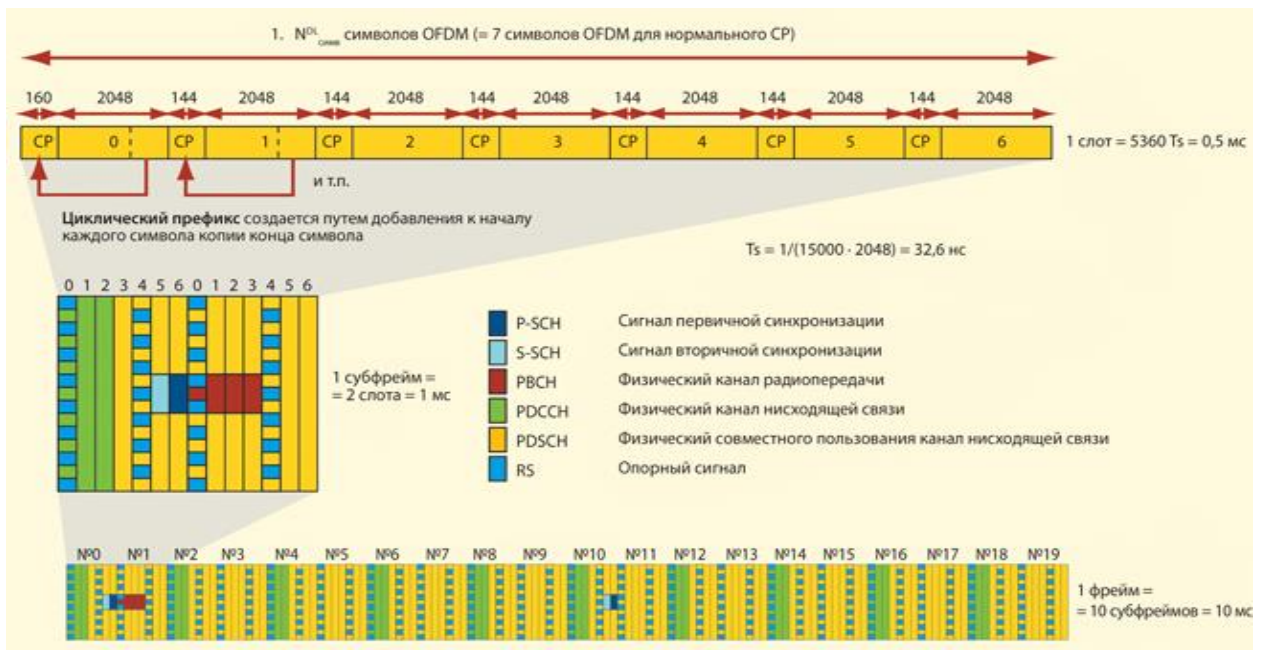


Рисунок 2.13 - Структура фрейма 1 для восходящего соединения, оказывающая распределение DMRS и PUSCH

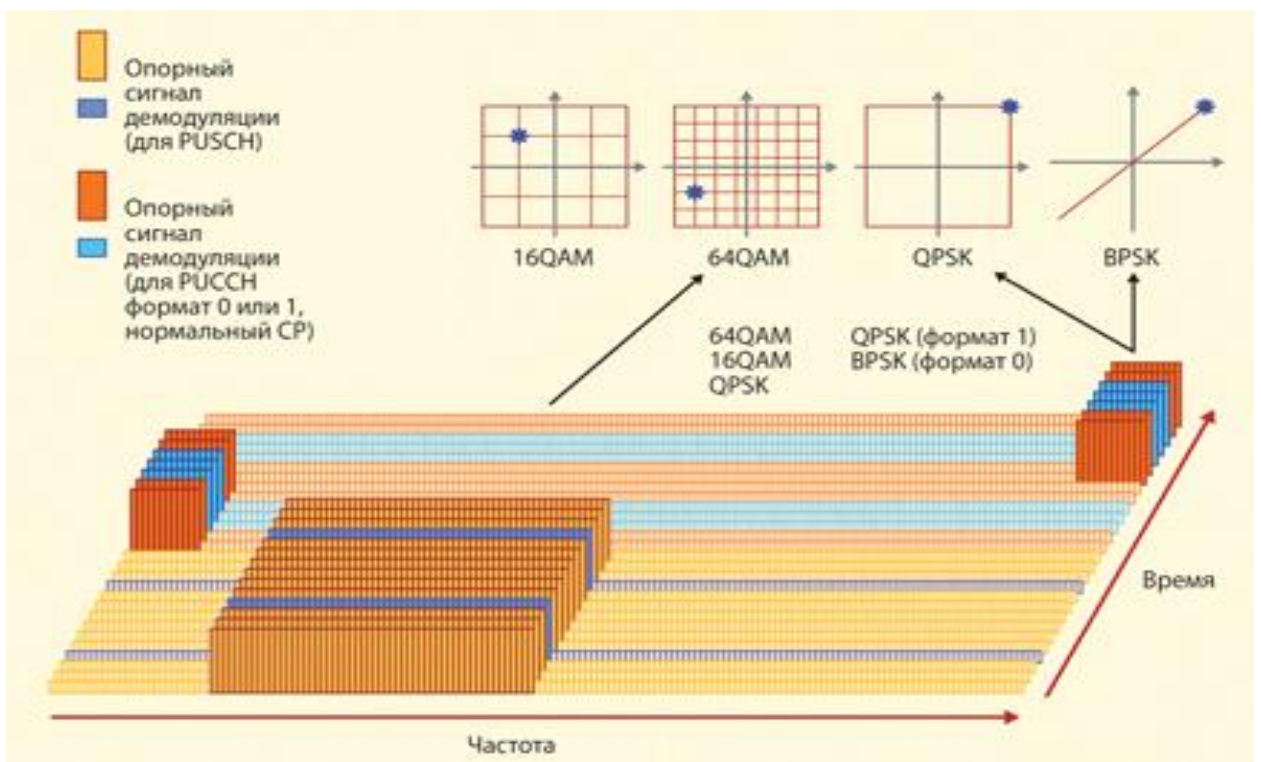


Рисунок 2.14 - Структура фрейма один для восходящего соединения, показывающая зависимость одного субфрейма от частоты

Обратите внимание, что одному абонентскому устройству выделяется диапазон частот, который, как правило, уже полосы системы. Это связано с тем, что число привязанных RB пропорционально скорости передачи, которая не всегда равна максимальному значению. DMRS передается только в полосе, закрепленной за PUSCH и PUSCH, в отличие от опорных сигналов

нисходящего соединения, которые всегда передаются во всей полосе канала, даже если канал занят не полностью.

Если базовой станции нужно оценить состояние восходящего канала при отсутствии передачи управляющих или полезных данных, она выполняет привязку сигнала SRS, который не зависит от PUCCH и PUSCH. PUSCH может применять модуляцию QPSK, 16QAM или 64QAM. PUCCH использует только модуляцию QPSK, а DMRS — BPSK с поворотом на  $45^\circ$ .

## 3 Технические требования к построению и функционированию сети LTE

### 3.1 Основные технические требования к радио интерфейсу сети LTE

Началом работы Партнерского проекта по сетям третьего поколения 3GPP над дальнейшим совершенствованием этих сетей считается семинар по эволюции сети радиодоступа (RAN), проведенный 2-3 ноября 2004 г. в Торонто (Канада). Основными направлениями работ по дальнейшему развитию сети RAN стали [1,11]:

- увеличение количества услуг, ориентированных на требования абонентов;
- понижение себестоимости бита информации;
- упрощение архитектуры и унификация интерфейсов;
- повышение гибкости использования имеющихся и новых частотных диапазонов;
- исключение излишних опций.
- более рациональное потребление энергии абонентскими терминалами;

Таким образом, основными целями эволюции сетей 3G к сети E-UTRAN являются улучшение качества услуг и минимизация расходов пользователей, а также эксплуатационных расходов операторов.

Первые технические требования к LTE, сформулированные в отчете TR.25.913 [1], определили, в свою очередь, требования к сети радиодоступа E-UTRAN, входящей в сеть LTE [5, 9]:

*1. Пиковая (максимальная) скорость передачи данных (peak data rates):*

- 100 Мбит/с в линии «вниз» при полосе канала 20 МГц (спектральная эффективность 5 бит/с/Гц);
- 50 Мбит/с в линии «вверх» при полосе канала 20 МГц (спектральная эффективность 2,5 бит/с/Гц).

Эти требования можно реализовать, если спектр сигнала увеличить (по сравнению с сетью доступа UTRAN) в четыре раза (с 5 до 20 МГц) и применить технологию MIMO.

Значения максимальной скорости передачи данных и спектральной эффективности для сети E-UTRAN в режиме FDD/TDD и в режиме TDD, совместимом с кадровой структурой сети UTRAN при ее работе с маленькой скоростью манипуляции (LCR-формат), приведены в таблицах 3.1, 3.2. Эти значения можно получить, если использовать технологию MIMO, 2 передатчика TX, модуляцию 64QAM, скорость кодирования R, равную

единице в линии «вниз», а также 1 передатчик TX UE (абонентского устройства), модуляцию 16QAM и ту же скорость кодирования в линии «вверх».

Таблица 3.1 - Значения пиковой скорости передачи данных (1) и спектральной эффективности (2) для сети E-UTRAN в режиме FDD/TDD

Требуемое значение пиковой скорости и спектральной эффективности	Линия «вниз»		Линия «вверх»	
	2 TX, MIMO, 64QAM, R=1 10% служебных сигналов		Один TX UE, 16QAM, R=1 14% служебных сигналов	
	(1) Мбит/с в полосе 20 МГц	(2) бит/с/Гц	(1) Мбит/с в полосе 20 МГц	(2) бит/с/Гц
Без учета служебной информации и заголовков	100	5,0	50	2,5
С учетом служебной информации (циклических префиксов, защитных интервалов во времени и на частоте, контрольных символов)	182	9,1	57	2,9
С учетом заголовков протоколов L1 и L2 (29% служебной информации системы)	144	7,2	48	2,4

При расчетах максимальной скорости передачи данных учитывалась кадровая структура линий «вниз» и «вверх» (циклические префиксы, временные и частотные защитные интервалы, контрольные символы), виды модуляции и помехоустойчивого кодирования. Так же, учитывались служебные заголовки и сообщения протоколов физического и канального уровней L1 и L2 (сообщения планирования передачи информации, сообщения протокола повторной передачи HARQ сообщения абонентского терминала об измеренном качестве канала (Chanel Quality Indicator — CQI).

Таблица 3.2 – Значения максимальной скорости передачи данных (1) и спектральной эффективности (2) для сети E-UTRAN в режиме TDD (LCR-формат)

Требуемое значение пиковой скорости и спектральной эффективности	Линия «вниз»		Линия «вверх»	
	2 TX MIMO, 64QAM, R=1		Один TX UE, 16QAM, R=1	
	(1) Мбит/с в полосе 20 МГц	(2) бит/с/Гц	(1) Мбит/с в полосе 20 МГц	(2) бит/с/Гц
Без учета служебной информации и заголовков	100	5,0	50	2,5
С учетом коротких циклических префиксов в линии «вниз» (22% служебных данных и данных уровня L1/L2)	149	7,5	49,8	2,5
С учетом длинных циклических префиксов в линии «вверх» (25% служебных данных и данных уровня L1/L2)	128	6,4		

В табл. 3.1. и 3.2. приведены значения пиковой скорости передачи данных в линиях «вверх» и «вниз» в условиях благоприятной помеховой обстановки, когда отношение сигнал/шум (С/Ш) больше 20 дБ и можно использовать многопозиционные виды модуляции 16QAM, 64QAM [2, 3]. Ухудшение отношения С/Ш приводит к уменьшению максимальной скорости передачи (рис. 3.1. — для линии «вниз», рис. 3.2. — для линии «вверх»). Как показано на рис. 3.1. и рис. 3.2, максимальная скорость передачи данных зависит от характеристик помеха устойчивости алгоритма приема и обработки сигнала.

На рисунках показано:

- R — скорость помеха устойчивого кодирования;
- MMSE (Minimum Mean Squared Error) — линейное детектирование MIMO - сигналов по критерию минимума средне-квадратической ошибки;
- QRM-MLD с использованием ASESS (Adaptive Selection of the Surviving Symbol Replica Candidates) — адаптивное нелинейное детектирование (QR decomposition and the M-algorithm - QRM) MIMO - сигналов по критерию максимума функционала правдоподобия (Maximum Likelihood Detection — MLD).

Зная необходимое отношение сигнал/шум и мощность передачи сигнала, можно предположить максимальные скорости передачи данных на разных расстояниях от базовой станции.

*2.Емкость сети E-UTRAN: не менее 200 пользователей на соту в активном режиме при ширине спектра сигнала 5 МГц.*

*3.Время задержки передачи пакетов данных на уровне протоколов управления (control-plane latency):*

- время перехода мобильного терминала из неработающего состояния IDLE (Release 6) в активное состояние CELL\_DCH (Release 6) менее 100 мс;
- время перехода мобильного терминала из режима ожидания CELL\_PCH (Release 6) в активное состояние CELL\_DCH (Release 6) менее 50 мс.

*4.Время задержки передачи пакетов данных пользователя (user plane latency):*

- менее 5 мс в активном состоянии мобильного терминала при загрузке IP-пакетов минимальных размеров (для одного пользователя с одним потоком данных).

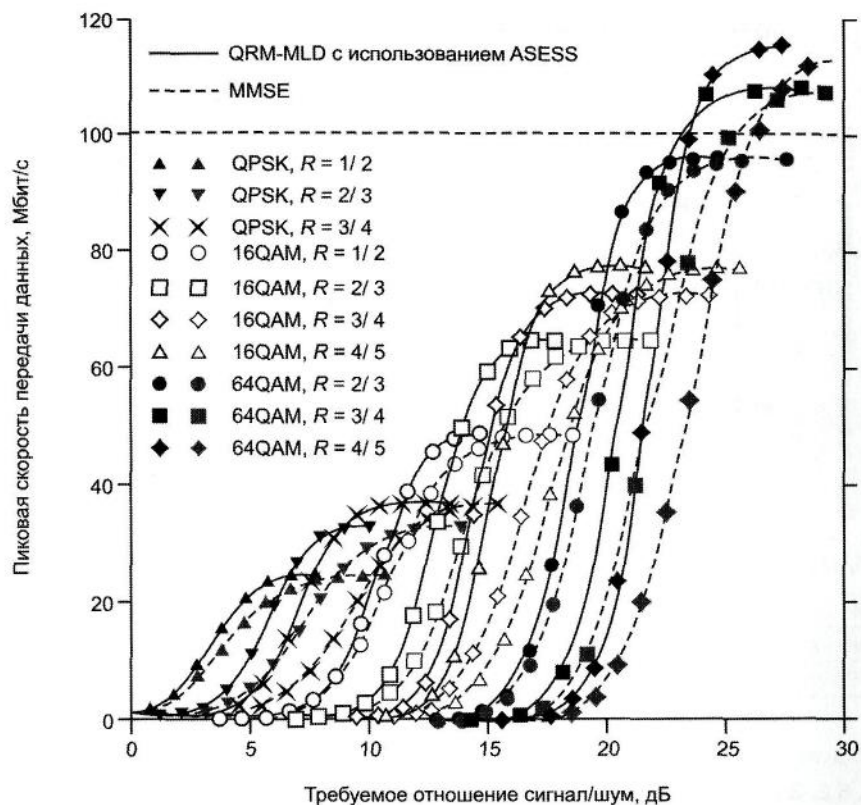


Рисунок 3.1 - Зависимость максимальной скорости передачи данных от отношения сигнал/шум в линии «вниз» канала с шириной полосы 20 МГц (мобильность абонента до 3 км/час) (Источник: ETSI)

Значительное время задержки передачи пакетов данных необходимо для предоставления современных услуг в реальном масштабе времени сетями сотовой связи, функционирующими по принципу коммутации пакетов (ТСР/Р).

