МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»

Зав. кафедрой _____

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «____» _____ 201__ г.

(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Анализ возможности применения MIMO в современных телекоммуникационных системах

Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) Жабиден Алишер Маратович Группа МТС-12-6

(Ф.И.О.)

Научный руководитель к.т.н. ст.пр. Данько Е.П.

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ « 13 » июня 2016 г.

(подпись)

Консультанты:

по экономической части:

доц. Боканова Г.Ш.

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ « 31 » 05 2016 г.

(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

ст. пр. Бегимбетова А.С.

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ « 30 » мая 2016 г.

(подпись)

по применению вычислительной техники:

к.т.н. Ефремова Ю.И.

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ « 08 » июня 2016 г.

(подпись)

Нормоконтролер: ст.пр. Делидова Г.Д.

(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ « 13 » июня 2016 г.

(подпись)

Рецензент: Вице-пресз. АО ЛСТК Казтелеком Ефимов Н.

(ученая степень, звание,Ф.И.О.)

_____ « 14 » июня 2016 г.

(подпись)

Алматы 201__ г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество

«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет радиотехники и связи

Кафедра телекоммуникационных систем

Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студенту Жабидену Алмиру Нагатовичу
(Ф.И.О.)

Тема проекта Анализ возможности применения MIMO в современных телекоммуникационных системах

Утверждена приказом по университету № 148 от «19» октября 2015 г.

Срок сдачи законченного проекта «25» 05 2016 г.

Исходные данные к проекту (требуемые параметры результатов исследования (проектирования) и исходные данные объекта:

1) Координаты местоположения БС - Телевышка Актюбе
2) Высота антенны БС h = 25м
3) Полоса рабочих частот передачи f(1850 - 1980 МГц) для WiMax
4) Полоса рабочих частот передачи f(1850 - 1910 МГц) для LTE
5) Выходная мощность БС = 41 дБм для LTE
6) Выходная мощность БС = 36 дБм для WiMAX

Перечень вопросов, подлежащих разработке дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта:

1. Анализ технологии MIMO
2. Анализ технологии MIMO в системе LTE
3. Анализ технологии MIMO в системе WiMAX
4. Расчет модели COST 231 - Хата для системы LTE
5. Расчет модели COST 231 - Хата для системы WiMAX
6. Оценки допустимой скорости передачи в канале сети LTE для "ближних" и "дальних" пользователей с технологией MIMO 4x4, 8x4
7. Расчет и оценки допустимой скорости передачи в канале сети WiMAX для "ближних" и "дальних" пользователей с технологией MIMO 4x4
8. Безопасность жизнедеятельности
9. Бизнес-план

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): 1) Рисунок 1.1 - принцип организации технологии MIMO
2) Рисунок 1.2 - расположение R_z для передачи одного символа
3) Рисунок 1.3 - Зависимость мощности передатчика от числа антенн
4) Рисунок 1.4 - различные конфигурации MIMO
5) Рисунок 1.5 - отличия в работе SU-MIMO и MU-MIMO
6) Рисунок 1.6 - Эволюция сетей 3G
7) Рисунок 1.7 - Сравнение системных архитектур LTE и WIMAX
8) Приложение Б - скриншоты расчеты на программе Matlab 14

Основная рекомендуемая литература:
1) MIMO System technology - USA, FL, Boca Raton; CRC Press, 2006г. - 378 с.
2) Пинкевичский В.О., Терентьев С.В. Сети мобильной связи LTE

Консультации по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
БЖД	Бегимбетова А.С.	01.04-30.05.16г.	
Экономика	Боканова Г.Ш.	01.04-31.05.16	
Выч. тех.	Ефремова Л.А.	01.04-05.06.16	
Техническая экс	Данько Е.Г.	1.10.15-15.05.16	

График
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретический анализ использования технологии MIMO	28. 01. 2016.	
Технология MIMO в системе LTE	03.03. 2016	
Технология MIMO в системе WIMAX	30.03. 2016.	
Расчет потерь	07. 04. 2016	
Модель COST 231-Хата для LTE	12.04. 2016	
Оценка скорости передачи в LTE	20.04.2016	
Модель COST 231- Хата для WIMAX	24.04.2016	
Оценка скорости передачи в WIMAX	28.04.2016	
Анализ условий труда	30.04.2016	
Расчет освещения	04.05.2016	
Расчет пожарной безопасности	10.05.2016.	
Финансовый план.	20.05.2016.	

Дата выдачи задания «19» 10 2015 г.

Заведующий кафедрой _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Научный руководитель проекта _____ (Данько Е.Т.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению студент _____ (_____)
(подпись) (Ф.И.О.)

Аңдатпа

Бұл тезис жобасында қазіргі заманғы сымсыз телекоммуникациялық жүйелерде әртүрлі MIMO конфигурациясымен пайдалануды талдады. байланыс жүйесін жобалау негізінде техникалық есептеу MIMO антенна конфигурациясымен түрлі WiMax және LTE жасалды . Ол MIMO пайдалану байланыс арнасының өткізу және жалпы жүйесін арттыру және спектрлік тиімділігін арттыруға болады деп дәлелденген.

Аннотация

В данном дипломном проекте проведен анализ применения MIMO различных конфигурации в современных беспроводных телекоммуникационных системах. Был выполнен технический расчет на основе проектировании системы связи WiMax И LTE с различными конфигурациями антенн MIMO. Доказано, что применение MIMO позволяет повысить пропускную способность канала связи и системы в целом, улучшить спектральную эффективность системы.

Abstract

In this project we see analysis of using MIMO in different configurations of modern wireless telecommunication systems. There was a technical calculation based on MIMO and LTE systems with different configurations of MIMO. Using MIMO proved that it can to raise common efficience of whole system.

Содержание

Введение……8
1 Теоретическая часть…….……..10
1.1 Теоретический анализ использования технологии МИМО в современных сетях связи …….....10
1.2 Особенности распространения радиоволн……10
1.3 Многолучевое распространение……11
1.4 Принцип работы MIMO……..12
1.5Multi-user MIMO (MU-MIMO)……...……..……...13
1.6Применение MIMO в различных современных системах..……..14
1.7 Сравнение сетей WIMAX&LTE……...……21
2 Расчетная часть……26
2.1 Расчет потерь .....……..……..26
2.2 Расчет дальности связи с использованием модели COST231-Хата для LTE 31
2.3 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей 32
2.4 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей с технологией MIMO 4×4 33
2.5 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей с технологией MIMO 8×4.....33
2.6 Расчет потерь для WiMax 34
2.7 Расчет дальности связи с использованием модели COST231-Хата для WIMAX.....37
2.8 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети WiMAX для «близких» и «далеких» пользователей 38
2.9 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети WiMAX для «близких» и «далеких» пользователей с технологией MIMO 4×4 39
3 Безопасность жизнедеятельности 40
3.1 Анализ условий труда обслуживающего персонала при эксплуатации технического оборудования.....40
3.2 Расчет системы искусственного освещения помещения.....41
3.3 Анализ пожарной безопасности.....43
3.4 Выводы по разделу «Безопасность жизнедеятельности».....46
4 Технико-экономическое обоснование……...46
4.1 Резюме……..46
4.2 Анализ услуги……..46
4.3 Маркетинговый план……..46
4.4 Производственный план……47
4.5 Финансовый план……48
4.5.1 Капитальные затраты……49
4.5.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов……..50
4.5.3 Расчет доходов от реализации услуг……53

