Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра «Телекоммуникационные системы»____
Специальность_6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Зав. кафедрой
к.т.н., _Шагиахметов Д.Р._____
(ученая степень, звание, ФИО) (подпись)
«____»_____2014 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка

на тему: Оценка влияния изменения параметров мобильной сети на качество связи

Магистрант_Касымбеков Р.М.____ _____ группа _МТСп-12-1
(Ф.И.О.) (подпись)

Руководитель_к.т.н., профессор__ _____ _Казиева Г.С._____
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Рецензент_____ _____ _____
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ _к.х.н., ст..преп. _____ __Данько Е.Т._____
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Нормоконтроль _к.х.н., ст..преп.__ _____ _Кудинова В.С.___
(ученая степень, звание) (подпись) (Ф.И.О.)

Алматы, 2014

Некоммеческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет__«Радиотехники, электроники и связи»_____
Специальность_6М071900 «Радиотехники, электроники и телекоммуникации»
Кафедра__«Телекоммуникационных систем»_____

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту__Касымбекову Р.М._____
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации __«Оценка влияния изменения параметров мобильной сети на качество святи»_____
утверждена Ученым советом университета №142_от «_31»_октября 2013 г.___
Срок сдачи законченной диссертации «___»_____
Цель исследования___состоит в оценке качества мобильной сети путем улучшения параметров при различных технологиях и стандартах_____
_____
_____
_____
_____

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:
_1. Анализ актуальности использования мобильной сети UMTS _____
_2. Принципы построения, архитектуру и функции сети _____
_3. Информационный обзор основных технологий и стандартов мобильной сети _____
4. Оценка работы мобильной сети при различных технологиях и стандартах
_5.Расчет основных параметров качества мобильной сети и результаты расчетов_____

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)_____
__Рисунок 1.1 - Разделение сети UMTS на области_____
__Рисунок 2.1 - Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH_____
__Рисунок 2.3 - Распределение спектра между абонентами в зависимости от условий приема_____
__Рисунок 3.1- Фрагмент сети UMTS мобильного оператора «Tele2»_____

__Рисунок 3.8 - График зависимости скорости скачивания от времени при различных уровнях сигнала при технологии HSPA+ 64 QAM Dual Carrier__
_ Рисунок 4.6 – Зависимость коэффициента загрузки ячейки от мощности БС_
Рекомендуемая основная литература
_Невдяев Л. Мобильная связь третьего поколения - М.: МЦНТИ _200._____
_ HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications. Ericsson Networks. Sweden_____
_ Кааранен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы/Х. Кааранен, А.Ахтиайнен, Л.Лаитинен, С.Найян, В.Ниеми. – М.:Техносфера, 2008 – 468с_

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 Информационный обзор мобильной сети UMTS	05.10.2012	
2 Основные виды сетей и технологии мобильной связи UMTS	02.02.2013	
3 Анализ основных параметров сети UMTS	10.03.2013	
4 Оценка работы мобильной сети при различных технологиях и стандартах	05.09.2013	
5 Расчет различных параметров качества мобильной сети UMTS	03.10.2013	
6 Расчет коэффициента загрузки ячейки в сети UMTS/HSDPA	20.10.2013	
7 Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных	10.12.2013	

Дата выдачи задания_____

Заведующий кафедрой_____(__Шагиахметов Д.Р.___)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации_____(___Казиева Г.С._____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению
магистрант _____(___Касымбеков Р.М.__)
(подпись) (Ф.И.О.)

Содержание

Введение 6
1 Информационный обзор мобильной сети UMTS 8
1.1 Актуальность использования мобильной сети UMTS 8
1.2 Принципы построения сети UMTS 9
1.3 Функции сети UMTS 11
1.4 Архитектура сети UMTS 13
2 Основные виды сетей и технологии мобильной связи UMTS 17
2.1 Технология HSDPA 17
2.2 Технология HSUPA 21
2.3 Высокоскоростные сети HSPA 28
2.4 Технология применения репитеров в мобильных сетях UMTS 30
2.5 Анализ основных параметров сети UMTS 31
3 Экспериментальная часть 35
3.1 Оценка работы мобильной сети при различных технологиях и стандартах 35
3.2 Результаты проведенных экспериментальных измерений 36
4 Расчетная часть 46
4.1 Расчет нагрузки радиолиний системы UMTS 46
4.2 Расчет емкости и уровня шумов Node B в сети UMTS без репитеров 47
4.3 Расчет емкости и уровня шумов Node B в сети с репитерами 49
4.4 Расчет максимально допустимых потерь в каналах Uplink, Downlink для сети UMTS 52
4.4.1 Расчет максимально допустимых потерь на трассе Uplink 53
4.4.2 Расчет максимально допустимых потерь на трассе радиолинии Downlink 54
4.4.3 Расчет уровня сигнала в зоне покрытия БС 55
4.5 Расчет емкости системы UMTS 56
4.6 Расчет коэффициента загрузки ячейки в сети UMTS/HSDPA 57
Заключение 62
Список литературы 63
Приложение А Листинг программы MathCad 64
Приложение В Программа конфигурации и мониторинга мобильной сети - LMT 66

Аңдатпа

Бұл жұмыс UMTS ұтқыр байланыстың зертеу сұрактарын қамашалайды. Әртүрлі байланыс технологиялар бойынша бүл диссертацияда аналитикалық шолу көрсетілген. Сапа параметрінің анализы қарастырған. Есептік бөлік ұсынған. Ұтқыр байланыстың әртүрлі технологиялар және стандарттар бойынша эксперименттік, зерттеулік нәтижелер көрсетілген.

Аннотация

Данная работа охватывает ряд вопросов связанных с исследованием работы мобильной сети UMTS. В работе представлен аналитический обзор по направлениям различных технологий, характеризующих работу мобильной сети UMTS. Рассмотрен анализ параметров качества. Представлена расчетная часть. Отражены результаты экспериментальных исследований работы мобильной сети при различных технологиях и стандартах.

Annotation

This work covers a number of questions connected with the research of UMTS mobile network. In the work presented an analytical review on different technologies that describes a work of UMTS mobile network. Quality parameters analysis has been revised. Introduced a calculation part. The results of mobile network research have been presented at different technologies and standards.

Введение

В наше время прогнозируется очень стремительный подъем и развитие отрасли телекоммуникаций, мобильной связи. Это характеризуется быстрым развитием новых расширенных услуг, стандартов и технологий. В связи с этим и была разработана Универсальная Система Мобильной Связи (UMTS). UMTS предоставляет абоненту большое количество дополнительных услуг, таких как определение расположения абонента, выход в Интернет, различные чаты, конференции, видеоконференции.

С появлением нового стандарта мобильной связи, нового радиоинтерфейса WCDMA, в мобильной сети UMTS появляется множество различных технических проблем. Появилась необходимость рассмотрения и учета функций и особенностей, которые ранее в предыдущих поколениях мобильных сетей не были рассмотрены (в сетях GSM/EDGE). Этими особенностями являются непарная загрузка каналов (прямого и обратного), различные типа трафика с разными скоростями передачи данных, и различные условия к качеству других дополнительных услуг.

Мобильная сеть UMTS обладает значительно выраженным отличием, особенностью от сетей предыдущих поколений, в более высоких скоростях передачи данных. Скорость передачи данных может быть равной 384 Кбит/с для коммутации каналов и до 2 Мбит/с для пакетной коммутации.

В связи с появлением больших скоростей, появляются новые типы дополнительных услуг, такие как ускоренная загрузка данных, видеозвонки. Будет необходима правильная обработка трафика TCP/UDP/IP в UMTS, потому что все запросы информации будут проводиться через Интернет.

Объем трафика пакетной передачи данных будет стремительно увеличиваться, но на начальных этапах развития мобильной сети UMTS, весь трафик будет голосовым. Трудно предсказать темп, с которым пойдет процесс увеличения трафика пакетной передачи данных во всем объеме трафика. При повышении трафика пакетной передачи данных и снижении голосового трафика, мы будем наблюдать стремительный переход от коммутации пакетов к пакетной коммутации данных. На начальных этапах развития UMTS такие приложения как передача речи, видеотелефония будут осуществляться в сетях с коммутацией каналов. Это связано с неполной реализацией функций обеспечения качества обслуживания (QoS), потому что указанные приложения и услуги очень критичны к задержке пакетов. На более поздних этапах развития данная проблема со временем задержки будет устранена и будет предоставляться необходимые QoS.

Данная магистерская диссертация в основном сосредоточена на решении задач повышения качества сети, которые актуальны в первую очередь с практической точки зрения.

Целью данной работы является оценка качества мобильной сети путем улучшения параметров при различных технологиях и стандартах. Для достижения данной цели в работе необходимо сделать следующее:

- анализ актуальности использования мобильной сети UMTS;
- рассмотреть принципы построения, архитектуру и функции сети;
- информационный обзор основных технологий и стандартов мобильной сети;
- провести анализ основных параметров сети UMTS;
- экспериментальная оценка работы мобильной при различных технологиях и стандартах;
- произвести расчет основных параметров качества мобильной сети UMTS.

1 Информационный обзор мобильной сети UMTS

1.1 Актуальность использования мобильной сети UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) — технология сотовой связи, разработанная Европейским институтом стандартов телекоммуникаций (ETSI). Сотовые сети, использующие данную технологию, относят к сетям третьего поколения (сетям 3G). К основным отличиям сетей UMTS от сетей GSM относят использование широкополосных сигналов (сигнал может занимать полосу либо 5 МГц, либо 1,6 МГц), и внедрение широкополосной технологии множественного доступа с кодовым разделением каналов (W-CDMA).

По сравнению с GSM и другими имеющимися на сегодняшний день сетями подвижной связи UMTS обладает новой и важной особенностью , а именно той, что она позволяет согласовывать характеристики радиоканала доступа как переносчика информации, B-канала. Этими характеристиками передачи могут служить пропускная способность, задержка при передаче и вероятность появления ошибок в данных. Чтобы система успешно работала, UMTS должна поддерживать широкий спектр приложений, удовлетворяющий самым разным требованиям к качеству обслуживания (QoS). В настоящее время невозможно предсказать характер и широту использования многих из этих приложений. Поэтому нет ни возможности, ни смысла оптимизировать UMTS к одному ряду приложений. Каналы-переносчики информации UMTS должны иметь по природе общий характер, позволять хорошо обеспечивать существующие приложения и способствовать развитию новых приложений. Поскольку в большинстве своем современные приложения представляют собой приложения, связанные с Интернет или N-ISDN, естественно, что эти приложения и услуги определяют в первую очередь процедуры для управления каналом-переносчиком информации (B-каналом).

Системы третьего поколения предназначаются для мультимедийной связи: при их использовании системы персональной связи получают возможность обеспечивать высококачественную передачу изображений и видеоданных, а доступ к информации и услугам по сетям общего пользования и частным сетям будет существенно расширен за счет более высоких скоростей передачи и новых возможностей в отношении гибкости связи, которыми обладают системы третьего поколения. Все это вместе с продолжающимся развитием систем второго поколения будет создавать новые возможности в сфере бизнеса не только для изготовителей аппаратуры и операторов, но также и для использующих эти сети провайдеров информационного наполнения и прикладных программ [12].

На форумах по стандартизации технология WCDMA получила признание в качестве наиболее широко распространенного воздушного интерфейса третьего поколения. Его спецификация была разработана в рамках

партнерства по проекту в области технологий 3 поколения (3GPP), который является совместным проектом органов стандартизации Европы, Японии, Кореи, США и Китая. В проекте 3GPP технология WCDMA называется UTRA (Универсальным наземным радиодоступом) с режимами FDD (частотное дуплексное разделение каналов) и TDD (временное дуплексное разделение каналов), при этом название WCDMA используется для охвата обоих режимов и FDD и TDD [1].

1.2 Принципы построения сети UMTS

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

Первичным разделением на физическом уровне является разделение архитектуры сети на область пользовательского оборудования (User Equipment Domain) и область сетевой инфраструктуры (Infrastructure domain.).

Пользовательское оборудование - это совокупность пользовательских терминалов (ПТ) с различными уровнями функциональных возможностей, используемых сетевыми абонентами для доступа к UMTS услугам. Заметим, что ПТ могут быть совместимы с другими, помимо UMTS, интерфейсами доступа, например, работать в совмещенном GSM-режиме.

Продолжая стратегию разделения мобильного пользователя и мобильного оборудования, принятую еще в стандартах второго поколения, область пользовательского оборудования, в свою очередь, подразделяется на область мобильного оборудования (Mobile Equipment Domain) и область мобильного пользователя (User Services Identity Module Domain), реализуемую в виде сменяемых идентификационных карт. Сопряжение областей (подобластей) принято идентифицировать логическими опорными (контрольными) точками, которые физически реализуются соответствующими интерфейсами. Так, опорная точка, находящаяся на стыке областей мобильного оборудования и мобильного пользователя (рисунок 1), называется “точка Cu ”.

Мобильное оборудование как физический объект предназначено для выполнения операций приемо-передачи сообщений, а также со-держит в себе набор встроенных приложений. В соответствии с этим, область мобильного оборудования может быть разделена еще на два модуля: оконечный мобильный терминал (Mobile Termination), отвечающий за прием и передачу радиосигналов, и терминальное оборудование (Terminal Equipment), позволяющее реализовывать так называемые “сквозные” (в смысле маршрута передачи данных) приложения, например, подключать к ПТ переносной компьютер, факс-модем и др. В отличие от разделения на области, разделение

на функциональные модули, как правило, не сопровождается идентификацией опорными точками [2].

В область мобильного пользователя относят данные и относящиеся к ним процедуры, позволяющие идентифицировать сетевого абонента, либо наоборот, отказать ему в доступе в сеть по каким-либо причинам. Как обычно, такие данные и процедуры реализованы в идентификационной карте, выдаваемой пользователю при приобретении ПТ.

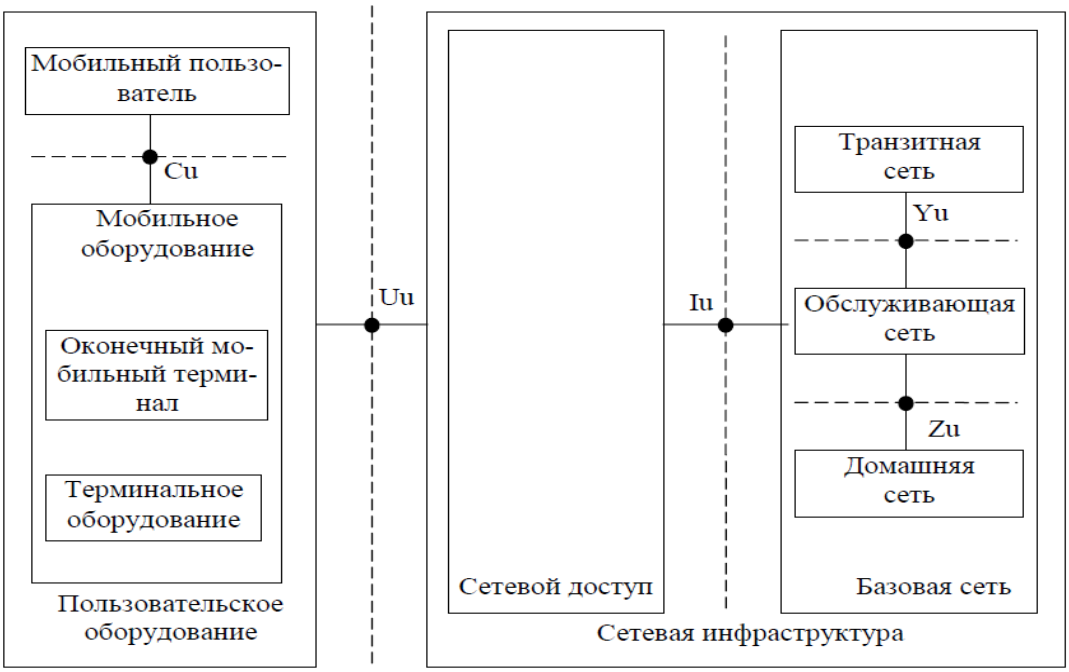


Рисунок 1.1 - Разделение сети UMTS на области

Обратимся к области сетевой инфраструктуры, которая, в свою очередь, разделена на область сетевого доступа (Access Network Domain) и область базовой сети (Core Network Domain). Такое разделение обусловлено желанием четко разграничить процессы, связанные с беспроводным доступом ПТ в сеть по радиоинтерфейсу, и все иные процессы. Другими словами, область доступа к сети содержит в себе функции, специфичные для данного метода беспроводного доступа, в то время как функции базовой сети в принципе могут использоваться с любыми методами доступа. Опорной точкой, разграничивающей области сетевого доступа и базовой сети, является “точка Iu”.

Область доступа к сети содержит физические элементы, позволяющие управлять ресурсами беспроводного доступа, а также обеспечивающие пользователю механизмы доступа к базовой сети.

Область базовой сети состоит из физических элементов, которые обеспечивают поддержку непосредственно сетевых и телекоммуникационных услуг, таких, как управление сетевыми ресурсами, определение

местоположения пользователя, передача по сети служебной информации, сопряжение с другими сетями. Исходя из этих задач, область базовой сети подразделяется еще на три области: область обслуживающей сети (Serving Network Domain), область домашней сети (Home Network Domain) и область транзитной сети (Transit Network Domain).

Область обслуживающей сети (часто её называют просто обслуживающей областью) — это та часть базовой сети, к которой осуществлено пользовательское подключение, включающая в себя функции, локальные по отношению к точке пользовательского доступа и, следовательно, изменяющиеся при перемещении пользователя. Обслуживающая область предназначена для маршрутизации вызовов и пользовательской информации, она способна взаимодействовать и с домашней областью для обеспечения пользовательских услуг, и с транзитной областью — для обеспечения услуг по передаче служебной информации.

Область домашней сети (домашняя область) представляет собой часть базовой сети, в которой сосредоточены функции постоянного отслеживания, контроля и управления местоположением пользователя, т. е. безотносительно к текущей точке пользовательского доступа. Идентификационная карта связывает каждого пользователя со своей домашней областью, следовательно, в домашней области также должна находиться информация, необходимая для идентификации, а также информация об услугах доступных данному пользователю.

Наконец, область транзитной сети (транзитная область) является связующим звеном между обслуживающей областью и удаленным абонентом.

Опорными точками, разграничивающими обслуживающую и домашнюю области, а также обслуживающую и транзитную области, являются “точка Zu” и “точка Yu” соответственно (рисунок 1.1).

1.3 Функции сети UMTS

Как уже было сказано, наиболее значимой частью транспортного слоя и всей сети доступа в целом является слой доступа, на который возложено большинство задач, связанных с обеспечением и поддержкой сетевых услуг. Поэтому при рассмотрении различных сетевых функций принято акцентировать их принадлежность слою доступа или, наоборот, подчеркивать то, что они находятся вне этого слоя.

Кратко рассмотрим основные функции:

а) управление вызовом. Функция находится вне слоя доступа, поскольку оперирует с механизмами сигнализации (передачей служебной информации), расположенными в базовой сети. Примером исполнения функции является посылка сообщений из набора Q.9311;

б) управление каналом соединения. Функция находится вне слоя доступа. В управление каналом радиодоступа заложены следующие базовые принципы:

1) канал радиодоступа должен обеспечивать транспортные услуги по передаче информации между различными сетевыми узлами, находящимися вне слоя доступа, и областью пользовательского оборудования, поддерживать пользовательский трафик в режиме реального и отложенного времени, обеспечивать канальную и пакетную коммутацию;

2) канал радиодоступа должен быть достаточно гибким, чтобы поддерживать различные типы трафика, активность уровней, скорости передачи, задержки, показатели ошибок;

3) необходимо эффективное сопряжение свойств приложений пользовательского трафика, созданных на основе внешних (по отношению к сети UMTS) сетевых технологий, и свойств канала радиодоступа. При этом желательно избегать сложных процедур сопряжения;

4) определение атрибутов трафика и механизмов управления трафиком для канала радиодоступа должно быть согласовано с преобладающими сетевыми технологиями;

5) определение атрибутов канала радиодоступа должно обеспечивать эффективное управление трафиком и радиоресурсами в слое доступа.