Время задержки передачи пакетов данных пользователя с IP-уровня одного узла сети (мобильного терминала, шлюза) на IP-уровень другого узла сети складывается из времен задержек на различных этапах передачи данных (табл. 3.3). Суммарное среднее время задержки передачи пакетов для протоколов плоскости пользователя при передаче данных для сети E-UTRAN равно 4,0 мс (включая задержку передачи данных между базовой станцией и шлюзом сети). Сокращение этой задержки до 1,0 мс является целью создания радио интерфейса в рамках проекта WINNER.



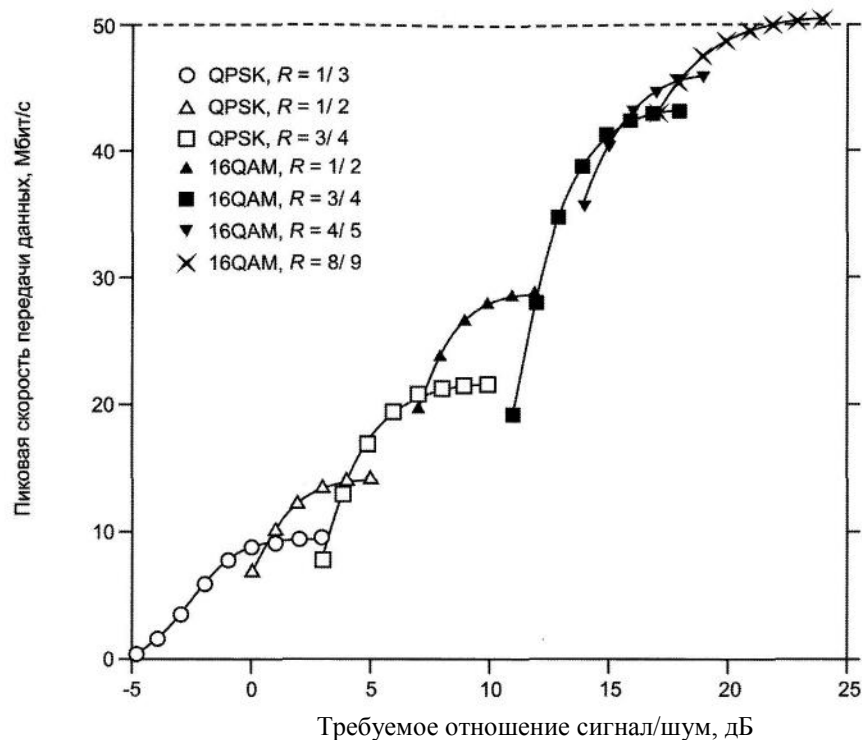


Рисунок 3.2 - Зависимость максимальной скорости передачи данных от отношения сигнал/шум в линии «вверх» канала с шириной полосы 20 МГц (мобильность абонента до 3 км/час) (Источник: ETSI)

Таблица 3.3 - Оценка времени задержки передачи данных протоколами плоскости пользователя

Этап передачи данных	Описание этапа	Время задержки, мс
0	Активизация терминала	Не учитывается
1	Обработка задания передачи пакетов данных процессором терминала	1
2	Цикловая синхронизация	0,25
3	Длительность подкадра	0,5
4	Выполнение алгоритма ретрансляции HARQ	0,3×2,5
5	Обработка задания передачи пакетов данных процессором базовой станции	1
6	Передача пакета данных между базовой станцией и шлюзом aGW	1...15 (Ts1u)
7	Обработка задания процессором шлюза	0,5
Общая задержка		4 мс + Ts1u

5. *Скорость передачи данных пользователя (user throughput):*

- в линии «вниз» в 3 - 4 раза выше, чем при использовании технологии HSDPA (Release 6) и при двух передающих антеннах базовых станций и двух приемных антеннах абонентских терминалов;
- в линии «вверх» в 2 - 3 раза выше, чем при использовании технологии HSUPA и при одной передающей антенне абонентских терминалов и двух приемных антеннах базовых станций.



6. *Эффективность использования спектра (спектральная эффективность):*

- в линии «вниз» в 3 – 4 раза выше, чем при использовании технологии HSDPA (Release 6) в условиях полной загрузки сети;
- в линии «вверх» в 2 – 3 раза выше, чем при использовании технологии HSUPA в условиях полной загрузки сети.

Параметры спектральной эффективности сети E-UTRAN приведены в таблице 3.4. (для абонентов с низкой мобильностью и при несущих частотах радиосигнала в диапазоне 2 ГГц).

Таблица 3.4 - Значения параметров спектральной эффективности сети E-UTRAN

Параметр	Абсолютное значение параметра, бит/с/Гц	
	Линия «вниз»	Линия «вверх»
Средняя спектральная эффективность	до 2,6 (2x2 MIMO)	до 0,9
Средняя спектральная эффективность на одного пользователя в соте (точка 5% на интегральной функции распределения (CDF) пользовательской пропускной способности)	до 0,27	до 0,15

7. *Мобильность абонентов в сети E-UTRAN:*

- низкая (скорость перемещения 0... 15 км/час);
- высокая (скорость перемещения 15... 120 км/час);
- сверхвысокая (скорость перемещения 120...350 км/час, пиковая до 500 км/час).

8. *Радиус сот:*

- до 5 км при обеспечении пиковой пропускной способности, спектральной эффективности и мобильности;
- до 30 км при ухудшении этих параметров.

9. *Технология мобильного вещания (Multimedia Broadcast Multicast Service - MBMS):*

- снижение технологической сложности АТ — использование одинаковых разновидностей модуляции, кодирования, множественного доступа и одинаковых полос канала в сети для режимов Multicast и Unicast;
- одно временное предоставление пользователю услуг вещания MBMS и передачи речи;
- доступность для технологии вещания парных (в режиме FDD) и непарных (в режиме TDD) спектральных полос.

10. *Гибкость использования радио спектра:*
- использование адаптивных каналов с шириной спектра 1,4; 3; 5; 10; 15 и 20 МГц в линиях «вниз» и «вверх»;
  - обеспечение гибкости использования радио спектра в режиме только в линии «вниз» и в режиме в линиях «вверх» и «вниз».
11. *Совместимость сети E-UTRAN с другими сетями 3GPP:*
- совместимость в одной географической зоне и одновременное использование каналов сетей E-UTRAN и сетей GERAN/UTRAN;
  - абонентские терминалы сети E-UTRAN, поддерживающие сети UTRAN и/или GERAN, обеспечивают межсетевой хэндовер;
  - длительность прерывания обслуживания в процессе выполнения хэндовера между сетями E-UTRAN и UTRAN (или GERAN) для оказания услуг в настоящем масштабе времени (real-time) не должно превышать 300 мс;
  - длительность прерывания обслуживания в процессе выполнения хэндовера между сетями E-UTRAN и UTRAN (или GERAN) для оказания услуг, инвариантных ко времени (non real-time), не должна превышать 500 мс.

### **3.2 Спектральная эффективность сети LTE**

Спектральную эффективность сети LTE я рассмотрю на путём анализа главных параметров технологии LTE и других мобильных беспроводных технологий.

Для проведения корректного сравнительного анализа спектральной эффективности систем мобильной связи надо учесть, что наборы параметров по умолчанию (диапазон частот, ширина полосы частот, разнос сот и т.д.) сравниваемых систем должны быть более или менее соизмеримыми. Такой подход обуславливается тем, что при изменении (увеличении) ширины полосы частот изменяются и предельные теоретические показатели Шеннона по скорости передачи информации в линиях связи. Например, при использовании для передачи данных полосы частот 10 МГц расчетное значение пропускной способности сети выше, чем при полосе 5 МГц.

В настоящее время наиболее интересным является сравнительный анализ спектральной эффективности систем связи, построенных на базе следующих стандартов для радио технологий, разработанных 3GPP/3GPP2, ETSI, IEEE [5, 6]:

- Evolved UTRAN (LTE), (3GPP/ETSI);
- CDMA - EV-DO (3GPP2);
- 802.16a - 802.16.m (IEEE);
- 802.20 (IEEE);
- -802.11 (IEEE).

$$* C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right), \text{ где } C - \text{ пропускная способность канала, бит/с; } B - \text{ ширина} \\ \text{полосы частот, Гц.}$$

Технология Wi-Fi (802.11.x) рассматривается телекоммуникационным сообществом в огромной степени как дополнительная сеть доступа для сетей фиксированной и мобильной связи. Однако данные по этой технологии будут также приведены далее.

### *Стандарты семейства CDMA-EV-DO (3GPP2).*

*Стандарт CDMA-EV-DO (Release 0)* позволяет получать информацию по прямому каналу со скоростью 2,4 Мбит/с, а по обратному — со скоростью 153 кбит/с. При этом спектральная эффективность сети составит 1,9 и 0,12 бит/с/Гц для прямого и обратного каналов соответственно.

*Стандарт CDMA-EV-DO (Revision A)* позволяет операторам предоставлять усовершенствованные мультимедиа услуги (включающие передачу голоса, данных и вещание) посредством IP-сетей. Ширина полосы частот канала в сетях, работающих на основе стандарта Revision A, составляет 1,25 МГц, как и в сетях, работающих на основе стандарта cdma2000. Скорость передачи информации по прямому и обратному каналу равна 3,1 и 1,8 Мбит/с соответственно. При этом спектральная эффективность сети равна 2,48 и 1,44 бит/с/Гц для прямого и обратного канала соответственно.

*Стандарт CDMA-EV-DO (Revision B)* является эволюционным продолжением предыдущей версии. Новшество Revision B состоит в способности системы агрегировать сразу несколько каналов, используемых в Revision A. Так, в полосе частот 20 МГц можно использовать до 15 каналов по 1,25 МГц каждый. Это позволяет увеличить пропускную способность прямого и обратного каналов сети стандарта CDMA-EV-DO до 46,5 и 27 Мбит/с соответственно. При использовании модуляции 64QAM пропускная способность прямых каналов с шириной полосы частот 1,4; 5 и 20 МГц составит соответственно 4,9; 14,7 и 73,5 Мбит/с.

*Стандарт CDMA-EV-DO (Revision C)* находится на стадии разработки. Задачи, поставленные перед разработчиками Revision C, заключаются в увеличении пропускной способности с 73,5 до 200 Мбит/с.

В таблице 3.5. приведены данные по спектральной эффективности сетей стандарта CDMA-EV-DO.

Таблица 3.5 - Значения спектральной эффективности сетей CDMA-EV-DO

Версия стандарта CDMA-EV-DO	Ширина полосы частот, МГц	Спектральная эффективность, бит/с/Гц	
		в линии «вниз»	в линии «вверх»
Release 0	1,25	1,9	0,12
Revision A	1,25	2,48	1,44
Revision B	1,25	3,92	–
	5	2,94	–
	20	2,3...3,67	1,35

*Стандарты семейства IEEE 802.11 (Wi-Fi), 802.16 (WiMAX).*

*Стандарт IEEE 802.11*, создание которого была завершена в 1999 г., является базовым и определяет протоколы, нужные для организации беспроводных локальных сетей (WLAN). В основу стандарта положена сотовая архитектура построения сети. Для обеспечения перехода мобильных рабочих станций из зоны действия одной точки доступа в зону действия другой в много сотовых сетях предусмотрены специальные процедуры сканирования (пассивного и активного прослушивания эфира) и присоединения абонентов сети, однако строгих требований по реализации роуминга стандарт IEEE 802.11 не предполагает.

*Стандарт 802.11a* – представляет собой наиболее «широкополосным» из семейства стандартов IEEE 802.11, предусматривая скорость передачи данных до 54 Мбит/с (редакцией стандарта, утвержденной в 1999 г., определены три обязательные скорости: 6, 12 и 24 Мбит/с и пять необязательных: 9, 18, 36, 48 и 54 Мбит/с). В отличие от начального стандарта, ориентированного на диапазон 2,4 ГГц, спецификациями IEEE 802.11a предусмотрена работа в диапазоне 5 ГГц. В качестве технологии модуляции сигнала выбрана модуляция, основанная на ортогональном частотном разделении сигналов (OFDM). Наиболее существенное различие между этой технологией и радио технологиями прямого расширения спектра (Direct Sequence Spread Spectrum — DSSS) и расширения спектра за счет перестройки частоты (Frequency Hopping Spread Spectrum — FHSS) заключается в том, что технология OFDM предполагает параллельную передачу полезного сигнала одновременно по нескольким частотным каналам, в то время как при технологиях FHSS и DSSS сигналы передаются последовательно. В результате повышается пропускная способность канала и качество сигнала.

*Стандарт IEEE 802.11b* – позволяет получать высокую скорость передачи данных (до 11 Мбит/с), практически такую же пропускной способности обычных проводных линий связи Ethernet, а также ориентирован на «освоенный» диапазон частот 2,4 ГГц (ISM). Этот стандарт завоевал наибольшую популярность у производителей оборудования для беспроводных сетей.

*Стандарт IEEE 802.11g* – представляет собой эволюцию стандарта 802.11b и позволяет повысить скорость передачи данных в беспроводных широкополосных линиях связи до 22 Мбит/с (а возможно, и выше) благодаря

использованию более эффективной технологии модуляции сигнала OFDM. Стандарт 802.11g дает скорость передачи данных до 54 Мбит/с.

*Стандарт IEEE 802.16a* – учитывает тонкости распределения спектра в полосе частот 10...66 ГГц. Он определяет 3 режима физического уровня соединений. Предусмотрен режим с одной несущей для специальных нужд, но дополнительно применяется модуляция OFDM.

Цель разработки стандарта IEEE 802.20 похожа с целью разработки стандарта IEEE 802.16e, призванного решить проблему мобильности в сетях WiMAX на уровне фемтосот и пикосот.

Таблица 3.6. содержит данные по спектральной эффективности сетей стандартов IEEE 802.11 и IEEE 802.16 [7].