4.5.4 Расчет экономической эффективности……54
4.5.5 Расчёт срока окупаемости капитальных вложений……54
4.5.6 Метод расчета абсолютной величины чистого дохода NPV……55
4.5.7 Вывод по экономической части……57
Заключение……..58
Перечень сокращений……59
Список литературы……61
Приложения А Частотный диапазон стандарта LTE……...63
Приложение Б Расчеты на программе MathCAD ……64

Введение

В современных системах сотовой связи постоянно возрастают требования к их пропускной способности и емкости, что может быть достигнуто за счет увеличения числа базовых станций, ширины полосы частот радиоканалов или числа радиоканалов, а также повышения спектральной эффективности.

Наиболее экстенсивный и дорогостоящий способ увеличения емкости сотовой сети — увеличение числа базовых станций на обслуживаемой территории, а во многих больших городах в настоящее время просто нереализуемый: плотность расстановки макро базовых станций уже достигла своего предела. И следующим шагом в этом направлении станет переход к микро- и пико базовым станциям с упрощенными требованиями к местам установки и эксплуатации.

В течение всей истории развития сотовой связи прослеживается тенденция увеличения ширины полосы частот радиоканала: 200 кГц в GSM (1990-е годы), 5 МГц в UMTS (2000-е годы), 20 МГц в LTE (2010-е годы). Однако в условиях ограниченности частотного ресурса этот путь наращивания емкости сети имеет свои пределы. Здесь становится востребованным новый подход — это объединение в один канал нескольких беспроводных каналов, например, агрегация несущих в LTE-Advanced, позволяющая уже сейчас передавать информацию пользователю в полосе 40 МГц при объединении двух каналов по 20 МГц. В LTE-Advanced поставлена цель объединения пяти несущих по 20 МГц, т.е. использование агрегированного канала шириной 100 МГц.

Наиболее экономически оправданным является путь повышения эффективности использования радиочастотного спектра, т. е. меры пропускной способности системы в одной соте сети, приходящейся на единицу радиочастотного спектра. Спектральная эффективность измеряется в бит/с/Гц при передаче данных или Эрл/Гц в случае голосовых услуг. Спектральная эффективность может быть повышена, например, за счет: быстрой адаптации системы к характеристикам беспроводного канала связи, оптимального выбора схем модуляции и кодирования, ортогонального частотного мультиплексирования и технологии многоантенных систем — MIMO.

Именно последняя из перечисленных технологий увеличения спектральной эффективности будет рассмотрена в данной дипломной работе.

Технология MIMO подразумевает использование нескольких антенн на передающей стороне и нескольких антенн на приёмной стороне и позволяет значительно повысить пропускную способность и/или помехоустойчивость системы связи по сравнению с традиционной системой с одной передающей и одной приёмной антеннами (SISO). [1]

История MIMO начинается с публикации в 1984 г. статьи сотрудника Лабораторий Белла Джека Винтерса «Оптимальное сложение сигналов

вцифровой мобильной связи при наличии соканальных помех». В 1996 г. абсолютно новый подход к увеличению пропускной способности в системах MIMO был предложен Грегори Релеем и В.К. Джоунсом в статье «Многовариантные модуляция и кодирование в беспроводной связи» . Они показали, что эффект многолучевости может многократно увеличить пропускную способность при использовании в системе определенной сигнально-кодовой конструкции. В том же году ДжерардФошини предложил новую многоуровневую архитектуру системы MIMO — архитектуру BLAST. В 1999 г. ЭмрТелатар вывел аналитическое выражение для потенциальной пропускной способности — границу Шеннона — для флуктуирующего канала MIMO . Он показал, что пропускная способность системы MIMO растёт пропорционально числу, минимальному из числа передающих и числа приёмных антенн. Этот факт привлек широкое внимание ученых и исследователей к технологии MIMO. В то же время немало внимания уделялось практической реализации систем MIMO. В 1998 г. Лаборатории Белла провели первую успешную демонстрацию этой технологии. Год спустя, в 1999 г. компания GigabitWirelessInc. и Стэнфордский университет создали первый прототип системы, работающий вне помещения, и продемонстрировали его работу. В 2002 г. компания IospanWirelessInc. (в прошлом GigabitWirelessInc., в настоящее время приобретена корпорацией Intel) выпустила первый коммерческий продукт. Первая установка для лабораторного тестирования системы MIMO 4×4 (4 передающие и 4 приёмные антенны) начала свою работу в Университете Альберта в 2003 г.

Целью данной дипломной работы является анализ внедрения технологии MIMO (с различными конфигурациями передающей и приемной антенн) в современных беспроводных сетях.

Задачами дипломной работы являются:

- провести анализ технологии MIMO в сетях LTE и WiMAX;
- рассмотреть различные способы реализации MIMO в LTE и WiMAX;
- провести расчеты радиуса действия базовых станций, ослабления сигнала при распространении, сравнить скорости передачи данных в центре и на краю соты с использованием технологии MIMO и без, на примере Медеуского района;
- составить бизнес план и доказать эффективность внедрения технологии MIMO;
- провести анализ пожаробезопасности и освещения.

1. Теоретическая часть

1.1 Теоретический анализ использования технологии МИМО в современных сетях связи

MIMO (MultipleInputMultipleOutput) –технология, которая используется всистемах беспроводной связи (сотовые сети связи,WI-MAX,WIFI,), которая позволяет улучшать спектральную эффективность системы, повысить емкость сети и скорость передачи данных. Основной способ достижения вышеуказанных преимуществ, это передача данных от источника к месту назначения через несколько радио соединений, откуда технология получила свое название.

