

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество Казахский национальный исследовательский  
технический университет  
имени К. И. Сатпаева

Институт Автоматики и Информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Мүсілім Төлеби Есімханұлы

«Анализ метода повышения эффективности системы сотовой связи»

## **ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Образовательная программа 6В06201 – Телекоммуникация

Алматы 2023

---

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество Казахский национальный исследовательский  
технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт Автоматики и Информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой Электроники,  
телекоммуникации и космических технологий  
к.т.н., ассоциированный профессор  
Таштай Е.  
" 31 " 06 20 23 г.



**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Анализ метода повышения эффективности системы сотовой связи»

по образовательной программе 6В06201 – Телекоммуникация

Выполнил(-а) дипломную работу

Мүсілім Т.Е.

Рецензент

К.т.н., И.О. асоц-профессора  
Бахтиярова Е.А.

" 31 " 05 20 23 г.

Научный руководитель  
PhD ст.преподаватель  
Юсупова Г.М.



" 31 " 05 20 23 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерское общество Казахский национальный исследовательский  
технический университет  
имени К.И.Сатпаева  
Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»



**ЗАДАНИЕ**  
на выполнение дипломной работы

Дипломнику Мүсілім Төлеби Есімханұлы

Тема: «Анализ метода повышения эффективности системы сотовой связи»

Утверждена приказом Ректора Университета № 408-П/Ө от «23» ноября 2023 года.

Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2023 г.

Исходные данные к дипломной работе:

1. Частота дискретизации  $F= 8$  кГц;
2. Ограничение полоса частот от 300 до 3400 Гц;
3. Диапазон чисел на выходе АЦП;
4. Алгоритм с линейным предсказания кода – CELP;

Перечень вопросов подлежащих изучить и представить в дипломной работе:

1. Состояние и перспективы развития систем сотовой связи
2. Организация каналов доступа WCDMA
3. Методы повышения эффективности системы сотовой связи
4. Формирование сигнала радиоприемника
5. Расчет абонентской емкости сети WCDMA

Перечень графического материала: - изложить материалы диссертации в 25 -30 слайдах графического материала на PowerPoint;

Рекомендуемая основная литература:


1. Касаткин Н.Ф. Как улучшить покрытие сетей GSM/UMTS// Технологии и средства связи №2, 2017. – 119 с.
2. Яновский Г.Г. Современные проблемы науки в области телекоммуникаций. Эволюция и конвергенция СПб: Триада, 2018. – 312 с. 7.
3. Бабков В.Ю. и др. Системы связи с кодовым разделением каналов / Бабков В.Ю., Никитин А.Н., Сивере М.А. – СПб: Триада, 2013. – 293 с. 8.
4. Вишневский В.М. и др. Широкополосные беспроводные сети передачи информации

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Состояние и перспективы развития систем сотовой связи [1, 2,3,4,5]	1.09.2022-31.12.2022	Выполнено
Организация каналов доступа WCDMA [1, 2,3,4,5]	1.01.2023-30.01.2023	Выполнено
Методы повышения эффективности системы сотовой связи[1, 2,3,4,5,6]	1.01.2023-30.01.2023	Выполнено
Формирование сигнала радиоприемника[1, 2,3,4,5,6]	1.01.2023-30.01.2023	Выполнено
Расчет абонентской емкости [1, 2,3,4,5,6]	16.02.2023-31.03.2023	Выполнено
Написание дипломной работы	15.04.2023-30.04.2023	Выполнено

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты Ф.И.О. (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Ассистент кафедры ЭТиКТ Акылжан П.Б.	1.06.2023 г.	

Научный руководитель

Задание принял к исполнению обучающийся

Дата



PhD ст.преподаватель Юсупова Г.М.

Мүсілім Т.Е.

“22”

декабря

2022 г.

## **АНДАТПА**

Бұл дипломдық жұмыс ұялы байланыс жүйелерінің жағдайы мен даму болашағын қарастырады. Ұялы байланыс жүйелерінің тиімділігін арттыру бойынша зерттеулер жүргізілуде. WCDMA радиобайланыстарының бюджеті есептелді. Деректерге корреляциялық-регрессиялық талдау жүргізілді, сызықтық регрессия моделі салынды

## **АННОТАЦИЯ**

В данной дипломной работе рассматривается состояние и перспективы развития систем сотовой связи. Проводится исследование методов повышения эффективности систем сотовой связи. Выполнен расчет бюджета радиолиний системы WCDMA. Проведен корреляционно – регрессионный анализ данных, построена модель линейной регрессии.

## **ANNOTATION**

This thesis examines the state and prospects for the development of cellular communication systems. Research is underway to improve the efficiency of cellular communication systems. The budget of WCDMA radio links has been calculated. Correlation-regression analysis of data was carried out, a linear regression model was built

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Состояние и перспективы развития систем сотовой связи	9
1.1 Первое поколение 1G	11
1.2 Второе поколение 2G	11
1.3 Третье поколение 3G	12
1.4 Четвертое поколение 4G	13
1.5 Организация каналов доступа WCDMA	16
1.6 Множественный доступ с кодовым разделением каналов CDMA	17
1.7 Организация каналов в стандарте CDMA	19
1.8 Формирование сигнала в радиоканале	22
1.9 Многолучевое распространение	28
2 Методы повышения эффективности системы сотовой связи	31
2.1 Репитер	31
2.2 G-Rake-приемник	32
2.3 Разнесённый приём	34
2.4 Адаптивный метод модуляции	36
2.5 Пико базовая станция BTS3202B	38
2.6 Микро базовая станция BTS3902E	40
3 Расчет бюджета радиолиний системы WCDMA	42
3.1 Расчет абонентской емкости сети WCDMA	42
3.2 Расчет максимально допустимых потерь сети WCDMA	42
3.3 Расчет восходящей линии (UL) WCDMA	44
3.4 Расчет нисходящей радиолинии (DL) WCDMA	47
3.5 Вывод	49
Заключение	51
Список литературы	52
Приложение А Интерфейс программного обеспечения TEMS Investigation	53

## ВВЕДЕНИЕ

Быстрое развитие технологии мобильной связи способствует резкому увеличению роста числа пользователей мобильных телефонов. Этот рост создает все более высокие требования к качеству покрытия радиосети. Кроме того, с повышением зоны охвата сети, операторы также должны увеличить пропускную способность сети для удовлетворения быстро растущих объемов трафика. Увеличение числа абонентов сети в плотно населенных районах в значительной степени влияет на увеличении интерференции и уменьшение емкости сети. Чтобы решить данные проблемы, операторам нужно точное и недорогое покрытие сети с гибким развертыванием базовой станции [1].

Проблема обеспечения сетевого покрытия в труднодоступных и плотно населенных местах по мере насыщения рынка становится все более актуальной. Новейшие системы и решения, обеспечивающие покрытие, позволяют получать существенные дополнительные доходы. Качественное покрытие радиосети помогает привлекать новых абонентов, уменьшает отток абонентов. Значение этого фактора возрастает по мере появления новых технологий высокоскоростной передачи данных, а также услуг 3G [2]. Без сомнения, мобильная связь сегодня является одной из наиболее мощных движущих сил в индустрии телекоммуникаций. Рост полосы пропускания, являющийся сегодня характерным для фиксированных сетей, станет необходимым условием развития наземных и спутниковых систем подвижной связи. В развитых и некоторых развивающихся странах емкость сетей сотовой связи уже превысила аналогичный показатель для стационарных сетей и плотность мобильной телефонной связи (число мобильных телефонов на 100 жителей) превышает 100% [3].

На современном Казахстанском рынке беспроводных телекоммуникаций, находящемся в фазе активного развития, продолжается острая конкурентная борьба между операторами связи. Процесс привлечения и удержания клиентов усложняется с каждым днем, а требования потребителей к качеству услуг связи стали более дифференцированными и жесткими. В сложившейся ситуации операторам помимо тарифного стимулирования приходится активно развивать контент предоставляемых сервисов, и конкуренция уже складывается на уровне качества услуг [4].

Целью данной работы является анализ качества покрытия радиосети в плотно населённых районах города для возможности использования мультимедийных услуг сотовой связи. Эксперимент проводился с использованием оборудования компании Huawei – микро базовая станция Atom Cell (BTS3902E).

Следуя философии непрерывных инноваций по многочисленным требованиям операторов связи, компания Huawei представила в отрасли телекоммуникаций стандарта WCDMA мини базовую станцию BTS3902E.

Которая характеризуется небольшим размером, легким весом, функциональностью плагина, авто-конфигурацией, и никаких требований

к месту установки оборудования, микро базовая станция BTS3902E является дешевым в приобретении и легким в развертывании, что делает его быстрым и недорогим решением для увеличения и улучшения качества покрытия радиосети сотовой связи [6].



## 1 Состояние и перспективы развития систем сотовой связи

Системы сотовой подвижной связи принято подразделять на несколько поколений. К первому поколению относят аналоговые системы, действующие, как правило, в рамках национальных границ. Цифровые системы, охватывающие отдельные регионы земного шара, составляют класс систем второго поколения. Системы третьего поколения – это универсальные цифровые системы, действующие в глобальном масштабе и предоставляющие потребителям широкий набор современных услуг. Что касается четвертого поколения мобильных коммуникаций, то это будет эволюционное развитие 3G. Инфраструктура стандарта 4G будет базироваться на IP-протоколе (Internet Protocol), что позволит обеспечивать простой и очень быстрый доступ к Интернету.

Настоящий период характеризуется повсеместным распространением систем второго поколения, практически полностью охватом систем третьего поколения и созданием первых фрагментов сетей четвертого поколения.

На земном шаре развёрнуты и функционируют цифровые сети четырёх видов: GSM, DAMPS (IS-54 и IS-136), PDC (Япония) и CDMA (IS-95). По

состоянию на конец июня 2008 г. сети GSM действовали в 120 странах с общим числом 183,3 млн абонентов; ежемесячный прирост составил 7,6 млн абонентов. Сети DAMPS в двух его разновидностях IS-54 и IS-136 созданы в 34-х странах с общим числом 24,3 млн абонентов; ежемесячный прирост составил 1,4 млн абонентов. В Японии развёрнуты сети PDC с общим числом 42,3 млн абонентов. Сети CDMA (IS-95) созданы в 12 странах с общим числом 31,5 млн абонентов; ежемесячный прирост составил 1,5 млн абонентов.

Огромный спрос в мире на услуги подвижной связи и впечатляющие успехи в технологии радиопередачи, обеспечившие надёжную связь со скоростями в несколько Мбит/с, привели к усовершенствованию систем третьего поколения и к созданию систем четвертого поколения.

Широкое внедрение получили новые технологии и, прежде всего, Интернет. Сегодня наибольшие инвестиции осуществляются в сети, базирующиеся на IP-технологии. Прогнозные оценки свидетельствуют, что через 5 лет 80 % всего международного трафика по сетям стационарной и мобильной связи будет передаваться с использованием пакетной коммутации. Либерализация большинства национальных рынков связи, сделавшая возможной конкуренцию на этих рынках, а также взрывной характер развития услуг доступа в Интернет привели к резкому повышению объема данных, циркулирующих в глобальных сетях и заставили операторов пересмотреть основы своей стратегии развития в отношении систем передачи.

Два упомянутых выше фактора в совокупности привели к возникновению нового явления - конвергенции сетей и услуг. Конвергенция -

многозначное понятие. Она подразумевает слияние в одно целое и множества различных сетей - телефонной сети общего пользования, сетей передачи данных, распределительных сетей радиовещания и телевидения, сети интернет и корпоративных сетей, - и множества различных услуг, включая услуги связи и информационные услуги в произвольных сочетаниях в виде мультимедиа. Наблюдаются тенденции интеграции услуг сотовой подвижной связи, пейджинга (на базе служб SMS) и транкинговой радиосвязи.

Во всех странах процесс конвергенции должен коснуться прежде всего крупных операторских компаний, которые смогут ввести на своих сетях режим передачи информации с коммутацией пакетов. Это обеспечит возможность предоставления пользователям множества дополнительных услуг и разного рода приложений, которые недоступны операторам с традиционной инфраструктурой, основанной на коммутации каналов.

В мае 2000 г. Ассамблея Радиосвязи МСЭ одобрила Рекомендацию по детальной спецификации радиointерфейсов системы подвижной связи третьего поколения IMT-2000. Для создания наземных сетей рекомендовано использовать пять типов радиointерфейсов:

- IMT-DS (Direct Spread, WCDMA/UTRA FDD);
- IMT-MC (Multi Carrier, cdma2000);
- TC (Time-Code, UTRA TDD/TD-SCDMA);
- SC (Single Carrier, UWC-136); FT (Frequency-Time, DECT).

Каждый из этих радиointерфейсов обеспечивает возможность функционирования как с двумя основными базовыми сетями третьего поколения - GSM MAP и ANSI-41, так и с перспективными базовыми сетями пакетной коммутации, использующими Интернет-протокол (IP).

Предполагается, что количество абонентов сетей сотовой подвижной связи в мире достигнет колоссальных значений. Этот показатель может быть достигнут при выполнении следующих условий:

- создание максимально благоприятного климата для конкурентной среды на основе равенства условий деятельности операторов на рынке услуг сотовой подвижной связи, в частности, путём формирования открытой и стабильной лицензионной политики;
- разработка системы мер по стимулированию операторов ориентироваться на широкие слои населения;
- устранение препятствий, сдерживающих быстрое развертывание сетей сотовой подвижной связи, в частности, упростив и ускорив процедуры получения разрешений на начало строительства и ввода в эксплуатацию объектов связи и на использование частот.

Сегодня активно ведется использование технологии GPRS (General Packet Radio Service) и спектрально-эффективной технологии EDGE (Enhanced Data Rates for the Global Evolution) - так называемой EDGE Compact, поддерживающей скорости передачи данных до 384 кбит/с при занятии минимальной полосы частот (600 кГц плюс защитные полосы).

## 1.1 Первое поколение 1G

Самым известным из первого поколения стандартов является NMT (Nordic Mobile Telephone System). Его окончательные спецификации были приняты в 1978 году пятью скандинавскими странами (Данией, Финляндией, Исландией, Норвегией и Швецией). Поколение 1G представляло собой набор аналоговых стандартов сотовой связи.

Стандарт NMT работает в диапазоне частот 453,0-457,5 МГц, используя до 180 каналов связи по 25 кГц каждый. Радиус действия одной базовой станции достигает 5-25 км в зависимости от нагрузки на каждую из них.

В 1983 году была разработана модернизированная версия NMT-900 (первая условно называлась NMT-450), работавшая на частоте 900 МГц. Выход обновлённого стандарта позволил уменьшить размеры телефонных аппаратов, а также добавить несколько новых сервисов.

Тем не менее, спустя некоторое время NMT отошёл на второй план, уступив дорогу более прогрессивным цифровым стандартам. Вполне естественно, что первое поколение сотовой связи не смогло с ними конкурировать. Даже несмотря на то, что качество аналоговой беспроводной связи в целом было удовлетворительным, разговор можно было легко перехватить и расшифровать.

## 1.2 Второе поколение 2G

Принципиально новым подходом к передаче информации (в частности, голоса) отличалось второе поколение мобильных коммуникаций. На этот раз в его основу легли цифровые стандарты, которых насчитывается четыре. Наибольшее распространение получили GSM и CDMA. Первый из них пришёл на смену NMT и применяется по сей день.