Таблица 3.5 - Значения спектральной эффективности сетей беспроводного широкополосного доступа

Версия стандарта	Ширина полосы частот, МГц	Спектральная эффективность, бит/с/Гц	
		в линии «вниз»	в линии «вверх»
802.11a	20	2,7	–
802.11b	20	0,55	–
802.11g	20	2,7	–
802.16a	20	до 3,75	–
802.16e	5	до 3,1	до 2,28
	10	до 3,1	до 2,3
802.16d	3,5...7	–	–

На рисунках 3.3.-3.5. приведены диаграммы спектральной эффективности трех различных систем мобильной связи и систем беспроводного широкополосного доступа, использующих каналы с шириной полосы частот 5, 10 и 20 МГц. Анализ данных (рис. 3.3.-3.5.) позволяет сделать вывод о том, что стандарты LTE (Release 8) позволят снизить стоимость передачи данных и существенно расширить рынок сетей 3G за счет появления дополнительных конкурентных преимуществ по сравнению со стандартами IEEE 802.16e. Отметим, что внедрение технологии MIMO в сетях 3G потенциально может увеличить общую информационную нагрузку пропорционально количеству приемо-передающих антенн.

При определении путей технического усовершенствования сетей мобильной и беспроводной связи необходимо отметить, что физический уровень сетей HSDPA, HSUPA, 1xEV-DO, 2xEV-DO, IEEE 802.16e, 802.16d уже достаточно оптимизирован, показатели эффективности работы систем на физическом уровне близки к предельным теоретическим показателям Шеннона по скорости передачи информации в линиях связи. Поэтому при всех технологиях можно получить более или менее сопоставимые параметры работы физических уровней систем.

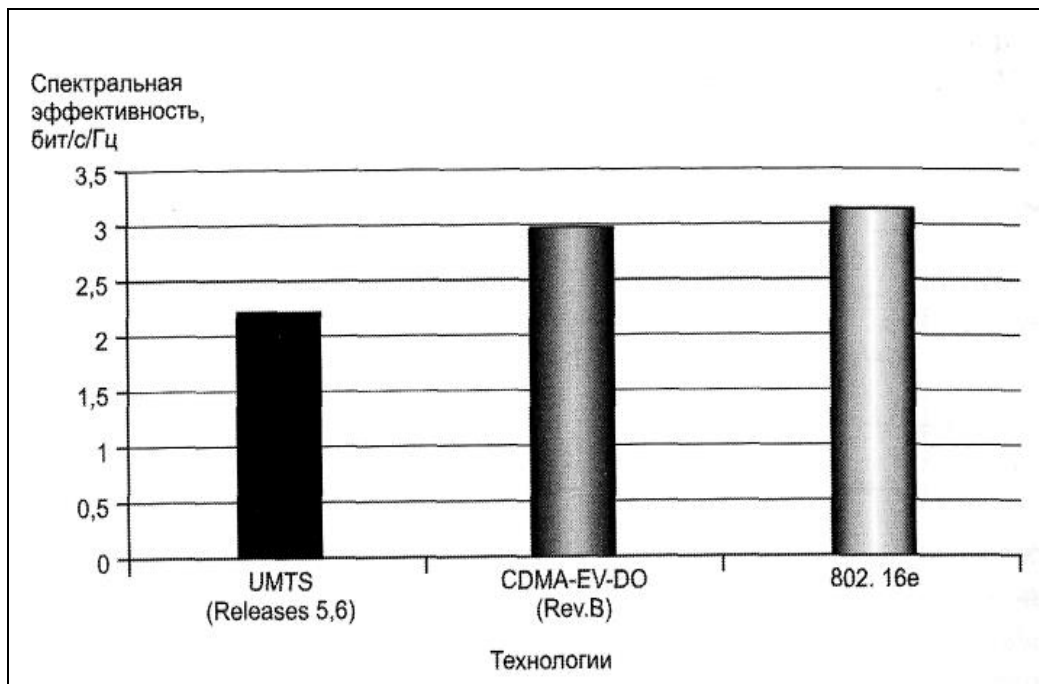


Рисунок 3.3 - Спектральная эффективность систем с шириной полосы канала 5 МГц [7]

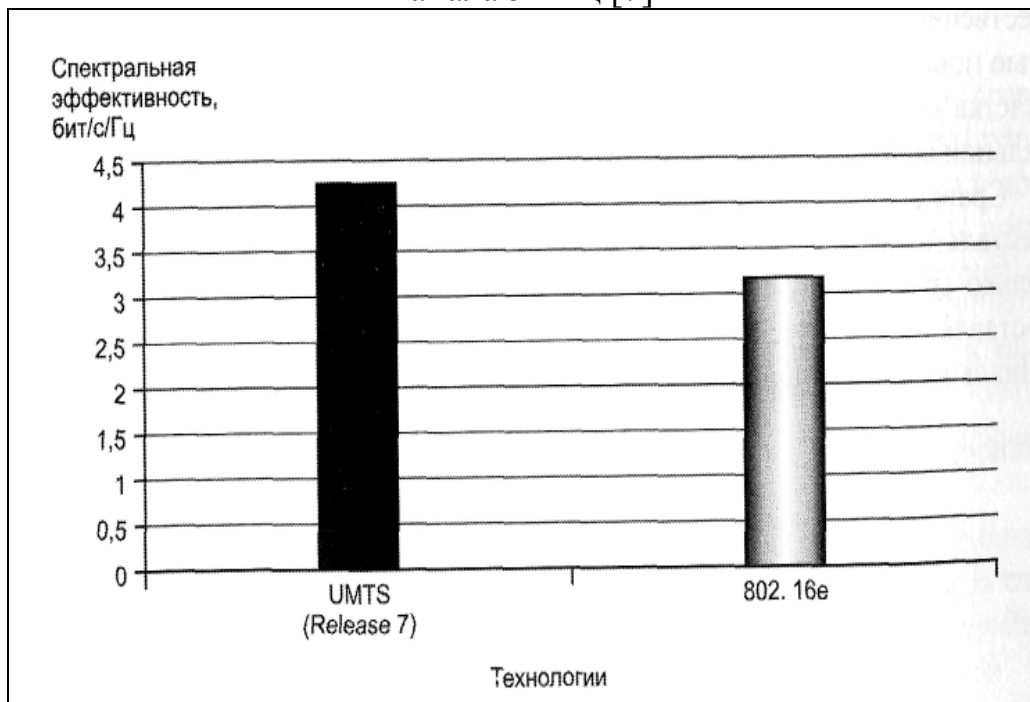


Рисунок 3.4 - Спектральная эффективность систем с шириной полосы канала 10 МГц [7]

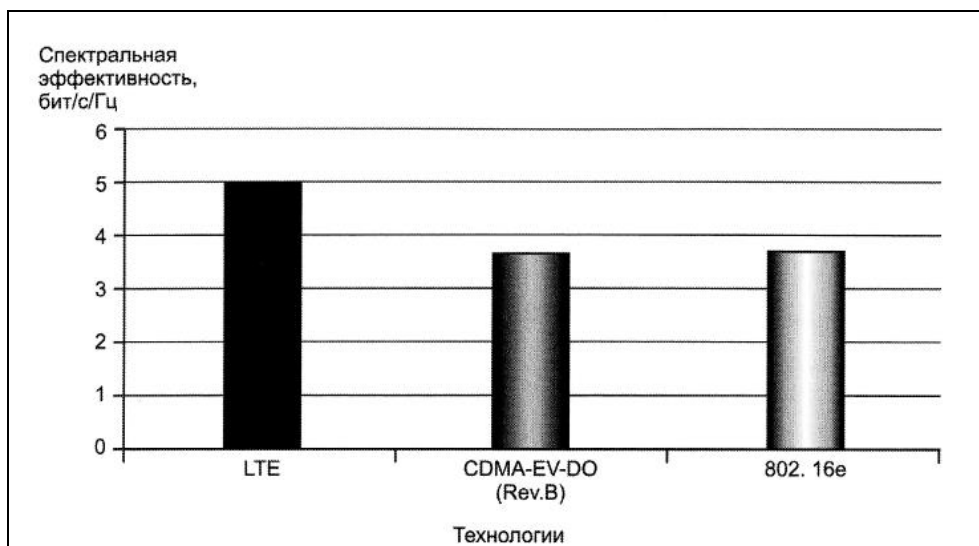


Рисунок 3.5 - Спектральная эффективность систем с шириной полосы канала 20 МГц [7]

Таким образом, совершенствование системы UMTS было и остается направленным не только на расширение спектра услуг и возможных приложений, но и на существенное технологическое развитие, связанное с необходимостью повышения спектральной эффективности системы из-за ограниченности участка спектра, выделенного в диапазоне 2-3 ГГц для совершенствования сетей мобильной связи третьего и четвертого поколения.

Сравнение мобильных и беспроводных систем связи целесообразнее осуществлять на базе большего числа системных параметров, включающих не только спектральную эффективность, но и доступность сети, качество предоставляемых услуг, стоимость инфраструктуры, роуминг и параметры терминального оборудования.

### 3.3 Использование MIMO в технологии LTE

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

Технология MIMO (рис. 3.6.) состоит в применении нескольких передающих и приёмных антенн как на базовой станции, так и на устройстве абонента. MIMO применяется для:

Увеличения пропускной способности радиоканала. При этом число приёмных и передающих антенн должно быть одинаковым. В этом случае возможна одновременная передача нескольких параллельных потоков данных. Так, если на передающей и приёмной стороне использовать по 2 антенны (схема MIMO 2x2), то скорость в теории увеличится в два раза, если по 4 (схема MIMO 4x4), то в 4 раза и т.д. Стандартом LTE предусмотрено использование до 4 приемных/передающих;



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

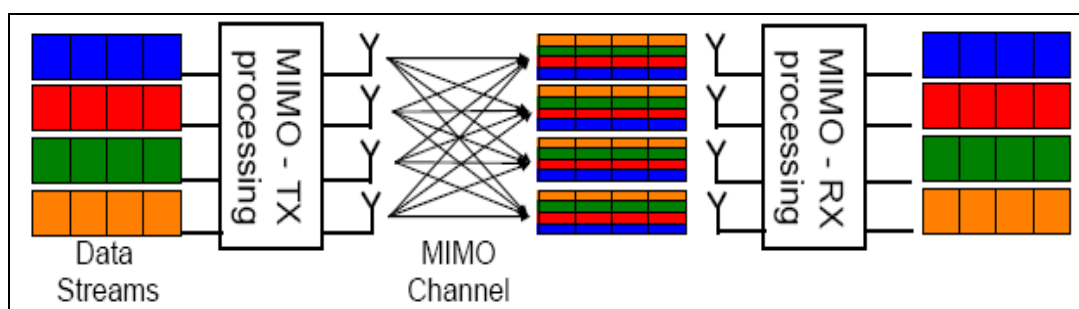


Рисунок 3.6 - Технология MIMO

Если в системе MIMO можно передать от приемника к передатчику информацию о характеристиках канала распространения радио волн, то на передающей и приемной сторонах имеется возможность сформировать оптимальным образом пространственные каналы распространения отдельных сигнальных потоков таким образом, чтобы минимизировать их взаимную интерференцию, а это значительно увеличивает энергетический бюджет соединения.

Именно такой принцип внедрен в LTE, где реализуется схема MIMO с обратной связью CL-MIMO (Closed Loop MIMO). В приемнике после оценивания канала выбирается соответствующая прекодирующая матрица, а номер оптимальной прекодирующей матрицы PMI (Precoding Matrix Indicator) посылается передатчику. Обратная связь в схеме MIMO WiMax не предусмотрена.

Различаются в этих системах схемы канального кодирования, предшествующего обработке MIMO. В WiMax – последовательное кодирование, а в LTE – параллельное (рис. 3.7.). При параллельной схеме, входные данные демультиплексируются на два потока, каждый из которых в отдельности подвергается помехоустойчивому кодированию. Закодированные потоки подаются в схему MIMO. На приемной стороне осуществляются обратные операции, после снятия помехоустойчивого кода в обеих ветвях декодированные данные подаются обратно в приемник – обработчик MIMO: реализуется итерационный алгоритм совместной демодуляции MIMO и канального декодирования, позволяющий заметно улучшить работу приемника и снизить требуемое отношение сигнал/шум на входе приемника. Данный алгоритм называется алгоритмом последовательного исключения демодулированных компонент SIC (Successive Interference Cancellation). При последовательном канальном кодировании, как в WiMax, этот алгоритм нереализуем.

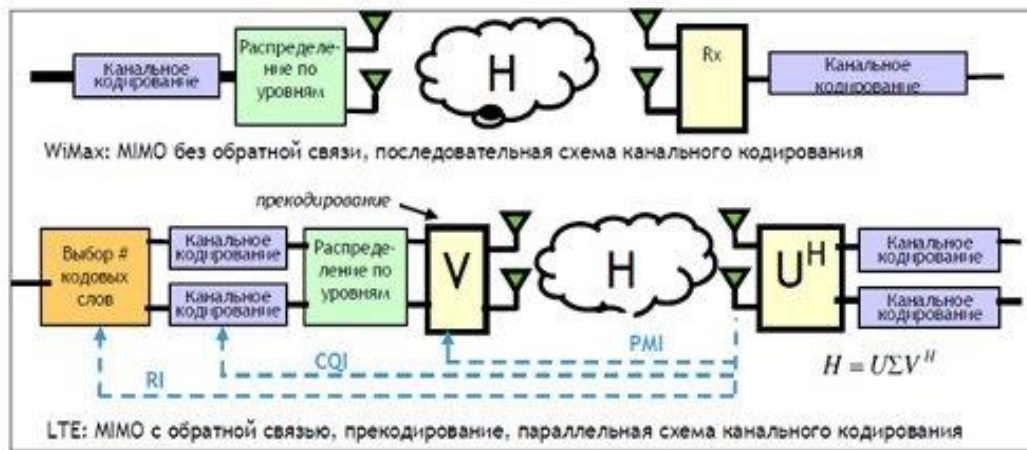


Рисунок 3.7 - Схемы MIMO в системах WiMax и LTE

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

Основной же метод, который применяется для увеличения системной скорости данных, – это MIMO. Для его реализации в конструкцию терминала следует добавить, по крайней мере, еще один трансивер и антенну.

На рисунке 3.8, показан обычный приемник с антенным разделением. В схеме такого приемника используются несколько антенн, но он не может поддерживать режимы MRC и MIMO.

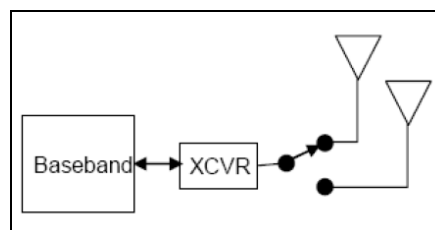


Рисунок 3.8 - Обычный приемник с единственной несущей в режиме Antenna Diversity

Начальная структура приемника, удовлетворяющего требованиям режимов MRC и MIMO, представлена на рисунке 3.9. Режим MRC и MIMO иногда называют «много антенной» технологией, хотя этот термин не совсем точен. Отметим, что различие между двумя схемами, показанными на рисунках 3.8. и 3.9., состоит не в количестве антенн, а в количестве трансиверов.

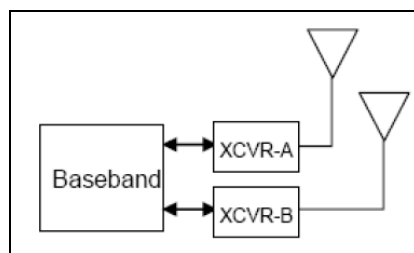


Рисунок 3.9 - Структурная схема приемника MRC/MIMO (2 канала)

Согласно методу MRC сигнал принимается двумя (или большим числом) отдельными пар антенна/трансивер. Важно, чтобы антенны были раздельными, поскольку при этом импульсные характеристики принимаемых ими сигналов не совпадают.