Необходимость в высокоскоростных соединениях, обеспечивающих высокие показатели качества обслуживания (QoS) с высокой отказоустойчивостью растет из года в год. Это в значительной степени способствует появлению таких услуг, как VoIP (передача голоса по интернет протоколу), видеоконференции, VoD (видео по запросу) и так далее.Тем не менее, большинство беспроводных технологий не позволяют клиентам обеспечить высокое качество обслуживания на границе зоны покрытия.В сотовых и других системмх беспроводной связи, качество связи, а также доступная скорость передачи данных, быстро уменьшается с увеличением расстояния от базовой станции (BTS).В то же время снижается качество услуг, что в конечном итоге приводит к невозможности предоставления услуг в режиме реального времени с высоким качеством по всей зонерадиопокрытия.Чтобы решить эту проблему, можно попробовать наиболее плотно установить базовые станции и организовать внутреннее покрытие всех областей с низким уровнем сигнала.Тем не менее, это требует значительных финансовых затрат, что в конечном итоге приведет к увеличению стоимости обслуживания и снижению конкурентоспособности.

Таким образом, чтобы решить эту проблему, нужно оригинальное новшество, используя, где это возможно, текущий диапазон частот и не требуется строительства новых объектов сети.

1.2 Особенности распространения радиоволн

Для того, чтобы понять принципы технологии MIMO следует рассматривать общие принципы распространения волн в пространстве. Волны, излучаемые различными системами беспроводной радиосвязи в диапазоне более 100 МГц во многом ведут себя как световые лучи. При распространении радиоволны встречая на пути какую-либо поверхность, в зависимости от материала и размера препятствий часть энергии поглощается, часть отражается, а оставшаяся - проходит насквозь. Отношение частиц, поглощенных, отраженных и прошедших насквозь частей энергии зависит от многих внешних факторов, в том числе частоты сигнала. Отраженная и прошедшая насквозь энергии сигнала может изменить направление ее дальнейшего распространение, и сигнал разделяется на несколько волн. По

вышеуказанным законам распространяющийся сигнал от источника к месту назначения после встречи с многочисленными препятствиями, разделяется на множество волн, лишь часть которых достигает приемника. Каждая из волн, дошедшая до приемника, сформировывает так называемый путь распространения сигнала, все потому, что разные волны отраженные от разного числа препятствий и проходящие разное расстояние, различные пути имеют разные временные задержки.

1.3Многолучевое распространение

В городской среде, из-за многочисленных препятствий, таких как здания, деревья, автомобили и так далее, очень часто возникает ситуация, когда между базовой станцией (BTS) иабонентским оборудованием (MS) нету прямой видимости.Здесь, чтобы сигнал достиг приемника, решением является отраженные волны.Тем не менее, как было отмечено выше, много раз отраженный сигнал больше не имеет исходной энергии который может прийти с некоторым запозданием.Так же сложность состоит в том, что объекты не всегда остаются стационарными, и ситуация может резко измениться с течением времени. Из-за этого обнаруживается проблема многолучевойпередачи сигнала - одна из самых важных проблем в системах беспроводной связи.

Чтобы бороться с многолучевойпередачей сигналов используется несколько решений. Самой распространенной технологией является ReceiveDiversity - разнесенный прием. Суть состоит в том, что используются несколько антенн (две, иногда четыре), расположенных на расстоянии друг от друга для приема сигнала. Таким родом, адресат получает не один, а два экземпляра переданного сигнала, который пришел разными путями. Что дает возможность собрать как можно больше энергии исходного сигнала, потому что волны, которые могут быть приняты одной антенной, могут быть не принятыми другой и наоборот. Вдобавок, сигналы, поступающие в противофазе к одной антенне, также могут приходить к другой синфазно. Эта схема организации радио интерфейса называется SingleInputMultipleOutput (SIMO), в противовес уже стандартной схеме SingleInputSingleOutput (SISO). Также можно применить обратный подход: это когда используется одна антенна на прием и несколько на передачу. Он также может быть использован другой подход при использовании нескольких антенн для передачи и один для приема. Благодаря этому увеличивается и общая энергия исходного канала, получаемая приемником. Такая схема получила название MultipleInputSingleOutput (MISO).В обоих схемах (SIMO и MISO) антенны устанавливаются на стороне базовой станции, потому что реализовать разнесение антенн в мобильном устройстве на достаточно большое расстояние сложно без увеличения габаритов самого оконечного оборудования. [1]

И так, мы плавно перешли к рассуждениям MultipleInputMultipleOutput (MIMO). В данном случае несколько антенн устанавливаются и на передачу, и

на прием. Тем не менее, в отличие от вышеуказанных схем, MIMOпозволяет не только бороться с многолучевым распространением сигнала,но и получить некоторые дополнительные преимущества. Из-за использования нескольких антенн на приеме и передаче каждой паре приемной/передающей антенне можно соотнести отдельный тракт для передачи информации. Наряду с этим, разнесенный прием выполняется оставшимися антеннами, данная антенна тоже выполняет функции вспомогательной антенны для других трактов передачи данных.

В результате, теоретически, но можно увеличить скорость передачи данных, как будет использоваться столько раз, сколько дополнительных антенн. Тем не менее, значительное ограничение качества каждого радиоканалу.

1.4Принцип работы MIMO

Чтобы организовать технологию MIMO нужно установить несколько антенн на приемной и передающей стороне. Как правило устанавливается одинаковое число антенн на входе и выходе систему, потому что в таком случае и достигается максимальная скорость передача данных.

Чтобы технология MIMO работала должным образом, необходимы изменения в самой структуре передатчика. Рассмотрим только один из, пожалуй, самых простых способов организовать технологию MIMO. Во-первых, на требуется передающий разделитель потока на стороне, которая будет делить данные, подлежащие передаче на несколько низкоскоростных подпотоков, количество которых зависит от количества антенн. Например, для скорости поступления 4x4 MIMO и входных данных 200 Мбит / сек создаст четыре делителя потоке 50 Мбит / с каждый. Кроме того, каждый из потоков данных, которые должны передаваться через свою антенну. Как правило, на передающих антенн установлены с некоторым пространственным разнесением, чтобы обеспечить наибольшее возможное количество побочных сигналов, которые возникают в результате многократных отражений. В одном из возможных способов организации технологии MIMO передают от каждой антенны с различными поляризациями, что позволяет ему идентифицировать при получении. Тем не менее, в простейшем случае, каждый из передаваемых сигналов является наиболее обозначенным среда передачи (задержка по времени, выцветание, и других искажений).

Несколько приемных антенн принимают сигнал из радиоэфира. Кроме того, антенна на приемной стороне также устанавливается с определенным пространственным разнесением, тем самым обеспечивая разнесенный прием, который обсуждался ранее. Полученные сигналы поступают на приемники, соответствующее количеству антенн и передающих трактов.

Причем на каждый из приемников поступают сигналы от всех антенн системы. Каждый из таких сумматоров выделяет из общего потока энергию сигнала только того тракта, за который он отвечает. Делает он это либо по какому-либо заранее предусмотренному признаку, которым был снабжен

каждый из сигналов, либо благодаря анализу задержки, затухания, сдвига фазы, т.е. набору искажений или «отпечатку» среды распространения. В зависимости от принципа работы системы (BellLaboratoriesLayeredSpace-Time - BLAST, SelectivePerAntennaRateControl (SPARC) и т.д.), передаваемый сигнал может повторяться через определенное время, либо передаваться с небольшой задержкой через другие антенны.