в) локализация пользователя. Функция является частью слоя доступа, а также может поддерживаться вне его. Примерами действия данной функции являются процедуры оповещения внутри географической зоны и обновление информации о местоположении пользователя;

г) идентификация местоположения ПТ. Функция, аналогичная предыдущей с той лишь разницей, что объектом применения является не пользователь, а мобильный терминал.. Является частью слоя доступа и может поддерживаться вне его;

д) подключение/отключение. Функция, обеспечивающая подключение пользователя к сети и по его желанию (либо по каким-нибудь иным причинам) отключающая от сети. Помещена вне слоя доступа, однако в перспективе может поддерживаться и внутри слоя;

е) хэндовер. Понятие хэндовера является одним из ключевых в любой сети мобильной связи. Изначально (в сетях первого поколения) хэндовер определялся как процедура эстафетной передачи активного (находящегося в стадии вызова или разговора) мобильного абонента при пересечении им границ сот. Однако в последующем понятие хэндовера было расширено; появилось понятие внутреннего хэндовера, когда, например, пользователь географически остается в пределах прежней соты, но происходит перевод его обслуживания в другой частотный диапазон [2, 9];

ж) управление ресурсами. Функция находится и внутри слоя доступа, и вне его. Она предназначена для распределения ресурсов потоков служебной или пользовательской информации с целью его передачи с заданным

качеством обслуживания. При этом управление ресурсами внутри слоя доступа должно быть прозрачным для механизмов, находящихся вне слоя доступа и наоборот;

з) макроразнесение каналов передачи. Функция расположена вне слоя доступа, но может поддерживаться и внутри слоя в зависимости от выбранной технологии множественного доступа;

и) шифрование. Поскольку передача пользовательских данных происходит по открытому радиоканалу, существует необходимость применения механизмов шифрования для защиты передаваемой информации, так что данная функция является неотъемлемой частью слоя доступа. Вне слоя доступа, например, в области базовой сети, проблема информационной безопасности менее остра, однако, как правило, шифрование опционально применяется и там;

к) аутентификация пользователя. Пользовательские данные для проведения процедуры аутентификации, хранятся вне слоя доступа, следовательно, и функция помещена вне слоя доступа;

л) кодирование данных источника. Источники пользовательской информации (речь, изображение, видео) обладают определенной избыточностью, и для эффективного использования ресурсов системы применяются различные механизмы кодирования (сжатия) данных, позволяющие заметно снизить эту избыточность. Функция находится вне слоя доступа;

м) кодирование информации в радиоканале. При передаче информации по радиоканалу из-за негативного влияния внешних помех возможно искажение информации. Для противодействия этому вводятся различные механизмы помехоустойчивого кодирования. Функция находится в слое доступа;

н) тарификация. Функция, не входящая в слой доступа, представляет собой собственно тарификацию, а также генерирование информации о тарификации, т. е. выставление счетов за услуги.

1.4 Архитектура сети UMTS

Сеть UMTS состоит из ряда логических элементов сети, каждый из которых выполняет определенные функции.

Все элементы сети по своим функциям сортируются в сеть радиодоступа (UMTS территориального уровня - UTRAN), которая управляет всеми функциями, которые относятся к радиосвязи, и также ядро сети (Core Network), которая отвечает за коммутацию и маршрутизацию вызовов, и каналы передачи данных во внешние сети. Чтобы завершить систему, определяются_оборудование пользователя (User Equipment), которое взаимодействует с ним, и радиоинтерфейс (Uu). Архитектура сети более высокого уровня показана на рисунке 1.2.

Оборудование Абонента (User Equipment) и радиоинтерфейс (UTRAN) построены на базе новой технологии радиосвязи WCDMA.

Построение сети ядра (Core Network) взято из предыдущих систем GSM/EDGE. Что придает данной системе с новой технологией радиосвязи более глобальную базу из известной и испытанной технологии Core Network, что способствует ускорению ее внедрения и позволяет использовать как глобальный роуминг.

Разделение на подсети является другим способом группирования основных элементов сети UMTS. Сеть UMTS считается модульной системой. В данной системе возможно иметь несколько однотипных элементов сети.

Минимальным условием для того, чтобы система работала и обеспечивала все свои функциональные возможности, является наличие, по крайней мере, одного логического элемента сети каждого типа (отметим, что некоторые функции и, следовательно, некоторые элементы сети являются необязательными).

Возможность иметь несколько объектов одного и того же типа позволяет делить систему UMTS на подсети, работающие либо самостоятельно, либо вместе с другими подсетями, и которые являются равными друг другу. Такая сеть называется UMTS PLMN (наземная мобильная сеть общего пользования). Обычно одна PLMN используется одним оператором и соединяется с другими PLMN сетями также, как и с другими типами сетей, например, ISDN, PSTN, Интернет и т.д. На рисунке 2 показаны элементы PLMN и для того, чтобы наглядно показать внутренние соединения, – также и внешние сети [5,9].

User Equipment состоит из двух частей:

– подвижное оборудование радиотерминал, который используется для радиосвязи через интерфейс Uu;

– модуль идентификации абонента UMTS (USIM), который является интеллектуальной платой, которая служит идентификатором абонента, также выполняет алгоритм аутентификации и шифрования и некоторые данные об услугах, которыми может пользоваться абонент и которые необходимые при использовании терминала.

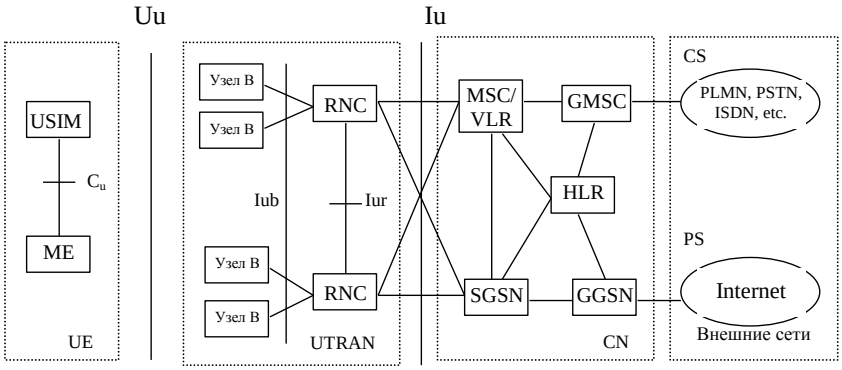


Рисунок 1.2 – Основные элементы сети UMTS

Сеть радиодоступа состоит из элементов [6]:

– узел B, который преобразует поток данных между интерфейсами Iub и Uu. Данный узел участвует также в управлении радиоресурсами. (Данный термин «Узел B» из соответствующих спецификаций 3GPP более общий термин «Базовая станция» используется во всех остальных главах и означает тоже самое);

– RNC (контроллер базовых станций) владеет и управляет радиоресурсами в своей области (к ней подключены узлы B). RNC представляет собой точку доступа к сервису для абсолютно всех услуг, которые UTRAN предоставляет Core Network, например, управление соединениями с User Equipment.

Внешние сети разделены на группы:

– сети Call Switching. Они обеспечивают соединения с коммутацией каналов, как это имеет место в существующей в настоящее время телефонной связи;

– сети Packet Switching. Они обеспечивают соединения с коммутацией пакетов данных. Одним из примеров сети PS служит Интернет.

Основными составляющими сети Core Network являются следующие элементы [2]:

– HLR (регистр домашнего местонахождения, по месту регистрации) - это база данных, которая хранит в памяти информацию о предоставляемых абоненту услугах, запрещенных районов роуминга и дополнительную сервисную информацию, например, о возможности переключения телефонного вызова и номера телефона, на который производится переадресация;

– MSC/VLR – это коммутатор (MSC) и визитная база данных (VLR). Функция MSC используется для коммутации сообщений Call Switching, и функция VLR обеспечивает обслуживание визитного пользователя, а также более точную информацию о местоположении абонентского терминала в системе обслуживания;

– GMSC (шлюзовой MSC) – это согласующее устройство между UMTS PLMN с внешними сетями Call Switching. Все входящие и исходящие соединения Call Switching проходят через него;

– функции SGSN (узла по обеспечению услуг GPRS) подобны функциям MSC/VLR, но обычно используются для услуг с коммутацией пакетов (Packet Switching);

– GGSN (узел по обеспечению межсетевого перехода GPRS) функционально близок к GMSC, но связан с предоставлением услуг.

В стандартах UMTS определены следующие основные открытые интерфейсы [3]:

– интерфейс Cu. Это электрический интерфейс между интеллектуальной платой (смарт-карточкой) USIM (модуля идентификации абонента сети UMTS) и радиотерминалом;

– интерфейс Uu. это интерфейс, через который оборудование абонента получает доступ к UTRAN;

– интерфейс Iu. Он соединяет UTRAN с сетью Core Network;

– интерфейс Iur. Открытый интерфейс Iur позволяет осуществлять мягкий хэндовер между RNC от различных производителей, и поэтому он дополняет открытый интерфейс Iu;

– интерфейс Iub. Iub соединяет базовые станции и RNC.

2 Основные виды сетей и технологии мобильной связи UMTS

2.1 Технология HSDPA

Рабочая группа 3GPP постоянно совершенствует стандарты IMT-2000/UMTS. Технология High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) принадлежит к семейству решений WCDMA/UMTS, использующих пакетную передачу данных, и полностью совместима с UMTS Release 99. Это позволяет одновременно предоставлять сервисы голосовой связи и передачи данных HSDPA и UMTS (более подробно описано в ч. 1 БТ № 1'2011).

Последняя модификация технологии HSDPA позволяет получать максимальную теоретическую скорость передачи данных до 21 Мбит/с в режиме downlink transfer (от базовой к мобильной станции). Фактически HSDPA является «надстройкой» к сетям UMTS, поэтому ее нередко называют поколением 3,5G. Необходимо подчеркнуть, что протоколы HSDPA поддерживают передачу данных только от базовой станции (БС) к мобильной абонентской станции (Mobile Services, MS), получившую название «нисходящая передача данных». Обратная передача данных от абонентской станции (АС) к базовой описывается протоколами HSUPA.

В спецификации 3GPP Release 5 была впервые опубликована архитектура технологии HSDPA [13]. В данном документе для HSDPA описаны алгоритмы адаптивной модуляции и кодирования AMC (Adaptive Modulation and Coding), а также модернизированный метод автоматического запроса повторной передачи ARQ (Automatic Request for Repeat).

Отметим, что в Release 5 описаны протоколы IP версии 6 (IPv6). В этой версии добавлена также подсистема IP-мультимедиа (IMS). Домашний регистр (HLR) дополнен сервером собственных абонентов (HSS). В структуре UTRAN прописаны эффективные услуги мультимедиа на базе IP в UMTS. Кроме того, усовершенствована поддержка функции по определению местоположения (LCS).

Для технологии HSDPA в спецификации стандартов 3GPP Release 5 используется новый транспортный канальный уровень High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH). В одном поддиапазоне возможна организация до 15 таких каналов с фактором распределения 16. Перераспределение каналов под задачи конкретных пользователей изменяется каждые 2 мс. Реализация этого уровня стала возможной за счет введения в стандарт трех новых физических каналов:

- HS-SCCH (High Speed-Shared Control Channel) — высокоскоростной контрольный канал для информирования пользователя об отправке данных на HS-DSCH (два верхних слота);
- HS-DPCCH (Uplink High Speed-Dedicated Physical Control Channel) — канал для подтверждения информации о доставке текущего контроля качества передачи;

- HS-PDSCH (High Speed-Physical Downlink Shared Channel) — канал, по которому физически передаются данные пользователя (в виде избыточного кода, содержащего собственно данные и дополнительные информационные биты).

В технологи HSDPA реализован ARQ-механизм защиты от помех, при котором передача данных происходит по блокам. На приемной стороне обеспечивается контроль ошибок и генерация запроса о необходимости повторения той части информации, где они были обнаружены. В случае некорректного приема данных в новой технологии FHARQ (Fast Hybrid Automatic Repeat Request) подтверждение приема пакетов отслеживается как базовой, так и абонентской станцией.

Повторные пакеты чередуются со вновь передаваемыми. Оцифрованная информация мультиплексируется и кодируется для передачи по соответствующему физическому каналу. Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH, объединяющем три транспортных канала DCH 1-3, приведена на рисунке 3. В технологии HSDPA применяются схемы модуляции QPSK (Quadrature Phase-Shifting Keying, квадратурная фазовая модуляция) и 16-, 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation, квадратурная амплитудная модуляция) [8].

При использовании QPSK, в зависимости от значения информационного элемента, изменяется только фаза сигнала, в то время как амплитуда и частота не меняются. При этом каждому информационному биту ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения (рисунок 2.2).

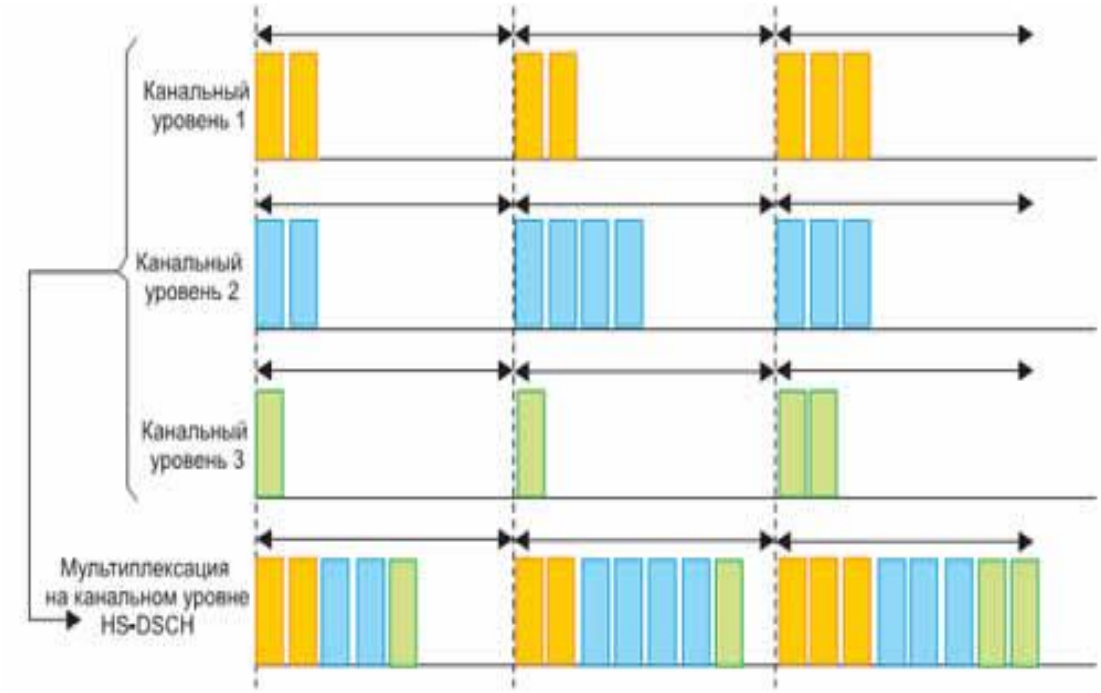


Рисунок 2.1 - Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH

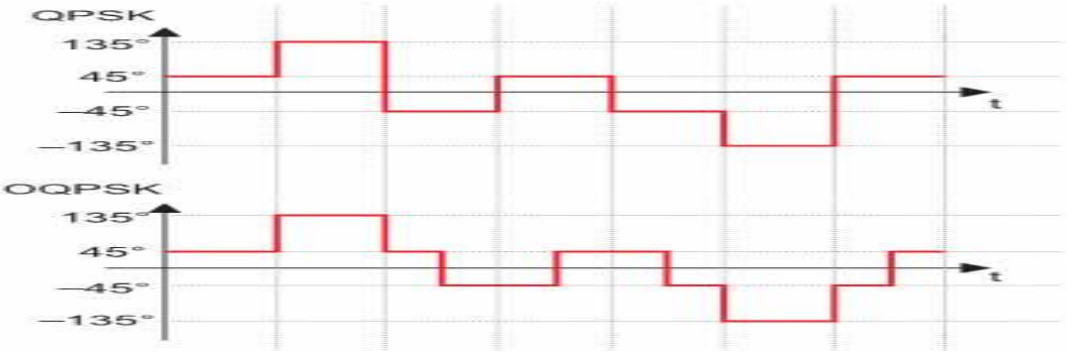


Рисунок 2.2 - Принцип фазовой модуляции цифрового сигнала

В квадратурной фазовой модуляции используются четыре значения фазы несущего колебания. В этом случае фаза сигнала должна принимать значения 45, 135, 225 и 315°, размещенных на равных расстояниях по окружности. При использовании четырех фаз в QPSK на символ приходится два бита. Хотя QPSK можно считать квадратурной модуляцией (QAM-4), иногда ее проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на 90°. При таком подходе четные (нечетные) биты используются для модуляции синфазной составляющей, а нечетные (четные) для квадратурной составляющей несущей.

В схеме QPSK фаза несущего колебания меняется скачкообразно в зависимости от информационного сообщения. QPSK обеспечивает высокую помехоустойчивость. Однако в ряде случаев за счет уменьшения помехоустойчивости канала связи можно увеличить его пропускную способность. Более того, при применении помехоустойчивого кодирования можно более точно планировать зону, охватываемую системой мобильной связи. В другом варианте после канального кодирования и перемежения битов производится преобразование информации с помощью модуляции 16-QAM в так называемые «QAM-ячейки».

В этих случаях каждому комплексному символу модуляции соответствует гармоническое колебание, имеющее одно из 4, 16 или 64 возможных сочетаний амплитуды и начальной фазы или такое же количество кодовых комбинаций, каждое из которых соответствует определенному варианту гармонического колебания.

Например, в случае 4-QAM получим двоичную кодовую комбинацию, содержащую два бита (00, 01, 10, 11). В случае 16-QAM такие комбинации содержат по четыре бита информации, а в случае 64-QAM — по шесть битов. Стандартами UMTS/HSDPA предусмотрено 20 категорий с различными значениями максимального числа одновременно используемых кодов (до 15) и типом модуляции в радиоканале QPSK или QAM. Каждой из этих комбинаций соответствует максимальная скорость передачи данных в пакетном режиме стандарта HSDPA в нисходящем направлении — от БС к мобильному терминалу (таблица 2.1). При увеличении числа позиций QAM

пропускная способность канала связи увеличивается в логарифмической пропорции log264/log216/log24. Однако при этом снижается помехоустойчивость, поскольку уменьшаются разности между смежными значениями амплитуд и фаз. Пропускная способность каналов связи и скорость передачи зависят от фактора распределения (spreading factor), который определяет количество каналов связи, закодированных в один поддиапазон.

Теоретически UMTS/ HSDPA позволяет назначить три таких «нисходящих» канала для одного абонента. Однако на практике не стоит забывать о том, что чем больше число пользователей, тем меньше пропускная способность. На рис. 3 показано распределение спектра между абонентами сети HSDPA [8,13]. Как правило, одной и той же сетью пользуются одновременно несколько абонентов.

Скорость передачи постоянно меняется, система следит за этим и с интервалом в 2 мс автоматически регулирует мощность, подстраиваясь под условия среды. При этом приоритет предоставления каналов для получения данных от БС отдается тем пользователям, для которых поддерживается наилучшее качество сигнала. Поэтому пользователи, первыми получившие доступ к сети, пока уровень сигнала был невысок, находятся в состоянии ожидания улучшения пропускной способности.