Что касается CDMA, то он был разработан компанией QUALCOMM, а его коммерческое применение началось в 1995 году (GSM - в 1991 году). Несмотря на то, что CDMA был представлен на несколько лет позже своего основного конкурента, GSM, он имеет ряд преимуществ. В первую очередь это относится к скорости передачи данных. Если у GSM предел не превышает 9,6 кбит/с, то у CDMA скорость передачи данных до 1,23 Мбит/с.

Ещё одним важным отличием является использование распределённого спектра. Для оборудования такой сигнал будет выглядеть небольшим возвышением над обычным уровнем шума. В связи с этим его крайне сложно обнаружить и идентифицировать. Подобный метод также используется в военных целях, так что во время разговора по CDMA-телефону вы можете быть уверены в надёжной защите от случайного подслушивания.

Несмотря на то, что разработки третьего поколения сотовой связи стали вестись практически сразу после начала использования на

коммерческой основе GSM, даже по сей день оно имеет крайне ограниченное

распространение. Вместо него почти повсеместно доступно промежуточное поколение 2.5G, реализованное в виде стандарта GPRS.

Стандарт GPRS использует базовые станции GSM для передачи данных, что делает его внедрение достаточно простым. Кроме того, он настроен на пакетный обмен информацией, что подходит в первую очередь для доступа в Интернет, а также позволяет находиться все время подключенным к сети и при этом принимать звонки по обычным каналам (при звонке соединение по GPRS временно приостанавливается, но не обрывается).

В целом, GPRS и был создан с целью реализовать понятие «мобильный интернет». Необходимость доступа из сотовых сетей во Всемирную паутину и различные корпоративные сети присутствовала уже достаточно давно. Так, к примеру, служащий какой-либо компании в случае возникновения потребности может срочно подключиться к сети своего предприятия при помощи ноутбука и мобильного телефона с поддержкой сервиса GPRS (которым сегодня оснащаются большинство аппаратов).

Тем не менее, скорость передачи данных при использовании GPRS оставляет желать лучшего. Официально максимальный его предел равен 115 кбит/с. Тем не менее, в реальности обмен информацией производится не быстрее, чем на скорости 40-50 кбит/с, что в два раза меньше теоретического максимума. По сегодняшним меркам такой пропускной способности не хватит для комфортного путешествия по Интернету. Как раз эту проблему и должны будут решить стандарты третьего поколения, чьи пропускные каналы куда как шире.

### **1.3 Третье поколение 3G**

Всего существует три основных стандарта 3G: UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service), CDMA2000 и WCDMA (Wideband CDMA). Все они настроены на пакетную передачу данных и, соответственно, на работу с цифровыми компьютерными сетями, включая Интернет.

Скорость передачи данных в третьем поколении стандартов может достигать 2,4 Мбит/с. Это позволит поднять качество звука, а также добавить такой сервис, как видеозвонок. Мобильный Интернет теперь станет доступнее и значительно быстрее.

Кроме того, при необходимости сеть 3G может быть наложена на уже ранее развернутую GSM или другой стандарт второго поколения. Это возможно по причине использования разных радиосетей этими стандартами. В результате оператор мобильной связи может добавлять новые сервисы по мере появления необходимости в них. А по причине того, что на сегодняшний день все телефоны пока являются двух стандартными (то есть

могут работать как в 2G, так и в 3G), у пользователей не возникнет проблемы выбора.

Учитывая то, что некоторые страны уже практически полностью перешли на 3G (в частности, Япония, где абонентов такой сотовой сети уже 98%), а до повсеместного внедрения 4G пока ещё достаточно далеко, для увеличения скорости доступа к сети передачи данных разработан стандарт поколения 3.5G, которое получило официальное название HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).

По сути, HSDPA - это просто модернизированный 3G. Если в «оригинальном» третьем поколении средняя скорость обмена данными составляет 384 кбит/с, а максимальная - 2 Мбит/с, то внедрение 3,5G увеличит эти значения до 3 и 14 Мбит/с соответственно [5].

Сегодня уже очевидно, что окончательному внедрению систем 3-го поколения будет предшествовать очень продолжительный период их совместного существования с системами 2-го поколения. Благодаря различиям в наборе и стоимости предоставляемых услуг новые технологии будут не конкурировать со старыми, а дополнять их.

Однако развития систем сотовой связи не стоит на месте. Уже очевидно, что окончательному внедрению систем 3-го поколения заметно составляют конкуренцию сотовые сети 4-го поколения, т.е. 4G.

#### **1.4 Четвертое поколение 4G**

К семейству 4G, как правило, относят технологии, которые позволяют передавать данные в сотовых сетях со скоростью выше 100 Мбит/сек. В широком понимании 4G – это еще и технологии беспроводной передачи интернет-данных Wi-Fi (скоростные варианты этого стандарта) и WiMAX (в теории скорость передачи информации может превышать 1 Гбит/сек).

WiMax – это технология, которую объявили будущим беспроводных сетевых технологий дальнего действия. Правда, позднее такие ассоциации стали считаться преувеличенными благодаря развитию технологии под названием Long Term Evolution (LTE).

Главное отличие сетей четвертого поколения 4G от предыдущего, третьего, заключается в том, что эта технология полностью основана на протоколах пакетной передачи данных, в то время как 3G соединяет в себе передачу, как голосового трафика в режиме коммутации каналов, так и пакетов данных.

Международный союз телекоммуникаций определяет технологию 4G как технологию беспроводной коммуникации, которая позволяет достичь скорости передачи данных до 1 Гбит/с в условиях движения источника или приемника и до 100 Мбит/с в условиях обмена данными между двумя мобильными устройствами. Пересылка данных в 4G осуществляется по протоколу IPv6 (IP версии 6). Это заметно облегчает работу сетей, особенно

если они различных типов. Для обеспечения необходимой скорости передачи используются частоты от 2 до 40 и 60 ГГц.

Создатели приемопередающего оборудования для 4G применили испытанный в цифровом вещании прием – технологию мультиплексирования с ортогональным разделением частот (OFDM). Такая методика манипулирования сигналом позволяет значительно «уплотнить» данные без взаимных помех и искажений. При этом происходит разбиение по частотам с соблюдением ортогональности: максимум каждой несущей волны приходится на тот момент, когда соседние имеют нулевое значение. Этим исключается их взаимодействие, а также более эффективно используется частотный спектр – не нужны защитные «противоинтерференционные» полосы. Для передачи сигнала применяется модуляция со сдвигом фазы (PSK и ее разновидности), при которой пересылается больше информации за отрезок времени, или квадратно амплитудная (QAM), более современная и позволяющая выжать максимум из пропускной способности канала. Конкретный тип выбирается в зависимости от требуемой скорости и условий приема. Сигнал разбивается на определенное количество параллельных потоков при передаче и собирается при приеме.

Для уверенного приема и передачи на сверхвысоких частотах планируют применять так называемые адаптивные антенны, которые смогут подстраиваться под конкретную базовую станцию. Но в условиях города таким антеннам в определении правильного направления могут помешать замирания сигнала – его искажения, возникающие в процессе распространения. Здесь выручает еще одна особенность OFDM – стойкость к замираниям (для разных типов модуляции есть свой запас на замирания). Возможна и работа в условиях отсутствия прямой видимости, что так мешает телефонам стандарта GSM. Недостатки OFDM – чувствительность к доплеровским искажениям и требовательность к качеству электронных компонентов.

Технология LTE (Long Term Evolution) – это логическое продолжение развития сетей 3G. В среднесрочной перспективе она будет определять развитие систем сотовой связи в мире. Эта технология способна обеспечить скачкообразное (теоретически, в десятки раз) увеличение скорости передачи данных по сравнению с действующими мобильными сетями.

Внедрение LTE теоретически позволит обеспечить скорость передачи данных до 346 Мбит/с в полосе частот 20 МГц, а при использовании технологии LTE-Advanced – примерно до 1 Гбит/сек. в полосе 100 МГц. LTE полностью совместима с существующими сетями: звонок или сеанс передачи данных, инициированный в зоне покрытия LTE, технически может быть передан без разрыва в сети GSM/GPRS/EDGE, WCDMA, CDMA2000. Эволюция и преемственность технологий мобильного доступа представлена на рисунке 1.1

LTE становится главной перспективой развития телекома в мире, бизнес приоритетом и ключевым элементом стратегий развития операторов

связи. Сегодня в мире превалирует мнение, что, если оператор не задумывается об LTE, он ограничивает свою жизнь на рынке.

В январе 2008 г. международное партнерское объединение Third Generation Partnership Project (3GPP), разрабатывающее перспективные стандарты мобильной связи (GSM, GPRS, EDGE, UMTS (WCDMA) и др.), утвердило LTE в качестве следующего после UMTS стандарта широкополосной сети мобильной связи. (рисунок 1.1)

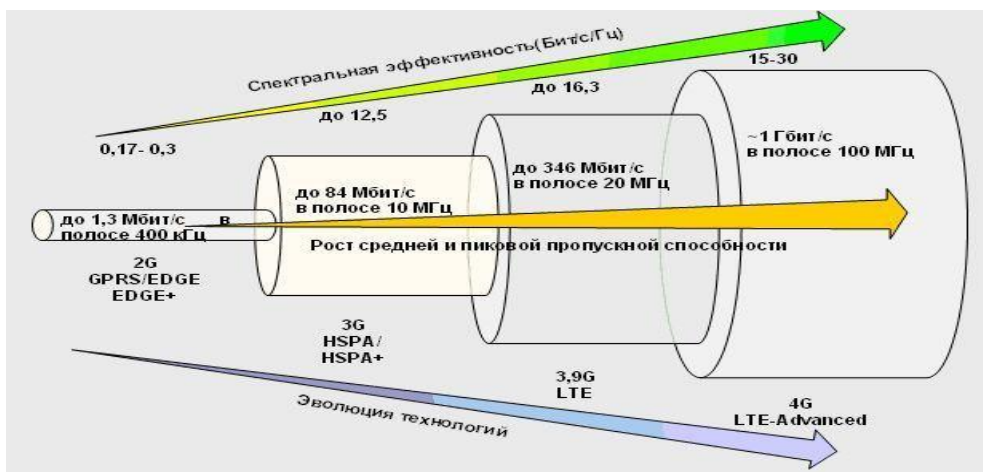


Рисунок 1.1 - Эволюция и преименственность технологий мобильного доступа Главное преимущество LTE – высокая скорость.

Но скорость есть и у UMTS, и у WIMAX. Очень важным преимуществом LTE является то, что эту технологию можно внедрять на довольно широком диапазоне частот. В мире существует несколько частотных диапазонов, на которых можно запускать LTE. Прежде всего, это 1800 МГц и 2,6 ГГц. Можно использовать и диапазон 900 МГц, но в настоящее время мало кто из операторов рассматривает его сегодня для LTE. Изначально под развитие этой технологии предполагались частоты 2,6 ГГц, но из-за ряда трудностей (в основном связанными с занятостью диапазона специальными пользователями) этот диапазон практически не используется.

В Европе чаще говорят о диапазоне 800 МГц, особенно в связи с так называемым цифровым дивидендом или освобождением частот этого диапазона после перевода телевизионного вещания в цифровой формат. В настоящее время там проходят тендеры и аукционы на частоты 800 МГц.

Следует особо заметить, что широкое внедрение LTE зависит от наличия абонентских устройств и операторского оборудования, работающих на основе этой технологии.

Основные производители операторского оборудования LTE сегодня Ericsson, Alcatel-Lucent, Nokia Siemens Networks, Fujitsu, Motorola, Panasonic, Starent, ZTE.

В настоящее время активность в плане разработки чипсетов и абонентских устройств с поддержкой LTE проявляют LG, Samsung, Huawei

Technologies, Sandbridge Technologies, Altair Semiconductor и другие крупные производители.

Скорее всего, производители пойдут по пути постепенного расширения линейки абонентских устройств. Сначала это будут USB-модемы и PC-карты (двухстандартные, с поддержкой протоколов HSDPA и LTE), затем – встроенные модемы в нетбуках, интернет-планшетах и ноутбуках, и только потом – новые модели коммуникаторов и смартфонов с интегрированными LTE-чипами.

## **1.5 Организация каналов доступа WCDMA**

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) является одним из стандартов беспроводной связи для мобильных сетей третьего поколения (3G). Он предоставляет широкополосный доступ и позволяет передавать данные и голосовую информацию через беспроводные каналы.

Организация каналов доступа WCDMA основана на методе разделения кодов (Code Division Multiple Access). В WCDMA используется кодовое разделение для различных пользователей и каналов связи.

Существуют несколько типов каналов доступа WCDMA, которые выполняют разные функции:

Каналы физического канала (Physical Channel) - представляют собой физические ресурсы, которые используются для передачи данных и голоса в мобильной сети WCDMA. Включают каналы передачи данных (Dedicated Traffic Channel - DCH), каналы контроля (Dedicated Control Channel - DCCCH), каналы общего доступа (Common Channel), каналы для передачи сигналов синхронизации и другие.

Каналы кодового управления мощностью (Power Control Channel) - используются для управления мощностью передачи сигнала в WCDMA. Эти каналы позволяют регулировать мощность сигнала каждого пользователя, чтобы обеспечить надлежащее качество связи и эффективное использование ресурсов сети.

Каналы управления (Control Channel) - используются для передачи управляющей информации, такой как управление вызовами, сигналы синхронизации, информация о качестве канала и т.д. Каналы управления включают физический канал управления (Physical Control Channel - PCC), канал управления средствами передачи данных (Dedicated Traffic Control Channel - DTCH) и другие.

Организация каналов доступа WCDMA основывается на динамическом выделении ресурсов, где различные каналы могут быть выделены пользователям в зависимости от требуемых услуг и доступности ресурсов сети. Это позволяет достичь более эффективного использования спектра частот и обеспечить качественную связь для разных пользователей в сети WCDMA.



## 1.6 Множественный доступ с кодовым разделением каналов CDMA

Понятие множественного доступа связано с организацией совместного использования ограниченного участка спектра многими пользователями. В системе сотовой связи существует три варианта множественного доступа: с частотным, с временным и с кодовым разделением каналов.

В методе CDMA большая группа пользователей (например, от 30 до 50), одновременно использует общую относительно широкую полосу частот (не менее 1 МГц). Каналы трафика при таком способе разделения среды создаются присвоением каждому пользователю отдельного кода, который распространяется по всей ширине полосы. В данном случае не существует временного разделения, и все абоненты постоянно используют всю ширину канала. Вещание абонентов накладывается друг на друга, но поскольку их коды отличаются, они могут быть легко дифференцированы. Как и TDMA, метод CDMA может быть реализован только в цифровой форме.

Основные принципы метода - расширение спектра за счет модуляции ПСП в сочетании с кодовым разделением физических каналов - определяют и общие достоинства метода CDMA: высокую помехоустойчивость, хорошую приспособленность к условиям многолучевого распространения, высокую емкость системы.

В CDMA регулировка уровней сигналов, применение секторных антенн на БС и использование принципа «речевой активности» (станция излучает лишь тогда, когда абонент говорит, и не излучает в паузах речи), оперативное изменение числа задействованных каналов связи в пределах имеющегося ресурса позволяет практически реализовать предельно малое допустимое отношение сигнал/помеха, т.е. получить предельно большие пропускную способность и емкость системы. Это технические особенности CDMA обеспечивают высокие характеристики метода. С другой стороны, их реализация достаточно сложна.