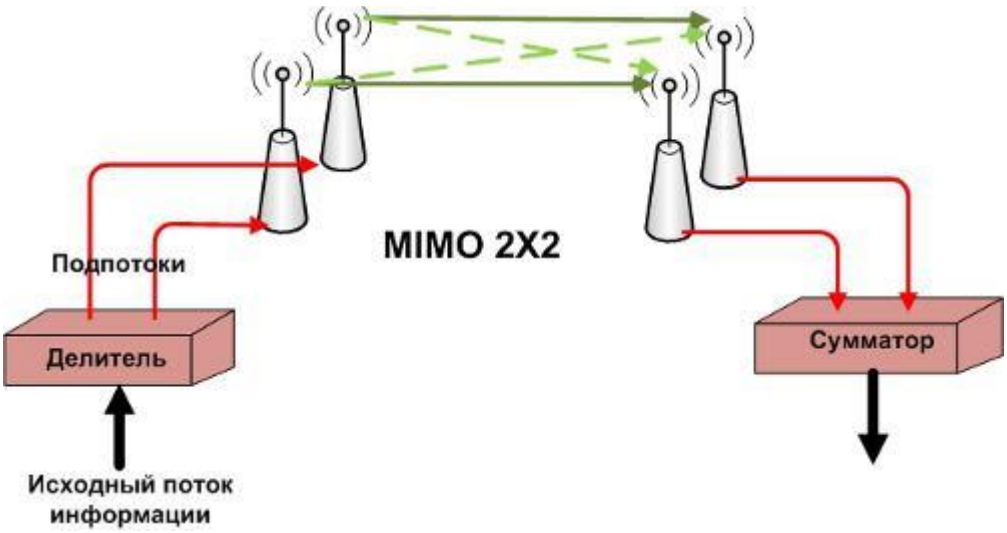


Рисунок 1.1 - Принцип организации технологии MIMO

В системе с MIMO технология может быть необычным явлением, которое состоит в том, что скорость передачи данных в системе MIMO может быть уменьшена в случае прямой видимости между источником и приемником. Это в первую очередь связано с уменьшением тяжести искажения окружающего пространства, который отмечает каждый из сигналов. В результате, на стороне приема становится проблематичным расщепленные сигналы, и они начинают оказывать влияние друг на друга. Таким образом, чем выше качество радиосвязи, тем меньше преимущества могут быть получены с помощью технологии MIMO. [1]

1.5Multi-user MIMO (MU-MIMO)

Рассмотренный выше принцип организации радиосвязи относится к так называемой Singleuser MIMO (SU-MIMO), где существует лишь один передатчик и приемник информации. В этом случае и передатчик и приемник могут четко согласовать свои действия, и в то же время нет фактора неожиданности, когда в эфире могут появиться новые пользователи. Такая схема вполне подходит для небольших систем, например для организации связи в доме офисе между двумя устройствами. В свою очередь большинство систем, такие как WI-FI, WIMAX, сотовые системы связи являются многопользовательскими, т.е. в них существует единый центр и несколько удаленных объектов, с каждым из которых необходимо организовать радиосоединение. Таким образом, возникают две проблемы: с одной стороны базовая станция должна передать сигнал ко многим абонентам через одну и ту

же антенную система (MIMO broadcast), и в то же время принять сигнал через те же антенны от нескольких абонентов (MIMO MAC – MultipleAccessChannels).

В направлении uplink – от MS к BTS, пользователи передает свою информацию одновременно на одной и той же частоте. В данном случае для базовой станции возникает сложность: необходимо разделить сигналы от различных абонентов. Одним из возможных способов борьбы с этой проблемой также является способ линейной обработки, который предусматривает предварительную кодировку передаваемого сигнала. Исходный сигнал, согласно этому способу, перемножается с матрицей, которая составляется из коэффициентов отражающих интерференционное воздействие от других абонентов. Матрица составляется исходя из текущей обстановки в радиоэфире: числа абонентов, скоростей передачи и т.п. Таким образом, перед передачей сигнал подвергается искажению обратному с тем, которое он встретит во время передачи в радиоэфире.

В downlink – направление от BTS к MS, базовая станция передает сигналы одновременно на одном и том же канале сразу к нескольким абонентам. Это приводит к тому, что сигнал, передаваемый для одного абонента, оказывает влияние на прием всех других сигналов, т.е. возникает интерференция. Возможными вариантами борьбы с этой проблемой является использование SmartAntena, либо применение новой технологии кодирования Принцип ее действия основан на анализе текущего состояния радиоэфира и числа активных абонентов. Единственный (первый) абонент передает свои данные к базовой станции без кодирования, изменения своих данных, т.к. интерференции от других абонентов нет. Второй абонент будет кодировать, т.е. изменять энергию своего сигнала так чтобы не помешать первому и не подвергнуть свой сигнал влиянию от первого. Последующие абоненты, добавляемые в систему, также будут следовать этому принципу, и опираться на число активных абонентов и эффект, оказываемый передаваемыми ими сигналами.

1.6Применение MIMO в различных современных системах

Технология MIMO в последнее десятилетие является одним из наиболее важных способов повышения пропускной способности и способности систем беспроводной связи. Рассмотрим некоторые примеры использования в различных системах связи MIMO.

Наибольший интерес представляет использование технологии MIMO в системах сотовой связи. Данная технология находит свое применение, начиная с третьего поколения систем сотовой связи. Например, в стандартеUMTS, в Rel. 6 она используется совместно с технологией HSPA с поддержкой скоростей до 20 Мбит/с, а в Rel. 7 – с HSPA+, где скорости передачи данных достигают 40 Мбит/с. Однако в системах 3G MIMO так и не нашла широкого применения.

К тому времени, когда технология MIMO развилась, шло активное распространение в мире стандарт 3G. Были попытки объединить сеть третьего поколения с технологией MIMO технологии, но широкого распространения не получили. Кроме того, внедрение MIMO в сети с низким проникновением технологией MIMO-терминалов приводит к снижению пропускной способности сети. NokiaSiemensNetworks компания разработала технологию, чтобы свести к минимуму потери пропускной способности, но он хотел показать свою эффективность только в том случае, когда проникновение технологии MIMO-терминалов составила бы не менее 40% абонентских устройств. Мобильная Сеть на базе технологии LTE, что позволило достичь значительно более высоких скоростях. Исходя из этого очевидно, что операторы были сосредоточены на скорейшем развертывании сетей LTE, чем в сетях третьего поколения.