Таблица 2.1- Скорость передачи в технологии HSDPA в зависимости от типа используемой модуляции

Протокол	Версия 3GPP	Максимальное число кодов HS-DSCH	Модуляция	MIMO, Dua;-Cell	Коэффициент избыточности кода при максимальном битрейте	Битрейт, Мбит/с
HSDPA	Release 5	5	16-QAM		0,76	1,2
						1,2
						1,8
						1,8
						3,6
						3,6
		10			0,75	7,2
					0,76	7,2
		15			0,7	10,1
					0,97	14
		5	QPSK		0,76	0,9

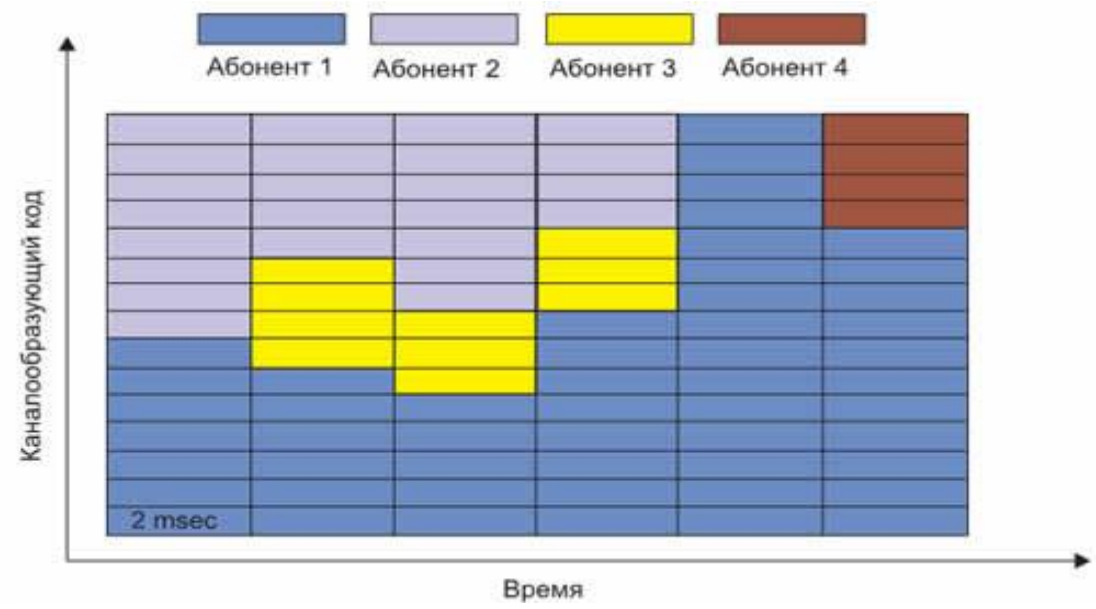


Рисунок 2.3 - Распределение спектра между абонентами в зависимости от условий приема

2.2 Технология HSUPA

Чтобы регламентировать параметры абонентских станций и определить порядок их взаимодействия с базовыми, была разработана технология HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) — высокоскоростная пакетная передача данных в направлении «вверх» — от абонента к БС. Работу над проектом HSUPA группа 3GPP начала еще в 2002 г. Идея стандарта была сформулирована фирмами Nokia, Samsung, Sony Ericsson и другими лидерами мирового рынка мобильных телефонов и звучала как «максимальная скорость при максимальном радиусе действия и минимальном энергопотреблении». Эта идея была технически сформулирована в 3GPP Release 6. К сожалению, принципиальные различия между передачей данных «вверх» (от АС к БС) и «вниз» (от БС к АС) не позволяют просто использовать всю архитектуру и профили технологии HSDPA для MS (мобильные бытовые телефоны, базовые модули и законченные терминалы). Основная проблема согласования процессов передачи «вверх» и «вниз» заключается в потребляемой мощности. На базовой станции отбираемая мощность передатчика не ограничена в пределах действующих нормативов. Поэтому разработчики оборудования для БС могут совершенствовать технологии передачи, не задумываясь о проблемах потребляемой мощности [8].

Для бытовых мобильных телефонов, которые составляют основную часть этого рынка, потребляемая мощность является одним из основных критериев выигрыша в конкурентной борьбе. При разработке HSUPA были использованы методы как временного, так и канального кодирования. Поскольку значительная часть энергопотребления базовой станции HSDPA приходится именно на эти блоки модуляции, данный метод в чистом виде не

может быть использован для HSUPA. Поэтому в технологии HSDPA была введена функция коррекции мощности передачи в зависимости от условий среды. Это позволяет сохранить скорости передачи при перегрузках в сети в условиях интенсивных помех. Но это оборудование тоже достаточно энергоемкое. Проблема энергопотребления возникает и при модуляциях.

При использовании QAM для улучшения пропускной способности нужно увеличивать ее уровень, но при этом возрастают сложность оборудования и энергопотребление. Другая проблема связана с поэтапной передачей движущейся АС (soft handover). В этом случае принимающая БС должна отслеживать меняющийся сигнал клиента и передавать его другой станции, обеспечивающей лучшие условия приема.

Согласно основному варианту спецификации Release 6, в технологии HSUPA использованы модифицированные принципы, использованные при разработке технологии HSDPA. Однако технология передачи данных «вверх» отличается от технологии передачи «вниз». В редакцию HSUPA 3GPP Release 6 по сравнению с Release 5 были внесены следующие изменения:

а) добавлены новые объекты MAC-уровня (управления доступом к среде передачи данных):

1) MAC-e/es в блоке АС;

2) MAC-es в блоке БС;

3) MAC-es на контроллере радиосети.

б) в транспортном канале введен новый расширенный выделенный канал передачи данных E-DCH;

в) добавлен выделенный физический канал E-DPCH (Dedicated Physical Channel). В нем мультиплексированы два физических канала: DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) и DPCCH (Dedicated Physical Control Channel). Кроме того, добавлены расширенный канал индикации сообщения о доставке (E-HICH), управляющий канал регулировки мощности относительно опорного уровня (E-RGCH) и канал для автоматического регулирования абсолютного значения мощности абонентской станции (E-AGCH);

г) время инкапсуляции и формирования пакетов данных сокращено до 2 мс. Однако оставлена возможность использования и TTI, равного 10 мс;

д) значение коэффициента расширения (SF) принято равным 2;

е) увеличена скорость повторной передачи на первом уровне;

ж) для контроля факта доставки данных использован гибридный метод HARQ;

з) введено жесткое управление доступом к эфиру и скоростью передачи со стороны БС;

и) реализованы новые протоколы фрейма, ускоряющие работу Iub и IuR. Интерфейс Iub соединяет БС с блоком контроллеров, а IuR поддерживает сигнальный протокол RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part). По этому интерфейсу организуют связь между обслуживающим (Serving) SRNC и

пассивным (Drift) контроллером DRNC. При выполнении хэндовера SRNC осуществляет управление радиоканалами (radio link mapping).

В технологии HSUPA для передачи данных от абонента к базовой станции применяются расширенные выделенные каналы (Uplink Enhanced Dedicated Channel, UE DCH), которые позволяют использовать тот же метод линейной адаптации (Link Adaptation Method, LAM), что и в технологии HSDPA. В свою очередь, этот метод дает возможность реализовать в технологии HSUPA модель ортогонального частотного разделения каналов. При этом последовательный поток информации разбивается на отдельные блоки и символы.

Символы разных блоков передаются параллельно, каждый на своей поднесущей частоте. Преимущество данного метода в том, что он позволяет снизить до минимума межсимвольные искажения, возникающие в радиоканале. За счет уменьшения размеров блока данных удалось сократить время инкапсуляции и формирование пакетов данных [8,13].

На первом уровне в структуре HSUPA введены новые физические каналы:

- E-AGCH (Absolute Grant Channel) — канал с абсолютным значением ограничения мощности абонентской станции, определяющий опорный уровень;
- E-RGCH (Relative Grant Channel) — канал регулировки мощности относительно заданного значения;
- F-DPCH (Fractional-DPCH) — частичный выделенный физический канал, являющийся модернизированным вариантом канала DPCCH, адаптированным для высокоскоростной пакетной передачи данных вверх;
- E-HICH (E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel) — индикаторный канал;
- E-DPCCH (E-DCH Dedicated Physical Control Channel) — контрольный канал передачи данных;
- E-DPDCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel) — контрольный канал состояния данных.

В стандарте HSUPA модернизированы протоколы, обеспечивающие управление ресурсами канала и отвечающие за установление, поддержание и разрыв низкоуровневых соединений, динамический выбор частотных каналов и др. В блоке АС на уровне MAC добавлен подуровень, который отвечает за контроль доставки и покадровый формат данных в процессе их передачи. В блоке БС также введены изменения в уровне, контролирующем факт получения данных. В блок контроллеров (S-RNC) добавлен уровень (MAC-es), поддерживающий повторный запрос на получение данных в случае ошибки.

Кроме того, этот уровень обеспечивает совместную обработку данных, полученных от базовых станций в процессе эстафетной передачи (handover) для одного и того же абонента. Для ускорения работы интерфейсов Iub/IuR также добавлен новый протокол. Кроме того, в HSUPA изменены протоколы

управления доступом к среде передачи для БС (MAC-e), АС (MAC-e/es) и блока управляющих контроллеров (MAC-es):

- MAC-e структурирован в блоке базовой станции, он вводится отдельно для каждой абонентской станции и регулирует ее взаимоотношения с базой. В рамках этого протокола АС запрашивает разрешение на связь с БС и управляет работой повторной передачи в случае ошибки;

- MAC-es в обслуживающем контроллере также вводится персонально для каждой абонентской станции. Он объединяет и преобразовывает протокольный блок данных (Protocol Data Unit) уровня MAC-es в соответствии с кодировками и номерами каждого кадра и подкадра, а также поддерживает операцию дизассемблирования протокольного блока данных MAC-es;

- MAC-e/es для абонентской станции отвечает за сопровождение метода гибридного контроля подтверждения получения данных, мультиплексирование данных и присвоение идентификационной кодовой последовательности абонента (Transmission Sequence Number, TSN) осуществляет выбор транспортного формата передачи данных на основе полученного статуса выхода в эфир.

При передаче данных от абонента к станции, когда используется расширенный выделенный канал, два кодированных композитных транспортных канала CCTrCH используются одновременно. Транспортный канал может быть сконфигурирован так, чтобы время инкапсуляции (интервал передачи) составляло 10 или 2 мс. При этом заданный интервал передачи 10 мс обязательно должен поддерживаться всеми абонентскими станциями, допущенными к работе в сети, а интервал передачи 2 мс является опционным. Каждая АС может иметь только один транспортный выделенный канал передачи данных в конкретный момент времени.

Транспортный блок E-DCH (расширенный выделенный канал) на физическом уровне нагружен на канал E-DPDCH, который работает со временем инкапсуляции 10 или 2 мс. В основополагающей спецификации Release 6 для канала E-DPDCH используется модуляция QPSK. В спецификации Release 7 есть возможность использовать 4-PAM (Pulse Amplitude Modulation, импульсная амплитудная модуляция). Различные модификации модуляций отражены в последующих спецификациях Release 8.

Поскольку при передаче данных по DPCCH сначала передаются вспомогательные символы и последовательность символов (RSN), то на уровне E-DPDCH не может быть передана никакая другая информация, кроме полезных символьных данных. Для увеличения скорости передачи в канале E-DPDCH применяются комбинации мультикодов. При этом используются ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения, равным 2. В принципе, возможны и другие варианты кодов с переменной длиной, определяемой коэффициентом расширения спектра SF. Такие коды формируются на основе заданного алгоритма, и каждый последующий

уровень удваивает число возможных кодовых комбинаций. Различные наборы кодов обуславливают различные скорости передачи. Так, например, один код с коэффициентом расширения SF4 соответствует скорости передачи 960 кбит/с. Два кода с коэффициентом расширения SF4 дают скорость 1920 кбит/с. При использовании кода с коэффициентом расширения SF4 в трех параллельных каналах скорость увеличивается до 5760 Кбит/с.

Выделенный контрольный канал (E-DPCCH) предназначен для переноса информации о подтверждении получения переданных абонентской станцией данных. По этому каналу передаются:

- информация о расширенном транспортном формате передачи данных, которая составляет 7-битную последовательность и определяет скорость передачи данных;
- дополнительные два бита, содержащие данные о повторной передаче (при этом RSN сообщает, является пакет новым или повторной передачей ранее отправленного);
- последний бит, который дает разрешение или запрещение абонентской станции использовать более высокую скорость передачи по направлению «вверх» (от абонента к БС).

Для случая, когда время инкапсуляции равно 2 мс, десять информационных битов закодированы в 30 битах трех последовательных временных интервалов. В варианте со временем инкапсуляции в 10 мс контент подкадров с TTI, равным 2 мс, просто продублирован пять раз. Выделенный канал индикации сообщения о доставке (Hybrid ARQ Indicator Channel, HICH) может использоваться несколькими абонентами одновременно. Чтобы различать сигналы каждого пользователя, в сетях с кодовым разделением используются специальные кодовые последовательности символов, называемые индивидуальными ортогональными подписями.

В сетях HSUPA каждому пользователю выделяется одна ортогональная подпись для канала E-HICH и одна — для E-RGCH. Поскольку на HICH доступно всего 40 ортогональных подписей, то только 20 пользователей могут совместно использовать один кодовый канал в каждый определенный момент времени. Управляющий канал относительной регулировки мощности для абонентской станции E-RGCH предназначен для того, чтобы повысить или понизить выходную мощность передатчика АС. По данному каналу не передается точное значение мощности, которую абонентская станция должна установить. Базовая станция отслеживает сигнал АС и регулярно сообщает ей текущий статус, относительно которого АС должна регулировать свою работу. В случае если связь ухудшается, БС выдает команду на увеличение мощности передачи АС. В том случае, когда абонентов в сети мало и сигнал АС достаточно сильный, БС посылает управляющий сигнал на уменьшение мощности.

Канал абсолютной регулировки мощности E-AGCH предназначен для того, чтобы установить верхний предел мощности передатчика абонентской станции, который может быть задействован в данный конкретный момент. Максимальная мощность напрямую связана с максимальной скоростью передачи данных. В отличие от метода относительного регулирования мощности, абсолютное ограничение задается достаточно редко, когда АС запрашивает канальные ресурсы и когда устанавливается несущая частота.

По каналу E-AGCH базовая станция передает два вида сообщений:

- точное значение уровня ограничения мощности (Absolute Grant value);
- характер ограничения мощности (Scope AG). Scope AG указывает на то, будет ли значение Absolute Grant использоваться только в методе гибридного контроля подтверждения получения данных (HARQ) или в других процессах также.

При запросе на установление соединения с базовой станцией абонентская станция передает информацию о своих технических возможностях. В зависимости от них БС устанавливает для конкретной АС соответствующий режим связи.

Как уже было сказано выше, в технологии HSUPA использован HARQ (гибридный метод автоматического запроса повторной передачи). Базовым в этом варианте является метод Stop and Wait, который означает, что перед началом трансляции нового блока данных передатчик ожидает подтверждения об успешном приеме предыдущего.

Как правило, этот способ используется в режиме OFDMA, который позволяет выделить специальный канал для подтверждения передачи. Если HARQ включен, каждый пакет, переданный БС, требует от АС подтверждения получения по специальному обратному каналу. В тех случаях, когда пришло сообщение об ошибке или подтверждение успешного приема не получено в установленный срок, базовая станция приступает к повторной передаче. С этой целью можно использовать два метода. В одном случае применяется так называемый метод передачи с увеличивающейся избыточностью (Incremental Redundancy, IR).

При подключении функции HARQ для каждого исходного пакета в канальном кодере формируется до четырех субпакетов, каждый со своим идентификатором (SPID). Если произошел сбой, повторно транслируется субпакет с другим SPID, который имеет тот же самый кодированный исходный пакет, но с иными параметрами кодера. В методе с «управляемым комбинированием» (Chase Combining, CC) в случае возникновения ошибки осуществляется повторная трансляция одного и того же кодированного пакета. Этот метод может использоваться только с мобильными абонентскими станциями.

В варианте HSUPA при передаче от АС к БС, как отмечалось выше, используется принцип приоритетов. Первоначально абонентская станция запрашивает разрешение на начало передачи. Базовая станция принимает

решение, сколько и какие именно станции будут участвовать в сеансе связи. Также в режиме передачи «вверх» реализован вариант работы по расписанию (scheduled mode), при котором АС выходит на связь в заранее оговоренное время. Предусмотрен режим работы в экстренных ситуациях.

Следует также отметить улучшенную систему контроля качества передачи данных (QoS). Блок контроля качества может обслуживать до 15 логических каналов, которые мультиплексируются на одном PDU-уровне. При этом у каждого логического канала могут быть свои различные значения QoS и различные приоритетные уровни.

В настоящее время стандарты 3GPP (Release 6-11) регламентируют девять категорий технологии HSUPA, которые имеют различный набор параметров и определяют технические характеристики и свойства конкретной АС (мобильного телефона или терминала). Категории мобильных абонентских станций, поддерживающих технологию HSUPA, показаны в таблице 2.2 [11]. Видно, что скорость передачи данных определяется комбинацией базовых параметров оборудования, таких как CT, SF, TTI, MTW TTI.

Таблица 2.2 - Скорость передачи в технологии HSUPA для различных категорий абонентских станций

Наименование категории абонентской станции в соответствии со стандартами 3GPP	Максимальная скорость передачи от абонента к базовой станции, Мбит/с	Наименование коммерческой версии абонентской станции, доступной в свободной продаже
Category 1 (3GPP Rel 99)	0,73	
Category 2 (3GPP Rel 2)	1,46	
Category 3 (3GPP Rel 3)	2,00	Nokia: X3-01, N8, C5, C3-01, E52, E72, E55, 6700 Classic, N900, 5630 XpressMusic; BlackBerry: Storm 9500, 9530; HTC: Dream, Passion (Nexus One)[3].
Category 4 (3GPP Rel 4)	2,93	Qualcomm 6290
Category 5 (3GPP Rel 5)	5,76	BlackBerry Tour 9630, Nokia CS-15, Option GlobeTrotter Express 441/442, Option iCON 505/505M, Samsung i8910, Apple iPhone 4, Huawei, E180/E182E/E1820/ E5832/EM770W, Micromax A60

Окончание таблицы 2.2

Category 6 (3GPP Rel 6)	1,5	Параметры модуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK only, 3GPP Rel 9 TS 25.306
Category 7 (3GPP Rel 7)	3	Параметры модуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK and 16QAM, 3GPP Rel 9 TS 25.306
Category 11/12 (3GPP Rel 11)*	0*	

Приведенные в таблице данные показывают, что чем выше категория абонентской станции, тем выше ее скорость передачи. Максимальная теоретическая скорость, с которой АС может передавать данные на БС, на сегодня составляет 23 Мбит/с. Однако это теория. Еще раз подчеркнем, что скорость передачи является переменной величиной, которая в каждый конкретный момент времени зависит от возможностей абонентской станции (мобильного телефона, смартфона, базового модуля), оборудования базовой станции и от загрузки сети.

2.3 Высокоскоростные сети HSPA

Метод высокоскоростной пакетной передачи данных (High-Speed Packet Access, HSPA) объединяет две рассмотренные выше технологии: HSDPA (передача данных от базовой станции к абоненту) и HSUPA (передача данных от абонента к базовой станции). В стандарте 3GPP Release 8 была разработана усовершенствованная технология, получившая название Dual-Cell HSDPA. Теоретически, этот метод позволяет удвоить скорость передачи данных от БС к абоненту за счет использования удвоенной пропускной способности.

Идея этой технологии заключается в том, что в сети HSDPA эксплуатируются две различные радиочастоты. Если задействовать их вместе, то появляется возможность получить два одновременных канала передачи данных «вниз». Это напоминает методику, которая применяется в некоторых маршрутизаторах Wi-Fi. Как было отмечено ранее, в сетях третьего поколения выделяются непрерывные полосы частот в определенном частотном диапазоне.

Две непрерывные полосы по 15 МГц в диапазонах 1935-1980 и 2125-2170 МГц выделены для организации трех каналов в режиме частотного дуплекса (IMT-DS). Непрерывный участок шириной 5 МГц в полосе радиочастот 2010-2025 МГц отведен для организации одного канала в режиме временного дуплекса (IMT-TC). Существуют сценарии, когда одна из полос остается свободной в течение некоторого промежутка времени. Технология Dual-Cell HSDPA позволяет ее задействовать в качестве дополнительного канала передачи данных.

В стандарте 3GPP Release 9 регламентирована технология HSPA+ (Evolved High-Speed Packet Access), представляющая собой улучшенный вариант HSPA, в котором уже присутствуют более сложные модуляции 16-QAM (Uplink)/ 64-QAM (Downlink) и технология MIMO (Multiple Input Multiple Output, мультивход/мультивыход) [11].

В MIMO используются несколько приемных и передающих антенн, которые разнесены между собой таким образом, чтобы достичь наименьшей корреляции между соседними антеннами. В общем случае в методе MIMO поток данных пересылается одновременно, с использованием разных антенн. При этом антенны передают данные независимо друг от друга на одной и той же частоте.