В методе нет частотного планирования, во всех ячейках используется одна и та же полоса частот. Если, в терминах разработки Qualcomm, под CDMA отведена полоса более широкая чем минимально необходимые 1,23 МГц, то каждый из поддиапазонов в 1,23 МГц используется во всех ячейках с однотипной организацией работы во всех поддиапазонах. При этом в качестве коэффициента эффективности повторного использования частот указывается величина порядка  $2/3$ , т.е. вследствие помех от других ячеек число используемых в каждой ячейке каналов снижается в 1,5 раза по сравнению с одной изолированной ячейкой (эти коэффициенты аналогичны соответственно  $1/7$  и  $7$  в 7-ячеечном кластере методов FDMA и TDMA).

В методе CDMA реализуется «мягкая передача обслуживания». Когда МС приближается к границе ячейки, т.е. сигналы от двух БС (рабочей ячейки и одной из смежных) становятся соизмеримыми по уровню, по

команде с ЦК через БС смежной ячейки организуется второй канал связи с той же МС; при этом первый канал (в «старой» ячейке) продолжает работать, т.е. МС принимает сигналы одновременно от двух БС, используя технические возможности рейк-приемника. Так продолжается до тех пор, пока МС не удалится от границы ячеек, т.е. пока сигнал от второй БС не станет существенно сильнее сигнала от первой. После этого канал связи через первую БС закрывается, и процесс передачи обслуживания завершается.

Метод CDMA требует точной синхронизации БС системы. Это может быть реализовано, например, при помощи спутниковой геодезической системы GPS, но в результате система сотовой связи оказывается не автономной.

В методе CDMA нет защитных интервалов (бланков), как в методе TDMA, а большое число знаков в используемых кодовых последовательностях облегчает сохранение конфиденциальности передаваемой информации. Высокая помехоустойчивость CDMA и распределение энергии по широкой полосе частот допускают совместную с CDMA работу некоторого числа узкополосных каналов связи в пределах той же широкой полосы при относительно небольшом уровне взаимных помех.

Метод CDMA обладает сравнительно высокой помехоустойчивостью и хорошо работает в условиях многолучевого распространения. Кроме того, он отличается высокой скрытностью, не использует частотного планирования, допускает «мягкую передачу обслуживания», но все это требует обязательного использования достаточно сложных технических решений: аккуратной регулировки уровня сигналов, применения секторных антенн и отработки «речевой активности», точной синхронизации БС, причем последнее может быть связано с потерей автономности системы.

В качестве оценки емкости системы, в терминах эквивалентного числа физических каналов на ячейку, иногда приводят коэффициент увеличения порядка 20 в сравнении с методом FDMA стандарта AMPS. Если учесть, что переход от FDMA к TDMA увеличивает число физических каналов в три раза, а при полускоростном кодировании в шесть раз, получается, что переход от TDMA к CDMA может обеспечить примерно трехкратное увеличение числа каналов.

Однако фактически возможно более сильное влияние помех в CDMA, чем принималось в расчетах, а также в некоторых ситуациях может возникнуть необходимость более плотного расположения БС. Эти факторы ведут к снижению емкости системы. Кроме того, метод TDMA имеет дополнительные возможности: скачки по частоте (предусмотренные, в частности, стандартом GSM), которые, в сочетании с прерывистым излучением (отработкой «речевой активности») и оперативной регулировкой мощности излучения, смягчают влияние релейских замираний и снижают средний уровень помех, т.е. позволяют реализовать большие значения коэффициента повторного использования частот. К той же цели

ведет и использование адаптивного распределения каналов, в том числе в сотовых сетях иерархической структуры; в отношении построения последних TDMA имеет преимущества по сравнению с CDMA. В результате методы CDMA и TDMA оказываются примерно сопоставимыми по обеспечиваемой емкости [3].

### **1.7 Организация каналов в стандарте CDMA**

В стандарте CDMA (IS-95, IS-96) все каналы передачи сигналов от БС называются прямыми (Forward), а от мобильной - обратными (Reverse). Именно этот признак был положен разработчиками стандарта в основу структуры каналов (рисунок 2.1).

Важную роль в системах на базе CDMA играет канал передачи пилот-сигнала (Pilot Channel), который излучается каждой БС непрерывно в широкополосном режиме и может быть принят одновременно всеми МС, расположенными в зоне ее обслуживания. Для установления начальной синхронизации используется синхро-канал SYNC. Традиционно передача вызовов с БС на МС осуществляется по вызывному каналу PCH, а многостанционный доступ реализуется по каналу ACH.

Для предоставления разных услуг связи в CDMA используются два типа каналов. Первый из них называется основным (FCH), а второй - дополнительным (SCH). Услуги, предоставляемые через эту пару каналов, зависят от схемы организации связи. Каналы могут быть адаптированы для определенного вида обслуживания и работать с разными размерами кадра, используя любое значение скорости из двух скоростных рядов: RS-1 (1500, 2700, 4800 и 9600 бит/с) или RS-2 (1800, 3600, 7200 и 14400 бит/с).

Определение и выбор скорости приема осуществляется автоматически.

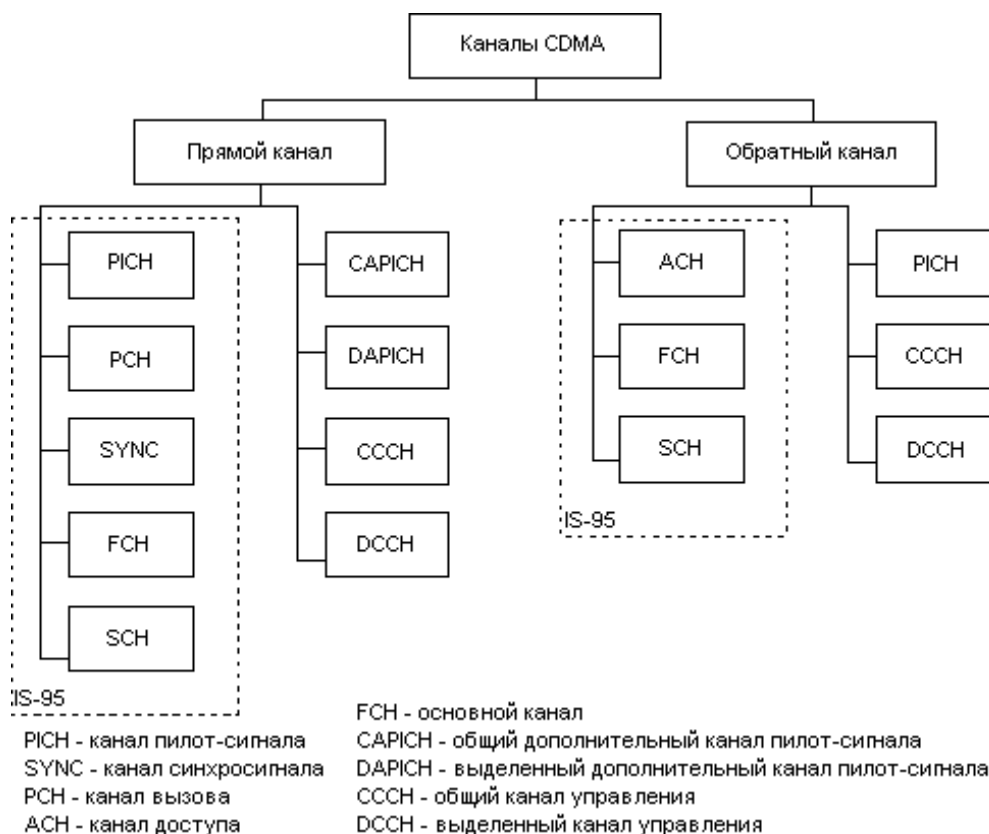


Рисунок 2.1 - Структура каналов стандарта CDMA

В третьем поколении CDMA (cdma2000) сохранена существующая структура каналов, однако число видов каналов увеличено до 15. Прежде всего, введены три дополнительных пилот-сигнала: два вспомогательных в прямом канале - CAPICH и DAPICH и один в обратном - R-PICH. CAPICH используется при наличии на БС разнесенных антенн, DAPICH - при использовании абонентских антенн с узким лучом направленности, а R-PICH выполняет начальную синхронизацию для БС.

Кроме того, для организации связи в прямом и обратном направлениях дополнительно введены общий (CCCH) и выделенный (DCCH) канал управления, которые по назначению аналогичны каналам PCH (в прямом канале) и ACH (в обратном канале).

В отличие от IS-95 и cdma2000 в стандартах UTRA (ETSI, Европа) и W-CDMA (ARIB, Япония) предложен иной принцип деления каналов, основанный на учете взаимосвязи между объектами разных иерархических уровней. При этом могут быть выделены три типа каналов: логические; транспортные; физические.

Существуют две группы логических каналов: управления CCH и трафика TCH. По каналам управления передаются вызывные и служебные сообщения, сигнализация, команды управления мощностью и диаграммой направленности, а по каналам трафика - информационные потоки.

Каналы управления, в свою очередь, подразделяются на общие (CCCH) и выделенные (DCCH). В рекомендации МСЭ (ITU-R M.I 035)

был также предложен третий тип канала жестко закрепленный, получивший обозначение LCCH (Leash CCH). В настоящее время в системах на базе протокола CDMA он не используется.

Общие каналы CCCH предназначены для передачи управляющей информации и сигнализации в режиме, не ориентированном на соединение. Имеются четыре вида таких каналов: широковещательные (BCCH, Broadcast CCH), прямого доступа (FACH, Forward ACH), вызова PCH и произвольного доступа (RACH, Random ACH).

Двухсторонняя радиосвязь между БС и МС осуществляется по двум каналам. В Сети с коммутацией каналов данные передаются по выделенному каналу графика (DTCH), а пакетная информация - по каналу передачи абонентских пакетов (UPCH).

Транспортные каналы, связывающие физический уровень с более высокими, так же, как и логические, подразделяются на две группы: общие CCH, не требующие идентификации МС в рабочей полосе, и выделенные DCH, в которых МС однозначно связана с физическим каналом, т.е. с определенным кодом и частотой. Первые доступны группе абонентов - связь организуется одновременно между БС и несколькими МС, а по выделенному передаются данные или сигнализация.

Одно из различий между проектами W-CDMA и UTRA состоит в разном числе типов выделенных каналов. В W-CDMA один тип - DTCH, а в UTRA их три: DTCH, автономный (SDCCH) и совмещенный (ACCH). В канале DTCH предусмотрено быстрое изменение скорости передачи (каждые 10 мс). ACCH используется для совместной передачи управляющей информации из потока данных.

Физические каналы определяют качественные показатели и режимы передачи информации. Их главные характеристики - код, частота и фазовый сдвиг. Они также подразделяются на общие (CPCH) и выделенные (DPCH) каналы. По общему каналу управления (CCPCH) передается вызывная управляющая информация. Для передачи символов пилот-сигнала используется отдельный канал синхронизации (SCH).

Для организации связи с конкретным пользователем выделен специальный канал DPCH, по которому передаются как информация абонента, так и управляющие сигналы, вспомогательные пилот-символы управления диаграммой направленности антенны, а также биты управления мощностью и прочие служебные данные.

Уникальность технологии с кодовым разделением каналов состоит в том, что каждый логический канал отображается на физический «индивидуально», с присущими ему скоростью передачи и кодом.

Так как число каналов на сетевом уровне значительно больше, чем на канальном, то в одном транспортном канале обычно объединяют несколько низкоскоростных логических. При переходе от транспортного к физическому уровню каналы тоже можно объединять, при этом принято канал вызова PCH и канал доступа FACH отображать на общий физический канал

«вниз», а канал доступа RACH - на общий физический канал «вверх».

Поток данных при передаче информации из одного канала в другой трансформируется на уровне канальных интервалов, кадров и данных сигнализации. Например, канал вызова разделяется на несколько групп в одном суперкадре, и вызывная информация передается в каждой группе.

Метод пакетной передачи, используемый в CDMA-системах, хорошо согласуется с принципом адаптивных каналов, скорость передачи которых изменяется в соответствии с графиком. Если трафик низкоскоростной, то может использоваться один физический канал CPCH для нескольких логических каналов (FACH, RACH и др.). Если же трафик достаточно высокоскоростной, то выбирается для передачи логическим каналом типа UPCH [8].

## **1.8 Формирование сигнала в радиоканале**

Блок схема на рисунке 2.2 отражает все основные этапы обработки сигнала и их последовательность. В соответствии с этой схемой можно выделить следующие этапы цифровой обработки сигналов: аналого-цифровое преобразование; кодирование речи; канальное кодирование.

Формирование сигнала в радиоканале включает в себя процесс создания электромагнитного сигнала, который передается через радиоволну от реализации к приемнику. Этот процесс состоит из нескольких основных групп:

Источник сигнала: Начинается с создания информационного сигнала, который может быть производственным или цифровым. Источник сигнала может быть микрофоном, музыкальным плеером, компьютером или другим способом, генерировать или передавать звуковую, видео- или информационную информацию.

Преобразование сигнала: Источник сигнала может иметь различный тип и формат. Перед передачей через радиоканал он должен быть преобразован в форму, подходящую для модуляции. Усиление и фильтрация: Сформированный модулированный сигнал может быть усилен и пропущен через различные фильтры для подготовки его к передаче через радиоволновый канал. Блок схема на рисунке отражает все основные этапы обработки сигнала и их последовательность (рисунок 2.2)

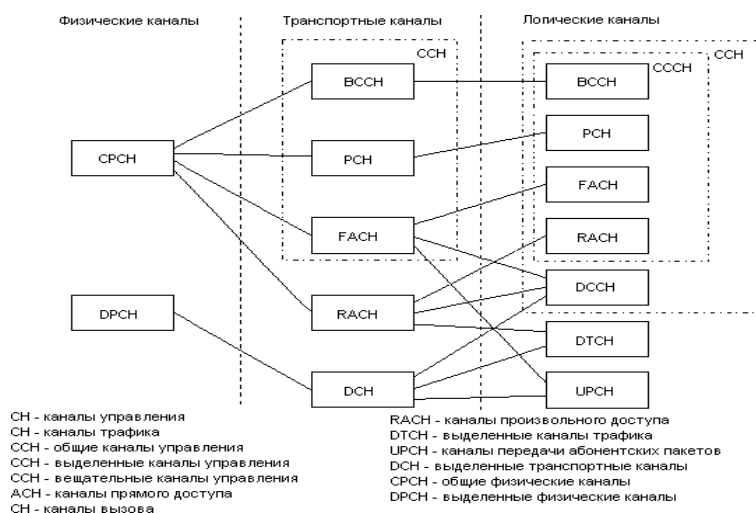


Рисунок 2.2 - Взаимное отображение физических, транспортных и логических каналов

Каждому из этапов обработки в передающем тракте соответствует этап обработки в приемном тракте. В идеализированной ситуации (при отсутствии шумов, помех и искажений при обработке и распространении сигналов) форма сигнала в соответствующих точках передающего и приемного трактов должна быть тождественно одинакова. Реально полной тождественности не достигается, но обработка сигналов должна быть построена таким образом, чтобы искажения не превышали допустимых пределов.