В процессоре основной полосы (**baseband**) вводится компенсация для каждого из принимаемых сигналов, прежде чем они будут просуммированы для получения одного композитного принимаемого сигнала.

При суммировании по данному методу принимаемые сигналы складываются в процессоре основной полосы когерентно. Тепловые же шумы для каждого из трансиверов являются некоррелированными. Таким образом, линейное суммирование компенсированных по фазе и амплитуде сигналов в процессоре основной полосы приводит в двухканальном приемнике MRC в условиях ограниченного шума к увеличению SNR не менее чем на 3 дБ.

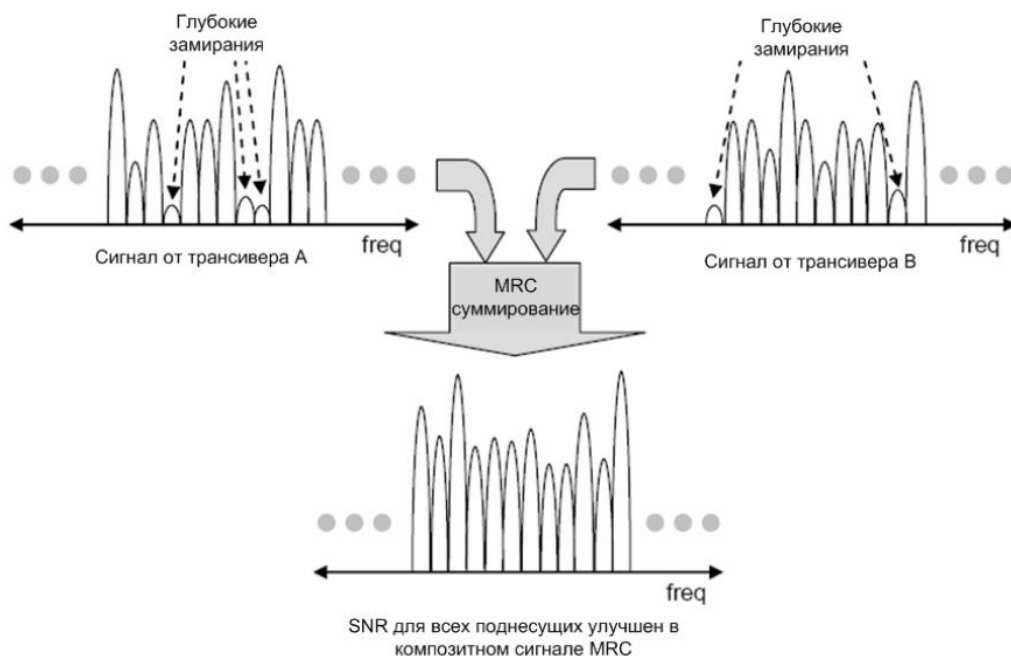


Рисунок 3.10 - Метод MRC позволяет повысить надежность в условиях AWGN и частотно избирательных замираний.

Кроме улучшения SNR за счет суммирования, приемники, работающие по методу MRC, более устойчивы к частотно-селективным федингам. Еще раз подчеркнем тот факт, что физическая раздельность приемных антенн

приводит к различию импульсных характеристик их каналов приема. В присутствии частотно-избирательных замираний статистически маловероятно, что данная под несущая будет испытывать глубокие замирания сразу в обоих каналах приема. Таким образом, вероятность глубоких частотно-избирательных федингов в суммарном сигнале существенно уменьшается.

Метод MRC повышает степень надежности (готовности) линии связи, но не позволяет повысить номинальную скорость данных. При использовании метода MRC данные передаются одной антенной, а принимаются двумя или большим числом приемников, поэтому MRC – это скорее метод разделенного приема, т. е. обычный метод Antenna Diversity. И наоборот, технология MIMO позволяет повысить системную скорость данных.

Такое увеличение достигается за счет использования нескольких антенн, как на стороне приема, так и на стороне передачи.

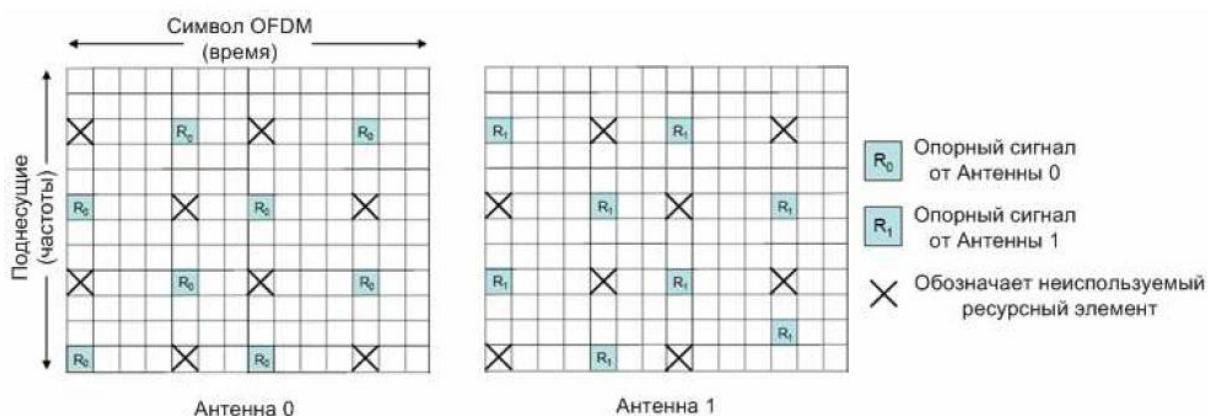


Рисунок 3.11 - Обеспечивающие работу MIMO опорные сигналы, которые передаются последовательно для вычисления характеристик каналов.

Для успешного приема сигналов по технологии MIMO, приемник должен определить импульсную характеристику канала для каждой из передающих антенн. В системе LTE импульсная характеристика канала определяется путем последовательной передачи каждой из передающих антенн известных опорных сигналов (Рис. 3.11.).

Для системы 2x2 MIMO определяются одна общая или четыре отдельных канальных импульсных характеристики (C1, C2, C3 и C4). Заметим, что пока одна передающая антенна передает опорный сигнал, другая не применяется. Как только импульсная характеристика канала будет определена, начнется независимая передача данных обеими антеннами.

Линейная комбинация двух потоков данных на двух приемных антеннах приводит к системе из двух уравнений с двумя неизвестными, решить которую невозможно для отдельных оригинальных потоков данных.

## 4 Энергетический расчёт параметров проектируемой сети

### 4.1 Выбор оборудования

Главная цель - наращивание скорости передачи данных, поскольку все остальное, в большей степени, является следствием решения этой задачи. Внедрение LTE обеспечит вероятность построения высокоскоростных систем сотовой связи, оптимизированных для пакетной передачи данных со скоростью до 300 Мбит/с в нисходящем канале (от базовой станции к пользователю) и до 75 Мбит/с в восходящем канале. Максимальной скоростью передачи данных в ранних реализациях должны составлять более 100 Мбит/с в нисходящем канале и более 50 Мбит/с в направлении от пользователя. Реализация LTE вероятна в разных частотных диапазонах - от 1.4 МГц до 20 МГц, а также по разным технологиям разделения - FDD (частотное) и TDD (временное).

Для реализации скоростей до 326.4 Мбит/с планируется применять технологию MIMO в конфигурации антенн 4x4. В конфигурации 2x2 предельные скорости "вниз" может достигнуть 172.8 Мбит/с (в каждой частотной полосе 20 МГц). Максимальная скорость в направлении "вверх" может достигнуть 86.4 Мбит/с на каждую полосу в 20 МГц.

Радиус действия базовой станции LTE может быть разным. В оптимальном случае - это порядка 5 км, но при необходимости он может составлять до 30 км или даже 100 км (при достаточном поднятии антенны).

Соответственно, оборудование для сети LTE должно отвечать требованиям по разделению ресурсов между операторами на нескольких уровнях:

- на уровне транспорта (при пассивном переиспользовании площадки несколькими БС);
- на уровне подсистемы радиодоступа (при энергичном переиспользовании ресурсов БС для поддержки различных операторов, каждого в своей полосе частот);
- на уровне ядра сети (при полном переиспользовании полос частот, базовых станций, транспорта и при разделении ресурсов ядра между операторами).

Для подсистемы радиодоступа, выполненной по технологии Single RAN, вероятен также ряд вариантов переиспользования ресурсов БС различными операторами, как иллюстрирует рисунок 4.1.

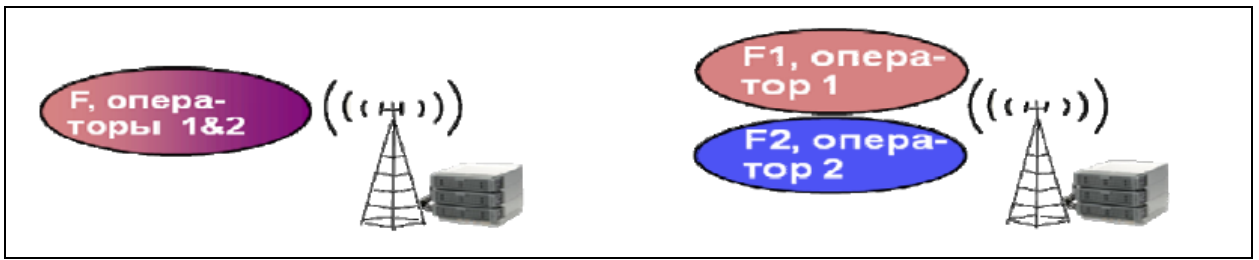


Рисунок 4.1 - Пере использование сайта с совместным использованием спектра и с разделением по частотам

Таким образом, базовая станция должна состоять из двух главных элементов: системный модуль для цифровой обработки сигналов и радио модуль с тремя приемопередатчиками.

В минимальной конфигурации трехсекторная базовая станция выполняется из этих двух модулей (рис. 4.2.):



Рисунок 4.2 - Базовая станция сети LTE

Радио модуль с 3 приемопередатчиками, изображенный на рисунке 4.3., может обслуживать три сектора с поддержкой в каждом секторе 6 несущих GSM, 4 несущих WCDMA, или нескольких каналов LTE с суммарной шириной 20 МГц. Радио модуль может действовать в смешанном режиме GSM/WCDMA/LTE. Кроме того, радио модуль может поддерживать радиоканалы, принадлежащие различным операторам, реализуя концепцию «Network Sharing».

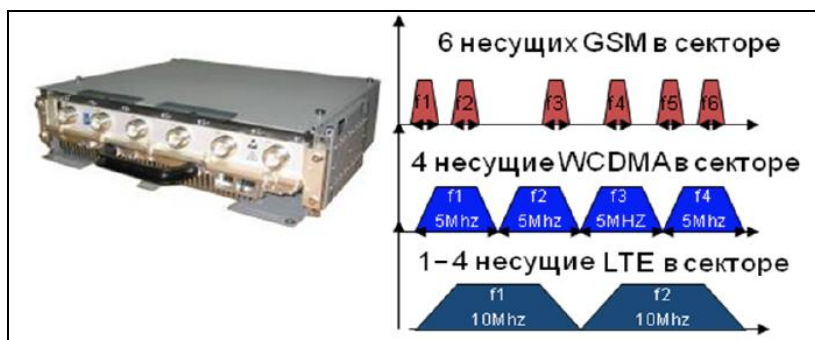


Рисунок 4.3 - Радио модуль LTE



Системный модуль БС обеспечивает поддержку до 6 радио модулей, частотные каналы которых могут принадлежать различным операторам.

Таким образом, БС являются идеальным решением для сетей, совместно применяемых несколькими операторами, с реализацией технологий GSM/WCDMA/ LTE FDD/ LTE TDD.

В качестве АС рассматриваем USB-модем, класс 3 – ЭИИМ 23 дБм (рис. 4.4.).



Рисунок 4.4 - USB LTE - модем

Организаций Ericsson и Samsung, которые недавно заключили партнерское соглашение о совместном совершенствований 4G технологий, выпустили первый USB-модем Samsung GT-B3710, способный функционировать в сетях LTE.

Устройство изначально создано для скандинавского оператора TeliaSonera и появится в продаже в 2011 году. LTE модем поддерживает космическую скорость передачи данных до 150 Мб/с на прием и до 50 Мб/с на передачу.

## 4.2 Планирование радио сети LTE

Планирование радиосетей LTE имеет некоторые отличия от схожего процесса для иных технологий. Отличия обусловлены типом много станционного доступа на базе OFDM, наличием двух типов дуплекса - частотного (FDD) и временного (TDD), а при планировании сетей с временным дуплексом приходится отыскивать компромисс между радио покрытием и емкостью сети. Проиллюстрируем возможности сетей LTE с разными типами дуплекса и в разных диапазонах частот, оценив их радио покрытие и емкость.

## 4.3 Процесс планирования сети LTE

Существуют два главных варианта планирования сетей: с целью формирования максимальной площади покрытия или с целью обеспечения требуемой емкости. Эти задачи порой противоречат друг другу. Например, в городских условиях при большой плотности абонентов зоны обслуживания базовых станций (БС) по площади гораздо меньше максимально вероятной,



но оптимизированы по пропускной способности. В сельской местности зачастую ситуация – противоположная, плотность абонентов – низкая, и базовые станции устанавливаются на максимальном удалении друг от друга так, чтобы закрыть каждой БС максимальную территорию. Но и в том и другом случае оценивают, как радио покрытие, так и емкость сети для того, чтобы выявить в проекте сети факторы, ограничивающие ее характеристики.

#### 4.4 Расчёт энергетического бюджета

Анализ радио покрытия начинают с вычисления энергетического бюджета, или максимально допустимых потерь на линии (МДП). Принцип расчета иллюстрируется на рисунке 4.5., МДП рассчитывается как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) передатчика и минимально нужной мощностью сигнала на входе приемника сопряженной стороны, при которой с учетом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике.