Таблица 2.3- Скорость передачи в технологии HSDPA в зависимости от типа используемой модуляции

Протокол	Версия 3GPP	Категория	Максимальное число кодов HS-DSCH	Модуляция	MIMO, Dua;-Cell	Коэффициент избыточности кода при максимальном битрейте	Битрейт, Мбит/с
HSPA+	Release 7	13	15	64-QAM		0,82	17,6
		14				0,98	21,1
		15		16-QAM	MIMO	0,81	23,4
		16				0,97	28
		19		64-QAM		0,82	35,3
		20				0,98	42,2
Dual-Cell HSDPA	Release 8	21		16-QAM	Dual-Cell	0,81	23,4
		22				0,97	28
		23		64-QAM		0,82	35,3
		24				0,98	42,2
DC-HSDPA w/MIMO	Release 9	25		16-QAM	Dual-Cell+; MIMO	0,81	46,7
		26				0,97	55,9
		27		64-QAM		0,82	70,6
		28				0,98	84,4

Таким образом реализуется несколько пространственно разнесенных подканалов, по которым данные передаются одновременно в одном и том же частотном диапазоне. Усовершенствованная сеть HSPA+ может теоретически поддерживать скорости до 28 Мбит/с «вверх» и до 42 Мбит/с «вниз». В принципе, возможно использование технологии DC-HSDPA в комбинации с MIMO. Кроме того, нет категорического запрета на использование различных частот при объединении полос в DC-HSDPA [11]. Расширенные варианты технологии HSPA+ в совокупности с методом MIMO позволяют в разы увеличить скорости передачи как «вверх», так и «вниз».

2.4 Технология применения репитеров в мобильных сетях UMTS

В настоящее время репитеры являются одним из важных компонентов сетей сотовой связи и используются для улучшения радиопокрытия в зданиях, туннелях, подземных автостоянках и местах с низким уровнем сигнала.

Известно, что стоимость репитера в несколько раз ниже стоимости базовой станции (БС). А поскольку в сетях GSM площадь зоны покрытия БС не зависит от уровня её загрузки, что имеет место в сетях UMTS, то использование репитеров позволяет увеличить зону обслуживания сети с меньшими капитальными затратами.

В сетях UMTS, где площадь зоны покрытия и емкость БС являются взаимозависимыми величинами, применение репитеров для расширения зоны обслуживания менее эффективно. Главной проблемой является уменьшение зоны покрытия в обратном канале (uplink, UL) из-за возрастания общего уровня шума при подключении репитеров к базовой станции UMTS [9].

Рассмотрим принципы работы, а также проблемы использования репитеров в сетях UMTS.

На первом этапе развертывания системы UMTS необходимо обеспечить максимальную зону покрытия, а затем постепенно производить увеличение емкости сети.

Стандартной стратегией интеграции системы UMTS в GSM инфраструктуру является установка Node B на существующие GSM сайты. Однако известна другая стратегия, согласно которой, сеть состоит из небольшого количества Node B, обеспечивающих требуемую емкость сети, а для создания радиопокрытия на большей части территории используются UMTS репитеры, устанавливаемые на существующих GSM сайтах.

Основными преимуществами данной стратегии является:

- снижение капитальных затрат, поскольку стоимость репитера в несколько раз ниже стоимости базовой станции Node B;
- не требуется трансмиссии для связи репитеров с Node B;
- так как в UMTS скорость передачи данных зависит от отношения сигнал/интерференция (SIR), то установка репитера вместо Node B позволит обеспечить высокую скорость передачи данных с меньшими затратами.

Однако данной стратегии присущ и ряд недостатков:

- вследствие эффекта зависимости площади зоны покрытия и емкости UMTS базовой станции (cell breathing effect), при возрастании уровня трафика, на входе донорных антенн некоторой части репитеров будет недостаточный уровень сигнала, что приведет к пропаданию связи на больших участках территории;

- известно, что в системе UMTS количество мобильных терминалов, обслуживаемых NodeB, снижается с увеличением общего уровня интерференции (шума). Поэтому репитер UMTS, как и любое другое радиоэлектронное устройство, работающее в диапазоне 1910- 1980/2110-2170 МГц, вносит дополнительный уровень шума в полосу пропускания приемника Node B, что снижает емкость системы;

- поскольку процедура переключения между ячейками сети (soft/softer handover) осуществляется в том случае, если мобильный терминал принимает сигнал от двух различных Node B, то в случае замены Node B на репитеры, возможна потеря сеанса связи при перемещении мобильного терминала от одного репитера к другому.

Оценим снижение емкости Node B при использовании репитеров. Для этого примем следующие допущения:

а) в сети осуществляется идеальное управление мощностью в обратном канале, т.е. уровень сигнала от каждого абонента на входе антенны Node B имеет одинаковую мощность и равен P;

б) мобильные терминалы в пределах рассматриваемой территории распределены равномерно и используют один тип услуги — передача речи;

в) используются антенны с круговой диаграммой направленности.

2.5 Анализ основных параметров сети UMTS

UMTS представляет собой систему множественного доступа с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра (DS –CDMA), т.е. биты информации пользователя передаются в широкой полосе частот путем умножения исходного потока данных пользователя на последовательности квазислучайных битов (чипами), являющиеся кодами расширения CDMA. Использование переменного коэффициента расширения и мультикодовых комбинаций служит для предоставления более высоких скоростей передачи (2Мбит/с), чем в предыдущих стандартах мобильной связи [7].

Скорость передачи, равная 3,84 Мчип/с, приводит к занятию полосы приблизительно в 5 МГц. Сети DS-CDMA с шириной полосы около 1 МГц, например, IS-95, обычно называют узкополосными системами CDMA. Большая ширина полосы на несущей (которая является особенностью WCDMA), обеспечивает высокие скорости передачи данных пользователя, а также создает определенные преимущества в работе, например в каналах с повышенной многолучевостью. Не нарушая полученной лицензии на работу

сети, оператор может иметь несколько таких несущих с полосой 5 МГц для увеличения пропускной способности, возможно, в виде ячеек иерархической структуры. Фактически такое разнесение несущих может быть реализовано и на 200 килогерцовой сетке приблизительно в полосе 4,4 МГц и 5 МГц в зависимости от уровня интерференции несущих.

UMTS поддерживает самые разные скорости передачи данных пользователя, другими словами, концепция получения ширины полосы по требованию (BoD) достаточно хорошо поддерживается. Каждому пользователю выделяются фреймы длительностью 10 мс, в течение каждого из которых скорость передачи данных пользователя остается постоянной. Пропускная способность для передачи данных у пользователя может меняться от фрейма к фрейму. Во время передачи пакетированных данных, чтобы достигнуть максимальной пропускной способности, быстрое выделение пропускной способности для радиосвязи будет управляться сетью.

UMTS поддерживает два основных режима работы: частотное разделение дуплексных каналов (FDD) и временное разделение дуплексных каналов (TDD). В режиме FDD для восходящего и нисходящего каналов используются раздельные несущие с частотой 5 МГц, тогда как в режиме TDD только одна несущая 5 МГц используется для восходящего и нисходящего каналов с разделением прием-передача во времени. Нисходящий канал – это канал от базовой станции к подвижной, а восходящий канал – это канал от подвижной базовой станции к базовой. Режим TDD в значительной мере основан на концепциях режима FDD и был дополнительно введен, чтобы использовать базовую систему WCDMA также и для несимметричного распределения спектра [3].

UMTS поддерживает работу асинхронных базовых станций, так что в отличие от синхронной сети IS-95 отсутствует необходимость в глобальной привязке ко времени, например к GPS. Развертывание базовых станций внутри помещений и миниатюрных базовых станций (для пикосот) производится легче, когда не требуется получать сигнал GPS.

UMTS использует когерентный прием для систем CDMA в восходящем и нисходящем каналах на основе применения пилот-символов или общих пилот-сигналов. Когерентный прием уже используется в нисходящем канале в IS-95, его применение в восходящем канале является новым для систем CDMA общего пользования и приведет к увеличению общей зоны охвата и пропускной способности восходящего канала. Основные параметры UMTS приведены в таблице 2.4.

Воздушный интерфейс UMTS построен таким образом, что оператор сети может использовать перспективные концепции построения приемников CDMA, например, многопользовательский прием и применение интеллектуальных адаптивных антенн как способ повышения пропускной способности и/или зоны охвата. В большинстве систем второго поколения отсутствуют возможности использования таких концепций построения

приемника, и в результате они либо не могут применяться, либо могут применяться, лишь с большими ограничениями и дают лишь незначительное улучшение эксплуатационных показателей.

Т а б л и ц а 2 . 4 - Параметры сети UMTS

Метод множественного доступа	DS-CDMA
Дуплексный разнос	Дуплекс с частотным разделением/ дуплекс с временным разделением
Синхронизация базовой станции	Асинхронная работа
Скорость передачи чипов	3,84 Мчип/с
Длительность фрейма	10 мс
Мультиплексирование при обслуживании	Множество услуг с различными требованиями по качеству обслуживания
Концепция многоскоростной передачи	Переменный коэффициент расширения и мультикоды
Прием	Когерентный с использованием пилот-символов и общего пилот-сигнала
Многопользовательский прием, интеллектуальные антенны	Поддерживается стандартом, необязательным в реализации

В UMTS поддерживаются эстафетные передачи управления (хэндоверы) между GSM и UMTS для того, чтобы иметь возможность использовать зону охвата GSM для внедрения UMTS.

Из таблицы 2.4 видно, что при передаче речи со скоростью 12,2 Кбит/с выигрыш за счет расширение спектра составляет 25 дБ.

Для передачи речи E_b/N_0 обычно составляет порядка 5,0 дБ. Поэтому отношение широкополосного сигнала к помехе будет равно 5,0 дБ минус выигрыш при обработке 25 дБ (5-25= –20,0 дБ). Другими словами, мощность сигнала может быть на 20 дБ ниже мощности помехи и теплового шума, а приемник WCDMA все еще будет способен принимать сигнал. Отношение широкополосного сигнала к помехе называется также отношением сигнал/помеха на частоте несущей C/I. Благодаря расширению и сжатию C/I в WCDMA может быть ниже, чем, например в GSM. Речевой трафик в GSM требует C/I = 9 – 12 дБ.

В любой заданной ширине полосы частот канала (скорости передачи чипов) имеет место больший выигрыш при обработке для более низких скоростей передачи данных пользователя, чем для более высоких. В частности, для скорости передачи данных пользователя 2 МГц выигрыш при обработке составляет менее 2 (3,84Мчип/с)/(2Мбит/с)=1,92, что соответствует 2,8 дБ.

Расширение/сжатие не обеспечивает какого-либо улучшения сигнала для беспроводных применений, В самом деле, выигрыш в отношении сигнал/помеха при обработке получается за счет увеличенной ширины полосы частот при передаче (умноженной на величину выигрыша при обработке) [1,9].

Отметим преимущества систем с кодовым разделением каналов сигнала:

- совместное использование многими пользователями одной и той же широкополосной несущей для их связи обеспечивает разнесение по помехам, т.е. помехи при множественном доступе от многочисленных пользователей сети усредняются, и это снова приводит к повышению пропускной способности по сравнению с системами, где при планировании необходимо ориентироваться на помехи для худшего случая;

- однако оба вышеуказанных преимущества требуют применения жесткого управления мощностью и мягкого хэндовера для того, чтобы избежать блокирования сигналом одного пользователя другим;

- выигрыш в отношении сигнал/помеха в совокупности с широкополосным характером сигнала предполагает возможность полного повторного использования частоты (коэффициент повторения равен 1) в различных сотовых ячейках беспроводной сети (т.е. частота повторно используется в каждой ячейке/секторе). Это свойство может использоваться для получения высокой эффективности использования спектра.

При использовании широкополосного сигнала различные пути распространения радиосигнала могут получать разрешение с более высокой точностью, чем сигналы с более узкой шириной полосы. Это ведет к получению более разнообразных возможностей борьбы с замираниями и, тем самым, к улучшению рабочих характеристик.

3 Экспериментальная часть

3.1 Оценка работы мобильной сети при различных технологиях и стандартах

UMTS - технология ,которая до сих пор не имеет никаких коммерчески действующих реализаций, позволяющая получить ответы на все увеличивающееся количество вопросов относительно тех функций, которые предлагаются новыми моделями телефонных аппаратов [8].

В настоящее время основными направлениями развития систем мобильной связи являются увеличение скорости передачи данных и улучшение качества связи. На мировом рынке постоянно появляются прогрессивные технологии и стандарты. Ведущие мировые производители комплектующих и оборудования для систем мобильной связи вкладывают огромные средства в новые разработки. Поэтому постоянно появляются новые технологии и стандарты [9,10].

Публикаций относительно оценки работы и возможностей мобильной сети при различных технологиях и стандартах недостаточно.

В работе проведены экспериментальные исследования скорости скачивания и качества мобильной сети для различных стандартов. В эксперименте была задействована функционирующая сеть мобильного оператора «Tele2», схема которой представлена ниже на рисунке 3.1.

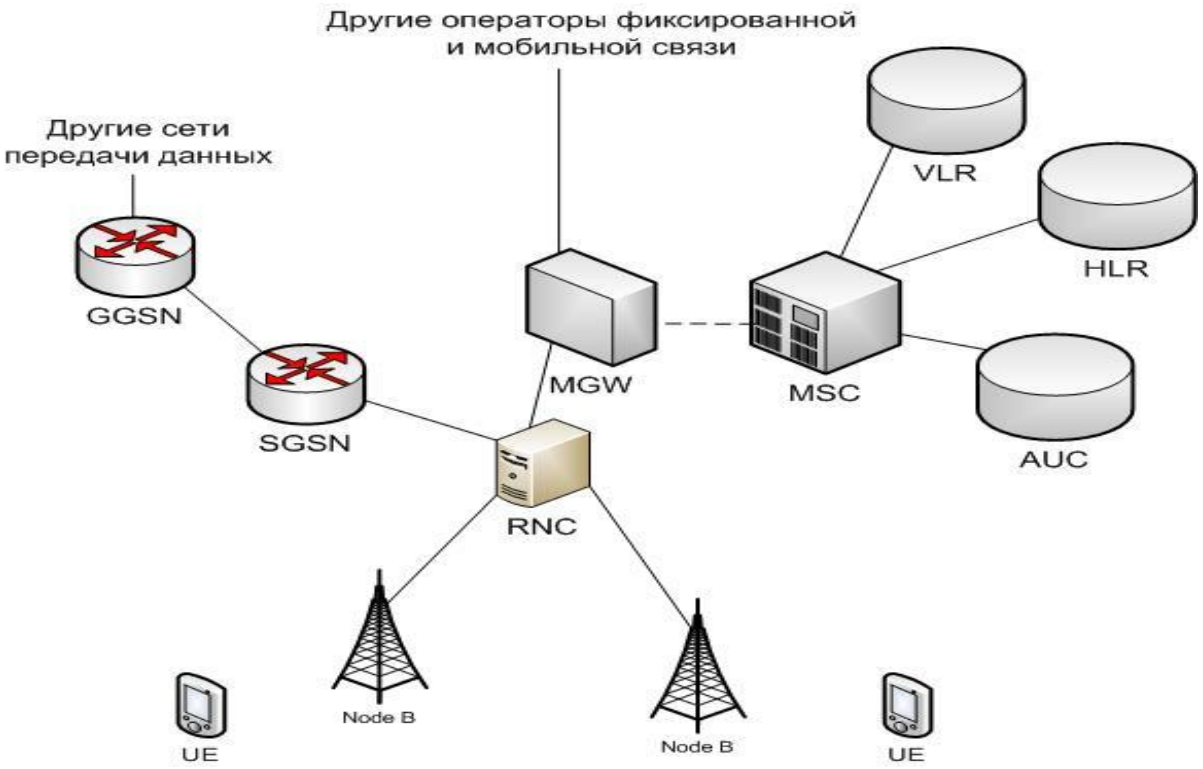


Рисунок 3.1 - Фрагмент сети UMTS мобильного оператора «Tele2»

В ходе проведения эксперимента были использованы:

- Node B(базовая станция 3G) оператора сотовой связи Теле2 марки Huawei DBS3900;
- Netmonitor – приложение измеряющие уровень сигнала приходящего от базовой станции;
- программа LMT – программа мониторинга и управления сетью;
- мобильные телефоны(Nokia E72, Sony Xperia , HTC One, Iphone 5).

Эксперимент проводился в ночное время, т.к в это время нагрузка на сети минимальная. В ходе работы передавался тестовый документ размером 100 Мбайт при различных уровнях сигнала, получаемого от базовой станции сотового оператора, который определялся при помощи приложения Netmonitor.

Были рассмотрены 4 режима передачи сигналов использующие следующие технологии

HSDPA 16QAM HS-DSCH равное 10, HSDPA 16QAM HS-DSCH равное 15, HSPA+ 64QAM , HSPA+ 64QAM Dual Carrier.

В первом случае использовали мобильный телефон Nokia E72, который поддерживает параметры технологии HSDPA 16QAM поддерживающей максимальное число кодов HS-DSCH равное 10. При помощи приложения Netmonitor определяли уровень сигнала в различных местах для передачи файла 100 Мбайт. Во время скачивания данного файла был поставлен MSISDN номер данного телефона на трейс через программу LMT и наблюдали графически скорость скачивания, время и пропускную способность.

Проводились измерения при следующих уровнях сигнала: -51dBm, -65 dBm, -71 dBm, -75 dBm.

Были получены следующие результаты измерений, которые представлены на графиках.

3.2 Результаты проведенных экспериментальных измерений

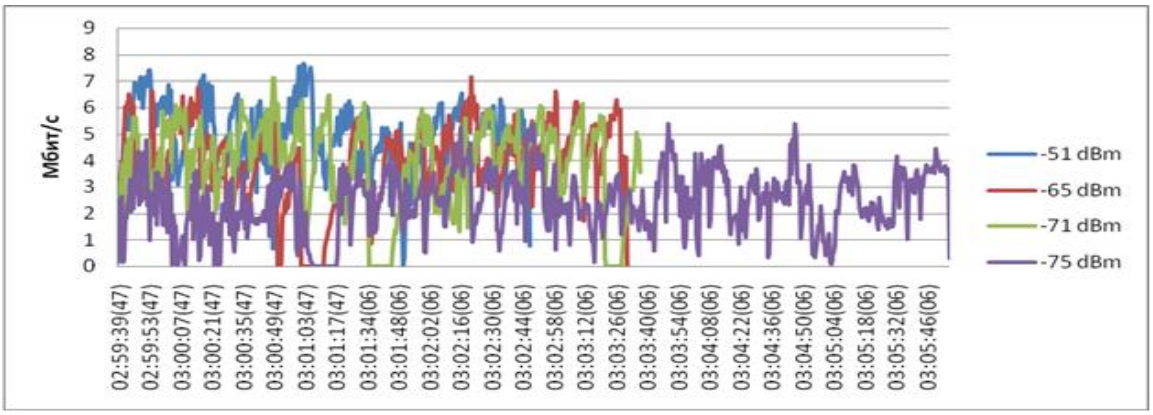


Рисунок 3.2 - График зависимости скорости скачивания от времени для различных уровней сигнала при технологии HSDPA 16QAM(HS-DSCH 10)

Таблица 3.1 - Средняя скорость скачивания при различных уровнях сигнала

Уровень сигнала, dBm	Средняя скорость скачивания 100Мб, Мбит/с
-51	4,875777
-65	3,958638
-71	3,938264
-75	2,443811

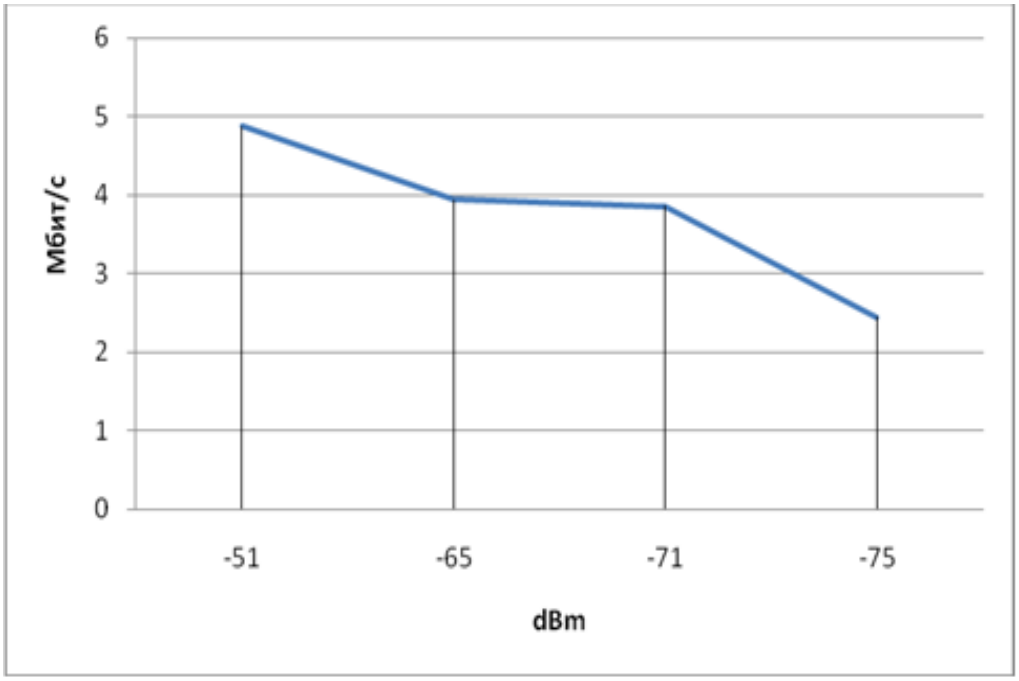


Рисунок 3.3 - График зависимости средней скорости скачивания от уровня сигнала.