Стандарт WiMAX имеет два выпуска, которые открывают новые возможности для пользователей, использующих технологию MIMO. Во-первых - 802.16e - предоставляет услуги мобильного широкополосного доступа. Он может передавать информацию со скоростью до 40 Мбит / с в направлении от базовой станции к UE. Тем не менее, в MIMO 802.16e рассматривается как вариант и используется в его простейшей конфигурации - 2x2. В следующем выпуске технологии MIMO 802.16m считается обязательным, с возможной конфигурации 4x4. В этом случае WiMAX уже отнести к систем сотовой связи, а именно их четвертого поколения (из-за высокой скорости передачи данных), поскольку он имеет ряд присущих особенностей сотовых сетей роуминга, передачи обслуживания, голосовых соединений. В случае портативного использования, теоретически, скорость 100 Мбит / с может быть достигнута. В фиксированной версии может достигать скорости 1 Гбит / с.

4G системы, а именно LTE, также включать в себя использование конфигураций MIMO до 8x8. Эта теория может позволить передавать данные от базовой станции к абоненту более 300 Мбит / с. Другим важным положительным аспектом является стабильное качество связи даже на границе соты. Тем не менее, даже на значительном расстоянии от базовой станции, или когда вы находитесь в удаленном помещении только будет наблюдаться небольшое снижение скорости передачи данных.

Таким образом, MIMO-технология используется практически во всех беспроводных системах передачи данных. Более того, его потенциал еще не исчерпан. в настоящее время разрабатывает новые версии конфигурации антенн, вплоть до 64x64 MIMO. Это позволит обеспечить будущее еще более высокие скорости передачи данных, пропускной способности сети и эффективность использования спектра.

В различных реализациях технологии MIMO понимается одновременная передача в одном физическом канале нескольких независимых Сообщений. Для реализации мероприятий, используются многобашенные MIMO системы,

на передающей стороне состоит из Nt передающих антенн, а на приемной стороне Nr приемных.

Угол поляризации позволяет каналам быть равными, поскольку горизонтальная-вертикальная ориентация излучателей одной из поляризационных составляющих неизбежно получила бы большее затухание при распространении вдоль земной поверхности. Сигналы, излучаемые независимо друг монополя, взаимно ортогональных поляризованных с достаточно высокой взаимной изоляции в кросс-поляризационной составляющей (не менее 20 дБ). Аналогичная антенна используется на приемной стороне. Такой подход позволяет одновременно передавать сигнал с той же несущей, модулируя по-разному. Принцип поляризационного разделения обеспечивает вдвое большую пропускную способность беспроводного соединения по сравнению со случаем одиночного монополя (в идеальных условиях прямой видимости с одинаковой направленности приемной и передающей антенн). Таким образом, по сути любой системы с двойной поляризацией можно рассматривать как системы MIMO.

Сегодня можно отметить стремительный рост объема трафика в сетях мобильной связи 4 поколения, и оказывать необходимую скорость для всех абонентов, операторам приходится искать различные методы, чтобы увеличить скорость передачи данных и повысить эффективность использования частотного ресурса. Технология MIMO позволяет также доступную пропускную способность передавать в 2 раза больше данных за аналогичный период времени в качестве альтернативы 2×2. Если вы используете антенну осуществления 4x4, к сожалению, Максимальная скорость скачивания информации будет достигать 326 Мбит / с, а не 400 Мбит / с, как это предложил теоретический расчет. Это связано с передачей через 4 антенн. Каждая антенна, выделяемая определенным ресурсом элементов (Re) для передачи опорного символа. Они должны были организовать когерентной демодуляции, и оценки каналов. Расположение этих Re показано на рисунке 1.2. Передающей антенны присваиваются номера логических антенных портов. Символов, с надписью P0, сообщает порт 0, символы P1 – порт 1 и т. д. В конце концов, 14,3% от всех вновь выделенных для передачи опорных символов, следовательно, разница между теоретической и практической скоростью.

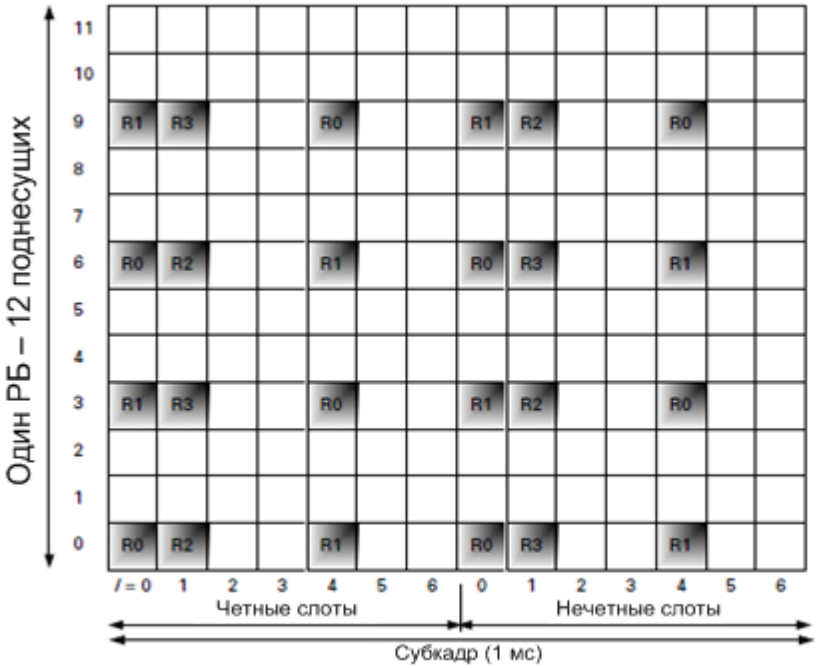


Рисунок 1.2 – Расположение Re для передачи опорного символа

Итак, MIMO зарекомендовала себя как перспективная технология для построения мобильных систем широкополосного радиодоступа со скоростями в сотни Мбит/с.

Последнее десятилетие характеризуется бурным развитием мобильных коммуникационных технологий. В условиях роста количества абонентов мобильной связи, остро стоит вопрос о повышении скорости передачи информации по мобильным сетям. Теоретические исследования последних лет показали высокую эффективность систем связи с многоатомными передающими и приемными устройствами, в которых между приемником и передатчиком устанавливает канал со многими входами и многими выходами (несколько входов несколько выходов в канале). MIMO систем позволяют значительно расширить возможности мобильных телекоммуникационных систем.

Система связи технология MIMO (технология беспроводной связи с несколькими входами и несколькими выходами) дает возможность увеличения спектральной эффективности полосы пропускания и улучшения качества обслуживания.