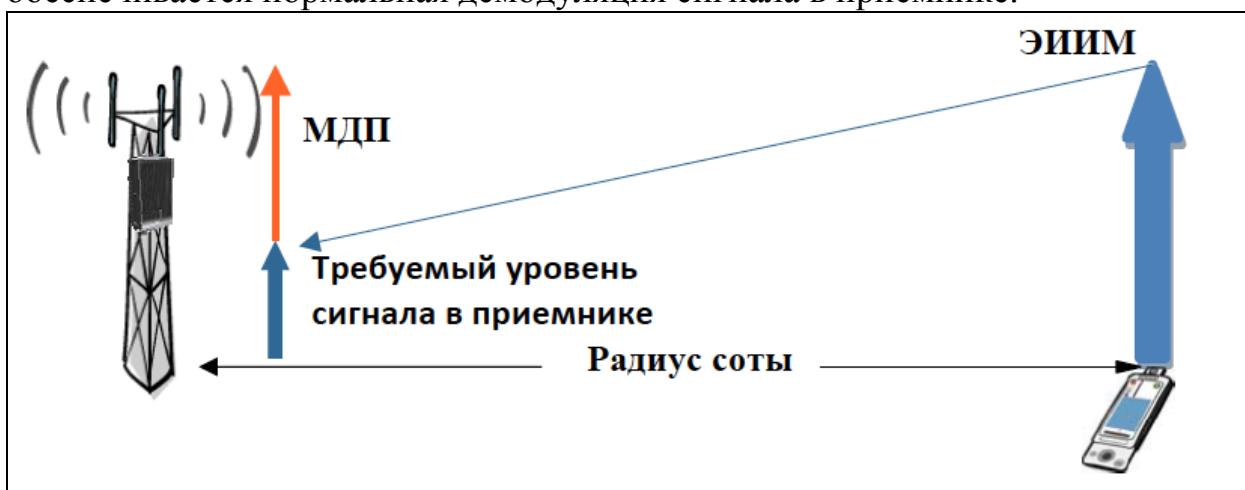


Рисунок 4.5 - Принцип расчета энергетического бюджета

Рассмотрим пример расчета энергетического бюджета для систем LTE с частотным и временным дуплексом, функционируемых в диапазоне 2600 МГц. Причем для системы с временным дуплексом рассмотрим два варианта конфигураций кадра 1 и 2, формат специального суб кадра – 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 применяться 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 функционирует 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 невысоким 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.

Результаты расчета энергетического бюджета (\*) сведём в таблицу.

Таблица 4.1 - Энергетический бюджет для условий средней городской застройки

	Параметр	FDD 10+10 МГц		TDD 20 МГц (конф. кадра 1)		TDD 20 МГц (конф. кадра 2)		
		DL	UL	DL	UL	DL	UL	
	Антенная система	2x2	1x2	2x2	1x2	2x2	1x2	
	Соотношение длительности кадров DL/UL	100%	100%	54%	42%	74%	23%	
<b>Передатчик</b>								
$P_{Tx}$	Выходная мощность передатчика, дБм	43.0	23.0	43.0	23.0	43.0	23.0	
$G_{TxDiv}$	Выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ	3.0	-	3.0	-	3.0	-	
$G_{TxA}$	Коэффициент усиления антенны, дБи	18.0	0.0	18.0	0.0	18.0	0.0	
$L_{TxF}$	Потери в фидерном тракте, дБ	0.4	-	0.4	-	0.4	-	
$P_{EIRP}$	<b>ЭИИМ, дБм</b> $P_{EIRP} = P_{Tx} + G_{TxDiv} + G_{TxA} - L_{TxF}$	<b>63.6</b>	<b>23.0</b>	<b>63.6</b>	<b>23.0</b>	<b>63.6</b>	<b>23.0</b>	
<b>Приемник</b>								
	Скорость передачи данных на краю соты, кбит/с	4210	128	4510	128	5910	128	
$N_{PRB}$	Число ресурсных блоков	45	2	86	4	98	20	
	Схема модуляции и кодирования	6-QPSK	5- QPSK	6-QPSK	6- QPSK	5-QPSK	1- QPSK	
	Эффективная скорость кодирования	0.45	0.28	0.46	0.38	0.38	0.14	
$P_N$	Мощность теплового шума, дБм	-104.4	-118.4	-101.4	-115.4	-101.4	-108.4	
$M_{SNR}$	Требуемое ОСШ, дБ	-0.24	0.61	-0.23	0.01	0.03	-4.35	
$L_N$	Коэффициент шума приемника, дБ	7.0	2.5	7.0	2.5	7.0	2.5	
$S_{Rx}$	<b>Чувствительность приемника, дБм</b> $S_{Rx} = P_N + M_{SNR} + L_N$	<b>-97.6</b>	<b>-115.3</b>	<b>-94.6</b>	<b>-112.8</b>	<b>-94.3</b>	<b>-110.2</b>	
$G_{RxA}$	Коэффициент усиления антенны, дБи	0.0	18.0	0.0	18.0	0.0	18.0	
$L_{RxF}$	Потери в фидерном тракте, дБ	-	0.4	-	0.4	-	0.4	

Прочие запасы/выигрыши									
$M_{Int}$	Запас на помехи, дБ	8.51	3.8		8.53	3.8		10.65	3.8
$M_{Build}$	Запас на проникновение в помещение, дБ	17.0			17.0			17.0	
$M_{Shade}$	Запас на затенение, дБ	8.7			8.7			8.7	
$G_{HO}$	Выигрыш от хэндовера, дБ	2.5			2.5			2.5	
Максимально допустимые потери $L_{MAPL} = P_{EIRP} - S_{Rx} + G_{RxA} - L_{RxF} - M_{Build} - M_{Int} - M_{Shade} + G_{HO}$									
$L_{MAPL}$	МДП, дБ	129.5	<b>128.9</b>		126.5	<b>126.5</b>		124.2	<b>123.9</b>
Радиус соты в условиях средней городской застройки									
$d$	Радиус соты, км	<b>0.53</b>			<b>0.45</b>			<b>0.38</b>	
$S_{BS}$	Площадь покрытия трехсекторного сайта, кв. км, $S_{BS} = 3 \frac{\sqrt{3}}{8} d^2$	0.54			0.40			0.28	

(\*) Подробное описание расчета энергетического бюджета включено в книге: Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Варукина Л.А., Высочин В.П. "Сети LTE и LTE Advanced :Архитектура, технологии и регулирование"

Энергетический бюджет в большей степени зависит от соотношения длительности кадров на UL и DL. Если в системе FDD конфигурация кадров одинакова для линий вверх и вниз: кадр содержит в себя 10 суб кадров по 1 мс, то в системе TDD применяется ассиметричная структура кадра для линий вверх и вниз.

0	DL	S	UL	UL	UL	DL	S	UL	UL	UL
1	DL	S	UL	UL	DL	DL	S	UL	UL	DL
2	DL	S	UL	DL	DL	DL	S	UL	DL	DL
3	DL	S	UL	UL	UL	DL	DL	DL	DL	DL
4	DL	S	UL	UL	DL	DL	DL	DL	DL	DL
5	DL	S	UL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL
6	DL	S	UL	UL	UL	DL	S	UL	UL	DL
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Рисунок 4.6 - Конфигурации кадров в системе TDD

На рисунке 4.6, изображено 7 конфигураций кадра в системе TDD (в сети TDD конфигурации кадров всех БС должны совпадать; кадры на рисунке пронумерованы по вертикали), состоящего также из 10 суб кадров по 1 мс (суб кадры пронумерованы по горизонтали). Буквой «S» обозначены особые суб кадры, подключающие 3 поля, см. рис. 5.3: DwPTS – поле для передачи управляющей информации и пользовательских данных на линии вниз; GP – защитный промежуток для переключения с линии вниз на линию вверх; UpPTS – поле для передачи на линии вверх управляющей информации, в главном канала доступа. Обратите внимание, что особый суб

кадр позволяет переносить пользовательскую информацию только на линии вниз.

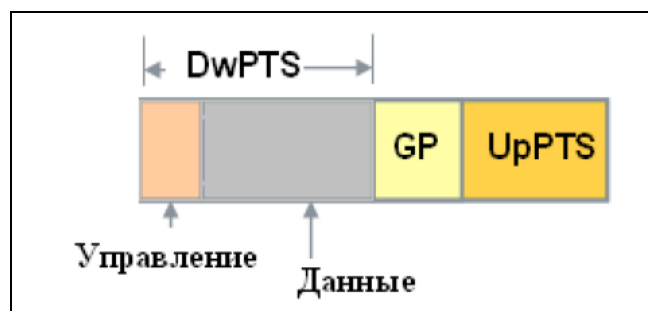


Рисунок 4.7 - Структура специального суб кадра

В рассматриваемых примерах системы TDD применяется особый суб кадр формата 7 с длительностью полей: DwPTS – 10 символов OFDM, GP – 2 символа OFDM, – 2 символа OFDM.

В системах с адаптивными схемами MCS дальность связи зависит от гарантируемой скорости передачи данных для пользователя на краю соты. В указанных примерах на линии вверх для пользователя на краю соты гарантируется скорость 128 кбит/с. В зависимости от типа дуплекса и соотношения длительностей кадра UL/DL, для переноса этого потока данных, требуется выделить разное количество ресурсных блоков (1 ресурсный блок = 180 кГц x 1 мс). Выбор оптимального числа ресурсных блоков NPRB и схемы MCS осуществляются по итогам моделирования канального уровня, исходя из заданного качества услуг с минимизацией ОСШ MSNR. Указанные в Табл. 4.1. значения MSNR получены для модели канала «Enhanced Pedestrian A 5» [2].

Запас на помехи MInt определяется по итогам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах. Указанные в таблице 4.1. значения MInt соответствуют нагрузке в соседних сотах 90%.

Для того, чтобы обеспечить связь в помещении, нужно добавить в энергетический бюджет запас на проникновение радиоволн в помещение MInd. Для диапазона 2600 МГц могут применяться следующие типовые значения запаса на проникновение:

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

Поскольку зоны радио покрытия соседних сот, как правило, перекрываются, то при возникновении глубоких замираний в обслуживающей соте АС может осуществить хэндовер в соту с лучшими

характеристиками приема. Этот эффект можно интерпретировать как выигрыш от хэндовера GHO.

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

Нужно обратить внимание на то, что в таблице 4.1. максимально допустимые потери на линиях вверх и вниз примерно одинаковые, с разностью меньше 1 дБ. В этих примерах скорости передачи на линии вверх были зафиксированы, а на линии вниз для каждого случая скорость подбиралась так, чтобы сбалансировать максимально допустимые потери для обеих линий.

В таблице 4.1. указаны радиусы сот для ограничивающей линии с наименьшим МДП, для линии вверх, в условиях средней городской застройки. Для расчета дальности связи в данном случае применяется модель распространения радиоволн COST231-Hata [3], вершина подвеса антенн БС принята равной 30 м.

Наилучшим радио покрытием при одной и той же гарантированной скорости передачи данных на линии вверх обладает система FDD. Для того, чтобы передать один и тот же поток данных в трех рассмотренных системах, на линии вверх приходится выделять различное количество частотных ресурсов (в обратной зависимости от длительности кадра), поскольку длительности кадров на линии вверх различаются: 10 мс – в случае FDD; 4 мс – в случае TDD, конф.1; 2 мс – в случае TDD, конф.2. Но чем больше частотных ресурсов выделяется пользователю, тем больше мощность тепловых шумов во входных цепях приемника, и хуже его чувствительность.

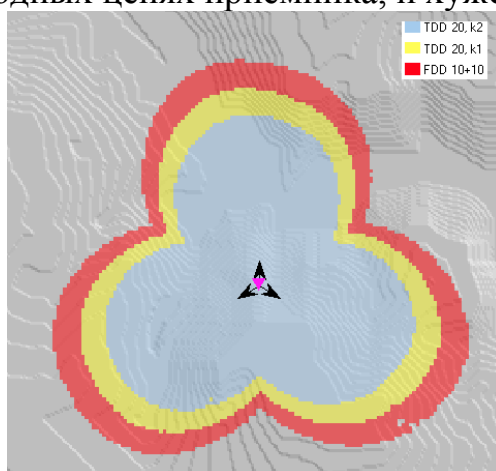


Рисунок 4.8 - Зона покрытия при разном дуплексе

Однако, в рассмотренных случаях в системе TDD можно гарантировать более пиковую пропускную способность на линии вниз по сравнению с системой FDD, благодаря асимметрии кадров DL и UL (табл. 4.1.).

## 4.5 Расчёт ёмкости проектируемой сети

Ёмкость, или пропускную способность, сети оценивают, базирываясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях. В таблице 4.2. приведены значения средней спектральной эффективности соты LTE FDD в макро сети для двух случаев, специфицированных 3GPP как сценарий 1 (расстояние между сайтами 500 м), и сценарий 3 (расстояние между сайтами 1732 м) [1]. В обоих случаях характеристики оценивались для диапазона 2 ГГц, полосы канала 10 МГц (10 + 10 МГц в дуплексе), при потерях на проникновение в здание 20 дБ, в среднем при 10 эффективных пользователей в соте.

Таблица 4.2 - Средняя спектральная эффективность в макро сети

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

В данной дипломной работе я приведу пример расчёта пропускной способности для сетей 3 конфигураций, причем использоваться буду значениями спектральной эффективности для сценария 1 (расстояние между сайтами 500 м), как наиболее недалекого 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 схожим значениям для системы FDD, а при расчете пропускной способности учитывать долю длительности кадра на линии вверх или вниз. Для расчёта средней пропускной способности соты на линии вниз при конфигурации кадра 1 воспользуюсь выражением:

$$R_{TDD} = S_{FDD\text{average}} * W * T\% = 1,69 * 20000 * 0,54 = 18,25 \text{ Мбит/с},$$

где  $S_{FDD\text{average}}$  - средняя спектральная эффективность;

$W$  - ширина канала;

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

Таблица 4.3 - Результаты расчета пропускной способности трехсекторных базовых станций



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

По диаграммам на рисунке 4.9. можно сравнить среднюю пропускную способность и площадь покрытия трехсекторного сайта для 3 рассмотренных конфигураций системы LTE (по данным из табл. 4.1. и 4.3.). Если пропускная способность на линии вниз в системах TDD и FDD с конфигурацией кадра 1 примерно одинаковая, то радио покрытие различается уже заметно.

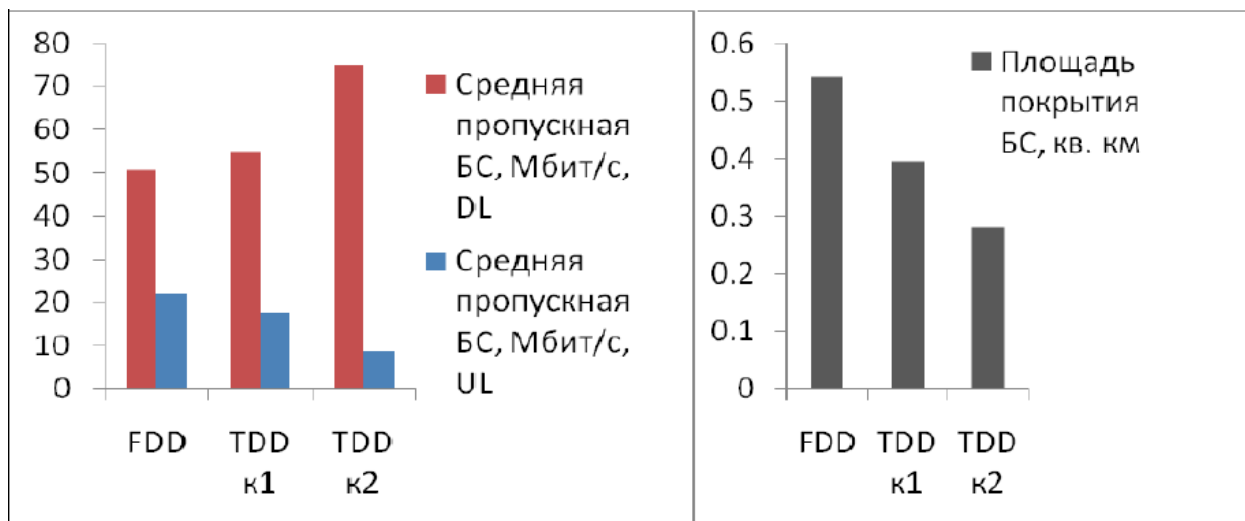


Рисунок 4.9 - Сравнение пропускной способности и площади покрытия трехсекторной БС при разных конфигурациях системы LTE

Универсального рецепта по поиску конфигурации системы LTE не существует. Если тип дуплекса определяется отсутствием или наличием парного спектра у оператора, то на поиск конфигурации кадра в TDD могут повлиять требования как к радио покрытию, так и к пропускной способности.