Из полученных результатов видно, что пропускная способность при данной технологии была равна 9 Мбит/с. Максимальные скорости наблюдались при уровне сигнала равном -51 dBm, минимальные при -75 dBm. Также отсюда можно определить, что чем хуже сигнал тем хуже скорость скачивания и следовательно время скачивания 100Мб файла увеличивается.

Во втором случае проделывали тоже самое, только использовали мобильный телефон Sony Xperia U поддерживающий параметры технологии HSDPA 16QAM при максимальном числе кодов HS-DSCH равное 15. Проводили измерения также для -51 dBm, -65 dBm, -71 dBm, -75 dBm уровней сигнала. Получили следующие результаты.

Пропускная способность для данной технологии уже равна 14 Мбит/с.

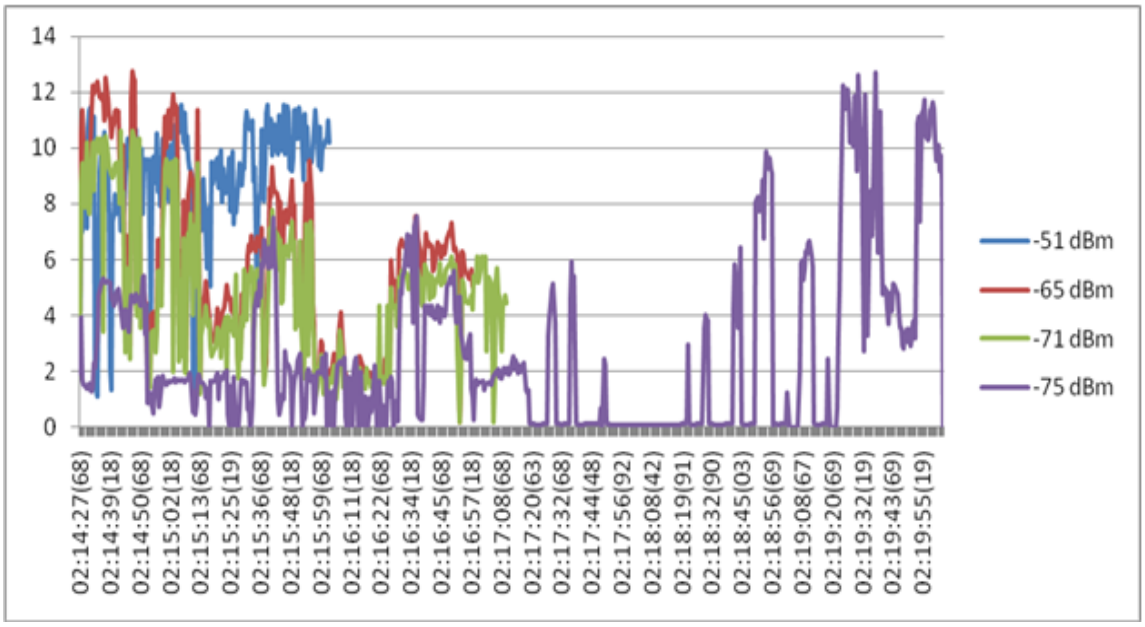


Рисунок 3.4 - График зависимости скорости скачивания от времени при различных уровнях сигнала при технологии HSDPA 16QAM(HS-DSCH 15)

Таблица 3.2 - Средняя скорость скачивания при различных уровнях сигнала

Уровень сигнала, dBm	Средняя скорость скачивания 100Мб, Мбит/с
-51	9,120873
-65	5,821254
-71	4,790974
-75	2,658105

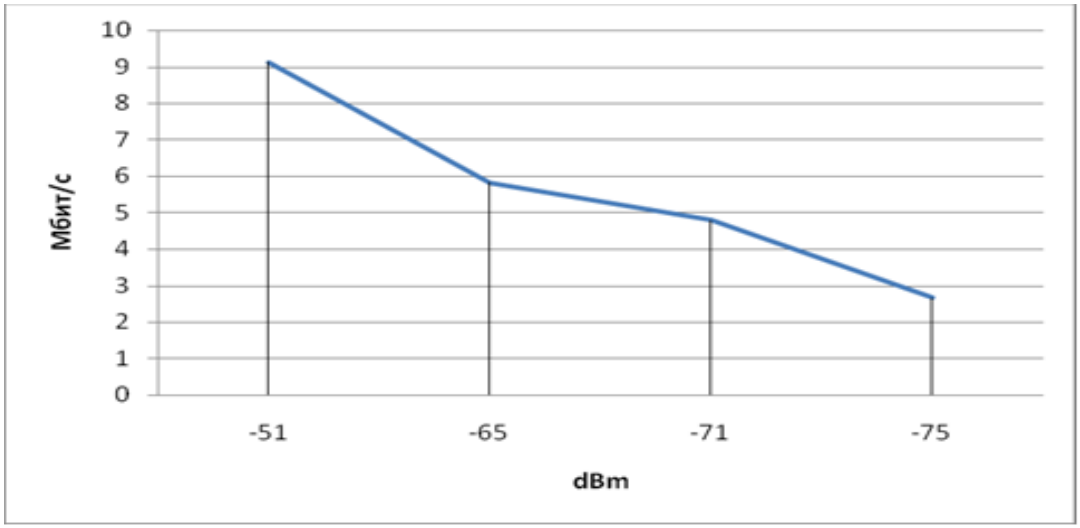


Рисунок 3.5 - График зависимости средней скорости скачивания от уровня сигнала

Из полученных результатов видно, что пропускная способность и скорости выше чем при технологии HSDPA 16QAM(HS-DSCH 10), рассмотренной в первом случае. При наилучшем уровне сигнала получаем больше скорости и уменьшается время скачивания.

В третьем случае использовали телефон HTC One поддерживающий параметры технологии HSPA+ 64 QAM. Получили следующие результаты:

При поддержке данной технологии пропускная способность равна 21 Мбит/с.

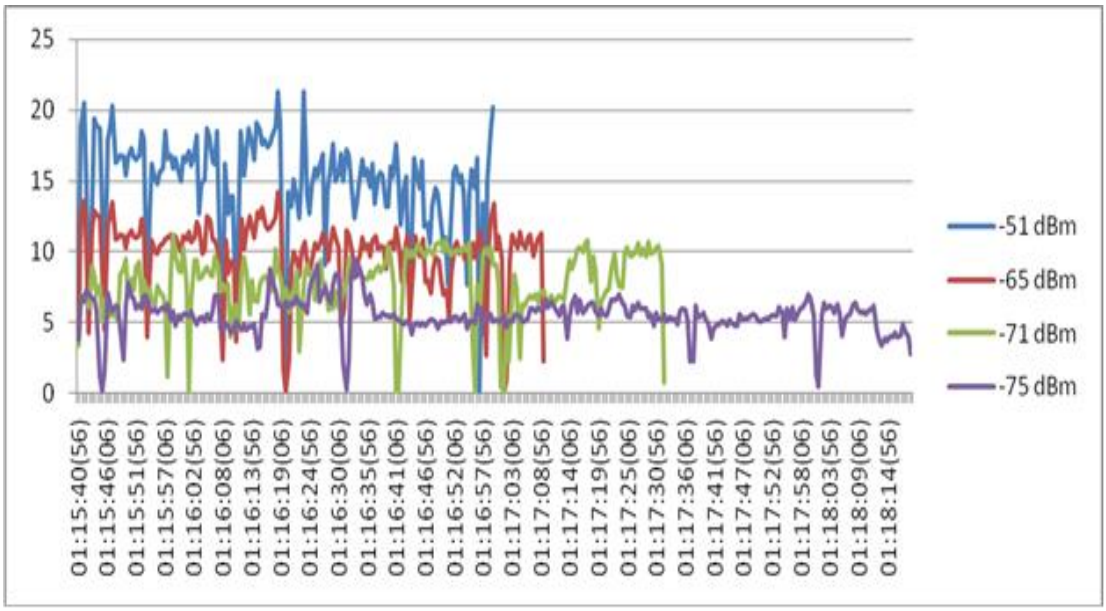


Рисунок 3.6 - График зависимости скорости скачивания от времени при различных уровнях сигнала при технологии HSPA+ 64 QAM

Таблица 3.3- Средняя скорость скачивания при различных уровнях сигнала

Уровень сигнала, dBm	Средняя скорость скачивания 100Мб, Мбит/с
-51	14,80189585
-65	9,838563775
-71	7,845155143
-75	5,513846692

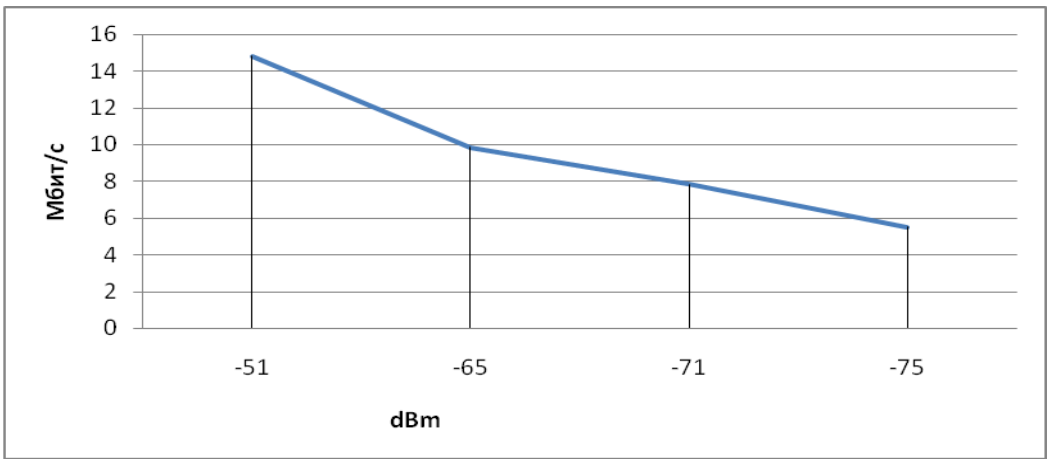


Рисунок 3.7 - График зависимости средней скорости скачивания от уровня сигнала

В четвертом случае использовав телефон Iphone 5 поддерживающий совершенно новую технологию HSPA+ 64 QAM Dual Carrier, получили следующие результаты:

Пропускная способность равна 42,2 Мбит/с.

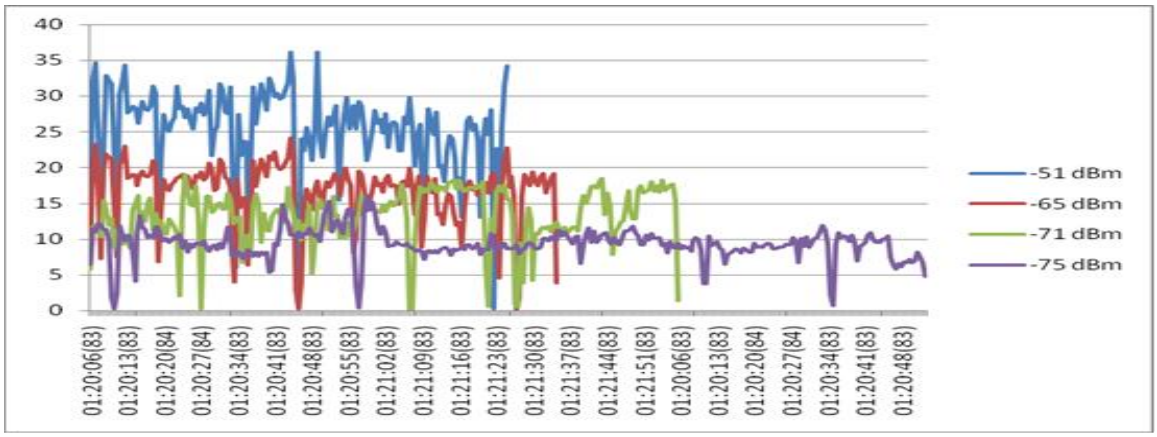


Рисунок 3.8 - График зависимости скорости скачивания от времени при различных уровнях сигнала при технологии HSPA+ 64 QAM Dual Carrier

Таблица 3.4 - Средняя скорость скачивания при различных уровнях сигнала

Уровень сигнала, dBm	Средняя скорость скачивания 100Мб, Мбит/с
-51	25,16322294
-65	16,72555842
-71	13,33676374
-75	9,67277135

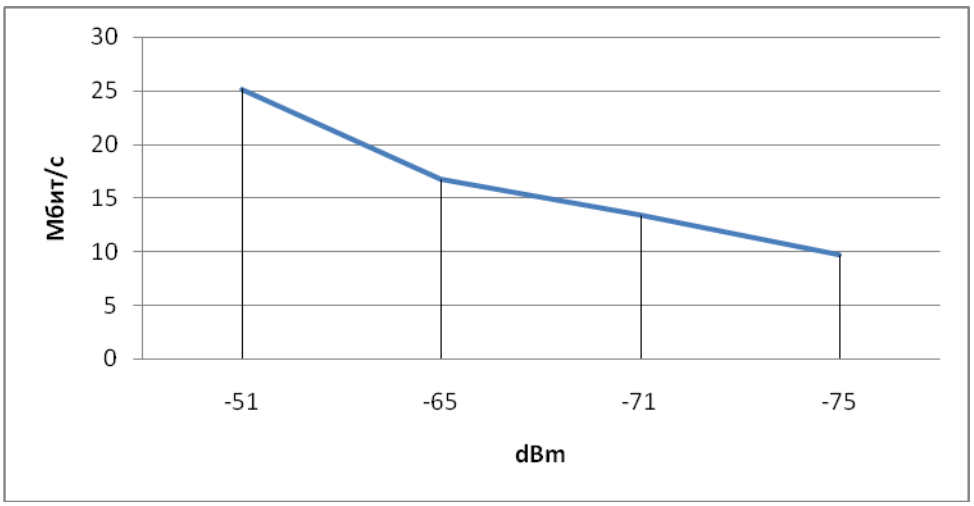


Рисунок 3.9 - График зависимости средней скорости скачивания от уровня сигнала

Обобщим и сравним полученные результаты измерений при различных технологиях.

Рассмотрим зависимости скорости и времени скачивания от уровня принимаемого сигнала.

При уровне сигнала -51 dBm

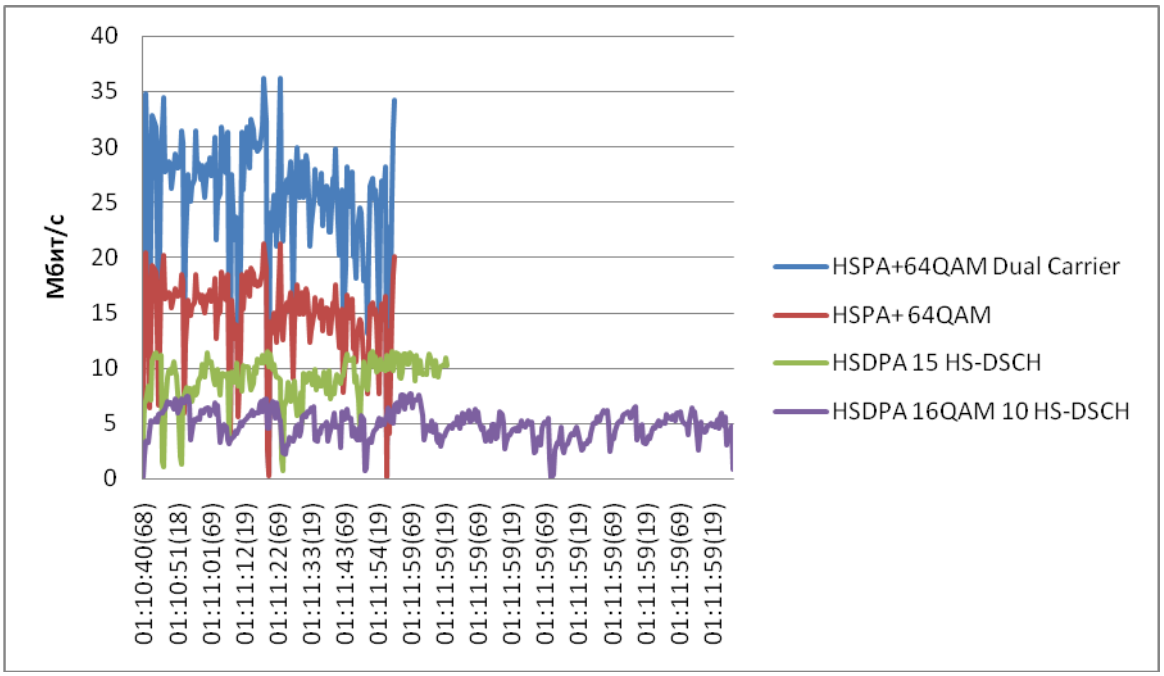


Рисунок 3.10 - График зависимости скорости скачивания от времени при различных технологиях, для уровня сигнала -51 dBm

При уровне сигнала -65 dBm

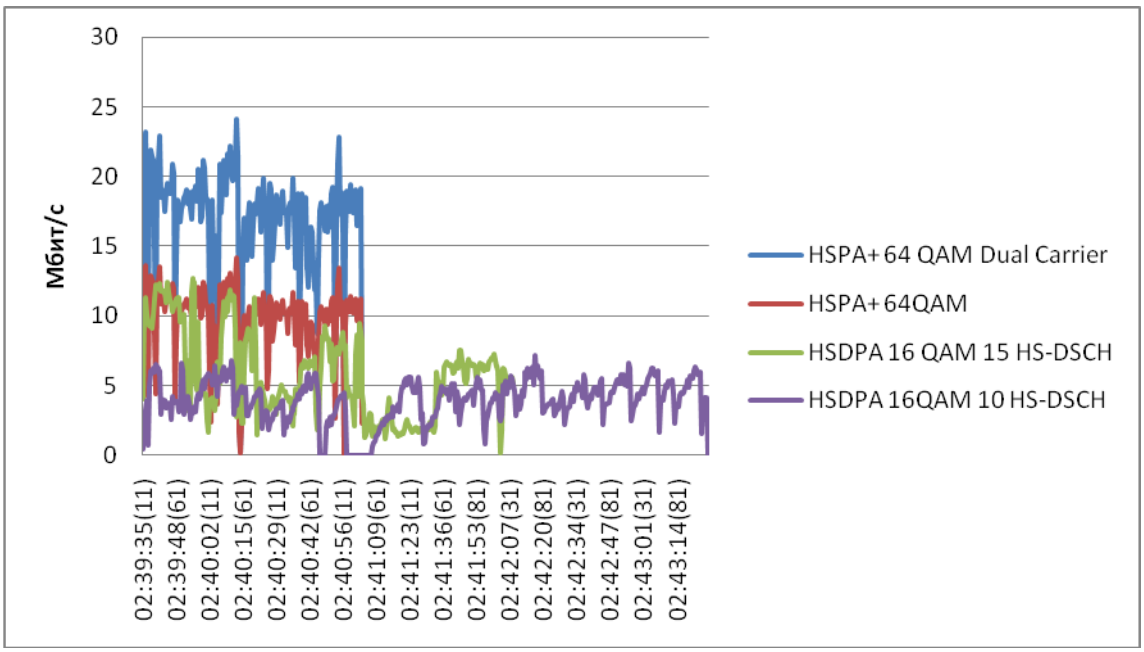


Рисунок 3.11 - График зависимости скорости скачивания от времени при различных технологиях, для уровня сигнала -65 dBm