Был проанализирован канал с применением технологии МИМО различных конфигураций

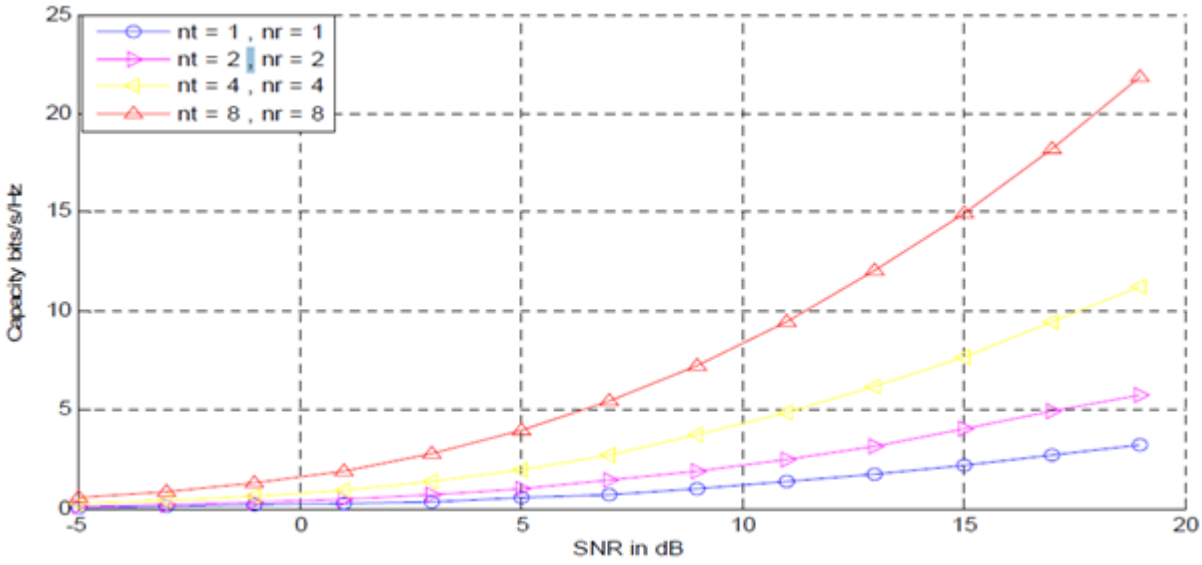


Рисунок 1.3 – Зависимость мощности передатчика от числа антенн

Эффективность MIMO систем сильно зависит от базовых условий распространения радиоволн. Пространственные характеристики радиоканала оказывают существенное влияние на эффективность MIMO систем. Показано что технология MIMO использует интер-лучевые эффекты в виде пространственного разнообразия значительно улучшают отношение сигнал-шум путем объединения выходов де-коррелированных антенных решеток с низким взаимно коррелированным замиранием.

Большое преимущество технологии MIMO может быть достигнуто путем низкой пространственной корреляции. Разделение антенн, в контексте длины волны рабочей частоты, оказывает существенное влияние на пространственную корреляцию. Добиться снижения корреляции замираний, расстояния между антеннами должна быть большой. Малые размеры беспроводных устройств ограничивают большое расстояние между антеннами, которое зависит от длины волны рабочей частоты. Альтернативным решением для достижения уменьшения корреляции является использование антенных решеток с кросс-поляризацией (т. е. антенные решетки с ортогональными или приблизительно ортогональной поляризации).

Настоящая MIMO систематребует полного знания коммуникационного канала. Для того чтобы с уверенностью говорить о заявленных скоростей передачи данных для MIMO систем, необходимо оценить импульсную характеристику каждого канала. Для этих целей каналы между передающей и приемной антеннами все должны быть оценены одновременно, а не последовательно.

Оценка частотно-селективной технологии MIMO каналов, основанный на переносе обучения (или пилот) последовательностей. Для классической системы с одной передающей и одной приемной антенны необходимо оценить один канал. Для системы MIMO с NT передающих и NR приемных антенн оценивается HT×HP каналов, что влечет за собой увеличение количества

пилотных символов. Предполагая, что передаваемый кадр имеет постоянной длины, состоящий из полезных данных и пилотные символы, классический одноименной системе обучения последовательность занимает лишь незначительную часть всего кадра. В случае MIMO и только малая часть рамы полезной нагрузки.

Система MIMO может использоваться либо для подавления влияния сигнала либо дляувеличения пропускной способности. В целом существует три типа многоантенных систем: пространственного разнесения, пространственного мультиплексирования и формирования луча.

Пространственное разнообразие-это метод, который улучшает энергетическую эффективность за счет максимального сокращения повторных передач. Используя такие методы, как задержка разнообразие, пространственно-временное блочное кодирование (Space-TimeBlockCodes, STBC) и пространственно-временного решетчатого кодирования (Space-TimeTrellisCodes, STTC).

В среде с сильными эффектами многолучевого распространения сигнала в радиоканале меняется очень быстро и по времени, и в зависимости от длины пути распространения. Сильная власть затухание сигнала на приемной стороне, называется многолучевого замирания. Чтобы подавить этот эффект часто используется многообразие антенн. Расстояние между антеннами для компенсации замираний из-за добавления нескольких копий одного и того же сигнала на два или более каналов, в которых выцветание происходит независимо друг от друга. Например, в системе СИМО разнообразия приемных антенн повышает производительность системы, если приемник оптимально сочетает в себе сигналы от нескольких антенн таким образом, что амплитуда результирующего сигнала было меньше изменений по сравнению с амплитудой сигнала от какой-либо конкретной антенны. Разделение, также называемая кратность разнесения, равным числу приемных антенн в системах СИМО, характеризуется Число каналов с независимыми замираниями. Важно отметить, что если замираниями каналы не являются независимыми, расстояние между антеннами не улучшит характеристики системы.

Недавно активной областью исследований является разделение передающих антенн, используемых для МИСО. Если каналы между каждой передающей и приемной антеннами одного независимы друг от друга увядать характеристик, множественность разнообразия, равное числу передающих антенн. Если передатчик не настроен на требуемые характеристики канала, можно получить победу, когда это возможно, но с помощью специально сформированных в передаче сигналов.