#### Аналого–цифровое преобразование

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) является первым связующим элементом между аналоговым и цифровым участками тракта, преобразующий непрерывный аналоговый сигнал с выхода микрофона в цифровую форму. Вся последующая обработка производится с сигналом, представленным в цифровом виде. ЦАП – последний элемент в цифровом приемном тракте, он преобразует цифровой сигнал в аналоговый, который поступает на динамик, преобразующий его в акустический сигнал.

Работа АЦП состоит из двух этапов: дискретизация входного непрерывного сигнала во времени (обычно с постоянным шагом) и квантования величины сигнала по уровню для этих дискретных моментов времени. В результате на выходе АЦП имеются двоичные числа, соответствующие уровням сигнала в моменты дискретизации.

В соответствии с теоремой Котельникова, частота дискретизации должна быть по крайней мере вдвое выше наибольшей частоты в спектре обрабатываемого сигнала. Поскольку при цифровой передаче сигналов речью телефонным каналам связи ограничиваются полосой частот от 300 до 3400 Гц, общепринятой является частота дискретизации  $F=8$  кГц. Число двоичных разрядов АЦП обычно выбирается равным 8, включая знаковый разряд, так что диапазон чисел на выходе АЦП составляет от -127 до +127, так как  $127=2^7-1$ .

В результате на выходе АЦП получается поток 8-битовых чисел, следующих с частотой 8 кГц, т.е. скорость потока информации на выходе АЦП составляет 64 кбит/с. Практические схемы АЦП чаще всего строятся на основе сравнения выборок мгновенных значений аналогового сигнала с набором эталонов, каждый из которых содержит определенное число уровней квантования.

В схемах ЦАП, как правило, используется формирование аналоговых величин (токов), пропорциональным весовым коэффициентам разрядов входного двоичного кода, с последующим суммированием в разрядах кода, содержащих единицы. АЦП и ЦАП выпускаются промышленностью серийно в виде микросхем, характеризующихся определенными значениями разрядности и быстродействия.

#### Кодирование речи в стандарте CDMA

В стандарте сотовой связи CDMA применяется метод многостанционного доступа с кодовым разделением каналов, основанный на использовании широкополосных сигналов. Каждому вызову присваивается уникальный код, позволяющий отличить этот вызов от других, передаваемых в том же частотном диапазоне. В этом стандарте обеспечивается более высокое качество речи, чем в стандарте GSM. Это во многом определяется применением кодирования речи.

В системе CDMA для преобразования аналогового речевого сигнала в цифровой используется вокодер с переменной скоростью кодирования, в основу работы которого положен алгоритм с линейным предсказанием кода - CELP. Этот алгоритм учитывает особенности человеческой речи. Вокодер перекодирует цифровой поток, имеющий скорость 64 кбит/с, в поток со скоростью 8 или 13 кбит/с. В ходе этого преобразования информационный поток делится на кадры и содержащиеся паузы интервалы удаляются. Результирующий поток имеет скорость от 1 до 8 кбит/с. Вокодер приемной стороны объединяет кадры в единый поток и делает обратное преобразование. Другой важной особенностью вокодера с переменной скоростью кодирования является использование адаптивного порога для определения требуемой скорости кодирования данных. Уровень порога изменяется в соответствии с фоновым шумом.

Результатом этого является подавление фона и улучшение качества речи даже в шумной обстановке. Вокодер позволяет подмешивать в речевой канал вторичный трафик, т.е. служебную информацию.

#### Оценка качества кодирования речи

При оценке качества кодирования и сопоставлении различных кодеков оцениваются разборчивость речи и качество синтеза (качество звучания) речи. Для оценки разборчивости речи используется метод DRT (диагностический рифмованный тест). В этом методе подбираются пары близких по звучанию слов, отличающихся отдельными согласными, которые многократно произносятся рядом дикторов, и по результатам испытаний оценивается доля искажений. Метод позволяет получить как оценку



разборчивости отдельных согласных, так и общую оценку разборчивости речи.

Для оценки качества звучания используется критерий DAM (диагностическая мера приемлемости). Испытания заключаются в чтении несколькими дикторами (мужчинами и женщинами) ряда фраз, которые прослушиваются на выходе тракта связи рядом экспертов-слушателей, выставяющих оценки по 5-балльной шкале. Результатом является средняя субъективная оценка, или средняя оценка мнений (MOS). Хотя этот метод является субъективным, его результаты по сопоставлению различных типов кодеков при проведении испытаний одними и теми же группами дикторов и экспертов-слушателей являются достаточно объективными, и на них основываются выводы и решения.

В таблице 2.1 приведены результаты оценки четырех типов кодеков. Близкие к шкале MOS результаты дают объективный метод оценки качества с использованием понятия кепстрального расстояния (Cepstrum Distance - CD).

Существует множество вариантов кодеков речи, из которых приходится выбирать кодек для систем сотовой связи. Например, при разработке стандарта GSM были исследованы шесть типов кодеков, после чего выбор был остановлен на кодеке RPE-LTP. Работа по выбору типа кода для стандарта GSM была завершена в 1988 г., а в 1989 г. был предложен метод VSELP, принятый затем в стандарте D-AMPS. Работы по совершенствованию кода речи продолжаются и в настоящее время. Обоими стандартами (D-AMPS и GSM) предусмотрено введение полускоростного кодирования, которое сможет увеличить пропускную способность канала связи в два раза. В числе исследуемых вариантов для стандарта D-AMPS рассматривается возможность введения векторного квантователя параметров линейных спектральных пар с расщеплением и межкадровым предсказанием, а для стандарта GSM - использование метода кодирования CELP.

Таблица 2.1 - Оценка кодеков речи по шкале MOS

Тип кода	Темп передачи информации, кбит/с	Оценка MOS
PCM	64	4,12
ADPCM	13	3,78
RPE-LTP (стандарт GSM)	13	3,58
VSELP (стандарт D-AMPS)	8	3,44
CELP (стандарт CDMA)	4,89,6	33,7
QCELP (стандарт CDMA)	13	4,02

Кодирование в прямом канале. В системе сотовой связи стандарта CDMA используются различные виды кодирования. На рисунке 2.3 изображена схема кодирования в прямом канале (от БС к абоненту). Базовая скорость передачи данных в канале составляет 9,6 кбит/с, что достигается добавлением дополнительных корректирующих двоичных символов к цифровому потоку вокодера 8,55 кбит/с. Для реализации на приемной стороне прямой коррекции ошибок (без повторной передачи сообщения) в канале используется избыточное кодирование. Для этого базовый цифровой поток разбивается на пакеты длительностью по 20 мс и подается на сверточный кодер с половинной скоростью. На его выходе число битов удваивается. Затем данные перемежаются во временном интервале 20 мс.

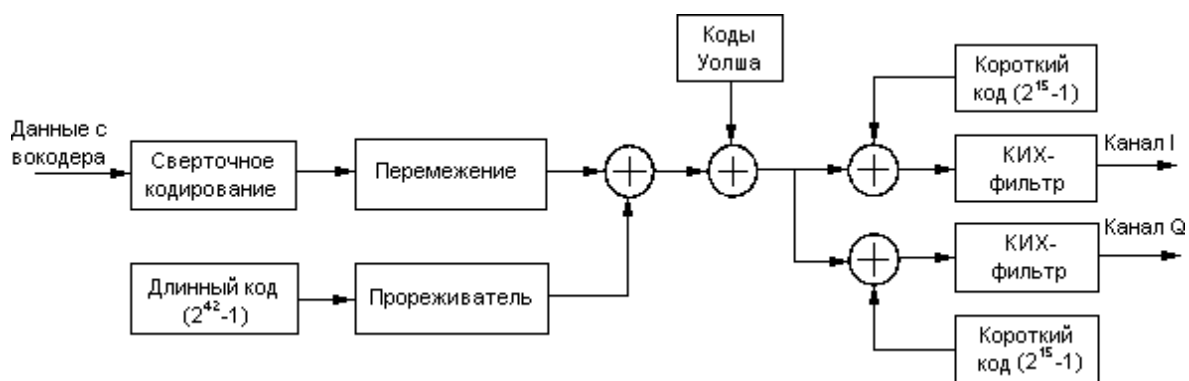


Рисунок 2.3 - Кодирование в прямом канале стандарта CDMA

После перемежения цифровой поток преобразуется с помощью длинного кода и логической операции «исключающее ИЛИ» (сложение по модулю два). Длинными кодами (кодами максимальной длины) являются коды, которые могут быть получены с помощью регистра сдвига или элемента задержки заданной длины. Максимальная длина двоичной последовательности, которая может быть получена с помощью генератора, построенного на основе регистра сдвига, равна  $2^n - 1$  двоичных символов, где  $n$  число разрядов регистра сдвига. В аппаратуре стандарта CDMA длинный код формируется в результате нескольких последовательных логических операций с псевдослучайной двоичной последовательностью, генерируемой в 42-разрядном регистре сдвига, и двоичной 32-битовой маской, которая определяется индивидуально для каждого абонента. Такой регистр сдвига применяется во всех БС этого стандарта для обеспечения режима синхронизации всей сети. Так как информационный поток имеет скорость 19,2 кбит/с, то в прямом канале используется только каждый 64-й символ длинного кода.

Следующий этап преобразования сообщения - кодирование с помощью кодов Уолша. Один ряд матрицы Уолша ставится в соответствие каналу связи между абонентом и БС. Если на входе кодера «0», то посылается соответствующий ряд матрицы (код Уолша), если «1» - посылается

последовательность, сформированная путем логического отрицания соответствующего ряда матрицы (кода Уолша). Это повышает скорость информационного потока с 19,2 кбит/с до 1,2286 Мбит/с. Соответственно расширяется и спектр сигнала.

На заключительном этапе двоичный поток разделяется между синфазным и квадратурным каналами (I- и Q-каналами) для последующей передачи с использованием квадратурной фазовой манипуляции (QPSK). До подачи на смесители цифровой поток в каждом из каналов преобразуется с помощью короткого кода и логической операции «исключающее ИЛИ».

Короткий код представляет собой псевдослучайную двоичную последовательность длиной 32768 двоичных символов, генерируемую со скоростью 1,3288 Мбит/с. Эта последовательность является общей для всех

БС и ПД в сети. Короткий код формируется в 15-разрядном регистре сдвига с линейной обратной связью. Результирующий двоичный поток в каждом канале проходит через цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр), что позволяет ограничить полосу излучаемого сигнала. Частота среза фильтра составляет около 615 кГц. Полученные аналоговые сигналы поступают на соответствующие входы I/Q-модулятора. Ряд информационных сигналов образуется путем слияния I- и Q-каналов.

Поскольку все пользователи получают объединенный сигнал, то для выделения информации необходимо передавать опорный сигнал по пилотному каналу. В пилотном канале передается нулевой информационный сигнал, код Уолша для этого канала формируется из нулевого ряда матрицы Уолша. Другими словами, в пилотном канале передается только короткий код. Обычно на нем излучается около 20% общей мощности. Опорный сигнал необходим для последующей фазовой демодуляции. Короткий код позволяет многократно использовать в каждой ячейке один и тот же набор кодов Уолша. Каждая БС имеет свой временной сдвиг при формировании кода и поэтому может быть однозначно определена в сети. Основано это на свойстве псевдослучайных двоичных кодов: значение автокорреляционного момента приближается к нулю для всех временных смещений более одной длины бита. Кодирование в обратном канале. В обратном канале (от абонента к БС) применяется другая схема кодирования (рисунок 2.4), МС не может использовать преимуществ трансляции опорного сигнала. В этом случае необходимо было бы передавать два сигнала, что значительно усложнило бы демодуляцию в приемнике БС. В обратном канале применяется такой же, как и в прямом, вокодер и сверточное кодирование со скоростью 1/3, что повышает скорость ПД с 9,6 до 28,8 кбит/с, и перемежение в пакете длительностью 20 мс. После перемежения выходной поток разбивается на слова по шесть бит в каждом. Шестибитовому слову можно поставить в соответствие один из 64 кодов Уолша. Таким образом, каждый абонентский терминал использует

весь их набор. После этой операции скорость потока данных повышается до 307,2 кбит/с.

Далее поток преобразуется с помощью длинного кода, аналогичного используемому БС. На этом этапе происходит разделение пользователей. Абонентская емкость системы определяется обратным каналом. Для ее увеличения применяется регулирование мощности в обратном канале, методы пространственного разнесения приема на БС и др.

Окончательное формирование потоков данных происходит таким же образом, как и в БС, за исключением дополнительного элемента задержки на  $\frac{1}{2}$  длительности символа в 0-канале для реализации смещенной QPSK. (рисунок 2.4)

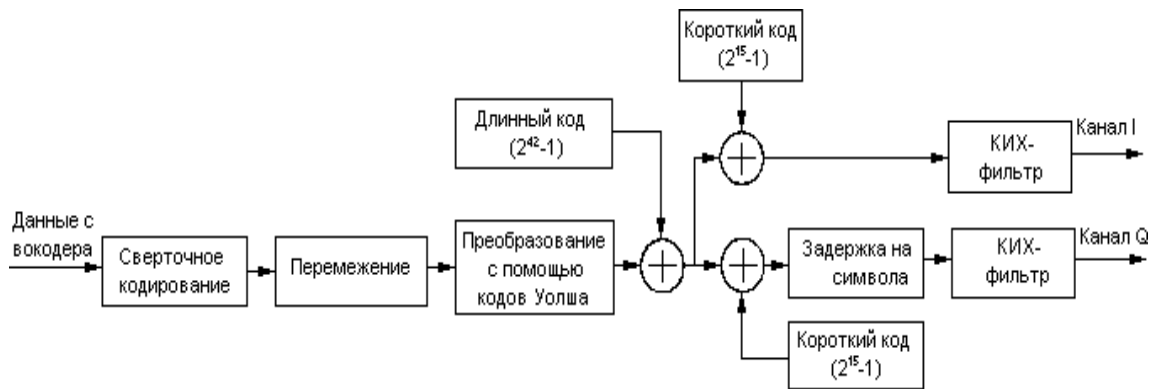


Рисунок 2.4 - Кодирование в обратном канале стандарта CDMA

### 1.9 Многолучевое распространение

Многолучёвые замирания возникают тогда, когда существует более чем один путь распространения радиоволны между MS и BTS и, в связи с этим, к приёмнику приходит более чем один сигнал. Последнее связано с многократным отражением радиосигнала от таких препятствий, как горы, здания, располагающиеся либо близко, либо далеко от приёмников.