При уровне сигнала -71 dBm

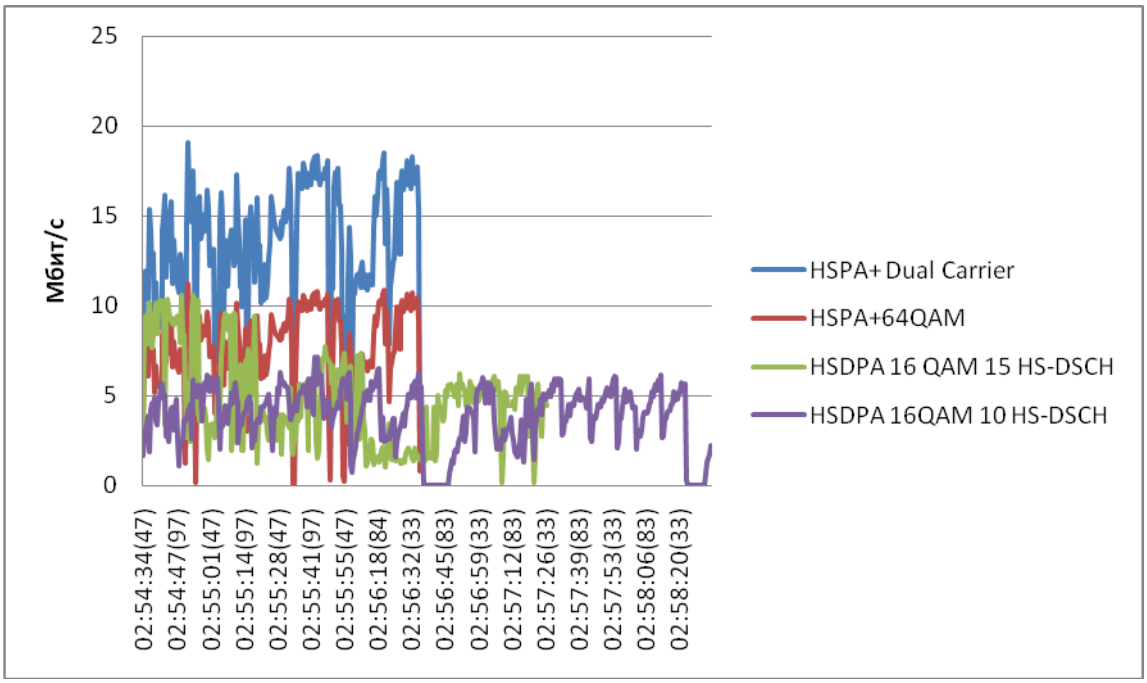


Рисунок 3.12 - График зависимости скорости скачивания от времени при различных технологиях, для уровня сигнала -71 dBm

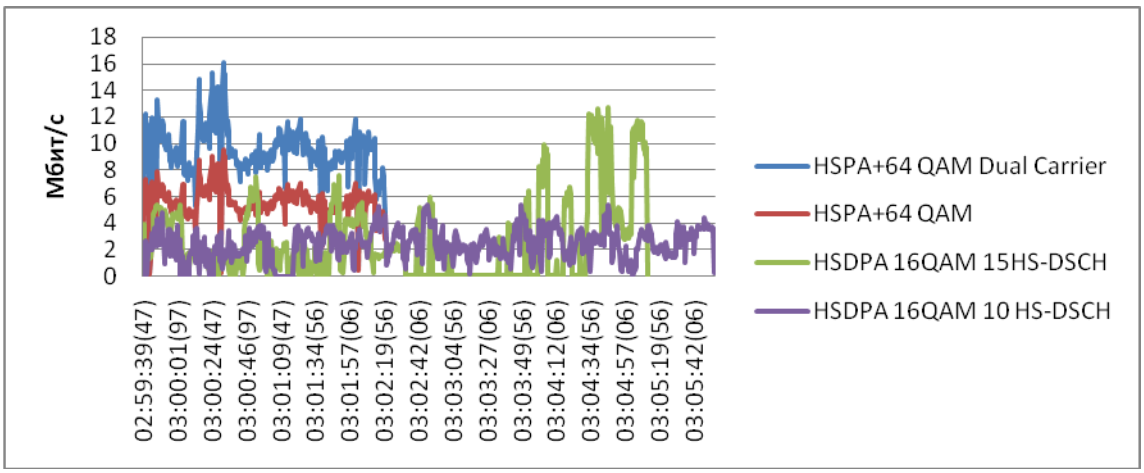


Рисунок 3.13 - График зависимости скорости скачивания от времени при различных технологиях, для уровня сигнала -75 dBm

Для оценки полученных зависимостей вычислены математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение, были использованы следующие формулы

$$\boldsymbol{Mx} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \tag{3.1}$$

$$\boldsymbol{\sigma_n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Xk - Mx)^2}{n}}, \tag{3.2}$$

где n-количество проведенных замеров;
x_i - результат i-го замера;
M_x- среднее значение полученных результатов;
σ_x - среднеквадратичное отклонение.

Т а б л и ц а 3 . 5 - Обобщенные результаты проделанных экспериментов

Стандарт	Уровень сигнала, dBm	Пропускная способность, Мбит/с	Математическое ожидание, Мбит/с	Среднеквадратичное отклонение, Мбит/с
HSDPA 16QAM (10 HS-DSCH)	-51	9	5	1.3
	-65	9	3.9	1.6
	-71	9	3.9	1.7
	-75	9	2.4	1.1
HSDPA 16QAM (10 HS-DSCH)	-51	14	9.2	2
	-65	14	5.8	3.1
	-71	14	4.8	2.5
	-75	14	2.7	3

Окончание таблицы 3.5

HSPA+ 64QAM	-51	21	14.8	3.7
	-65	21	9.9	2.5
	-71	21	7.8	2.2
	-75	21	5.6	1.2
HSPA+ 64QAM Dual Carrier	-51	42.2	25.2	6.4
	-65	42.2	16.7	4.4
	-71	42.2	13.3	3.7
	-75	42.2	9.7	2.1

Средняя скорость скачивания при различных технологиях указанна ниже.

Таблица 3.6 - Средняя скорость скачивания при различных технологиях

Уровень сигнала, dBm	HSDPA 16QAM (10 HS-DSCH), Мбит/с	HSDPA 16QAM (15 HS-DSCH) , Мбит/с	HSPA+ 64QAM, Мбит/с	HSPA+ 64QAM Dual Carrier,Мбит/с
-51	4,875777466	9,120872833	14,80189585	25,16322294
-65	3,85141082	5,821253794	9,838563775	16,72555842
-71	3,938263843	4,790973619	7,845155143	13,33676374
-75	2,443811076	2,658105392	5,513846692	9,67277135

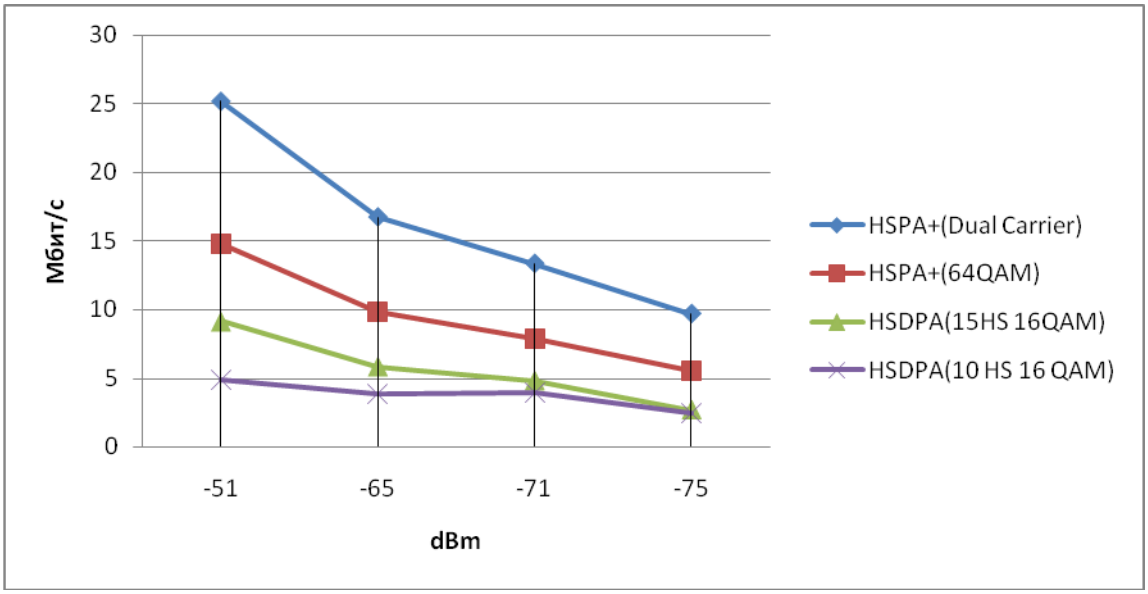


Рисунок 3.14 -График зависимости средней скорости от уровня сигнала при различных технологиях

Из рисунка 3.14 видно, что наибольшая средняя скорость наблюдается при стандарте HSPA+ Dual Carrier и, соответственно, качество при данном стандарте наилучшее.

Наибольшая скорость скачивания и соответственно при этом наименьшее время скачивания наблюдается при использовании стандарта HSPA+ 64QAM Dual Carrier.

При уровне сигнала -51 dBm наблюдаются самые высокие скорости, для стандарта HSPA+ 64QAM Dual Carrier при таком уровне сигнала скорость доходила до 36 Мбит/с.

Наилучшее качество будет предоставляться при использовании стандарта HSPA+ 64QAM Dual Carrier, наихудшие скорости и качество при стандарте HSDPA 16QAM(10 HS-DSCH).

4 Расчетная часть

4.1 Расчет нагрузки радиолиний системы UMTS

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

Основные параметры использующиеся в расчете.

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

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{Рпр}{I} \cdot \frac{W}{R}, \tag{4.1}$$

$$I_{UL} = I_{own} + I_{oth} + P_N, \tag{4.2}$$

$$I_{UL} = I_{own}(1-\alpha) + I_{oth} + P_N, \tag{4.3}$$

где $Рпр$ -мощность принимаемого сигнала;

I-мощность помехи;

I_{own} -суммарная мощность полученная от обслуживающей соты(исключая собственный сигнал);

I_{oth} -суммарная мощность полученная от других сот;

α - фактор ортогональности;

R- скорость передачи;

W - полоса частотного канала;

Pn–мощность шума.

Минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника по сути является характеристикой оборудования(приемника), следовательно оно будет индивидуальным для оборудования разных производителей, также оно будет разным для приемников базовой и мобильной станций в следствие различий в сложности их устройства. Однако, значения требуемого отношения E_b/N_0 определено спецификациями 3GPP (3GPP 25.101) для различных типов условий (типов радиоканала). Данные требованиясучетом параметров оборудования представлены в таблице 4.1.

Т а б л и ц а 4 . 1 - Значения E_b/N_0 для различных типов услуг

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

Требуемое значение E_b/N_0 зависит от:

- типа услуги(скорость передачи, требование к BER,BLER, метод канального кодирования);
- радиоканала (Скорость движения абонента, частота,);
- типа соединения (разнесенный прием, использование быстрого управление мощностью).

Требуемое отношение сигнал/шум вычисляется по формуле

$$\frac{E_c}{I} = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R}{W} \quad . \tag{4.4}$$

Таким образом, в системе WCDMA соотношение E_b/N_0, больше чем отношение сигнал/шум в $\frac{W}{R}$ раз, $\frac{W}{R}$ - величина называемая коэффициентом расширения или выигрышем от обработки. Поэтому допустимое соотношение сигнал/шум в приемнике может быть много меньше единицы.

4.2 Расчет емкости и уровня шумов Node B в сети UMTS без репитеров

Известно, что общий уровень шумов на входе антенны Node B равен сумме интерференционных сигналов от всех мобильных терминалов, обслуживаемых данным Node B плюс мощность термального шума [9]

$$P_t = P_{th} + \sum_{k=1}^{N} P_{r,k}, \tag{4.5}$$

где $P_{r,k}$- значение мощности сигнала на входе антенны Node B от к-го мобильного терминала;

P_{th}- уровень термального шума;

P_{th}= -174 дБм/Гц ;

P_t— общий уровень шумов;

N - число обслуживаемых мобильных терминалов данным Node B.

В предположении идеальной регулировки мощности, каждый мобильный терминал *(к)* имеет минимально необходимую мощность передатчика для достижения требуемого уровня сигнал/интерференция, равного

$$SIR_k = \frac{P_{r,k}}{P_t - P_{r,k}}. \quad (4.6)$$

Так как в рассматриваемом сценарии сети мобильные терминалы используют один тип услуги (передача речи), то значение SIR одинаково для всех мобильных терминалов

$$SIR = \frac{P_r}{P_t - P_r}.$$

Таким образом,

$$P_r = \frac{SIR}{1+SIR} \cdot P_t \ . \quad (4.7)$$

Так как в сети используется один тип услуг, то выражение (4.5) преобразуется к виду

$$P_t = P_{th} + N \cdot P_r \ . \quad (4.8)$$

Объединяя уравнения, получим

$$P_t = \frac{P_{th}}{1 - \frac{N \cdot SIR}{1+SIR}} \ . \quad (4.9)$$

Введем показатель, характеризующий увеличение общего уровня шума. Данный показатель определяется как отношение общего уровня шума к термальному шуму

$$NoiseRaise = \frac{P_t}{P_{th}} \quad (4.10)$$

Данное выражение преобразуется к следующему

$$\text{NoiseRaise} = \frac{1}{1-\frac{N \cdot SIR}{1+SIR}} \ . \qquad (4.11)$$

Далее определим параметр η_{ul}, характеризующий уровень загрузки Node B

$$\eta_{ul} = \frac{N \cdot SIR}{1+SIR} \ . \qquad (4.12)$$

Объединяя выражения (4.11) и (4.12) получим зависимость уровня шума от емкости Node B

$$\text{NoiseRaise} = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{1-\eta_{ul}}\right). \qquad (4.13)$$

На рисунке 4.1 изображена зависимость возрастания уровня шума от процента загрузки Node B.

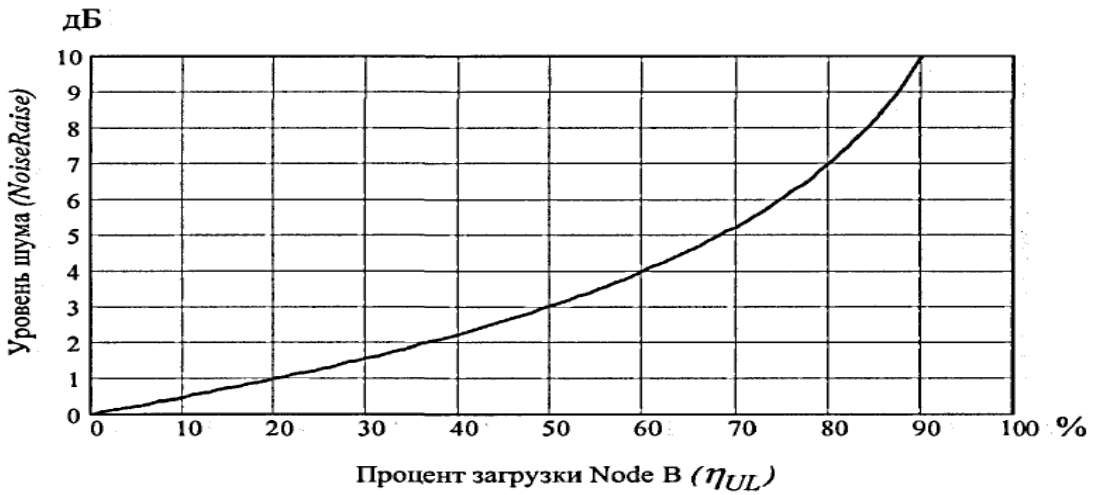


Рисунок 4.1 - Зависимость уровня шума в обратном канале от процента загрузки Node B

Следует заметить, что при возрастании общего уровня шума на 3 дБ,считается, что Node B загружен на 50%.

4.3 Расчет емкости и уровня шумов Node B в сети с репитерами

При подключении к Node B репитера UMTS, кроме положительного эффекта улучшения радио покрытия, т.е. возрастания значений параметров SIR, E_b/N_0, происходит снижение емкости базовой станции, поскольку

репитер, настроенный на Node B вносит дополнительный шум в полосу пропускания приемника. Определим зависимость между снижением емкости Node B и числом подключенных к Node B репитеров.

Аналогично, общий уровень шумов на входе антенны NodeB определяется как

$$P_t = P_{th} + \sum_{k=1}^{N} P_{r,k} + \sum_{n=1}^{N_r} P_{R,n} \,, \qquad (4.14)$$

где $P_{R,n}$ - значение мощности шума от n-го репитера, подключенного к данному Node B;

N_r - число репитеров, подключенных к данному Node B.

Предполагая, что каждый репитер вносит одинаковый уровень шума, а также с учетом:

$$\sum_{n=1}^{N_R} P_{R,n} = N_R \cdot G_R \cdot G_d \cdot G_a \cdot L \cdot P_{th} \cdot F_R \,, \qquad (4.15)$$

где G_R - коэффициент усиления репитера в обратном канале;

G_d - коэффициент усиления донорной антенны репитера;

G_a - коэффициент усиления антенны Node B;

L- средний уровень потерь при распространении радиоволн между репитерами и Node B;

F_R - коэффициент шума репитера.

Структурная схема энергетического баланса линии связи между репитером и Node B с обозначением указанных переменных, приведена на рисунке 4.2.

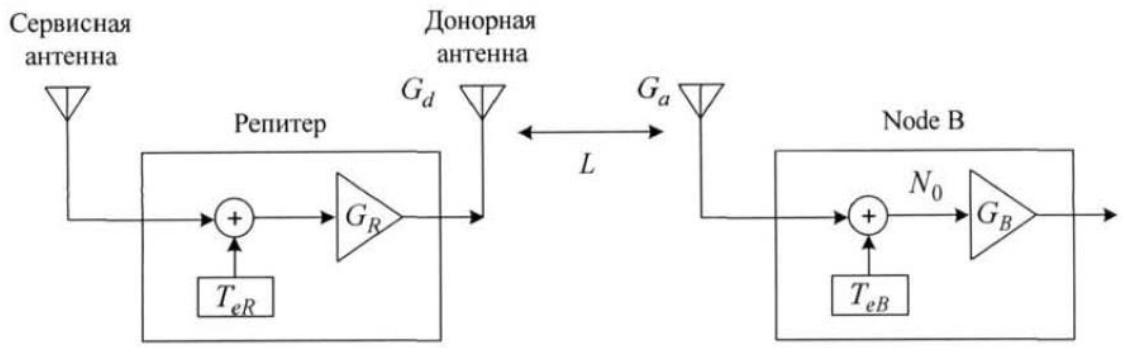


Рисунок 4.2 - Схема включения репитера в сеть UMTS

Аналогично, определим общий уровень шума

$$P_t = P_{th} + N \cdot P_r + N_R \cdot G_R \cdot G_d \cdot G_a \cdot L \cdot P_{th} \cdot F_R \qquad (4.16)$$

Следовательно,

$$P_t = \frac{P_{th} + N_R \cdot G_R \cdot G_d \cdot G_a \cdot L \cdot P_{th} \cdot F_R}{1 - \frac{N \cdot SIR}{1 + SIR}} \ . \qquad (4.17)$$

Таким образом, параметр *NoiseRaise*для Node B с использованием репитеров определяется как

$$\text{NoiseRaise} = \frac{P_t}{P_{th}} = \frac{1 + N_R \cdot G_R \cdot G_d \cdot G_a \cdot L \cdot P_{th} \cdot F_R}{1 - \frac{N \cdot SIR}{1 + SIR}} \ . \qquad (4.18)$$

Далее получим

$$\text{NoiseRaise} = 10 \cdot \log\left(\frac{1 + N_R \cdot G_R \cdot G_d \cdot G_a \cdot L \cdot P_{th} \cdot F_R}{1 - \eta_{ul}}\right). \qquad (4.19)$$

Зададим значения параметров G_R=60дБ, G_d=15дБ, G_a=18дБ, F_R=3дБ, L= -110 дБ и осуществляя пересчет из децибелов в разы по формуле $f_{разы} = 10^{f_{дБ}/10}$, построим зависимость возрастания уровня шума в обратном канале от емкости NodeB при подключении некоторого числа репитеров N_R (рисунок 4.3).