Эволюция во времени систем MIMO от ранних версий, где используется обычное разнесение, до многосотовых многопользовательских систем MIMO с кооперацией показана на рисунке

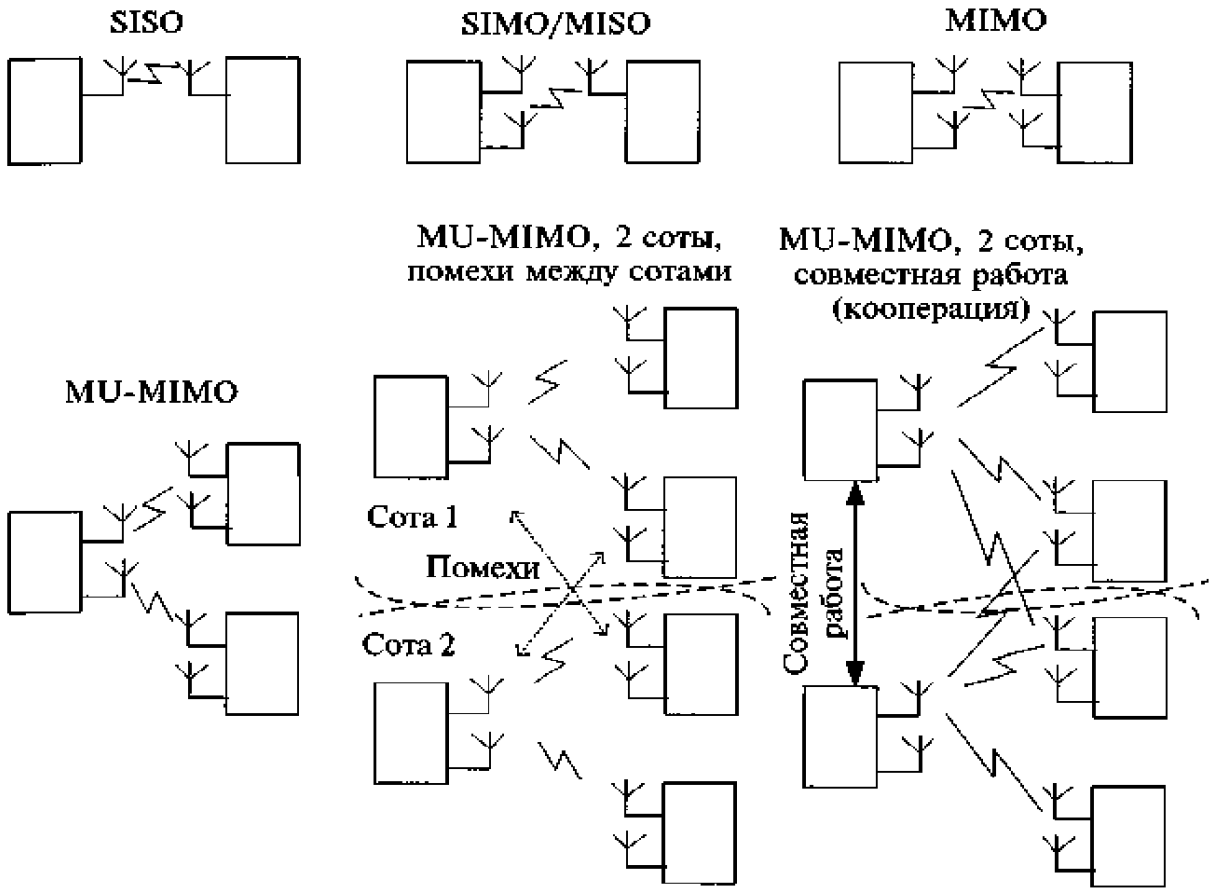


Рисунок 1.4–Различные конфигурации МИМО

Рассмотрим основные отличия между однопользовательскими и многопользовательскими системами MIMO. В многопользовательской системе MIMO из общего числа L активных абонентов выбирается K абонентов, которые используют один и тот же частотно-временной ресурс для связи с базовой станцией данной соты. Каждая абонентская станция имеет J антенн, и, таким образом, общее число антенн у всех этихKабонентских станций составляет $M = KJ$. Если мы имеем на базовой станции N антенн, то максимальное число пространственных каналов канала MIMO составляет $\min\{M,N\}$. В то же время число пространственных каналов, которые могут быть выделены одному абоненту, ограничено числом антенн J mна абонентской станции, В случае, если на абонентской станции имеется одна антенна $(J = 1)$, базовая станция может выделить один отдельный пространственный канал каждому изK $(K \leq N)$ абонентов.

В однопользовательской системе MIMO ситуация другая. В такой системе все N пространственных каналов могут быть выделены базовой станцией только одному абоненту и при этом число антенн у абонентской станции J должно быть не меньше N $(J \leq N)$. Таким образом, многопользовательская система MIMO имеет очевидное преимущество перед однопользовательской системой MIMO благодаря тому, что позволяет использовать относительно простые абонентские станции с одной антенной.

Еще одно важное различие между однопользовательскими и многопользовательскими системами MIMO заключается в следующем. В однопользовательской системе MIMO наиболее высокая пропускная способность достигается в канале MIMO с некоррелированными по пространству замираниями. В реальных системах связи такая благоприятная ситуация имеет место далеко не всегда. В то же время в многопользовательской системе MIMO замирания в пространственных каналах, связывающих базовую станцию и выделенных абонентских станций, почти всегда являются некоррелированными.