Провалы уровня сигнала (замирания сигнала), связанные с эффектом многолучевости распределяются по релеевскому закону и поэтому называются релеевскими (Rayleigh fading). Релеевские замирания сильно выражены тогда, когда препятствия располагаются близко к приёмной антенне. Результирующий принятый сигнал представляет собой сумму сигналов, пришедших с разной амплитудой и фазой. Глубина замираний и их периодичность зависят от скорости движения MS и рабочей частоты. Расстояние между замираниями приблизительно составляет половину длины волны колебания. Таким образом, в системе GSM 900 расстояние между двумя замираниями составляет 17 см. (рисунок 2.5)

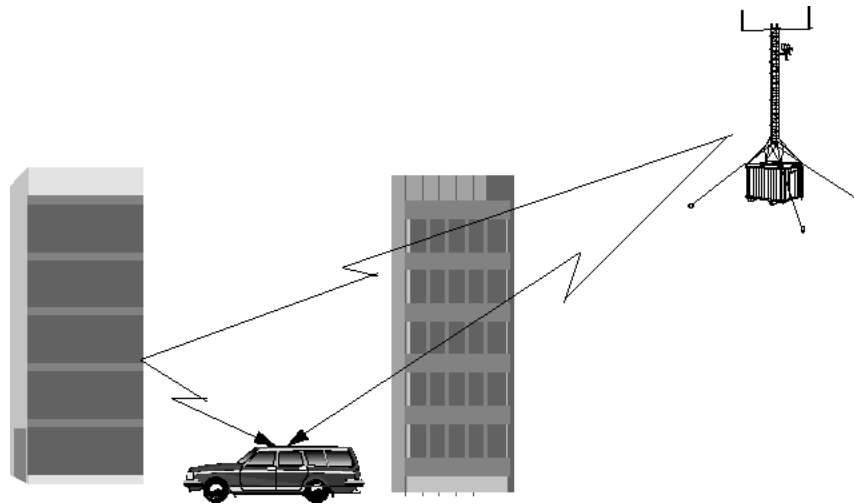


Рисунок 2.5 - Причина релейских замираний

Временная дисперсия является дополнительной проблемой, связанной с многолучевым характером распространения радиоволн между MS и BTS. Однако в данном случае в сравнении с релейскими замираниями, отражённый сигнал приходит к приёмной антенне, отражаясь от достаточно удалённых объектов, таких как горы, холмы.

Временная интерференция вызывает межсимвольную интерференцию (Inter-Symbol Interference - ISI), где последовательные символы (биты) интерферируют друг с другом, что затрудняет приёмнику правильно определять символы.

Примером может служить рисунок 2.6, где представлена передача последовательности 1, 0 от BTS.

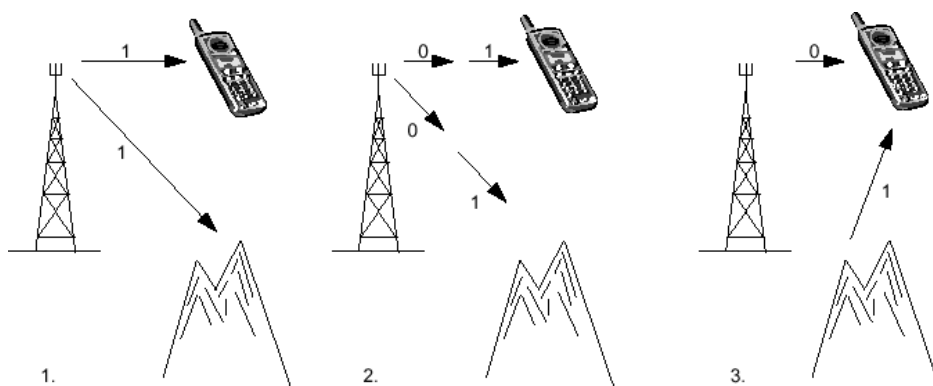


Рисунок 2.6 - Временная дисперсия

Если отраженный сигнал приходит после прохождения одного бита прямого сигнала, то приёмник обнаруживает «1» от отраженной волны и в то же самое время «0» от прямой радиоволны. Поэтому символ «1» интерферирует с символом «0» и MS не знает, какой из этих символов является правильным.

Эффект тени. Этот эффект встречается тогда, когда на пути распространения радиосигнала между MS и BTS возникают физические препятствия, например, холмы, здания, деревья и т.д.

Препятствия создают эффект затенения, который уменьшает уровень сигнала (signal strength). Уровень сигнала в процессе движения MS изменяется в зависимости от возникающих препятствий на пути между MS и BTS.

Действующие на сигнал замирания изменяют уровень сигнала.

На рисунке 2.7 показаны препятствия, возникающие на пути распространения сигнала между MS и BTS.



Рисунок 2.7 - Препятствия на пути передачи радиосигнала

## 2 Методы повышения эффективности системы сотовой связи

### 2.1 Репитер

Репитер - это повторитель сигнала, англ. - repeater, рус. - ретранслятор. Репитер/ретранслятор предназначен для передачи сигнала, повторения частоты и амплитуды. В сотовой связи репитер используется для повторения и ретрансляции сигнала принятого от базовой станции к месту где он отсутствовал или был низкого уровня.

В основе репитера - ретранслятора заложен двухсторонний усилитель сигнала сотовой связи. Задача усилителя сотовой связи - принять, усилить сигнал, распространить в свободном пространстве.

Усиление репитера зависит от применяемой схемы усилителя сотовой связи. Репитер - ретранслятор может использоваться под самые разные нужды. (рисунок 3.1)



Рисунок 3.1 - Репитер

Репитеры также называют усилителями, бустерами, ретрансляторами это названия одного и того же устройства. Но суть остается та же.

Зона неуверенного покрытия беспроводной связи может находиться как внутри (офисные здания, гаражи, многоэтажные дома, крупные магазины и гостиницы), так и вне помещений.

Вне помещений низкий уровень сигнала может быть обусловлен рельефом местности, например, возвышенностями, низинами, лиственными лесами и высотной городской застройкой. Все перечисленные факторы приводят к ослаблению или полному затуханию GSM/3G/CDMA сигнала.

На таблице 3.1 представлены характеристики репитера.

Таблица 3.1 – Характеристики репитера

Параметры	Канал DownLink	Канал UpLink
Полоса рабочих частот в диапазоне частот	2110- 2170МГц	1920– 1980 МГц
коэффициент усиления	60 дБ	60 дБ
Максимальная выходная мощность,ограничиваемая схемой автоматической регулировки мощности, не менее	20 дБм(100 мВт)	20 дБм(100 мВт)
Неравномерность АЧХ,не более	±2 дБ	
КСВ входов, не более	1,8	
Тип ВЧ-соединителей	F-connector 75 или 50 ом	
Питание	9 В / 0,4 А	
Габариты, не более	154 x 135 x 43 мм	
Масса, не более	1,0 кг	

## 2.2 G-Rake-приемник

Технологию WCDMA (Wideband CDMA) все шире используют по всему миру для предоставления услуг сетей мобильной связи 3G. В результате развития стандарта WCDMA появились новые высокоскоростные технологии HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) и EUL (Enhanced Uplink).

Эволюционируют и методы радиоприема. В сегодняшних терминалах и базовых станциях задействованы Rake-приемники, накапливающие энергию сигнала, которая распределена во времени из-за многолучевого распространения радиоволн. Однако со временем, помимо накапливания энергии сигнала, усовершенствованные приемники будут еще и подавлять помехи. В этом отношении весьма перспективны приемники Generalized Rake (G-Rake).

Чтобы понять, как работает G-Rake-приемник, кратко рассмотрим схему передачи информации в радиосистеме WCDMA. Передаваемые информационные биты кодируются кодером прямого исправления ошибок (FEC), таким, как сверточный кодер или турбокодер. Кодированные биты используются для создания символов модуляции, например, квадратурной фазовой манипуляции (QPSK).

Затем осуществляется расширение спектра сигнала путем представления каждого символа последовательностью чипов; сигнал с расширенным спектром “подмешивается” к несущей и передается в радиоэфир. В приемнике радиосигнал преобразуется на промежуточную частоту для демодуляции и декодирования.

G-Rake-прием. Находящийся в демодуляторе приемник G-Rake



восстанавливает символы модуляции из принятого сигнала. Поскольку принцип его работы похож на принцип работы традиционного Rake-приемника, рассмотрим коротко функционирование последнего.

Rake-приемник собирает энергию сигнала из его образов, принятых с разной временной задержкой. Каналы Rake-приемника (“пальцы”) сжимают их спектр. На выходе каждого канала (в сжатом образе) наряду с полезной сигнальной составляющей присутствуют также шумовая и помеховая составляющие. Rake-приемник выравнивает сигнальные составляющие по фазе и складывает их, получая значительно более мощную сигнальную составляющую.

Как и в Rake-приемнике, в G-Rake-приемнике для восстановления символов используются разные каналы и функция суммирования сигналов. Однако между ними есть два важных различия. Первое состоит в том, что в G-Rake-приемнике имеются дополнительные каналы, предназначенные для сбора информации о помехах в сигнальных каналах. Это могут быть собственные (self-interference), внутрисотовые (own-cellinterference) и межсотовые (other-cellinterference) помехи.

Собранная с помощью дополнительных каналов информация используется для подавления помех в сигнальных каналах. Собственно, именно то, как этот процесс подавления происходит, и является вторым важным различием между рассматриваемыми приемниками.

G-Rake-приемник так суммирует сжатые образы сигнала (определяется выбором весовых коэффициентов), что помеховые составляющие вычитаются одна из другой, а сигнальные составляющие, наоборот, складываются (но с разными фазами).

Таким образом, если Rake-приемник максимизирует уровень принимаемого сигнала, при этом ничуть не заботясь об уровне помех, то G-Rake-приемник (в результате компромисса между необходимостью накапливать энергию сигнала и уменьшать помехи) максимизирует отношение уровня сигнала к уровню помехи[8].



Рисунок 3.2 – Принцип Rake-приемника

## 2.3 Разнесённый приём

Различные методы разнесения были предложены и проанализированы применительно к системам КВ, тропосферной связи, а также микроволновым радиорелейным системам, работающим в пределах прямой видимости. Методы разнесения применительно к ОВЧ, УВЧ и микроволновым системам подвижной радиосвязи анализировались в течение последних 20 лет.

Хотя большинство из них относилось к аналоговым системам подвижной радиосвязи, однако, в принципе, они могут найти применение и в цифровых сотовых системах. Выигрыш, получаемый за счет разнесения, увеличивается по мере возрастания требований к качеству обслуживания в цифровых системах подвижной радиосвязи, поскольку более существенное влияние быстрых замираний многолучевости проявляется при цифровой передаче.

Методы разнесения требуют организации ряда путей передачи сигналов, называемых ветвями разнесения, и схемы их комбинирования или выбора одного из них. Использование разнесённого приёма позволяет получить больший уровень сигнала на выходе антенно-фидерного тракта посредством суммирования сигналов от двух приемных антенн.

В зависимости от характеристик распространения радиоволн в системах подвижной радиосвязи существует несколько методов построения ветвей разнесения, которые могут быть разбиты на следующие группы, объединяющие:

- пространственное;
- поляризационное;
- угловое;
- частотное;
- временное разнесение.

Пространственное разнесение. Для того чтобы увеличить уровень принимаемого сигнала BTS прибегают к пространственному разнесению антенн. В данной конструкции используется две антенны вместо одной.

Если при разнесении используется две антенны, то вероятность того, что в одно и то же время на обе антенны придут две одинаковые волны, на которые повлияли глубокие замирания, очень мала.

Используя пространственное разнесение, можно достичь увеличения уровня сигнала на 3 дБ, при этом расстояние между антеннами должно быть около  $12 - 18 \lambda$  для горизонтального разнесения и  $25 * (12 - 18 * \lambda)$  для вертикального разнесения. Эти формулы верны для использования антенн с вертикальной поляризацией.

В диапазоне 900 МГц разнос составляет около 6 метров, а в 1800 МГц, расстояние меньше из-за меньшего значения длины волны (около 3 метров).

Используя данный метод и выбирая сигнал с большим уровнем можно в значительной степени уменьшить воздействие замираний сигнала [10].

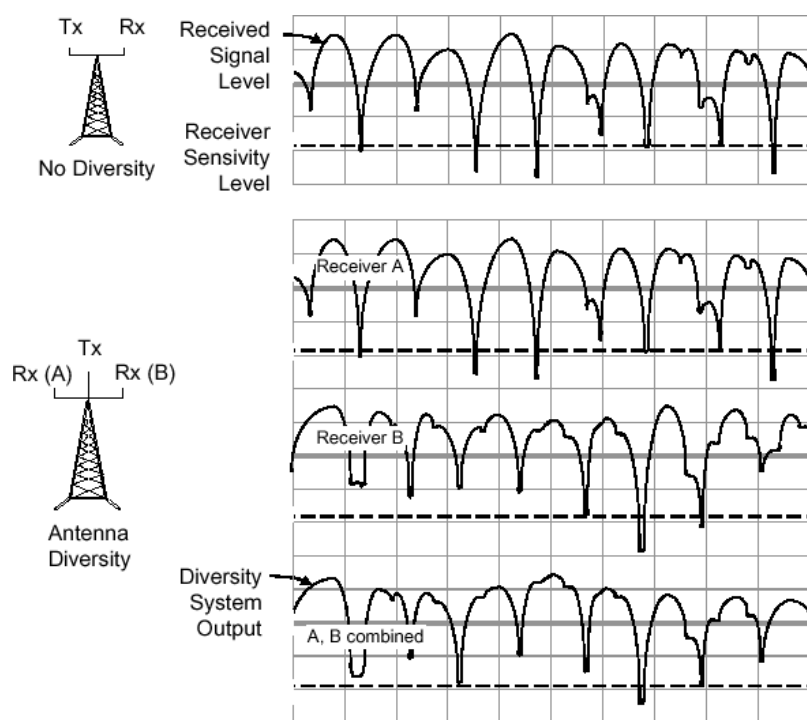


Рисунок 3.3 – Влияние использования пространственного приёма

Поляризационное разнесение. Этот метод позволяет реализовать только две ветви разнесения. Он использует тот факт, что сигналы, переданные с помощью двух ортогонально-поляризованных радиоволн, характерных для ОВЧ и УВЧ сухопутных систем подвижной радиосвязи, в точке приема имеют некоррелированные статистики замираний из-за многолучевости.

При использовании поляризационного приёма антенны разнесённого приёма заменяются одной антенной с двойной поляризацией. Данная антенна имеет нормальный корпус, но имеет две различные поляризационные антенные решетки.

Самые популярные антенны – это антенны с горизонтальной/вертикальной поляризацией и антенны, имеющие наклонную поляризацию в  $45^\circ$ . Две антенные решётки соединяются в одну соединительную схему. Две антенные решетки могут быть использованы как совмещённые антенны.

На практике считается, что коэффициент усиления с использованием двух типов разнесённого приёма, пространственного и поляризационного, одинаков, но в случае поляризационного приёма экономится размер монтажной площадки антенно-фидерной системы.

Угловое разнесение. Этот метод, который получил название разнесения по направлению, требует несколько направленных антенн. Каждая антенна независимо реагирует на волну, проходящую под определенным углом или с определенного направления, и формирует некоррелированные замирающие сигналы.

Частотное и временное разнесение. Различия в частоте и/или времени передачи могут быть использованы для организации ветвей разнесения с некоррелированными статистиками замираний.

Требуемый разнос по времени и частоте можно определить, исходя из имеющихся характеристик временного рассеяния и максимальной доплеровской частоты. Основное преимущество этих двух методов разнесения, по сравнению с пространственным, угловым, поляризационным, состоит в том, что для их реализации требуется лишь одна передающая и одна приемная антенны, а недостаток – в том, что требуется более широкая полоса частот.

Кодирование с исправлением ошибок может рассматриваться как один из вариантов временного разнесения в цифровых системах передачи.

Следует отметить, что для всех перечисленных методов разнесения, за исключением поляризационного, в принципе не существует ограничения на количество ветвей разнесения.

Например, в некоторых системах радиосвязи, работающих в диапазоне 2,4 ГГц, при организации пространственного разнесения используется до пяти приемных антенн.