Чем больше асимметрия кадра TDD и больше длительность кадра на линии вниз, тем, к раскаянию, больше ограничения по площади радио покрытия.

Можно посоветовать операторам на первоначальном этапе совершенствованию сети при малом трафике применять конфигурацию кадра 1 и ориентироваться на неглубокое/уличное покрытие (гарантировать доступ к услугам в зданиях только у окна или из автомобилей), затем по мере роста



трафика и уплотнения сайтов переходить к другим конфигурациям кадра с большей асимметрией.

Для 3 рассмотренных конфигураций системы диапазона 2600 МГц рассчитаем требуемое количество трехсекторных сайтов для обслуживания города Кентау площадью 18 кв. км. В таблице 4.4. указаны результаты расчета, а также распределение классов застройки/местности, определяющих условия распространения радиоволн.

Таблица 4.4 - Расчет числа БС 3 диапазона 2600 МГц

Класс местности	Плотная застройка	Средняя застройка	Редкая застройка	Открытая местность, парки	Итого:
% местности	20%	45%	15%	20%	100%
Площадь города по классам, кв. Км	3,6	8,1	2,7	3,6	18
Потери на проникновение в помещение	20	17	12	8	
FDD 10+10 МГц					
МДП, дБ	123.9	128.9	133.9	137.9	
Радиус соты, км	0.31	0.53	1.32	4.00	
<b>Число сайтов</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>36</b>
TDD 20 МГц (конф. кадра 1)					
МДП, дБ	121.5	126.5	131.5	135.5	
Радиус соты, км	0.27	0.45	1.12	3.41	
<b>Число сайтов</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>47</b>
TDD 20 МГц (конф. кадра 2)					
МДП, дБ	118.9	123.9	128.9	132.9	
Радиус соты, км	0.23	0.38	0.95	2.9	
<b>Число сайтов</b>	<b>36</b>	<b>29</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>68</b>

*(\*) Более точное оценивание радио покрытия обычно производят с помощью специальных программных средств радио планирования, учитывающих рельеф местности и тип застройки.*

Полученное число базовых станций должно впечатлить даже неспециалистов. Опыт показывает, что в городке аналогичной площади у сотового оператора имеется 15-20 площадок с БС. Ограничения по числу сайтов вызваны не только финансовыми возможностями сотовых организаций, но и отсутствием подходящих площадок для установки БС.

Оценим емкость сети LTE FDD в городке К при наличии пары полос 10+10 МГц и при пере использовании 18 сотовых площадок. Исходя из таблицы 4.3., суммарная пропускная способность такой сети в направлении к абоненту составит  $R_{NW} = 50,7 \times 1500 = 76000$  Мбит/с. При расчете числа абонентов будем ориентироваться на тарифы сети LTE Telia Sonera (Швеция): максимальный объем трафика абонента в месяц – 30 Гбайт.

Примерно такой сценарий использования сети LTE можно предположить для г. Кентау. Полученная расчетная емкость в 52 тыс. абонентов явно недостаточна для сети широкополосного доступа в городке с населением более 80 тыс. человек. Для того, чтобы удовлетворить ожидания всех пяти операторов, являющихся в консорциум, требуется большая емкость, а, значит, большой частотный ресурс.

Таблица 4.5 - Оценка ёмкости сети LTE в небольшом городе

Трафик абонента, Гбайт/месяц	$T_m$	30
Число ЧНН* в день	$N_{BH}$	17
Число дней в месяце	$N_{Days}$	30
Усредненный трафик абонента в ЧНН, Мбит/с	$R_{BH} = \frac{T_m \cdot 8}{N_{BH} \cdot N_{Days}}$	0.131
Доля трафика на DL	$S_{DL}$	80%
Усредненный трафик абонента на DL в ЧНН, Мбит/с	$R_{DL} = R_{BH} \cdot S_{DL}$	0.105
Общий трафик в сети, Гбит/с	$R_{NW}$	76
Число абонентов, тысяч	$N_{Sub} = \frac{R_{NW}}{R_{DL}}$	52

(\*) ЧНН - час наибольшей нагрузки

Еще один момент, на который хотелось бы обратить внимание: так ли нужно создавать «ковровое» покрытие в сети в высокочастотном диапазоне. При наличии у оператора (или у союза операторов) нескольких диапазонов частот, гораздо разумнее полагаться на ковровое покрытие, например, с использованием 3G в диапазонах 900 или 2100 МГц, а LTE в более больших диапазонах разворачивать точно в зонах с большой плотностью абонентов, применяя не макро-, а микро- и пико- базовые станции.

## 5 Безопасность жизнедеятельности

### 5.1 Воздействие излучения на организм человека

В настоящее время, по мере активного развития и разработок в области техники связи СВЧ-диапазона, все большее внимание уделяется вопросам защиты работающих от воздействия электромагнитных полей (ЭМП). Радиооборудование проектируемой сети в г. Кентау работает в наиболее биологически активном диапазоне СВЧ излучения ( $3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10} \text{ Гц}$   $10^{-1} - 10^{-2} \text{ м}$ ). Следовательно, необходимо более подробно рассмотреть опасность воздействия СВЧ излучения и методы защиты.

Например, хорошо известен «тепловой эффект» микроволн, связанный с повышением температуры облучаемой ткани. Благодаря тепловому действию, дециметровые и сантиметровые волны средней и высокой интенсивности широко используются в физиотерапии для лечения многих заболеваний, в том числе онкологических и сердечно-сосудистых. Идея лечения заключается в создании температурных градиентов в различных органах тела, меняющих условия функционирования пораженного органа.

Наряду с этим, неконтролируемое противодействие как большой и средней, так и низкой интенсивности СВЧ-излучения на организм человека может привести к возникновению различных заболеваний [18-21].

В всеобщем случае реакция организма на ЭМИ радиодиапазона движется до некоторого порогового значения плотности потока мощности. Начиная с порогового значения плотности потока мощности и до ее значений, вызывающих заметный нагрев тканей (превышающий  $0,1^\circ \text{ C}$ ), биологический эффект не меняется [20].

Доля поглощенной СВЧ-энергии и ее относительное распределение в разных тканях и органах зависят от формы и размеров объекта его ориентации в поле, длины волны, электрических свойств тканей. В микроволновом диапазоне линейные размеры облучаемого объекта сравнимы с длиной волны или превышают ее. Количественной меркой поглощения прислужит отношение поглощенной в объекте мощности к всеобщей мощности ЭМИ, падающего на его поперечное сечение в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. В связи с тем, что различные ткани организма обладают различной толщиной, диэлектрической проницаемостью и проводимостью, максимумы поглощения могут появляться и внутри объекта облучения. Например, на частоте 918 мГц максимум поглощения для головы человека локализован в центральной области головы и составляет  $0,458 \text{ мВт/см}^3$  при плотности потока мощности облучения  $1 \text{ мВт/см}^2$ .

Традиционно многие исследователи поясняли биологическое действие микроволн только наличием тепловых эффектов, которые появлялись при интенсивности  $> 10 \text{ мВт/см}^2$ . Однако, в последнее время обнаружено

отчетливое действие на организм СВЧ-излучения меньшей интенсивности, когда температура повышалась несущественно. При этом увлекательным оказывается обнаружение частотных и энергетических окон при противодействии низкоинтенсивных модулированных электромагнитных полей на головной мозг. Наиболее отчетливые реакции клеток в мозговой ткани наблюдаются в случае модулирования СВЧ полей диапазона 150—450 мГц частотами от 1 до 20 Гц при интенсивности микроволн 0,1—1 мВт/см<sup>2</sup>, что подходит наведенной в ткани мозга напряженности электрической составляющей 1—10 В/м. Одновременно обнаружен выход ионов кальция из мозговой ткани под воздействием модулированных микроволн. Модуляционная частота наиболее эффективна, когда близка к собственной частоте активности того или иного органа (сердцебиение 60—80 колебаний в минуту, активность мозга 1—50 колебаний в секунду, возбуждение нервов 10—300 колебаний в секунду, дыхание 14-16 вдохов в минуту).

В 1980 году обнаружено, что облучение эритроцитов крови человека с расстояния 5,7 мм при 30°С вызывает утечку из клеток гемоглобина. Величина эффекта определяется плотностью потока облучения и длительностью воздействия. Обычное повышение температуры до 35°С контрольных эритроцитов без СВЧ-облучения не вызывает утечки гемоглобина.

Рядом отечественных ученых (Н. Д. Девятковым, М. К. Голантом, Б. Н. Тарусовым, А. С. Персманом и др.) убедительно доказано, что действие СВЧ различного частотного диапазона и интенсивности влияет на жизнедеятельность практически всех органов человека, где происходит синтез и обмен химических элементов.

Очень малая энергия ЭМИ, нужная для оказания существенного воздействия на функционирование организмов, свидетельствует о том, что ЭМИ не случайный для живых организмов фактор, что сигналы ЭМИ вырабатываются и применяются в определенных целях самим организмом, а наружное облучение лишь копирует вырабатываемые организмом сигналы. Проникая в организм, наружные излучения на определенных (резонансных) частотах трансформируются в информационные сигналы, осуществляющие управление и регулирование восстановительными или приспособительными процессами в организме [20].

## **5.2 Организационный метод защиты от электромагнитного излучения**

Наиболее всеобщим эффектом действия радиоволн на организм человека (электромагнитных излучений малых уровней) является дезадаптация - нарушение функций механизма, регулирующих приспособительные реакции организма к изменениям условий наружной среды (к теплу, холоду, шуму, психологических травм т. п.) т. е. СВЧ поле является типичным стрессом.

Имеющаяся система взоров о нраве взаимодействия низкоинтенсивного СВЧ-излучения с биологическими объектами только начинает формироваться, она не является несомненной, но абсолютно значима для познания и управления процессами жизнедеятельности.

В диапазоне частот 300 МГц — 300 ГГц на рабочих местах и в местах вероятного нахождения персонала, связанного с противодействием ЭМП, оно оценивается по предельно допустимой плотности потока мощности  $ППМ=V/T$ , где  $V$  — нормированное значение допустимой энергетической нагрузки на организм человека, Вт\*ч/м<sup>2</sup>;  $T$  — время пребывания в зоне облучения, ч.

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

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

Радиорелейная станция и базовая станция подключают в себя мощные СВЧ устройства, в которых генераторы высокочастотной энергии имеют мощность около сотен киловатт в импульсном режиме. Даже если маленькая часть этой мощности просачивается в окружающее пространство, это может представлять опасность для окружающих: противодействие достаточно мощного СВЧ излучения на зрение, нервную систему и иные органы человека может вызвать серьезные болезненные явления. Поэтому при работе с мощными источниками СВЧ энергии нужно неукоснительно соблюдать требования техники безопасности [21].

В нашей стране установлена безопасная норма СВЧ излучения, т.е. так именуемая санитарная норма — 10 мкВт/см<sup>2</sup>. Она означает, что в месте нахождения обслуживающего персонала мощность потока СВЧ энергии не должна превышать 10 мкВт на каждый квадратный сантиметр поверхности. Эта норма взята с многократным запасом. Так, например, в США в 60-е годы была норма в 1000 раз большая — 10 мВт/см<sup>2</sup>.

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

К основным способам и средствам защиты от воздействия ЭМП относятся:

- организационные меры защиты;

- уменьшение интенсивности излучения от источника;
- экранирование источника излучения;
- экранирование или удаление рабочего места от источника излучения;
- применение средств сигнализации;
- применение средств индивидуальной защиты.

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

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

Использование дистанционного управления оборудованием позволяет персоналу исполнять свои функции, находясь вне зоны действия ЭМП [18].

### 5.3 Метод защиты расстоянием

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

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

Для ослабления излучения в источнике могут быть использованы следующие технические средства. Работа на пониженной мощности, когда установка работает, отдавая только часть своей проектной мощности. Такой режим применяется в процессе настройки, регулировки и при профилактических работах. Работа на эквивалентную нагрузку, когда установка подключена не к излучающей антенне, а к ее эквиваленту. Это позволяет контролировать режимы работы установки при полной мощности, но без излучения ЭМП. Кроме перечисленных средств, можно уменьшить излучение ЭМП, если своевременно устранять места излучения в волноводах и фидерах, а также уменьшать отраженную волну за счет согласования нагрузок. Также среди технических мер защиты от воздействия радиоизлучений широко распространен метод защиты расстоянием, основанный на том, что плотность потока мощности ( $W$ ) обратно пропорциональна квадрату расстояния:

$$W = \frac{P \cdot \theta}{4 \cdot \pi \cdot R^2},$$

где  $P$  — излучаемая мощность на выходе антенны мкВт;

$\theta$  - коэффициент направленности антенны;

$R$  — расстояние до излучателя.

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

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

Включение предупредительной сигнализации позволяет информировать персонал о том, что установка работает в режиме излучения ЭМП. На каждой установке обязательны зеленая и красная лампы. Зеленая лампа сигнализирует о готовности установки к работе в режиме излучения ЭМП, красная – о наличии излучения. Кроме того, для информации персонала используются предупредительные надписи и плакаты.

При превышении уровней интенсивностей ЭМП по отношению к допустимым используются индивидуальные средства защиты. К ним относятся радиозащитные очки и специальные халаты с капюшонами или комбинезоны [21].

Предотвращение излучения через отверстие для наблюдения или подачи воздуха осуществляется применением металлических трубок достаточно малого внутреннего диаметра и нужной длины. Такие трубки являются запердельными волноводами и практически не пропускают СВЧ энергию. Нужно, чтобы внутренний радиус  $R$  был в 10...15 раз меньше рабочей длины волны. В этом случае погонное затухание (в децибелах на сантиметр) на низшем типе волны  $H_{11}$  может быть приблизительно определено по формуле  $L=16/R$ , а всеобщее затухание при длине трубки  $l$  делается равным  $16l/R$  дБ.

Рассчитаем длину трубки для нашего случая – частота 2500 МГц. Рабочая длина волны  $\lambda=12$  см. Возьмем трубку с внутренним радиусом  $R=1,5$  см. Используя формулой для  $L$ , определим, что на каждом сантиметре длины трубки погонное затухание  $L=16/1,5=10,8$  дБ/см. Если мощность СВЧ колебаний резонатора составляет 1 кВт, а вне трубки будем считать допустимой мощность 1 мкВт, то на длине трубки  $l$  должно быть ослабление  $1\text{кВт}/1\text{мкВт} = 1/10^{-6} = 10^6$  раз, или 60 дБ. Длина трубки будет  $l=60/L=60/10,8=5,17$  см.

Окончательно длину трубки с внутренним диаметром 15 мм можно принять равной 5 см. Как видим, безопасный уровень излучения может быть получен при не очень длинных трубках и при достаточно больших диаметрах.