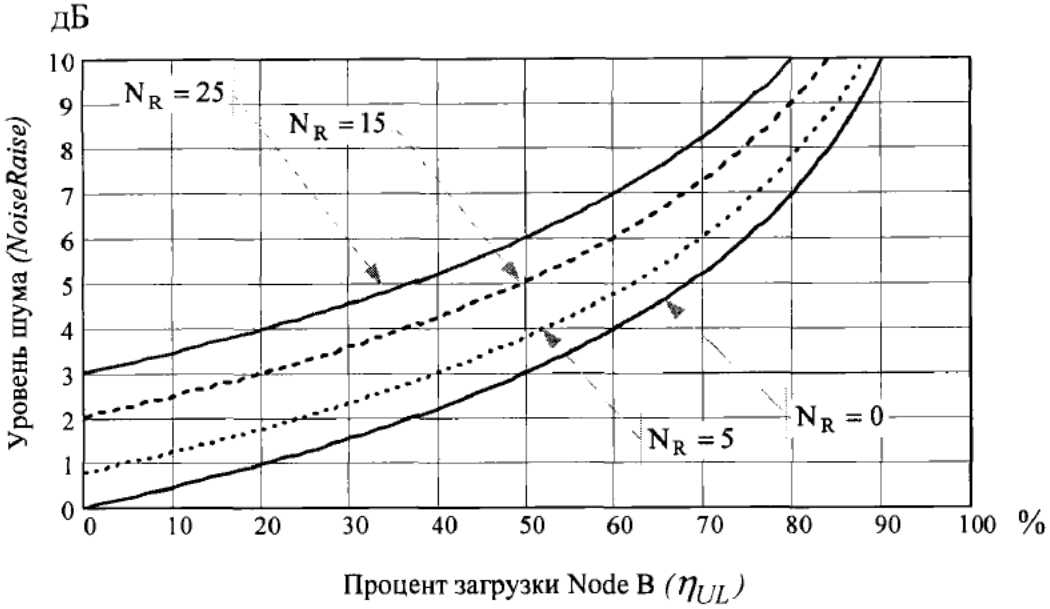


Рисунок 4.3 - Зависимость возрастания уровня шума в обратном канале от процента загрузки Node B при использовании репитеров

Как видно из рисунка 4.3, при отсутствии репитеров и уровне шума равном 3 дБ, емкость Node B задействована на 50%. При установке 5 репитеров, настроенных на данный Node B, уровень шума, равный 3 дБ достигается при 40% о загрузке Node B, что свидетельствует о снижении емкости на 10%). При подключении 15 репитеров, уровень шума равный 3 дБ достигается при 20% загрузке Node B, что соответствует 30%) потерям емкости в Node B.

Построим график потерь емкости Node Bв зависимости от числа подключенных к данному Node B репитеров и уровня шума (рисунок 4.4).

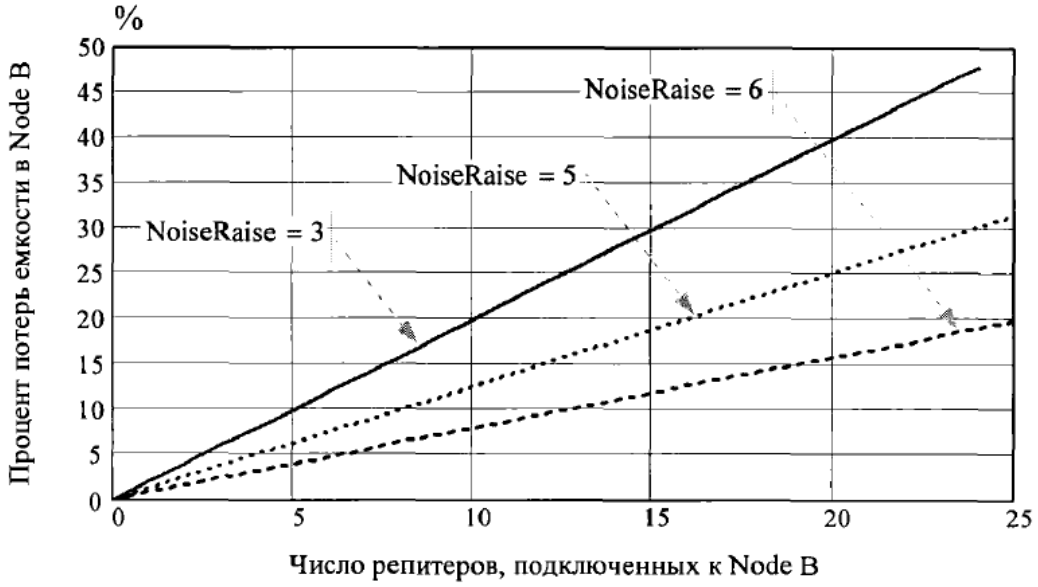


Рисунок 4.4 - Процент снижения емкости Node B в зависимости от числа подключенных к Node B репитеров

Из приведенного графика следует, что увеличение потерь емкости Node B с возрастанием числа подключенных к Node B репитеров имеет линейный характер, причем чем меньше значение существующей загрузки Node B, тем выше потери емкости вследствие использования репитеров.

4.4 Расчет максимально допустимых потерь в каналах Uplink, Downlink для сети UMTS

Основным требованием к сети UMTS является обеспечение заданного уровня качества QoS по всей зоне покрытия для любых услуг сети. В качестве анализа качественных характеристик QoS сети UMTS проводится оценка мощности сигнала для восходящего и нисходящего каналов зоны обслуживания базовой станций. Данная оценка является показателем качества приема в зоне покрытия БС, который является ключевым показателем функционирования радиосети UMTS.

Приведем пример расчета для услуги с наиболее высокими требованиями к уровню покрытия – передача данных на скорости Downlink=3,6 Мбит/с, Uplink=480 кбит/с (услуга «Интернет»).

4.4.1 Расчет максимально допустимых потерь на трассе Uplink

Расчет осуществляется в несколько этапов.

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС определяется по формуле

$$P_{прбс} = P_{ш} + (\frac{E_b}{N_0})_{треб} - G_{обр} + L_n - G_{хо}\ , \qquad (4.20)$$

где (E_b/N_0)треб – требуемое значение E_b/N_0;

$G_{обр}$ – выигрыш от обработки сигнала;

$P_{ш}$ – мощность собственных шумов приемника;

$G_{хо}$ – выигрыш в уровне сигнала на приеме.

Для анализа был выбран тип оборудования базовых станций. Коэффициент шума приемника данной базовой станции менее 3 дБ. Минимально допустимое значение E_b/N_0 на входе приемника для данного типа сервиса составляет 1,8 дБ. Выигрыш от обработки сигнала $G_{обр}$ составляет 10.5 дБ. Величину выигрыша в уровне сигнала $G_{хо}$ примем 3 дБ.

С учетов вышеуказанных параметров, минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС равна $P_{прбс}$ =-113,5 дБмВт.

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением

$$P_{пр} = P_{прбс} + L_{фидер} - G_{бс} + L_{ff}\ , \qquad (4.21)$$

где $L_{фидер}$ - потери в фидере, 3 дБ;

$G_{бс}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции, 18 дБ (для секторных антенн базовых станций);

L_{ff} –запас на быстрые замирания, 3 дБ;

Рпр =-124,5 дБмВт.

Эффективно излучаемая мощность мобильной станции определяется выражением

$$P_{измс} = P_{мс} + G_{мс} - L_{тел}\ , \qquad (4.22)$$

где $P_{мс}$ – мощность передатчика мобильной станции, для расчета взята минимальная мощность мобильной станции, определенная стандартом– 21 дБмВт;

$G_{мс}$ – коэффициент усиления антенны базовой станции, принят равным 0 дБ;

$L_{тел}$ – потери на затухание в теле абонента, для расчета $L_{тел}$ принят равным 3 дБ;

$P_{измс}$=21 дБмВт.

Максимально допустимые потери на трассе равны

$$L= P_{измс}- P_{пр}=145,5 \text{ дБ} \quad (4.23)$$

4.4.2 Расчет максимально допустимых потерь на трассе радиолинии Downlink

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника МС определяется аналогичным выражением (как и для БС) [9]

$$P_{прмс}(\text{дБмВт}) = P_{ш}(\text{дБмВт}) + \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{треб}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}) \ , \quad (4.24)$$

где (E_b/N_0)треб – минимально допустимое значение E_b/N_0на входе приемника для данного типа сервиса составляет 4,8 дБ;

$G_{обр}$ - выигрыш от обработки, равен 10 дБ;

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

$$P_{прмс}= -104,4 \text{ дБмВт}$$

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением

$$P_{пр} = P_{прмс} + L_{тело} - G_{мс} + L_{ff} \ , \quad (4.25)$$

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

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

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

$P_{пр}$= -101.4 дБмВт.

Эффективно излучаемая мощность БС

$$P_{избс} = P_{бс} + G_{бс} - L_{фидер}\ , \qquad (4.26)$$

где $P_{бс}$ – мощность передатчика базовой станции на кодовый канал. Для данного типа сервиса величина максимальной мощности передатчика на кодовый канал составляет 40 дБмВт;

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

$L_{фидер}$ – потери обусловленные затуханием в фидере;

$P_{избс}$= 55 дБмВт.

Допустимые потери на трассе

$$L = P_{избс} - P_{пр} = 156{,}4\ Дб$$

В данном расчете не учитывались затенения сигнала препятствиями (здания, деревья и т.д), затухания вносимые стенами зданий для абонентов находящихся внутри помещений, так называемые медленные замирания. Значение запаса на медленные замирания для городской местности принимают равным L_{sf}=10 дБ.

Величина допустимых потерь на трассе равна

$$L = L_{max} - L_{sf} - L_{зд}\ , \qquad (4.27)$$

где L_{max} – максимально допустимые потери на трассе;

$L_{зд}$ – потери на проникновение в здание;

L_{sf} – значение запаса на медленные замирания.

Для передачи данных на скорости DL=3,6 Мбит/с / UL=480 кбит/с получим значения допустимых потерь:

- для линии Uplink L_{UL} =120,5 дБ;
- для линии Downlink L_{DL}=128,4 дБ.

Для расчета зоны обслуживания берется меньшее из значений допустимых потерь в восходящей или нисходящей линии.

4.4.3 Расчет уровня сигнала в зоне покрытия БС

Для расчета уровня сигнала в зоне покрытия БС, определяют требуемый уровень пилотного сигнала (CPICH), определяющий потери на трассе. Таким

образом, по уровню CPICH можно судить о доступности того или иного сервиса. Обычно, уровень пилотного сигнала составляет 10% от суммарной мощности передатчика БС. Выходная мощность БС составляет 43 дБмВт. Соответственно мощность пилотного сигнала равна PCPICH=3,3 дБмВт.

Мощность принимаемого пилотного сигнала для доступности услуги должна составлять

$$P_{прCPICH} = P_{избс} - L_{max} + (P_{CPICH} - P_{бс})(дБмВт), \qquad (4.28)$$

где $P_{избс}$ – эффективно излучаемая мощность БС на кодовой канал;

L_{max} – максимально допустимые потери на трассе;

$P_{бс}$– мощность передатчика БС на кодовый канал;

P_{CPICH} – мощность пилотного сигнала БС;

$P_{прCPICH}$=-97,5 дБмВт.

С учетом потерь на проникновение в здания и величины запаса на медленные замирания

$$P_{прCPICH} = P_{избс} - L + (P_{CPICH} - P_{бс}) = -72{,}5 \text{ дБмВт}$$

Таким образом, был проведен анализ качественных характеристик сети UMTS на основании оценки мощности сигнала для восходящего и нисходящего канала зоны обслуживания базовой станций.

4.5 Расчет емкости системы UMTS

Рассмотрим расчет емкости соты UMTS.

Для анализа взяты исходные данные, определяющие абонентскую нагрузку на начальном этапе развертывания сети.

Исходные данные для расчета:

- количество пользователей 8000;
- объем речевого трафика от абонента $T_{абголос}$ = 20 мЭрл ;
- объем трафика видео вызова от абонента $T_{абвидео}$ =6 мЭрл.

Для представления размерности пакетного трафика в Эрлангах использована формула

$$T_{эрл} = T(бит/ч)/R(бит/с)/3600, \qquad (4.29)$$

где $T_{эрл}$ – пакетный трафик (Эрл);

$T_{эрл}$- количество загруженной/выгруженной информации за час пользователем(бит/ч);

R –скорость передачи пользователя.

Объем пакетного трафика загружаемого (нисходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 144 кбит/с составляет T_{144DL}=500 кбайт/час

$$T_{144DLэрл}=8\cdot1000\cdot T_{144DL}/(1000\cdot144)/3600=0{,}008 \text{ Эрл}$$

Объем пакетного трафика загружаемого (нисходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 384 кбит/с составляет T_{384DL}= 500 кбайт/час

$$T_{384DLэрл}=8\cdot1000\cdot T_{144DL}/(1000\cdot384)/3600=0{,}006 \text{ Эрл}$$

Объем пакетного трафика передаваемого (восходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 144 кбит/с составляет T_{144UL} =200 кбайт/час

$$T_{144ULэрл}=8\cdot1000\cdot T_{144UL}/(1000\cdot144)/3600=0{,}003 \text{ Эрл}$$

Объем пакетного трафика передаваемого (восходящая линия) абонентом в ЧНН со скоростью передачи рассматриваемого сервиса 384 кбит/с составляет T_{384UL}=200 кбайт/час

$$T_{384ULэрл}=8\cdot1000\cdot T_{384UL}/(1000\cdot384)/3600=0{,}001 \text{ Эрл}$$

Требуемый процент блокировок вызова равен 2%.

4.6 Расчет коэффициента загрузки ячейки в сети UMTS/HSDPA.

В данное время для UMTS определены три основные технологии доступа:

– радиодоступ глобальной системы мобильной связи с передачей данных GSM/EDGE, появившийся в процессе эволюции GSM и послужил основой для стандарта 3GPP R99;

– широкополосный многостанционный доступ с кодовым разделением каналов WCDMA. Варианты дуплексной работы с частотным разделением остаются все еще наиболее используемые в UMTS. Кроме того, система WCDMA усиленная технологии высокоскоростного пакетного доступа в нисходящем направлении HSDPA и технологиями доступа, использующие ее в других комбинациях;

– дополнительный доступ – доступ по беспроводной локальной вычислительной сети WLAN.

Технология HSDPA принадлежит к семейству решений, использующих пакетную передачу данных. Физически, HSDPA является «надстройкой» к сетям UMTS/WCDMA, поэтому нередко ее называют 3,5 G. «Половинка» в этом названии обоснована еще и тем, что пропускная способность HSDPA в стартовом варианте составила 1,8 Мбит/с, а теоретический максимум составляет 14,4 Мбит/с.

Для достижения высокой пропускной способности, снижения времени задержки и выбросов интенсивности система доступа HSDPA использует методы модуляции и кодирования AMC и гибридную автоматическую систему повторения запросов HARQ, в сочетании со скоростным планированием и процедуре изменения сот.

Основные особенности технологии HSDPA:

- передаваемые пользовательские данные мультиплексируются по времени на укороченном интервале передачи TTI=2 мс (TTI – Transmission Time Interval) и на каждом TTI подвергается кодовому мультиплексированию.

– присутствие канала HS-PDSCH (High Speed Downlink Shared Channel), который имеет фиксированный коэффициент расширения спектра сигнала (SF=16), что потенциально может обеспечить до 15 пользовательских каналов и один контрольный канал. Наряду с манипуляцией QPSK в канале при хорошем его качестве используется модуляция более высокого уровня 16QAM (16-позиционная квадратурная амплитудная манипуляция);

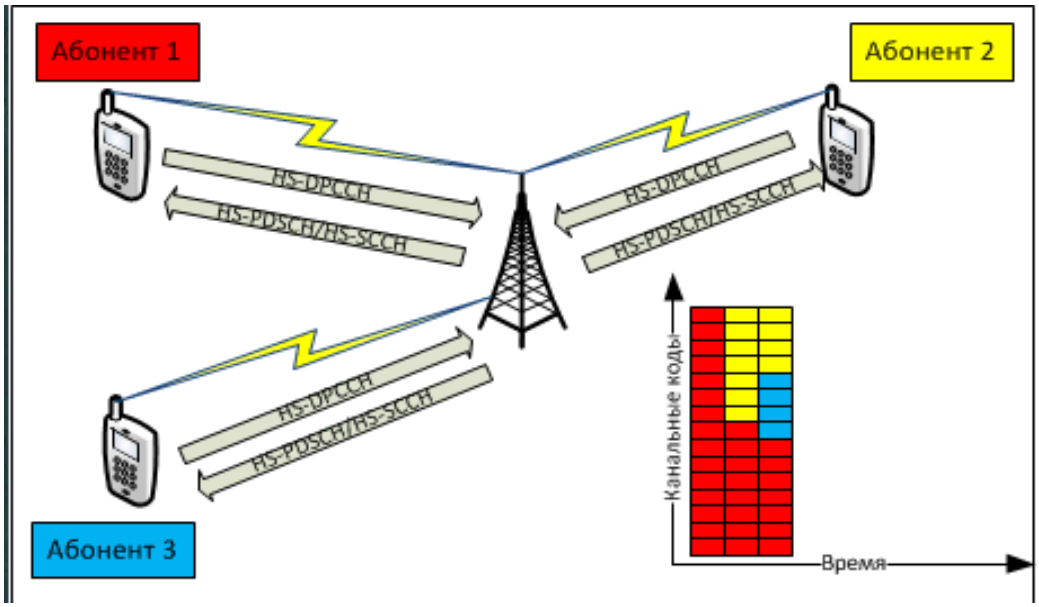


Рисунок 4.5 - Мультиплексирование пользовательских данных в канале HS-PDSCH

– постоянство мощности излучения базовой станции из-за отсутствия ее динамической регулировки;

– отсутствие хэндовера;

– ограниченность доступных канальных кодов для организации необходимых служебных каналов высокоскоростного режима HS-SCCH (High Speed Shared Control Channel) и каналов DPCH.

Зависимость пользовательских каналов в радиоинтерфейсе HSDPA от полной мощности базовой станции

$$N = \frac{0.35 \cdot P_{\Sigma}(1-\eta_{DL})G_{BS}}{P_N N(d)} \left[\frac{16}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_v} + \alpha \right] . \qquad (4.30)$$

Выражение (4.30) показывает случай, когда не вся мощность излучения базовой станции UMTS выделена для высокоскоростных каналов HSDPA. Согласно энергетической нагрузки трафикового нисходящего канала, для HSDPA выделяется около 35% от мощности базовой станции.

Представим выражение (4.30) в следующем виде

$$\eta_{DL} = 1 - \frac{N P_N L(d)}{\left[\frac{16}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_v} \right] \cdot 0.35 \cdot P_{\Sigma} \cdot G_{BS}} , \qquad (4.31)$$

где η_{DL} – коэффициент загрузки ячейки;

v – коэффициент активности абонента;

α – коэффициент ортогональности кода канала;

P_N – мощность шума в приемнике пользователя;

P_{Σ} – суммарная мощность излучения базовой станции;

G_{BS} – коэффициент усиления антенн базовой станции;

E_b/N_0 – соотношение сигнал/шум на входе приемника пользователя;

L(d) – потери на трассе распространения сигнала;

d – радиус соты;

N – количество пользовательских каналов;

G_p=16 – коэффициент расширения спектра сигнала;

0,35 – выделено 35% от полной мощности базовой станции для стандарта HSDPA.