Разнесение позволяет существенным образом улучшить характеристики помехоустойчивости приема и надежность цифровых систем радиосвязи.

Наличие двух ветвей разнесения позволяет снизить значение  $S/I$  (отношение сигнал/шум) с 30 дБ, соответствующее отсутствию разнесения, до 15 дБ при частоте ошибок на бит (BER), равной  $10^{-3}$ . При более низких значениях BER, например  $BER = 10^{-6}$ , выигрыш за счет разнесения составляет 30 дБ.

Достаточно малогабаритные и относительно недорогие системы разнесения в настоящее время широко используются в системах мобильной радиосвязи, сотовой телефонии и передачи данных [10].

## **2.4 Адаптивный метод модуляции**

Адаптивная модуляция (АМ) - это метод, используемый для увеличения скорости передачи в радиоканале при хороших условиях распространения, при котором уровень модуляции радиолинии динамически «адаптируется» к условиям маршрута. В традиционных системах типа точка-точка модуляция фиксирована на определенном уровне, в результате чего пропускная способность канала с определенной шириной полосы пропускания постоянна.

Ранее адаптивные методы использовались в системах радиосвязи, например в системах автоматического управления мощностью передачи (АТРС), где выходная мощность при хороших условиях передачи снижается, что позволяет сократить потребление электроэнергии и уменьшить уровень

помех в сети.

При ухудшении условий передачи мощность автоматически повышается, что обеспечивает сохранение каналом требуемого уровня производительности.

AM - это шаг вперед по сравнению с АТРС: динамическое управление, как выходной мощностью, так и уровнем модуляции позволяют регулировать пропускную способность канала в зависимости от условий распространения.

EV-DO (Evolution Data Only) – технология передачи данных, используемая в сетях сотовой связи стандарта CDMA. Данная технология была создана с целью усовершенствования передачи данных с использованием адаптивной модуляции, позволившей увеличить пропускную способность канала.

Технология EV-DO, получившая маркировку Rev. C, объединяет в себе такие мобильные технологии как CDMA, TDM, OFDM, Multiple Input Multiple Output (MIMO) и Space Division Multiple Access (SDMA).

Скорость передачи данных в EV-DO, в зависимости от поколений (релизов) стандарта показана в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Стандарты технологии EV-DO

Релизы	Стандарт	Скорость
Rel.0	CDMA2000 1x EV-DO rel.0	2,4 / 0,153 Мбит/с
Rev.A	CDMA2000 1x EV-DO rev.A	3,1 / 1,8Мбит/с
Rev.B	CDMA2000 1x EV-DO rev.B	73,5 / 27Мбит/с
Rev.C	CDMA2000 1x EV-DO rev.C	280 / 75Мбит/с
Rev.D	CDMA2000 1x EV-DO rev.D	500 / 120Мбит/с

Создание цифрового канала происходит с использованием технологии временного разделения абонентов TDMA (как и в GSM). Технология временного разделения наилучшим образом подходит для пакетной передачи данных. При этом в прямом канале в стандарте EV-DO используются 16 таймслотов длительностью по 1,67 мс каждый, в которых и передаётся абонентская информация. То есть в какой-то момент времени передаётся информация одного абонента. Это позволяет выделить полную мощность передатчика для каждого конкретного абонента.

Нет необходимости контроля мощности в прямом канале. Соответственно в прямом канале нет источников интерференции внутри соты, присутствуют помехи только от соседних сот.

В зависимости от типа передаваемой информации используется адаптивная модуляция. От типа модуляции, применяемой в прямом канале, зависит скорость передачи данных, система оценивает размер кодируемого пакета, состояние радиointерфейса и назначает в соответствии с этим вид модуляции QPSK, 8-PSK или 16-QAM.

Для передачи пакетов большого объёма скорость передачи данных

абонента достигает 2,4 Мбит/с. При этом он занимает всего лишь один таймслот. Вся остальная емкость доступна для других абонентов (и с другими скоростями, находящимися на разных дистанциях от базовой станции).

То есть система управляет скоростью передачи и никогда не выделит больше ресурсов абоненту, находящемуся в худших условиях [9].

Скорость передачи данных показана в таблице 3.3 (если бы 1 абонент занял все 600 таймслотов в секунду):

Таблица 3.3 – Скорость передачи данных от вида модуляции

Вид	Длина пакета (бит)	Количество слотов	Длительность (мсек)	Скорость (кбит/сек)
QPSK	1024	16	26,6	38,4
	1024	4	6,6	153,6
	1024	1	1,6	614,4
16-QAM	4096	2	3,3	1228,8
8-PSK	3072	1	1,6	1843,2
16-QAM	4096	1	1,6	2457,6

## 2.5 Пико базовая станция BTS3202B

Пико (фемто) сота – это небольшая по зоне покрытия и емкости сота системы сотовой связи, действующая в пределах одного помещения. В условиях плотной городской застройки трудно обеспечить приемлемый уровень приема сигнала сотовой связи во всех закоулках. Современные здания строятся из бетона и металла, которые являются очень хорошим экраном для высокочастотных радиоволн. Передаваемый от обычных базовых станций сигнал просто отражается от стен зданий и единственным способом проникновения остаются окна, через которые радиоволны могут проникать внутрь лишь на несколько метров. Повышение мощности или более плотная установка базовых станций также не позволят решить эти проблемы, т.к. многие здания обладают сложной геометрической формой, а их толщина может достигать нескольких десятков метров.

Для решения данной проблемы неизбежно необходима установка дополнительных источников радио покрытия. Полноценная базовая станция может стоить более одного миллиона, кроме того необходимо решать вопросы организации транспортных каналов, аренды помещений, электроснабжения и т.п. Покрытие одного/двух помещений вряд ли сможет окупить вышеуказанные затраты в приемлемые сроки, поэтому такое решение не эффективно.

Наиболее целесообразна в подобной ситуации установка пико или фемто сот, которые специально предназначены для этой цели. Практически

все стандарты сотовой связи, начиная с GSM предусматривают установку сотс небольшим радиусом действия внутри помещений.

В зависимости от стандарта и производителя они могут называться пико или фемто сотами. Разработкой спецификаций и стандартов для пико (фемто) сот занимается специально созданный FemtoForum



Рисунок 3.4 – Пико базовая станция BTS3202B

Пико базовая станция BTS3202B представляет собой самостоятельную базовую станцию с одним сектором, выполненную в виде небольшого бокса, в который сразу вмонтирован приемопередатчик, транспортный и управляющий модуль, а также приемно-передающая антенна. Также для повышения мощности часто есть возможность подключения дополнительной внешней антенны. Пико базовые станции BTS3202B могут быть смонтированы на стене, потолке, полу или в любом другом удобном месте. Из-за небольшого радиуса действия она потребляет мало энергии и может быть подключена к офисной или домашней электросети.

Значительным преимуществом пико базовой станции BTS3202B является возможность их само интеграции в сеть. После включения питания и подключения к сети интернет она самостоятельно ищет свою сеть и проводит самонастройку и создает соседства с другими сотами сети.

Таким образом, для запуска даже не требуется выезда специалиста, а из-за небольшой мощности излучателя и простоты установки весь монтаж может быть осуществлен самостоятельно, владельцами помещения.

Наибольшим преимуществом использования пико базовой станции BTS3202B, перед использованием других беспроводных технологий доступа является возможность использования того же абонентского оборудования, что и в остальной сети оператора. Пользователь может, не замечая того, пользоваться тем же набором услуг, с одинаковыми характеристиками дома, на работе, в магазине и по дороге между ними.

Благодаря появлению стандартов 3G (UMTS), а особенно 4G (LTE) скорость доступа к сети Интернет не уступает проводному доступу.

Таким образом, пико соты в последнее время находят все большее и большее распространение [7].

Таблица 3.4 – Характеристики пико базовой станции BTS3202B

Параметры	
Рабочая частота	2600 МГц
Мощность передатчика	2 x 125 мВт
Пропускная способность	150 Мбит/с (downlink)/ 15 Мбит/с(uplink)
Внутренние и внешние антенны	
Поддержка MIMO	
Вес	3 Кг
Рабочий диапазон температур	-40°C. ..50°C
Режим синхронизации	IEEE 1588V2/GPS/RHUB
Ethernet Порт	оптический и электрический

## 2.6 Микро базовая станция BTS3902E

Атом Селл (BTS3902E) – это микро базовая станция являющейся современной разработкой компании Huawei, которая характеризуется небольшим размером, легким весом, функциональностью плагина, авто-конфигурацией, и никаких требований к месту установки оборудования, микро базовая станция BTS3902E является дешевым в приобретении и легким в развертывании, что делает его быстрым и недорогим решением для увеличения и улучшения качества покрытия радиосети сотовой связи.



Рисунок 3.5 – Микро базовая станция BTS3902E

Предназначен такой тип оборудования, в первую очередь, для увеличения ёмкости мобильной сети в местах локального скопления абонентов, а также для улучшения качества связи в тех местах, где сделать это с помощью обычных баз будет слишком дорого и не очень эффективно. Поэтому и появляются они на столбах вдоль дорог, обеспечивая связью



здания около дороги и автомобилистов, стоящих в пробках.

Также распространенный вариант применения таких базовых станций – торговые комплексы или производства, где сигнал с улицы экранируется толстыми стенами, а количество людей и потребность в связи бывают очень велики.

В будущем развитие этого направления приведет к интеграции передатчика в антенну, и появлению так называемых активных антенных систем. Про них сейчас говорят многие производители оборудования, и в самое ближайшее время, они могут появиться в сетях операторов.

Однако микро базовые станции – это все-таки решения, в которых в одном корпусе интегрированы все блоки, и их развитие продолжается в сторону дальнейшей миниатюризации.

Таблица 3.5 – Характеристики микро базовой станции BTS3902E

Параметры	
Рабочая частота	2100/1900 МГц
Мощность передатчика	5Вт
Пропускная способность	84Мбит/с (downlink)/ 23Мбит/с (uplink)
Внутренние и внешние антенны	
Поддержка MIMO	
Вес	12 Кг
Рабочий диапазон температур	-40°С. ..50°С
Потребляемая мощность	160 Вт
Ethernet Порт	оптический и электрический

### 3 Расчет бюджета радиолиний системы WCDMA

#### 3.1 Расчет абонентской емкости сети WCDMA

Абонентская емкость сети WCDMA (широкополосный множественный доступ с кодовым разделением) может быть рассчитана с использованием формулы, которая объединяет несколько параметров. Основными факторами, влияющими на устойчивость к WCDMA, являются пропускная способность канала, пропускная способность сектора базовой станции и уровень обслуживания (вероятность отключения вызова).

Формула для расчета емкости WCDMA выглядит следующим образом:

Абонентская емкость = (Пропускная способность печени / Пропускная способность глюкозы) \* (1 - Вероятность отключения вызова)

Рассмотрим каждый параметр подробнее:

Пропускная способность канала: это высокая скорость передачи данных на одного абонента в сети WCDMA. Она измеряется в битах в секунду (bps). Например, предположим, что пропускная способность канала составляет 2 Мбит/с (2 000 000 бит/с).

Пропускная способность соединения белков: Это пропускная способность, которая доступна для соединения одного белка. Она измеряется также в битах в секунду (бит/с). Например, предположим, что пропускная способность белка содержит 10 Мбит/с (10 000 000 бит/с).

Вероятность блокировки вызова: Вероятность того, что вызов будет заблокирован из-за недостаточной пропускной способности или других факторов. Выражается в процентах или долях от 0 до 1. Например, предположим, что вероятность вероятности вызова составляет 0,1 (или 10%).

Теперь, подставляя эти значения в формулу, мы рассчитываем подключение емкости сети WCDMA:

Абонентская емкость = (2 000 000 б/с / 10 000 000 б/с) \* (1 - 0,1)

Абонентская емкость = 0,2 \* 0,9 Абонентская емкость = 0,18 или 18%

Таким образом, подключенная емкость сети WCDMA в восхождении составляет 18%. Это означает, что сеть может обслуживать до 18% от общего числа имен одновременно без блокировки вызовов при параметрах пропускной способности канала, пропускной способности предела вероятности и вероятности блокировки вызова.

#### 3.2 Расчет максимально допустимых потерь сети WCDMA

Максимально допустимые потери

$$L_{MARL} = P_{EIRP} - S_{Rx} + G_{RxA} - L_{RxF} - M_{Build} - M_{Int} - M_{Shade} + G_{HO}, \quad (3.1)$$

где  $P_{EIRP}$  – ЭИИМ передатчика, дБ;

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

Запас на допустимые внутрисистемные помехи.

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

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta), \quad (3.2)$$

где  $\eta$  – относительная нагрузка соты в восходящей или нисходящей линии.

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

При росте нагрузки до 100% запас на помехи стремится к бесконечности и зона обслуживания соты уменьшается до нуля. Зависимость значения данной величины от загрузки соты представлена на рисунке 4.1.

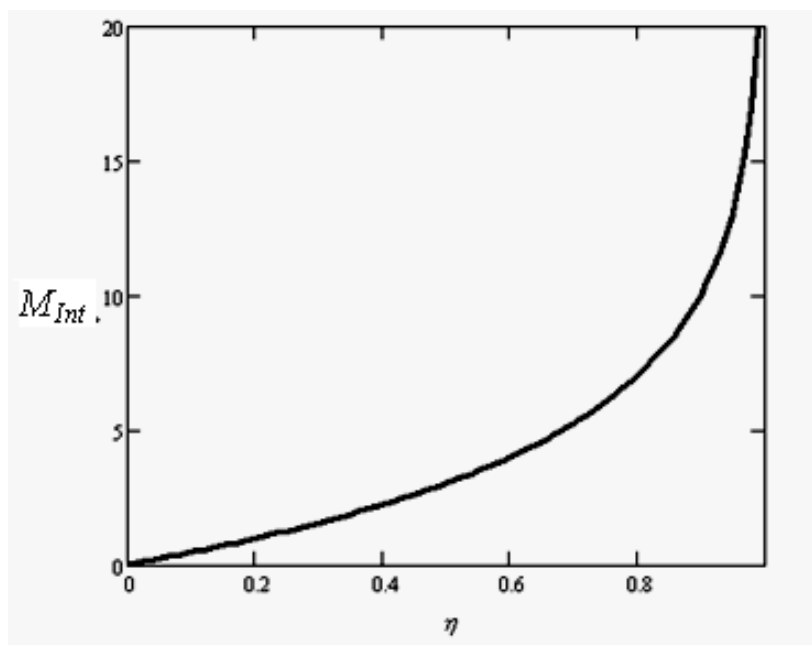


Рисунок 4.1 - Зависимость значения запаса на внутрисистемные помехи от значения относительной загрузки соты

На таблице 4.1 представлены значения величины запаса на быстрые замирания

Таблица 4.1- Значения величины запаса на быстрые замирания

Тип абонента, скорость перемещения	Типичная величина запаса на быстрые замирания
Небольшая скорость (3 км/ч)	3-5 дБ
Средняя скорость (50 км/ч)	1-2 дБ
Высокая скорость (120 км/ч)	0,1 дБ

Данные для расчета:

$$P_{EIRP} = 6,55 \text{ дБ}, S_{Rx} = -100 \text{ дБ}, G_{RxA} = 0 \text{ дБ}, L_{RxF} = 0,3 \text{ дБ}, \eta = 0,8, \\ M_{Build} = 17 \text{ дБ}, M_{Shade} = 9 \text{ дБ}, G_{HO} = 3 \text{ дБ}.$$

Определим запас на помехи  $M_{Int}$ , дБ

$$M_{Int} = -10 \cdot \log_{10}(1-\eta) = -10 \lg(1 - \eta) = -10 \lg 0,2 = 6,9 \text{ дБ}. \quad (3.3)$$

Максимально допустимые потери

$$L_{MARL} = 6,55 + 100 + 0 - 0,3 - 6,9 - 17 - 9 + 3 = 76,35 \text{ дБ}. \quad (3.4)$$

### 3.3 Расчет восходящей линии (UL) WCDMA

Данный расчет осуществляется в несколько этапов:

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

Расчет минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника базовой станции. Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС определяется из формулы (3.5)

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

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

$G_{обр}$  – выигрыш от обработки,

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

Для анализа выбран тип оборудования БС Nokia Flexi WCDMA BTS. Коэффициент шума приемника данной базовой станции менее 3 дБ. Для расчета примем  $K_{ш} = 2,5$  дБ.