Защита – это заключительный этап всего цикла работ, направленных на обеспечение безопасности персонала и населения, находящихся в зоне действия мощных радиотехнических средств СВЧ. В большинстве случаев под защитой понимаются любые мероприятия, направленные на снижение эффективности воздействующего фактора. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что СВЧ излучение является серьезным негативно воздействующим на организм человека фактором и требует неукоснительного соблюдения всех норм техники безопасности [20].

#### **5.4 Охрана окружающей среды на предприятии связи**

Предприятия и сооружения связи в отличие от органических, нефтехимических, металлургических, целлюлозно-бумажных и иных похожих предприятий, и сооружений по отрицательному противодействию на атмосферу и гидросферу относительно можно отнести к сравнительно «чистым».

Однако в процессе сооружения объектов связи, хотя и на небольшой площади поверхности земли происходит нарушение природного баланса. Технологические процессы и оборудование, применяемые в связи, все же являются источником определенного количества вредоносных веществ, выбрасываемых в атмосферу и попадающих в гидросферу. Помимо этого, большее число предприятий и сооружений связи являются мощным источником электромагнитных полей, охватывающих большие пространства и отрицательно влияющих на природный баланс биосферы.

Потому в индустрии связи необходимо суровый интерес уделять вопросам оценки её действия на находящуюся вокруг среду и упражнять природоохранные мероприятия. При проектировании организаций и сооружений связи обязательно предусматривается экономное внедрение земли и действенные средства охраны находящейся вокруг среды от загрязнения. Технические решения обязаны предугадывать понижение загрязненности по вероятного уровня либо ликвидацию вредоносных выбросов в атмосферу. При наличии технологических действий, предусматривающих внедрение воды в важных размерах, технические решения обязаны гарантировать использование систем оборотного водоснабжения, убавления численности сточных вод либо использование бессточных систем. Большая сосредоточенность каждого вредоносного вещества, эмитируемого предприятием, не обязана превосходить максимально вероятных концентраций, устанавливаемых действующими нормами [18].

Существующие правила проектирования обязывают в каждый технический проект на объект возведения подключать мероприятия по охране окружающей среды от загрязнения сточными водами и выбросами в атмосферу. В каждом таком проекте обязательны обоснование и расчеты к используемым проектным решениям по утилизации элементов, содержащихся в сточных водах и выбросах в атмосферу, их очистке и

обезвреживанию. Помимо этого, в проекты возведения предприятий и сооружений связи обязательно должны быть включены вопросы, связанные с воскрешением (рекультивацией) земельного участка и приведением его в состояние, пригодное для дальнейшего использования в сельском, лесном, рыбном хозяйствах или по назначению, например устройству коммуникаций, дренажа и др. Рекультивацию земель, согласно существующему законодательству, осуществляет предприятие, организация или учреждение, ведущее строительные работы. При возникновении опасности нарушения плодородного почвенного покрова нужно его срывать и держать с целью нанесения на рекультивируемую землю.

Для черт связи (кроме черт абонентской связи) существуют особые нормы отвода земель, которые устанавливают ширину полос земель для черт и размеры земельных участков для размещения сооружений на этих чертах. Вопрос о системном противодействии предприятий и сооружений связи на окружающую среду поставлен совсем недавно. Работы в данном направлении только разворачиваются, и для решения проблемы предстоит еще приложить не мало усилий. Прежде всего, нужно получить объективные данные по комплексному противодействию объектов связи на окружающую среду. Такого рода данные позволят изобрести, оптимизировать и использовать организационно-технические мероприятия по устранению источников вредоносных противодействий и обеспечить гармоническое совершенствование отрасли связи с учетом требований сохранения природного равновесия в окружающей нас природной среде [19].

## **6 Технико-экономическое обоснование проектирования сети беспроводного доступа в г. Кентау**

### **6.1 Обоснование проектирования широкополосной системы радиосвязи**

В дипломном проекте рассматривается вопрос о создании широкополосной беспроводной сети по технологии LTE для города Кентау.

Кентау активно развивающийся город, окруженный коттеджными поселками и зонами отдыха. Высокоскоростной доступ в Интернет предоставляется в городе 2-мя проводными провайдерами, охватывающими 70% города. Также организовано кабельное телевизионное вещание на основе сети одного из провайдеров. Сервис IP телефонии предоставляется только юридическим лицам. Прокладка проводов в коттеджных поселках и зонах отдыха осложнена особенностями застройки и контролем доступа на территории отдельных объектов. Невозможна реализация QoS, необходимого для реализации видеоконференций и VPN с низким уровнем потерь.

Наземные системы связи хоть и обеспечивают наилучшую скорость передачи данных и высокую надёжность, но их использование не всегда физически реализуемо, а зачастую дороже. А использование технологии LTE позволяет поднять скорость передачи данных, тем самым стирая разницу между проводными и беспроводными сетями.

Немаловажную роль играет скорость развертывания сети: отсутствие необходимости прокладывать провода сильно сокращает сроки запуска сети в коммерческую эксплуатацию.

Основные производители оборудования для сетей LTE являются такие известные компании как TeliaSonera, Ericsson, Alcatel-Lucent и многие другие. Примерные цены на оборудование для построения сети LTE мне предоставил сотрудник компании Alcatel-Lucent для использования в дипломной работе.

## 6.2 Расчёт капитальных затрат

Стоимость сети LTE складывается из следующих основных составляющих:

- Стоимость базовой станции eNode
  - Стоимость антенн
  - Стоимость соединительных кабелей
- Суммарную стоимость оборудования для обновления ядра пакетной обработки
  - Обновление блока SGSN до MME
  - Обновление GGSN до SGW/PGW
- Стоимость оборудования для транспортной сети (VoIP)
- Стоимость оборудования ЦОД (маршрутизаторы, сервера)
- Стоимости развёртывания сети, включающей проведение проектно-строительных работ, доставку, монтаж и наладку оборудования
- Разрешение ГКРЧ на каждую базовую станцию

Кроме того, для использования сети требуется лицензия для работы в конкретном частотном диапазоне, которая соответственно тоже составляет немалую часть от стоимости сети.

Компания Alcatel-Lucent располагает линейкой оборудования для развёртывания сети, а также предоставляет широкий спектр услуг и решений для реализации проектов клиентов. Основные услуги это:

- разработка системного проекта сети;
- проектно-строительные работы и подготовку площадок для монтажа станций;
- доставка оборудования к месту монтажа;
- монтаж БС и пусконаладочные работ.

В процессе эксплуатации сети LTE Alcatel-Lucent обеспечивает:

- гарантийное обслуживание;
- обучение специалистов заказчика;
- техническую поддержку сети.

БС проектируемой системы имеет блочное исполнение. Такой вид конструкции позволяет упростить монтаж БС и сократить избыточности системы добавляя в стойку БС только необходимое количество блоков. После доставки необходимых блоков БС может быть развёрнута и введена в эксплуатацию в течение одного дня.

Сеть LTE в городе Кентау будет строиться путём интеграции в действующую сеть 3G (UTRAN). Для расчета капитальных вложений используем данные для средних капитальных вложений на квадратный километр, в зависимости от плотности насыщения базовых станций. В таблице 6.1, приведены примерные цены на оборудование для построения сети LTE при условии что, в г. Кентау будет работать 18 базовых станций.

Таблица 6.1 - Затраты на оборудование.

Наименование оборудования	Цена, дол.США
Базовая станция eNode B (DU+ 3x RRU)	450 000
Антенная система (комплект)	20 000
<b>Оборудование для EPC (интеграция с GSM)</b>	
Обновление SGSN до MME	200 000
Обновление GGSN до SGW/PGW	100 000
Расходы на транспортную сеть (VoIP)	10 000
Итого за оборудование	780 000\$

При пересчёте на курс Казахстанского тенге равным 182, получим  
 $K_{об} = 182 * 780\,000 = 141\,991\,200$  тенге.

Затраты на оборудование составляют примерно 141 991 200 тенге.

Одним из основных технико-экономических показателей являются капитальные затраты (К). Капитальные затраты могут быть сведены к следующим: удельная цена оборудования ( $K_{об}$ ), транспортные расходы ( $K_{тр}$ ) – как правило 5%.

$$K_{тр} = K_{об} * 5\%$$

$$K_{тр} = 141\,991\,200 * 0,05 = 7\,099\,560 \text{ тенге.}$$

Расходы на монтаж оборудования ( $K_{мон}$ ) - 25% от стоимости оборудования.

$$K_{мон} = K_{об} * 25\%$$

$$K_{мон} = 141\,991\,200 * 0,25 = 35\,497\,800 \text{ тенге.}$$

Затраты на получение лицензии, частотного ресурса и подключения ( $K_{проч}$ ).

Коэффициент  $K_{проч}$  на данный момент учитывать не будем, так как ещё не объявлены тендеры на приобретение лицензий.

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мон} + K_{проч}$$

Таким образом, для моего проекта получим:

$$K = 141\,991\,200 + 7\,099\,560 + 35\,497\,800 + K_{проч}$$

$$K = 184\,588\,560 \text{ тенге.}$$

Это капитальные затраты при условии, что сеть LTE в городе Кентау будет состоять из 18 базовых станций (18 сот).

### 6.3 Расчёт эксплуатационных расходов

Другим важным технико-экономическим показателем являются эксплуатационные расходы (Э), так как они отражают производственную деятельность предприятия, показывая, какие требуются расходы на организацию производственного процесса. Эксплуатационные расходы складываются из следующих статей:

- расходы на оплату труда - Фот
- отчисления на социальные нужды - Ос.н.
- амортизационные отчисления на полное восстановление - А
- расходы на аренду здания - Ар
- материальные затраты – М
- затраты на оплату электроэнергии – Сэл.эн.
- прочие производственные, транспортные и эксплуатационно-хозяйственные расходы – Пр.

$$\text{Э} = \text{Фот} + \text{Сн} + \text{А} + \text{Ар} + \text{М} + \text{Сэл.эн.} + \text{Пр}$$

Годовой фонд заработной платы всего персонала определяется исходя из количества единиц и тарифной ставки каждой штатной единицы. Для организации работы в компании предоставляющей услуги связи предлагается следующее распределение штата.

Таблица 6.2 - Количество штатных единиц и тарифная ставка

№ п/п	Наименование должности.	Количество штатных единиц	Месячный оклад работника, тенге.	Сумма, тенге.
1	Генеральный директор	1	525 000	525 000
2	Технический директор	1	480 000	480 000
3	Главный бухгалтер	1	420 000	420 000
4	Ведущий инженер по радиосвязи	1	260 000	260 000
5	Экономист	1	172 500	172 500
6	Специалист по маркетингу	1	172 500	172 500
7	Юрист	1	115 000	115 000
8	Инженер технической службы	3	110 000	330 000
9	Снабженец	1	100 000	100 000
10	Менеджер	2	90 000	180 000
11	Монтажники систем связи	4	90 000	360 000
12	Водитель	2	75 000	150 000
13	Уборщица	1	60 000	60 000
	ИТОГО	20		3 325 000

Итого: получили штат из 20 человек на заработную плату которым требуется 3 325 000 тенге ежемесячно. Тогда годовой фонд заработной платы составляет:

$$Зосн=12 * 3\,325\,000= 39\,900\,000 \text{ тенге/год.}$$

$$Фот=Зосн+Зпрем;$$

$$Зпрем=Зосн*0.05;$$

$$Зпрем=39\,900\,000*0.05 = 1\,995\,000 \text{ тенге/год.}$$

$$Фот=39\,900\,000 + 1\,995\,000 = 41\,895\,000 \text{ тенге/год.}$$

Социальный налог(Сн) составляет 11% от фонда оплаты труда(ФОТ) и рассчитывается по формуле:

$$Сн=(Фот-Пф)*0.11 \text{ , где Пф – отчисления в пенсионный фонд}$$

$$Пф=Фот*0.1 \text{ ,}$$

$$Пф=41\,895\,000*0.1=4\,189\,500 \text{ тенге.}$$

$$Сн=(41\,895\,000-4\,189\,500)*0.11=37\,705\,500*0.11=4\,147\,605 \text{ тенге.}$$

Амортизационные отчисления на полное восстановление основных производственных фондов определяют на основании капитальных вложений и установленным нормам амортизации. Нормы на амортизационные отчисления составляют для станционного оборудования – 14%,

Принимаем норму амортизационных отчислений равной  $Нот = 14\%$  от стоимости основных производственных фондов (капитальных затрат К).

Тогда:

$$А = К \cdot На,$$

$$А = 184\,588\,560 \cdot 0.14 = 25\,842\,398,4 \text{ тенге/год.}$$

Затраты на аренду помещений можно определить следующим образом:

Исходя из примеров работы на аналогичных сетях ориентировочно полагается, что предприятие арендует  $20\text{ м}^2$  под ЦОД,  $60\text{ м}^2$  под офис, под базовую станцию в среднем арендуется  $15\text{ м}^2$ . Стоимость  $1\text{ м}^2$  аренды для г. Кентау составляет примерно 26 000 тенге/год. Арендуется гараж и склад и стоимость их аренды составляет 375 000 тенге/год.

Тогда имеем:

$$Ар = (S_{цод} + S_o + \sum_{i=1}^n S_{bc}) * A_c + A_{г.с} \text{ ,}$$

$$Ар = (20 + 60 + 18*15) * 26\,000 + 375\,000 = 9\,475\,000 \text{ тенге/год.}$$

Материальные затраты

Материальные затраты это:

а) расходы на материалы и запасные части - М (принимаются в размере 2% от капитальных затрат на оборудование)

$$М=К*0.02;$$

$$М=184\,588\,560*0.02 = 3\,691\,771,2 \text{ тенге/год.}$$

б) расходы на производственную электроэнергию – Сэл.эн, (вычисляются по потребляемой мощности за год и тарифам)



$$C_{\text{эл.эн}} = \frac{m_T \times 8760 \times \sum_{i=1}^n n_i \times p_i}{1000 \times \eta} \text{ тенге.}$$

где  $m_T = 16,68$  – тарифная плата за 1 кВтч, тенге ( данные 2014 г.);

$n_i$  - количество единиц аппаратуры данного типа;

$p_i$  - мощность, потребляемая единицей аппаратуры;

$p_i = 150$  Вт.

$\eta = 0.8$  – КПД.

$$C_{\text{эл.эн}} = \frac{16,68 \times 8760 \times 18 \times 150}{1000 \times 0.8} = 493\,144,2 \text{ тенге/год}$$

в) расходы на рекламу:

$P = 3\,000\,000$  тенге/год

г) прочие административно-хозяйственные расходы - Пр

Прочие производственные, транспортные и эксплуатационно-хозяйственные расходы (Пр) составляют 5% от общих эксплуатационных расходов. Тогда получим:

$\text{Э} = \text{Фот} + \text{Сн} + \text{А} + \text{Ар} + \text{М} + \text{Сэл.эн.} + \text{Р} + \text{Пр};$

$\text{Пр} = (\text{Фот} + \text{Сн} + \text{А} + \text{Ар} + \text{М} + \text{Сэл.эн.} + \text{Р}) \times 0.05;$

$\text{Пр} = (41\,895\,000 + 4\,147\,605 + 25\,842\,398,4 + 9\,475\,000 + 3\,691\,771,2 + 493\,144,2 + 3\,000\,000) \times 0.05 = 4\,427\,245,94$

$\text{Э} = 88\,544\,918,8 + 4\,427\,245,94 = 92\,972\,164,74$

$\text{Э} = 92\,972\,164,74$  тенге/год или  $7\,747\,680,395$  тенге/мес.