Воспользуемся методом прямого поиска Хука-Дживса, который характеризуется несложной стратегией поиска, относительной простотой исчисления и отсутствием производных. Это один из алгоритмов, в котором

при определении нового направления поиска учитывается информация, полученная на предыдущих итерациях [9].

В качестве функции возьмем выражение (4.31), при этом изменяемыми параметрами будут вся мощность базовой станции и соотношение сигнал/шум на входе приемника пользователя. Чтобы получить результаты необходимо использовать условия:

а) минимальная полная мощность базовой станции – 5 Вт. Причиной этого является значительное сокращение радиуса обслуживания станции и сильное уменьшение количества пользовательских каналов. Так при радиусе ячейки равном 2 км значения пользовательских каналов:

1) при η_{DL}=0,8 количество пользовательских каналов равно 0;
2) при η_{DL}=0,65 количество пользовательских каналов равно 1;
3) при η_{DL}=0,4 количество пользовательских каналов равно 2;
4) при η_{DL}=0,1 количество пользовательских каналов равно 3.

Согласно энергетической нагрузке трафикового нисходящего канала для HSDPA максимальная мощность базовой станции составляет 44 дБм 20 Вт.

б) коэффициент загрузки ячейки должен принимать значения от 0 до 1;

в) минимальное значение соотношения сигнал/шум – 3 Вт. При модуляции 16QAM вероятность ошибки составляет 0,4, что является очень плохим показателем качества обслуживания абонентов.

В результате проведенных расчетов были получены две зависимости: зависимость коэффициента загрузки ячейки от соотношения сигнал/шум (рисунок 4.7) и зависимость коэффициента загрузки ячейки от полной мощности базовой станции (рисунок 4.6).

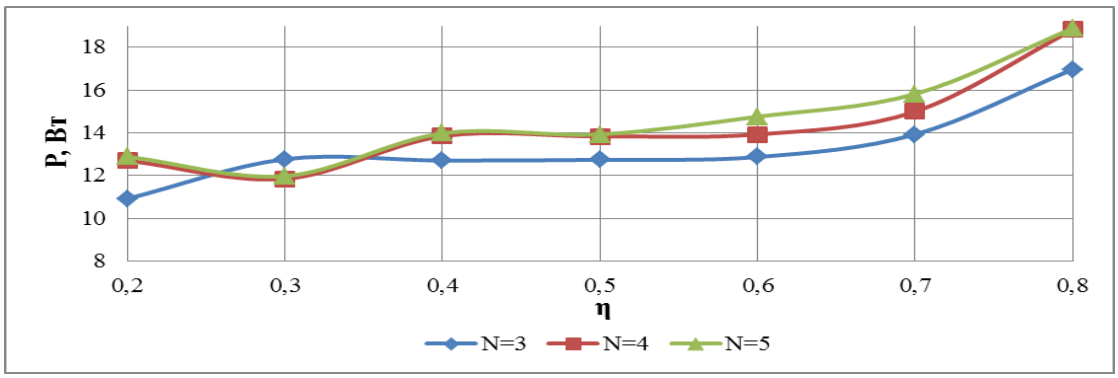


Рисунок 4.6 – Зависимость коэффициента загрузки ячейки от мощности базовой станции

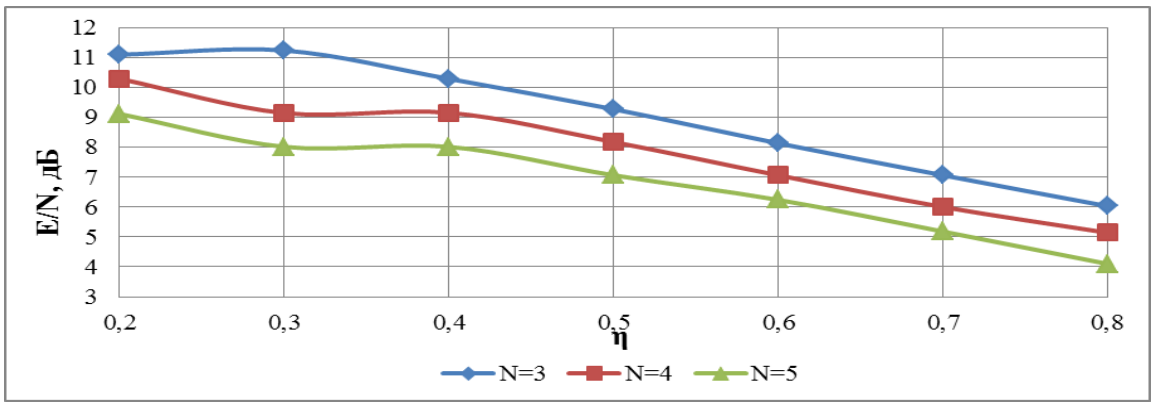


Рисунок 4.7 –Зависимость коэффициента загрузки ячейки от соотношения сигнал/шум

По полученным результатам расчетов можно сделать выводы:

- по полученным графикам (рисунок 4.6 и рисунок 4.7) видно, что значение коэффициента загрузки ячейки начинает расти, при уменьшении соотношения сигнал/шум и при росте мощности базовой станции. При значении η_{DL}=0,8 соотношение сигнал/шум падает до 4 дБ при N=5, вероятность ошибки при этом составляет 0,2, что свидетельствует о значительном ухудшении качества связи. Таким образом, при увеличении коэффициента загрузки возрастает вероятность ошибки и мощность базовой станции;

- таким образом, для получения оптимальны значений коэффициента загрузки ячейки (0,5–0,6) необходимо, чтобы соотношение сигнал/шум было в диапазоне 6÷10 дБ, а мощность базовой станции 13÷15 Вт.

На этапе предварительного планирования сети UMTS/HSDPA важным является выбор наиболее оптимальных значений коэффициента загрузки ячейки, который очень тесно связан с выбором предоставляемой услуги и модели канала, параметрами абонентских терминалов. После исследований энергетико-скоростных зависимостей видно, что для поддержания оптимального значения коэффициента загрузки ячейки достаточно изменения полной мощности базовой станции при неизменных остальных параметров радиоинтерфейса. Это дает возможность операторам связи быстро и легко управлять качеством предоставления услуг высокоскоростной передачи данных в нисходящем канале.

Заключение

В магистерской диссертации показана история развития мобильной сети UMTS, современное состояние и возникающие проблемы. Рассмотрены основные варианты и принципы построение сетей третьего поколения, показаны функции основных элементов, архитектура и различные характеристики мобильных сетей UMTS. Вся построенная сеть UMTS разделяется на подсети. Также в работе рассмотрены актуальность и преимущества сетей UMTS, сравнение с сетями предыдущих поколений.

При анализе сети HSDPA/UMTS основным критерием качества является выбор наиболее правильных значений коэффициента загрузки ячейки. После проведения расчетных вычислений показано, что необходимо лишь изменять мощность базовой станции не трогая при этом другие параметры радиоинтерфейса, чтобы добиться нормального значения коэффициента загрузки ячейки. Появляется возможность без затруднений управлять качеством предоставляемых услуг передачи данных в DownLink.

В работе также проведен анализ применения репитеров (повторителей) в мобильных сетях UMTS. Если значение существующей загрузки базовой станции меньше, то потери емкости при использовании в сети повторителей выше. Следовательно, с возрастанием количества повторителей в сети UMTS увеличиваются потери в емкости базовых станций.

Также, в ходе экспериментальных данных, была проведена оценка работы мобильной сети при различных технологиях и стандартах.

Наибольшая скорость скачивания и соответственно при этом наименьшее время скачивания наблюдается при использовании стандарта HSPA+ 64QAM Dual Carrier.

При уровне сигнала -51 dBm наблюдаются самые высокие скорости, для стандарта HSPA+ 64QAM Dual Carrier при таком уровне сигнала скорость доходила до 36 Мбит/с.

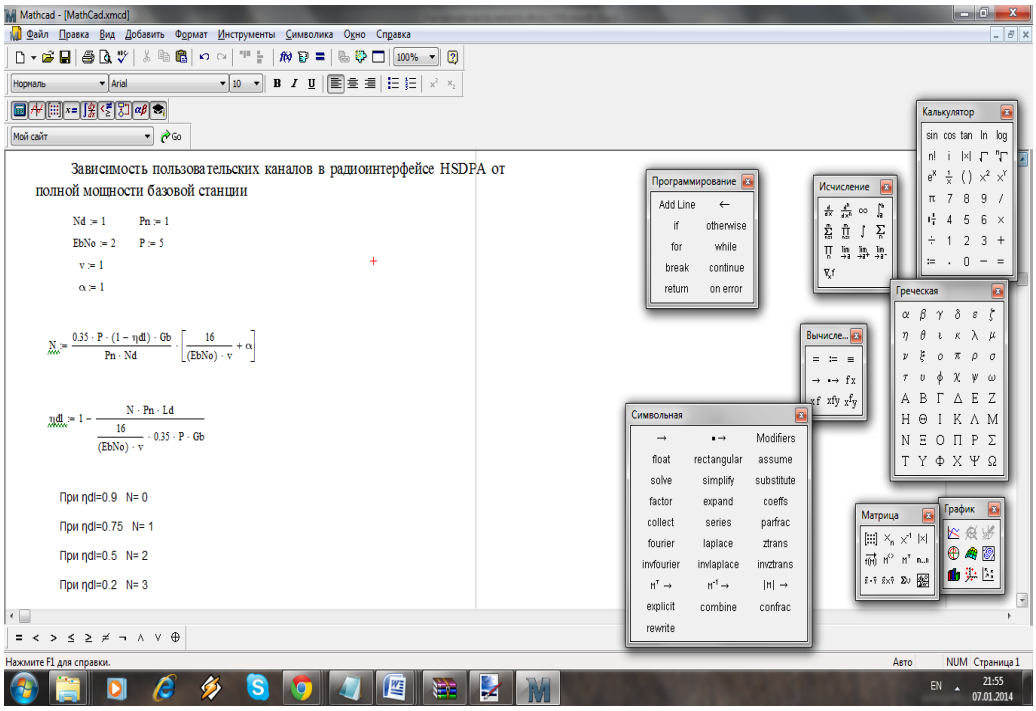
Наилучшее качество будет предоставляться при использовании стандарта HSPA+ 64QAM Dual Carrier, наихудшие скорости и качество при стандарте HSDPA 16QAM(10 HS-DSCH).

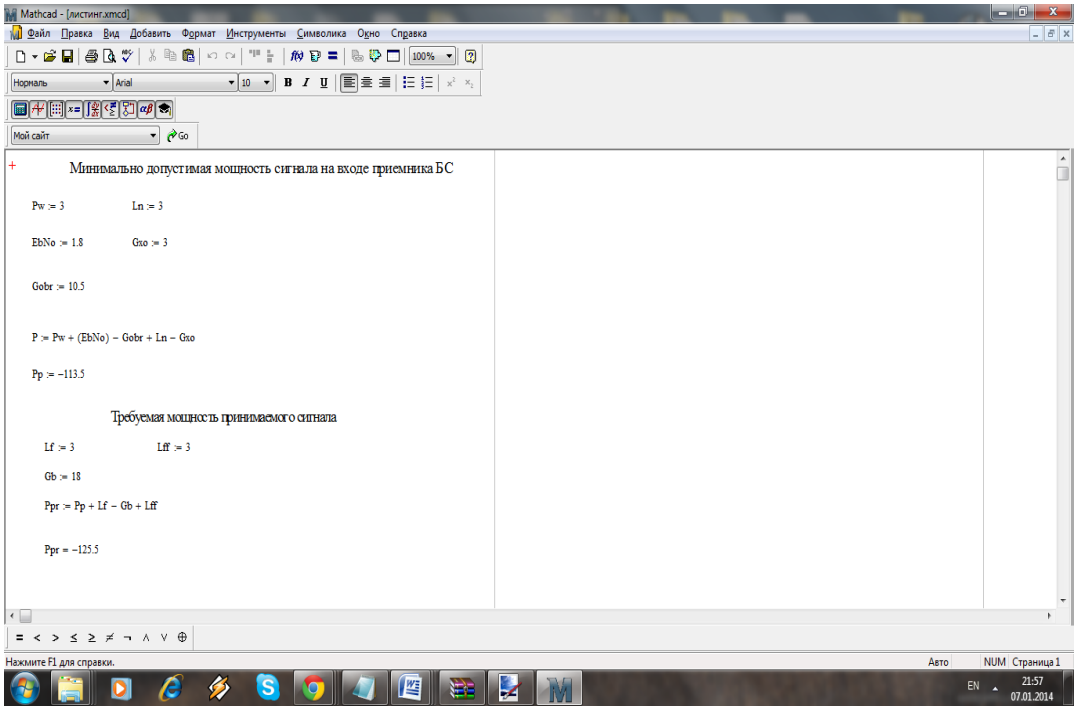
Список литературы

1. Попов, В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM [текст]/ В.В. Андреев. – М.: ЭкоТрендз, 2005. — 296 с.
2. Тихвинский, В.О. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS [текст]/ В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев — М.: ЭкоТрендз, 2007. — 400 с.
3. WCDMA (UMTS). Deployment handbook. Planning and optimization [текст]/ Ch. Chevallier, Ch. Brunner, A. Garavaglia, Kenn P. Murray. – Wiley, 2006. – 367 с.
4. ETSI SMG 24. Concept group delta W-TD/CDMA: System description summary 1997. URL: http://etsi.org.
5. Naworocki M. Understanding UMTS radio network. Moddelling, planning and automated optimization [текст]/ M. Naworocki, M. Dohler, A. Aghvami — Wiley, 2006. – 500 с.
6. 3GPP TS 23.002. Network architecture, v3.6.0, September 2002, URL: http://www.3gpp.org.
7. 3GPP TS 23.107 QoS Concept URL: www.3gpp.org, v5, 2002
8. HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications. Ericsson Networks. Sweden
9. Невдяев Л. Мобильная связь третьего поколения - М.: МЦНТИ 2000.
10. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/tsg_ran/TSGR_20/Docs/PDF/RP-030375.pdf
11. Высокоскоростные сети мобильной связи поколения 3G. http://www.wireless-e.ru/articles/equipment/2011_02_5.php
12. Услуги и области применения UMTS. http://wcdma3g.ru/index.php?topic=glava2&page=1
13. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/tsg_ran/TSGR_20/Docs/PDF/RP-030375.pdf. (HSDPA)
14. Лурье С. SDPA vs. WiMAX: сравнение характеристик и перспектив технологий http://www.ixbt.com/mobile/itogi2006/wimax.shtml.
15. Кааранен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааранен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен, С. Найян, В. Ниеми. – М.: Техносфера, 2008 – 468 с.
16. Касымбеков Р.М. Оценка работы мобильной сети при различных технологиях и стандартах. Алматы.: Вестник АУЭС,2013- 4 с.

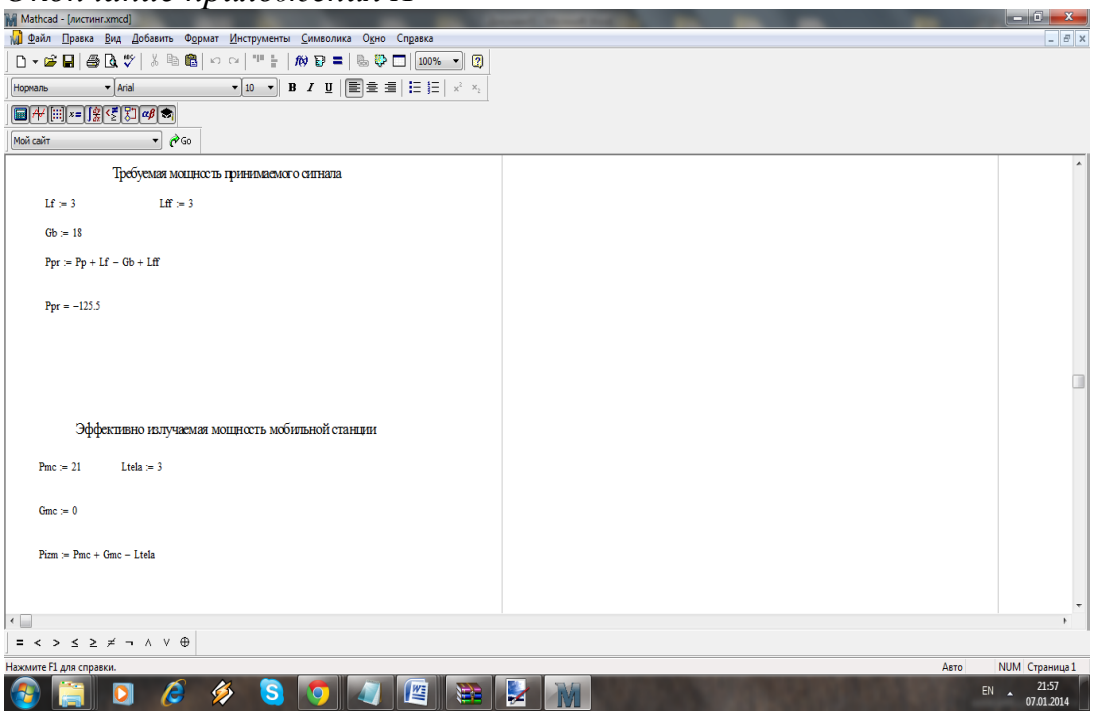
Приложение А

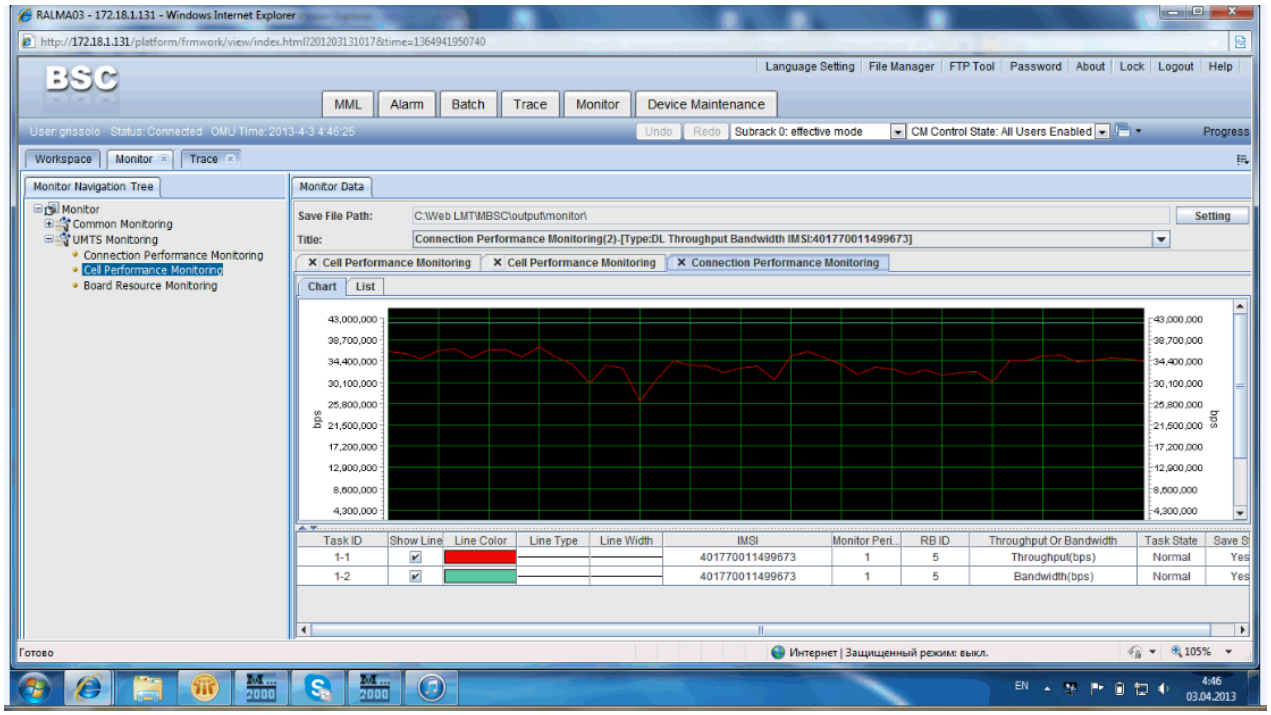
Листинг программы MathCad





Окончание приложения А



Приложение Б

Программа конфигурации и мониторинга мобильной сети - LMT