Мощность шумов приемника БС из (4.2)

$$P_{ш} = N + K_{ш} \text{ (дБм)}. \quad (3.6)$$

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

Выигрыш от обработки составляет

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чип} / R_{польз}), \quad (3.7)$$

где  $R_{чип}$  - чиповая скорость стандарта UMTS, чип/с,

$R_{польз}$  - скорость передачи данных пользователя, кбит/с.

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

равной 50%. Допустимым значением величины относительной загрузки соты считается 50%.

Запас на внутрисистемные помехи равен

$$L_n = -10 \cdot \log_{10}(1 - \eta) \quad (3.8)$$

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

$$P_{прбс} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{прбс} - G_{обр} + L_n - G_{хо} \text{ (дБм)}. \quad (3.9)$$

Данные для расчета:

$$K_{ш} = 2,5 \text{ дБ}, E_b/N_0 = 1,7 \text{ дБ}, V_{чип} = 3,84 \cdot 10^6 \text{ чип/с}, R_{польз} = 384 \text{ кбит/с}, \\ \eta = 0,5.$$

Мощность теплового шума в приемнике

$$N = k \cdot T \cdot B = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 3,84 \cdot 10^6 = 1,55 \cdot 10^{-14} \text{ Вт}, \quad (3.10)$$

$$N = 10 \cdot \lg(1,55 \cdot 10^{-14} / 0,001) = -108,2 \text{ дБм}$$

Мощность шумов приемника БС из (4.2)

$$P_{ш} = N + K_{ш} = -108,2 + 2,5 = -105,7 \text{ дБм} \quad (3.11)$$

Выигрыш от обработки составляет

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чин}/R_{польз}) = 10 \log(3,84 \cdot 10^6 / 384 \cdot 10^3) = 10 \text{ дБ} \quad (3.12)$$

Запас на внутрисистемные помехи равен

$$L_n = -10 \cdot \log_{10}(1-0.5) = 3 \text{ дБ}. \quad (3.13)$$

Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника БС равна

$$P_{прбс} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{треб} + G_{обр} + L_n - G_{хо} = -105,7 + 1,7 + 10 + 3 - 2 = -103 \text{ дБ} \quad (3.14)$$

### Определение требуемой мощности принимаемого сигнала

Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением

$$P_{пр} = P_{прбс} + L_{фидер} - G_{бс} + L_{фф} \text{ (дБ)}, \quad (3.15)$$

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

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

$L_{фф}$  - запас на быстрые замирания, дБ.

Данные для расчета:

$$L_{фидер} = 3 \text{ дБ}, G_{бс} = 0 \text{ дБ}, L_{фф} = 3 \text{ дБ}.$$

Тогда

$$P_{пр} = P_{прбс} + L_{фидер} - G_{бс} + L_{фф} = -103 + 3 - 0 + 3 = -97 \text{ дБ}. \quad (3.16)$$

Расчет эффективно излучаемой мощности мобильной станции. Эффективно излучаемая мощность мобильной станции определяется выражением

$$P_{изМС} = P_{МС} + G_{БС} - L_{тело} \text{ (дБм)}, \quad (3.17)$$

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

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

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

$$P_{изМС} = P_{МС} + G_{BC} - L_{тело} = -21 + 0 - 3 = -24 \text{ дБм} \quad (3.18)$$

Расчет эффективно излучаемой мощности мобильной станции. Максимально допустимые потери на трассе равны

$$L = P_{изМС} - P_{пр} \quad (3.19)$$

$$L = P_{изМС} - P_{пр} = -24 + 97 = 73 \text{ дБ}$$

### 3.4 Расчет нисходящей радиолинии (DL) WCDMA

Данный расчет также осуществляется в несколько этапов:

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

Определение минимально допустимой мощности сигнала на входе приемника МС. Минимально допустимая мощность сигнала на входе приемника МС определяется аналогичным выражением (как и для БС)

$$P_{прмс}(\text{дБм}) = P_{ш}(\text{дБм}) + (E_b/N_0)_{\text{треб}}(\text{дБ}) - G_{обр}(\text{дБ}). \quad (3.20)$$

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

Мощность собственных шумов приемника МС

$$P_{ш} = N + Kш \text{ (дБм)}. \quad (3.21)$$

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

$$P_{npMC} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{треб} + G_{обр} - L_n - G_{хо} \quad (\text{дБм}), \quad (3.22)$$

где  $(E_b/N_0)_{треб}$  - минимально допустимое значение  $E_b/N_0$  на входе приемника для данного типа сервиса составляет 4,8 дБ при скорости абонента 3 км/ч;

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

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

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

$L_n$  - запас на внутрисистемные помехи. Примем что сота в нисходящей линии загружена также как и в восходящей.  $L_n = 3$  дБ;

$G_{хо}$  - выигрыш за счет мягкого хэндовера, дБ.

Данные для расчета:

$K_{ш} = 8$  дБ;  $R_{чип}$  - чиповая скорость стандарта UMTS  $3,84 \cdot 10^6$  чип/с;

$R_{польз}$  - скорость передачи данных пользователя 384 кбит/с;

$L_n$  - запас на внутрисистемные помехи. Примем что сота в нисходящей линии загружена также как и в восходящей  $L_n = 3$  дБ;

$G_{хо}$  - выигрыш за счет мягкого хэндовера, примем 2 дБ. Мощность собственных шумов приемника МС

$$P_{ш} = N + K_{ш} = -108,2 + 8 = -100,2 \text{ дБм}. \quad (3.23)$$

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

$$P_{npMC} = P_{ш} + (E_b/N_0)_{треб} + G_{обр} - L_n - G_{хо} = -100,2 + 4,8 + 10 + 3 - 2 = -94,4 \text{ дБм}, \quad (3.24)$$

где  $(E_b/N_0)_{треб}$  - минимально допустимое значение  $E_b/N_0$  на входе приемника для данного типа сервиса составляет 4,8 дБ при скорости абонента 3 км/ч.

$$G_{обр} = 10 \log(R_{чип}/R_{польз}) = 10 \log(3,84 \cdot 10^6 / 384 \cdot 10^3) = 10 \text{ дБ}. \quad (3.25)$$

Определение требуемой мощности принимаемого сигнала. Требуемая мощность принимаемого сигнала определяется выражением

$$P_{np} = P_{npMC} + L_{тело} - G_{МС} + L_{фф} \quad (\text{дБм}), \quad (3.26)$$

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

$G_{МС}$  - коэффициент усиления антенны мобильной станции, дБ. Значение

$G_{МС}$  принято равным 0 дБ;

$L_{фф}$  - запас на быстрые замирания, дБ.



$$P_{np} = P_{npMC} + L_{мело} - G_{MC} + L_{ff} = -94,4 + 0 - 0 + 3 = -91,4 \text{ дБм.} \quad (3.27)$$

Расчет эффективно излучаемой мощности базовой станции  
Эффективно излучаемая мощность БС:

$$P_{изБС} = P_{БС} + G_{БС} - L_{фидер}, \text{ дБм,} \quad (3.28)$$

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

Мощность передатчика БС на 55 кодовых каналов составляет 5 Вт, отсюда

$$P_{БС} = P_{пер} / 55 = 5000 / 55 = 90,9 \text{ мВт (19,5 дБм)} \quad (3.29)$$

Излучаемая мощность передатчика на один кодовый канал

$$P_{изБС} = P_{БС} + G_{БС} - L_{фидер} = 19,5 + 0 - 0,5 = 19 \text{ дБм (79,43 мВт)} \quad (3.30)$$

Эффективно излучаемая мощность базовой станции

$$P_{БСЭФ} = P_{изБС} * 55 = 79,43 * 55 = 4368,44 \text{ мВт} = 4,368 \text{ Вт} \quad (3.31)$$

Таким образом, расчетная величина ЭИИМ не превышает заданную в технических характеристиках БС = 5Вт.

Расчет допустимых потерь на трассе. Допустимые потери на трассе

$$L = P_{изБС} - P_{np} - M_{Build}, \text{ дБ,} \quad (3.32)$$

где  $M_{Build}$  – запас на проникновение в помещение, дБ. Типовые значения запаса на проникновение:

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

$$L = P_{изБС} - P_{np} - M_{Build} = 19 + 91,4 - 17 = 83,4 \text{ дБ} \quad (3.33)$$

### 3.5 Вывод

Результаты расчетов показывают соответствие полученных расчетных данных техническим характеристикам аппаратуры стандарта

WCDMA (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Результаты расчета

Параметры	Uplink	Downlink
Минимально допустимая сигнала на входе РПУ	-103дБм	-94,4 дБм
Требуемая мощность принимаемого сигнала	-97 дБм	-91,4 дБм
Эффективно излучаемая мощность станции	24 дБм	19 дБм
Максимально допустимые потери	73 дБ	83,4 дБ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные выводы по результатам исследований, дипломной работе в работе анализ методов повышения эффективности систем сотовой связи, исследованы организации каналов доступа WCDMA, результаты математически - статистических расчетов, позволяют сделать следующие выводы:

В основе данной работы лежат теоретические и практические анализы.

Выбран наиболее гибкий и оптимальный метод решения повышения эффективности систем стандарта WCDMA.

Атом Селл (BTS3902E) – это микро базовая станция являющейся современной разработкой компании Huawei, которая характеризуется небольшим размером, легким весом, функциональностью плагина, авто-конфигурацией, и никаких требований к месту установки оборудования, микро базовая станция BTS3902E является дешевым в приобретении и легким в развертывании, что делает его быстрым и недорогим решением для увеличения и улучшения качества покрытия радиосети сотовой связи.

Экспериментальные исследования установили:

-БС Atom Cell существенно усиливает уровень мощности принимаемого сигнала (RSSI) и отношение сигнал/интерференция ( $E_c/I_o$ );

-радиус действия БС Atom Cell эффективен только в пределах 200 м;

-модель линейной регрессии  $E_c/I_o$  с Atom Cell имеет вид  $y = -0.0865x - 4.03$ , т.е. с увеличением расстояния на 1 метр отношение сигнал/интерференция будет понижаться в среднем на - 0.0865 дБ;

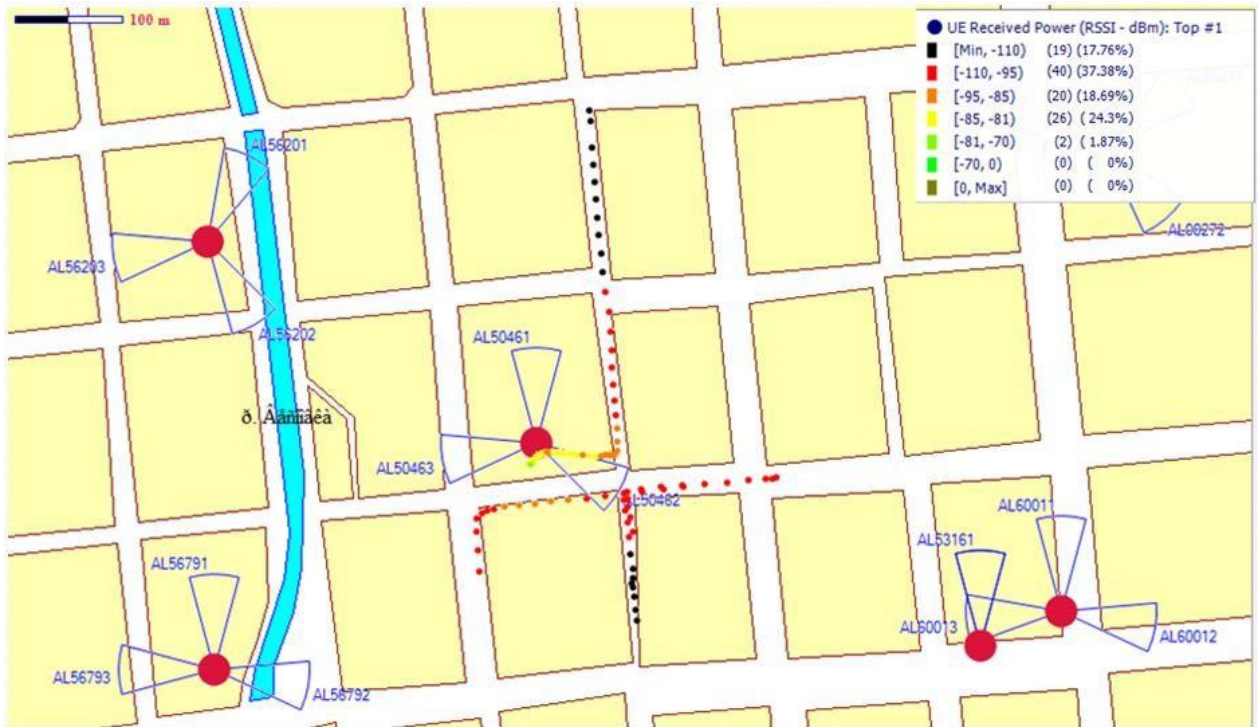
- модель линейной регрессии RSSI с Atom Cell имеет вид  $y = -0.22x - 58.33$ , т.е. с увеличением расстояния на 1 метр уровень мощности сигнала будет понижаться в среднем на - 58.33 дБм.