## 6.4 Расчёт доходов от реализации услуг и прибыли

Доходы от основной деятельности - это денежные суммы, полученные организациями связи за предоставленные услуги по установленным тарифам.

$D = \sum D_i$ , где  $D_i$  – годовой доход от тарифа  $i$ .

$D_i = N_i \times T_i \times 12$ , где

$N_i$  – количество абонентов, пользующихся  $i$  – м тарифом.

$T_i$  – ежемесячная абонентская плата за  $i$  – й тариф.

В моём проекте я введу три мультисервисных тарифных плана с разным объёмом трафика или ограничением в скорости:

1) Безлимитный трафик, но скорость ограничена 10Мб/с.

Ежемесячная абонентская плата – 6000 тенге

2) Трафик ограничен до 10 Гбит. скорость не ограничена.

Ежемесячная абонентская плата – 8000 тенге

3) Трафик ограничен до 100 Гбит. скорость не ограничена.

Ежемесячная абонентская плата -12000 тенге

$D_{1,1} = 750 \times 6000 \times 12 = 54\,000\,000$  тенге/год.

$D_{1,2}=350*8000*12=33\ 600\ 000$  тенге/год.  
 $D_{1,3}=50*12000*12=7\ 200\ 000$  тенге/год.  
 $D_1= 54\ 000\ 000+33\ 600\ 000+7\ 200\ 000=94\ 800\ 000$  тенге/год.  
 $D_{2,1}=1500*6000*12=108\ 000\ 000$  тенге/год.  
 $D_{2,2}=700*8000*12=67\ 200\ 000$  тенге/год.  
 $D_{2,3}=100*12000*12=14\ 400\ 000$  тенге/год.  
 $D_2= 108\ 000\ 000+67\ 200\ 000+14\ 400\ 000=189\ 600\ 000$  тенге/год.  
 $D_{3,1}=1500*6000*12=108\ 000\ 000$  тенге/год.  
 $D_{3,2}=700*8000*12=67\ 200\ 000$  тенге/год.  
 $D_{3,3}=100*12000*12=14\ 400\ 000$  тенге/год.  
 $D_3= 108\ 000\ 000+67\ 200\ 000+14\ 400\ 000=189\ 600\ 000$  тенге/год.  
 $D_{cp}=\sum D_i/3$   
 $D_{cp}=(94\ 800\ 000+189\ 600\ 000+189\ 600\ 000)/3=158\ 000\ 000$   
 тенге/год.

Данные сведем в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 - Расчет дохода от основной деятельности по периодам.

№ п/п	Период	Количество абонентов Ni			D Доход,тенге
		Тариф 1	Тариф 2	Тариф 3	
	за 1-й год	750	350	50	94 800 000
	за 2-й год	1500	700	100	189 600 000
	за 3-й год	1500	700	100	189 600 000
	В среднем за 3 года	1500	700	100	158 000 000

Исходя из результатов расчетов:

$$D_{cp} = 158\ 000\ 000 \text{ тенге/год.}$$

### 6.5 Анализ результатов и определение экономического эффекта

Расчёт технико-экономических показателей, показал, что проектируемая система широкополосной беспроводной связи стандарта 4G по технологии LTE является экономически выгодной. Срок значительно меньше нормативного ( $T_{норм} = 5$  лет).

В рассматриваемой системе на базе оборудования компании Alcatel-Lucent много потенциальных возможностей для дальнейшего развития сети с минимальными затратами. Что приведет к увеличению числа абонентов, а соответственно и прибыли.

Результаты расчёта основных экономических показателей приведены в таблице 6.4 и таблице 6.5.

Таблица 6.4 - Результаты расчёта основных экономических показателей (без дисконтирования)

Наименование показателя	Годы					
	0	1	2	3	4	5
Доходы от реализации услуг, тыс. тенге		94800	189600	189600	189600	189600
Эксплуатационные расходы, тыс. тенге		92972	92972	92972	92972	92972
Прибыль от основной деятельности, тыс. тенге		1828	96628	96628	96628	96628
КПН, тыс. тенге		366	19326	19326	19326	19326
Чистая прибыль, тыс. тенге		1462	77302	77302	77302	77302
Чистый доход с нарастающим итогом, тыс. тенге		1462	78764	156066	233368	310670
Кап. вложения, тыс. тенге	184588					
		-183126	-105824	-28522	48780	126082

По графику на рисунке 6.1 графически определяется срок окупаемости средств, вложенных в проект. Без дисконтирования срок окупаемости равен 3,2 лет. График построен по данным таблицы 6.4.

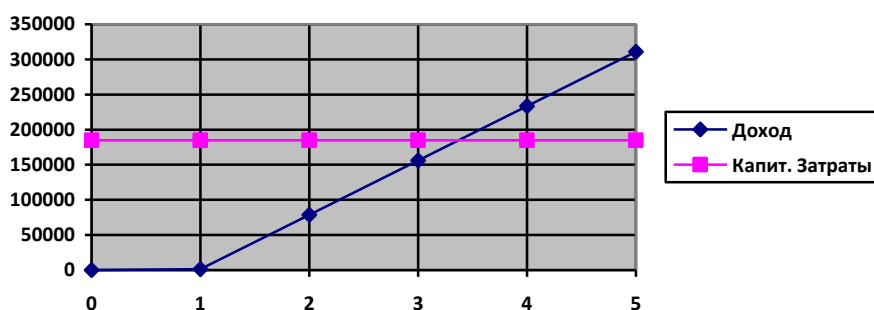


Рисунок 6.1 - Срок окупаемости средств

Так как, срок окупаемости проекта без дисконтирования составляет 3,2 года для получения более точных данных необходимо произвести оценку эффективности проекта с учетом дисконтирования.

При принятии решений в бизнесе о долгосрочных инвестициях возникает потребность в прогнозировании их эффективности. Для этого рассчитываются следующие показатели:

- чистая приведенная стоимость – NVP;

- индекс рентабельности инвестиций – PI;
- внутренняя норма доходности – IRR;
- дисконтированный срок окупаемости инвестиций DPB.

PV – современная стоимость денежного потока на протяжении экономической жизни проекта.

Коэффициент дисконтирования рассчитывается по формуле:

$$K_{prt} = 1 / (1 + r) \cdot t \cdot ()$$

где Kпр – коэффициент дисконтирования;

r – норма дисконта;

t – номер шага расчета.

Чистая приведенная стоимость (NVP) рассчитывается по формуле:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{PV_t}{(1+r)^t} - I_0$$

где  $\sum PV$  – общая накопительная величина дисконтированных доходов;

r – норма дисконта(15%);

t – номер шага расчета;

$I_0$  – инвестиции.

Общая накопительная величина дисконтированных доходов определяется по формуле:

$$PV = \sum_{i=1}^n \frac{P_t}{(1+r)^t}$$

где  $P_t$  – чистый поток платежей в периоде t.

Индекс рентабельности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_k \frac{PV_t}{(1+r)^t} / I$$

$$PI = 191958/184588 = 1.04$$

PI больше 1, проект следует принять.

Результаты расчёта основных экономических показателей с учетом дисконтирования представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 - Результаты расчёта основных экономических показателей (с дисконтированием)

Наименование показателя	Годы					
	0	1	2	3	4	5
Доходы от реализации услуг, тыс. тенге		94800	189600	189600	189600	189600
Эксплуатационные расходы, тыс. тенге		92972	92972	92972	92972	92972
Прибыль от основной, тыс. тенге		1828	96628	96628	96628	96628
КПН, тыс. тенге		366	19326	19326	19326	19326
Чистая прибыль, тыс. тенге		1462	77302	77302	77302	77302
Чистый доход с нарастающим итогом, тыс. тенге		1462	78764	156066	233368	310670
Коэффициент приведения, Кпр		0,86	0,75	0,65	0,57	0,49
Приведенный чистый доход, тыс. тенге		1257	57976	50246	44602	37877
Приведенный чистый доход с нарастающим итогом, тыс. тенге		1257	59233	109479	154081	191958
Кап. вложения, тыс. тенге	184588					
NPV, тыс. тенге		-183331	-125355	-75109	-30507	7370

По графику на рисунке 6.2 графически определяется срок окупаемости средств, вложенных в проект с учетом дисконтирования. Срок окупаемости с учетом дисконтирования равен 4,8 лет.

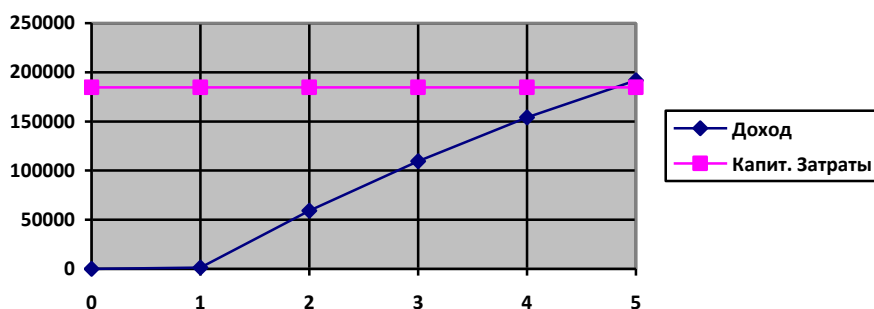


Рисунок 6.2 - Срок окупаемости средств.

Таблица 6.6 – Показатели эффективности внедрения беспроводного доступа в г. Кентау.

Показатели	Значения
Кап. вложения (К), тыс. тенге	184588
Чистый дисконтированный доход (NPV), тыс. тенге	7370
Дисконтированный срок окупаемости (t), год	4,8
Индекс рентабельности (PI)	1,04

Капитальные вложения для реализации проекта составила 184588 тыс.тенге, дисконтированный срок окупаемости – 4,8 лет, чистая приведенная стоимость (NPV) составляет 7370 тыс.тенге, что означает - в течений своей экономической жизни проект возместит первоначальные затраты и обеспечит получение прибыли согласно заданному стандарту, индекс рентабельности 1,04, то есть больше 1, что свидетельствует о том что проект следует принять.

### **Вывод**

Капитальные вложения для реализации проекта составила 184588 тыс.тенге, дисконтированный срок окупаемости – 4,8 лет, чистая приведенная стоимость (NPV) составляет 7370 тыс.тенге, что означает - в течений своей экономической жизни проект возместит первоначальные затраты и обеспечит получение прибыли согласно заданному стандарту, индекс рентабельности 1,04, то есть больше 1, что свидетельствует о том что проект следует принять.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По своим основным параметрам и характеристикам технология LTE является одной из наиболее перспективных как с точки зрения внедрения новых сервисов, требующих огромной пропускной способности, так и с точки зрения оказания базовой услуги широкополосного доступа в Интернет на тех территориях, где внедрение проводного доступа по тем или иным причинам невозможна.

Принципиально важным моментом для развития сетей LTE в Казахстане являются вопросы регулирования, особенно вопрос выделения достаточно огромного радиочастотного ресурса под новую технологию, требующую широкой полосы спектра для раскрытия своих возможностей. Этот и другие важные вопросы в Казахстане находятся на самой ранней стадии решения, что задерживает сроки внедрения LTE в Казахстане на несколько лет по сравнению с первыми запусками LTE в мире в 2010 г.

В основном LTE-проекты следует расценивать как среднесрочные и долгосрочные, требующие значительных инвестиций. Прежде всего, внедрение LTE рекомендуется на территориях с прогнозируемым высоким спросом на широкополосный мобильный доступ, впрочем не исключены варианты, когда LTE следует расценивать в качестве конкурента действующим проводным технологиям. В то же время нельзя не учитывать и конкурирующую с LTE технологию мобильного WiMAX, которая при похожих характеристиках имеет временное преимущество по срокам начала коммерческой доступности.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Варукина Л.А., Высочин В.П. Сети LTE и LTE Advanced: Архитектура, технологии и регулирование. - М.: Эко-Трендз, 2011 – 411 с.
2. В.Вишневецкий, А.Красилов, И.Шахнович Технология сотовой связи LTE – почти 4G – М.: Первая миля 2/2009
3. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE, технологии и архитектура - М.: Эко-Трендз, 2010 – 283 с.
4. Вишневецкий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005.
5. Альшуллер М., Портной С. WiMAX и LTE – противостояние или эволюция. – М.: Первая миля 3/2010
6. Гольдштейн Б.С., Ериель И.М., Рерле Р.Д. Интеллектуальные сети. – М.: Радио и связь, 2000. – 500с.
7. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance. - Cambridge University Press, 2009 – 492 с.
8. 3GPP TS 36 104: "E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception" (Release 9). April 2011.
9. 3GPP TS 25.996: "Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations" (Release 9). December 2009
10. Вишневецкий В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 465 с
11. Варукина Л.А., Координация помех в сетях LTE// Радиочастотный спектр. – 2010. - №2. - С. 30-33.
12. Варукина Л.А., Технология MIMO в системах LTE// Электросвязь. – 2009. - №11. - С. 52-55.
13. Материал из Википедии — свободной энциклопедии [http://ru.wikipedia.org/wiki/3GPP\\_Long\\_Term\\_Evolution](http://ru.wikipedia.org/wiki/3GPP_Long_Term_Evolution)
14. Кафедра MForum.ru: Лидия Варукина. Упражнение по планированию радиосетей LTE <http://www.mforum.ru/news/article/097078.htm>
15. Сравнение WiMAX с HSPA и LTE [http://www.sit-com.ru/sat/sravnenie\\_wimax\\_lte.html](http://www.sit-com.ru/sat/sravnenie_wimax_lte.html)
16. WiMAX vs LTE: революция или эволюция <http://www.tssonline.ru/articles2/fix-op/wimax-vs-lte-revoluciya-ili-evoluciya>
17. Как перевести LTE - эволюция в долгосрочной перспективе <http://www.mforum.ru/analit/LTE.htm>
18. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности. – М.: Высшая школа, 2005. – 448 с., ил.

19. Дюсебаев М. К. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела в дипломных проектах. – Алматы: АИЭС, 2003. – 27 с.
20. Хакимжанов Т.Е. Безопасность жизнедеятельности. Расчет аспирационных систем. Методические указания к выполнению раздела в дипломных проектах. – Алматы: АИЭС, 2002.
21. Кошулько Л.П., Суляева Н.Г. Производственное освещение. Методические указания к выполнению раздела «Охрана труда» в дипломном проекте. – Алматы: АИЭС, 2005. – 40 с.
22. Алибаева С. А. Методические указания по дипломному проектированию (для студентов всех форм обучения направления 652400 - Радиотехника и телекоммуникации). – Алматы: АИЭС, 2001. – 17 с.
23. Основы экономики телекоммуникации (связи): Учебник для вузов / Под ред. Горелик М. А. и Голубицкой Е. А. – М.: Радио и связь, 1997. – 224 с.