## Список литературы

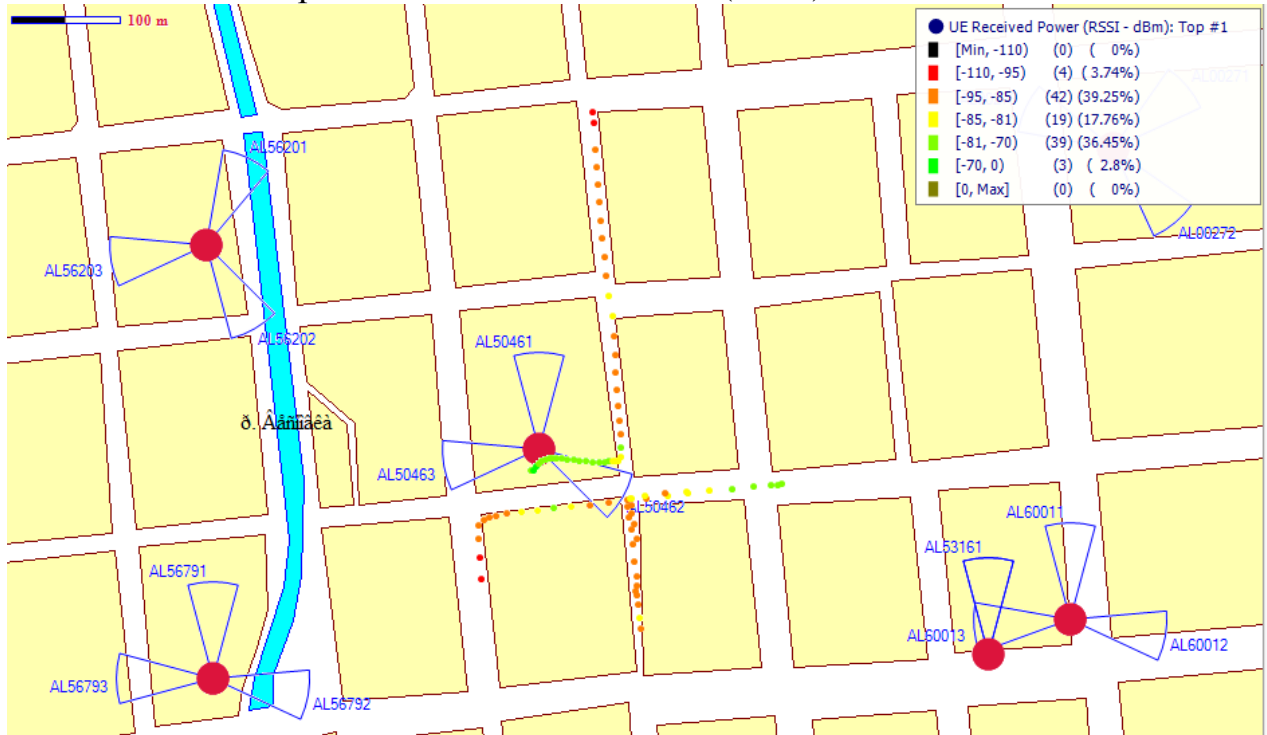
1. Morinaga, Norihiko Osaka Univ., Japan Nakagawa, Masao; Kohno, Ryuji. New concepts and technologies for achieving highly reliable and high-capacity multimedia wireless communications systems. [Communications Magazine, IEEE](#) **Volume: 35, Issue: 1 Page(s): 34**
2. Касаткин Н.Ф. Как улучшить покрытие сетей GSM/UMTS// Технологии и средства связи №2, 2007. – 119 с.
3. Яновский Г.Г. Современные проблемы науки в области телекоммуникаций. Эволюция и конвергенция СПб: Триада, 2008. – 312 с.
4. Бабков В.Ю. и др. Системы связи с кодовым разделением каналов / Бабков В.Ю., Никитин А.Н., Сивере М.А. – СПб: Триада, 2003. – 293 с.
5. Вишневский В.М. и др. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. – М.: Техносфера, 2005. – 597 с.
6. RAN14.0 BTS3902E Product Description - <http://www.huawei.com>
7. RAN14.0 BTS3202B Product Description - <http://www.huawei.com>
8. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения / под ред. Горностаева Ю.М. – М.: ООО «Мобильные коммуникации», 2000. – 208 с.
9. Кузнецов М.А., Рыжков А.Е. Современные технологии и стандарты связи. – СПб: Линк, 2006. – 105 с.
10. Карташевский В. Г., Семенов С. Н., Фирстова Т. В. Сети подвижной связи. – Москва, 2001. – 296 с.
11. Самоделкина С.В., Клочковская Л.П. Мобильные многоканальные технологии стандарта GSM и услуги компаний сотовой связи. Сборник задач для магистрантов специальности 6М071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АУЭС, 2011. - 44 с.
12. Лещинская Э.М. Моделирование в телекоммуникациях. Методические указания к выполнению расчетно – графических работ для магистрантов специальности 6М071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. -Алматы: АУЭС, 2013. - 26 с.

## Приложение А Интерфейс программного обеспечения TEMS Investigation

### Уровень мощности сигнала (RSSI) без AtomCell

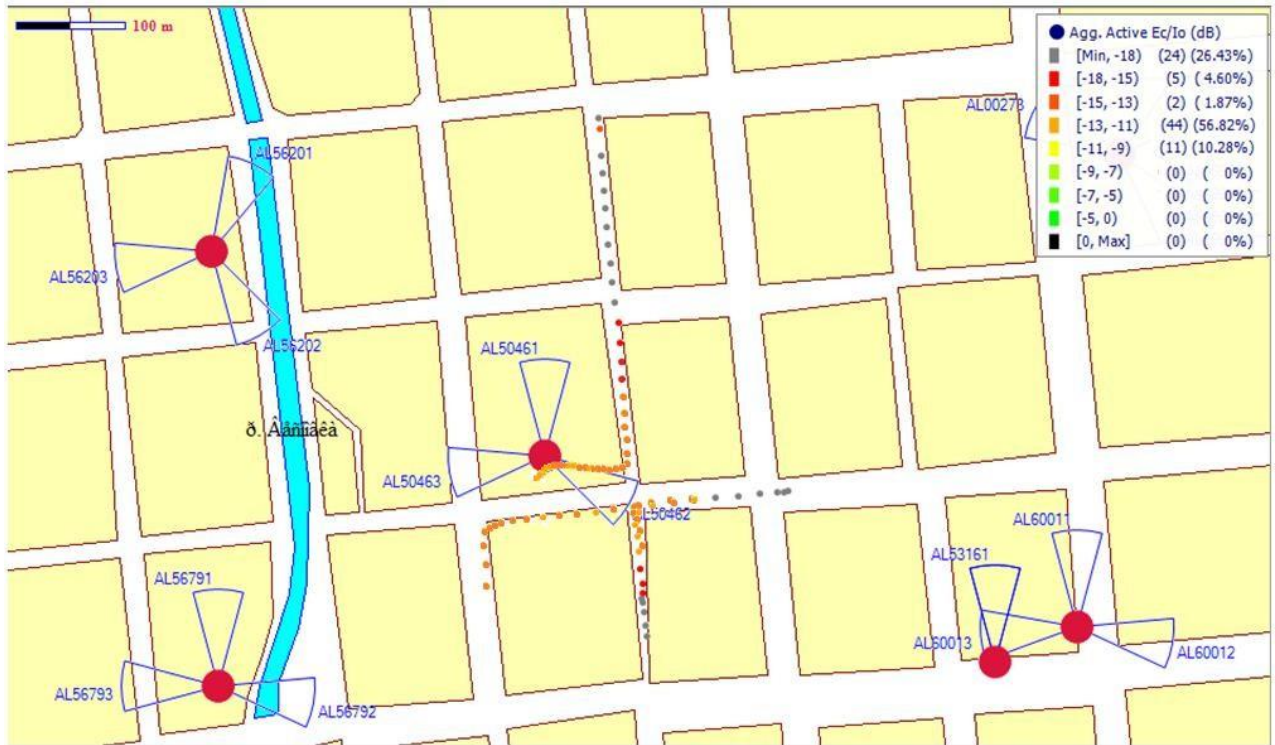


### Уровень мощности сигнала (RSSI) с AtomCell

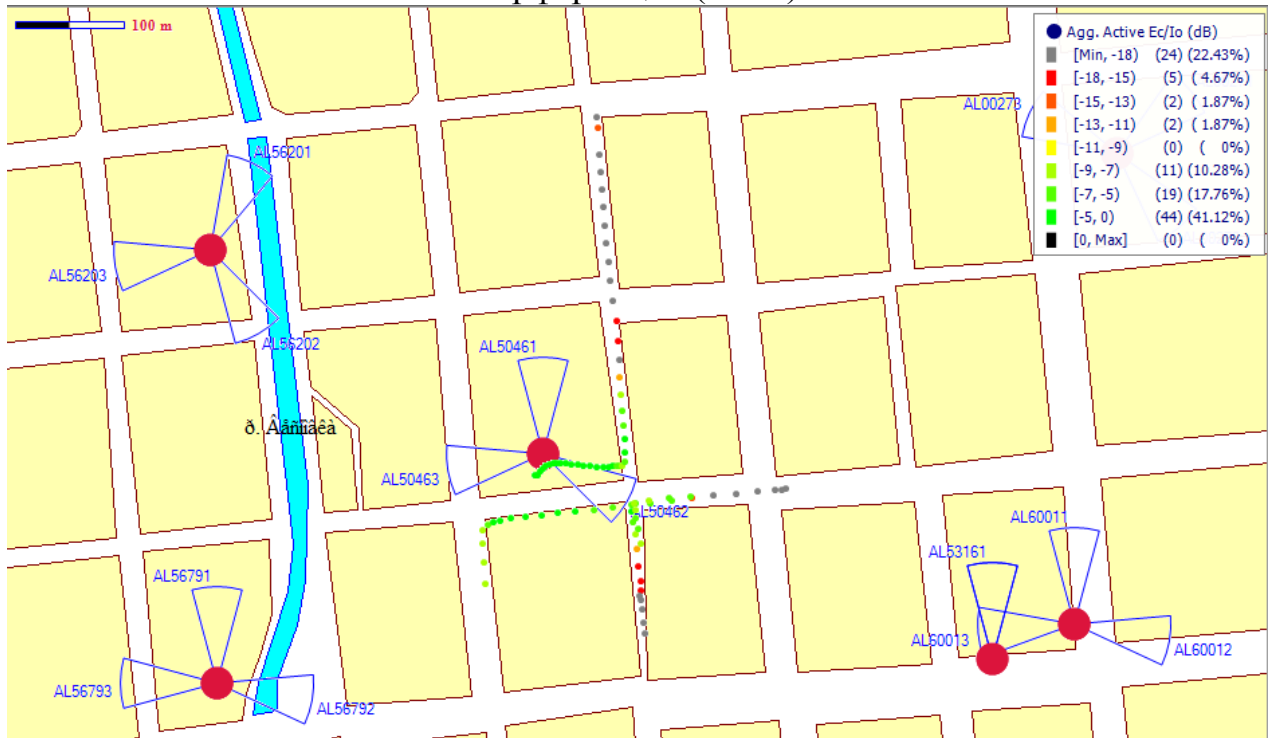


Продолжение приложения А

Сигнал/Интерференция (Ec/Io) без AtomCell



Сигнал/Интерференция (Ec/Io) с AtomCell





РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу

«Анализ метода повышения эффективности системы сотовой связи».

Мусилим Толеби Есимханулы

6B06201 –Телекоммуникация

графический раздел 22 страниц;

пояснительная записка 32 стр.

Дипломная работа включает в себя разделы:

1. Состояние и перспективы развития систем сотовой связи;
2. Организация каналов доступа WCDMA,
3. Методы повышения эффективности системы сотовой связи,
4. Формирование сигнала радиоприемника,
5. Расчет чувствительности.

Дипломная работа представляет собой детальное исследование, направленное на изучение и анализ различных методов, способных улучшить работу системы сотовой связи. А также дипломная работа демонстрирует отличное понимание теоретических основ и принципов функционирования систем сотовой связи. В обзоре литературы студент представили обширный и информативный анализ существующих методов повышения эффективности систем сотовой связи. Методология исследования, которую использовали, была хорошо разработана и обоснована. В разделе результатов и анализа студент представили критический обзор полученных данных, а также обсуждение преимуществ и ограничений метода.

В целом, данная дипломная работа проявляет высокий уровень научного подхода, глубокое понимание предметной области и навыки анализа и исследования.

Оценка работы


В целом, дипломная работа рекомендуется на оценку «85/В+/хорошо», а Мусилим Толеби Есимханулы заслуживает присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе 5B071900-Телекоммуникация.

РЕЦЕНЗЕНТ

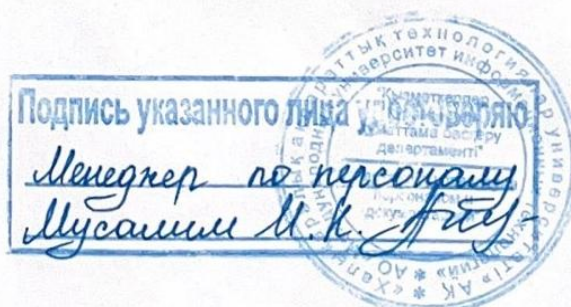
Зав.кафедрой, кафедры

«Радиотехники, электроники и телекоммуникации»

к.т.н.,Международного университета информационных технологий

  
(подпись) Бахтиярова Е.А.

«25» мая 2023 г.



## ОТЗЫВ

На дипломную работу

«Анализ метода повышения эффективности системы сотовой связи».

Мусилим Толеби Есимханулы

6B06201 –Телекоммуникация

Быстрое развитие технологии мобильной связи способствует резкому увеличению роста числа пользователей мобильных телефонов. Этот рост создает все более высокие требования к качеству покрытия радиосети. Кроме того, с повышением зоны охвата сети, операторы также должны увеличить пропускную способность сети для удовлетворения быстро растущих объемов трафика

Дипломная работа представляет собой детальное исследование, направленное на изучение и анализ различных методов, способных улучшить работу системы сотовой связи. А также дипломная работа демонстрирует отличное понимание теоретических основ и принципов функционирования систем сотовой связи. В обзоре литературы студент представили обширный и информативный анализ существующих методов повышения эффективности систем сотовой связи. Методология исследования, которую использовали, была хорошо разработана и обоснована. В разделе результатов и анализа студент представили критический обзор полученных данных, а также обсуждение преимуществ и ограничений метода.

В целом, данная дипломная работа проявляет высокий уровень научного подхода, глубокое понимание предметной области и навыки анализа и исследования.

В целом, дипломная работа рекомендуется на оценку «85/B+/хорошо», а Мусилим Толеби Есимханулы заслуживает присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе 6B06201-Телекоммуникация.

**Научный руководитель**

старший преподаватель, доктор Ph.D.

( должность, уч. степень, звание)

Юсупова Г.М.

(подпись)

«16»

мая

2023 г.



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор: Мүсілім Төлеби Есімханұлы**

**Тақырыбы: Анализ метода повышения эффективности системы сотовой связи**

**Жетекшісі: Ерлан Таштай**

**1-ұқсастық коэффициенті (30): 4.1**

**2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.6**

**Дәйексөз (35): 5.2**

**Әріптерді ауыстыру: 1**

**Аралықтар: 0**

**Шағын кеңістіктер: 0**

**Ақ белгілер: 0**

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

Күні 1.06.2023 г.

Кафедра меңгерушісі





## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Мүсілім Төлеби Есімханұлы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Анализ метода повышения эффективности системы сотовой связи

**Научный руководитель:** Ерлан Таштай

**Коэффициент Подобия 1:** 4.1

**Коэффициент Подобия 2:** 0.6

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 1

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 1.06.2023 г.

Заведующий кафедрой





## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Мүсілім Төлеби Есімханұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Анализ метода повышения эффективности системы сотовой связи

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 4.1

Коэффициент Подобия 2: 0.6

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 1

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

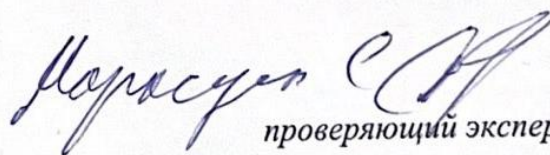
Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

1.06.2023  
Дата

  
проверяющий эксперт