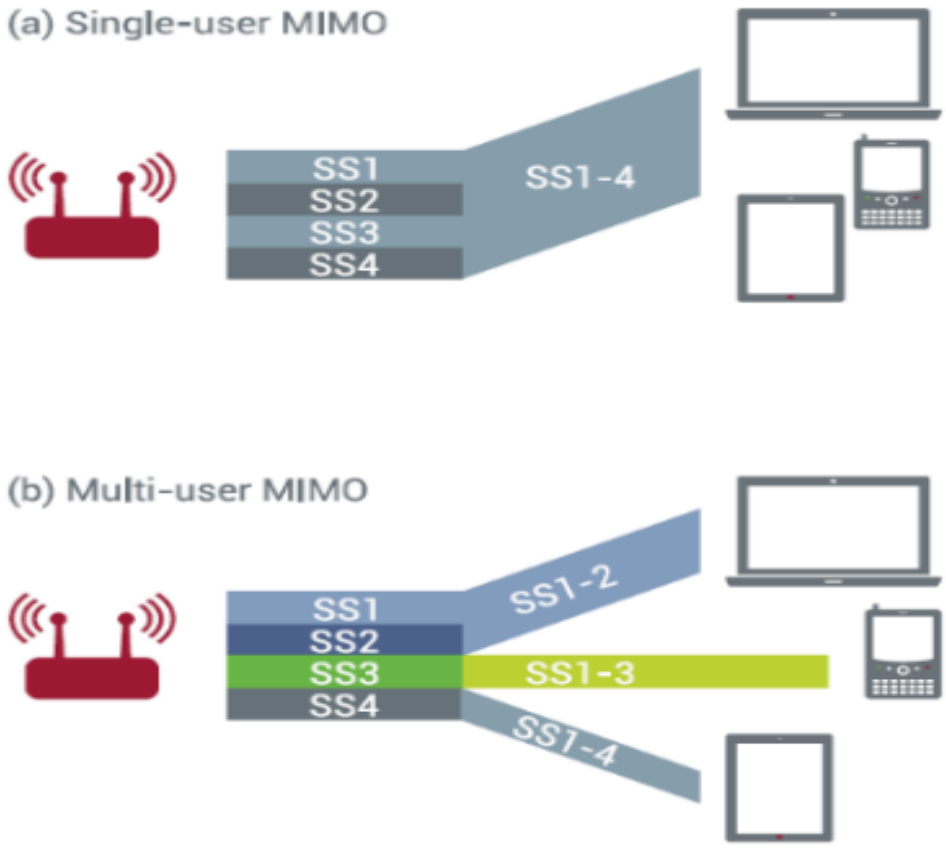


Рисунок 1.5 - Отличия в работе SU-MIMO и MU-MIMO

1.7Сравнение сетей WIMAX&LTE

Следующим шагом в развитии систем 3GPP, стратегическим шагом являются (LTE) системы LongTermEvolution. Они отличаются по технологии OFDMA в нисходящей линии связи и SC-FDMA - восходящей линии связи. Модуляция - для 64QAM, ширина канала - 20 МГц, дуплекса TDD и FDD. Прикладные адаптивных антенных систем, гибкая сеть доступа. Сетевая архитектура - это сеть полностью IP-основе. В системе LTE использует технологию и методы уже используются в мобильных WiMAX, так что мы должны ожидать подобную эффективность систем LTE (табл. 2 и 3). Следует

отметить, что система LTE - революционное улучшение 3G. LTE представляет собой переход от систем CDMA к OFDMA систем, а также при переходе от системы с коммутацией каналов для системы коммутации IP-пакетов. Таким образом, реализация существующих LTE сетей мобильной связи требует как минимум новых радиоресурсов для получения выгоды от широкого канала. Кроме того, для обеспечения обратной совместимости требует двойной режим абонентских устройств. Таким образом, плавный переход от 3G к LTE систем является проблематичным.

Таблица 1- Сравнение параметров LTE и мобильного WiMAX

Параметры	LTE				WiMAX Релиз 1.5	
	Motorola		T-Mobile	Qualcomm		
Нисходящий канал						
Антенна БС	2×2	4×4	2×4	4×2	2×2	4×4
Модуляция и скорость кодирования	64QAM, 5/6		64QAM, 5/6	64QAM, нет данных	64QAM, 5/6	
Скорость, Мбит/с	117	226	144	277	144,6	289
Восходящий канал						
Антенна АС	Нет данных		1×2	1×2	1×2	
Модуляция и скорость кодирования			64QAM	16QAM	64QAM, 5/6	
Скорость, Мбит/с			50,4	75	69,1	

Дальнейшее развитие мобильного WiMAX Release 2.0 спецификации описаны. Она основана на стандарте IEEE 802.16m, который отражает требования IMT-Advanced. В соответствии с ними, по сравнению с WiMAX Release 1.0 в два раза увеличить параметры спектральной эффективности в нисходящей линии связи (2,6 бит / с / Гц) и восходящей линии связи (1,3 бит / с / Гц) каналов (рис.1) .Эта параметр удвоится и границу базовая ячейка и от 0,05 до 0,09 бит / с / Гц для нисходящего и восходящего каналов соответственно. Будет ли это возможно в течение более 60 одновременных голосовых сессий МГц для голосового кодека AMR (12,2 кбит / с). Вы расширится режим канала за счет интеграции отдельных полос частот, как соседний, или нет (до 100 МГц). Допустимая скорость перемещения подвижных терминалов увеличится до 500 км / ч. Сокращение времени установлено соединение, общая задержка сети радиосвязи и времени коммутации при передаче обслуживания. Это обеспечивает полную обратную Совметимость с WiMAX Release 1.0 и 1.5 систем. Обратите внимание, что преимущество в средних спектральных повышения эффективности в стоимости развертывания сети (в том числе определенное значение по отношению к пропускной способности). Кроме того, увеличение пропускной

способности канала, что позволяет операторам вводить дополнительные услуги. Мобильный WiMAX является гладкой IP-сети, сеть LTE является более сложным. Если WiMAX сеть, основанная исключительно на IP-основе в IETF, сеть LTE является более сложным, включает в себя несколько протоколов, в том числе - 3G собственные протоколы. Важно, что интеллектуальная собственность в области технологии WiMAX, соответствующие патенты распределены среди многих компаний, которые создали Open Patent Alliance, что позволяет снизить цены на абонентских устройств.

Таблица 2 – Сравнение параметров LTEи WIMAXрелиз 1.5

Параметры	LTE	WiMAX Релиз 1.5
Дуплексирование	FDD и TDD	FDD и TDD
Частотный диапазон для анализа	2000 МГц	2500 МГц
Ширина канала	до 20 МГц	до 20 МГц
От базы	OFDMA	OFDMA
К базе	SC-FDMA	OFDMA
Спектральная эффективность, бит/Гц/с		
нисходящий канал, MIMO (2×2)	1,57	1,59
восходящий канал, SIMO (1×2)	0,64	0,99
Максимальная скорость мобильной станции, км/ч	350	120
Длительность кадра, мс	1	5
Антенные системы		
нисходящий канал	2×2, 2×4, 4×2, 4×4	2×2, 2×4, 4×2, 4×4
восходящий канал	1×2, 1×4, 2×2, 2×4	1×2, 1×4, 2×2, 2×4

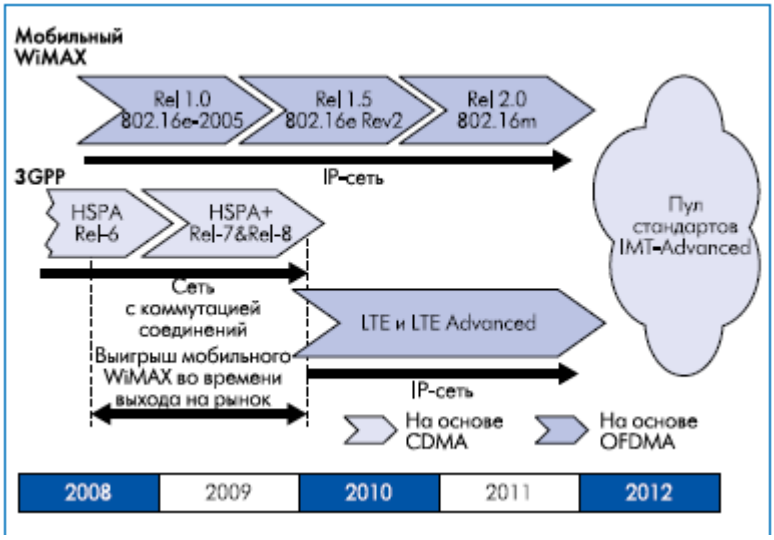


Рисунок 1.6 – Эволюция сетей 3G

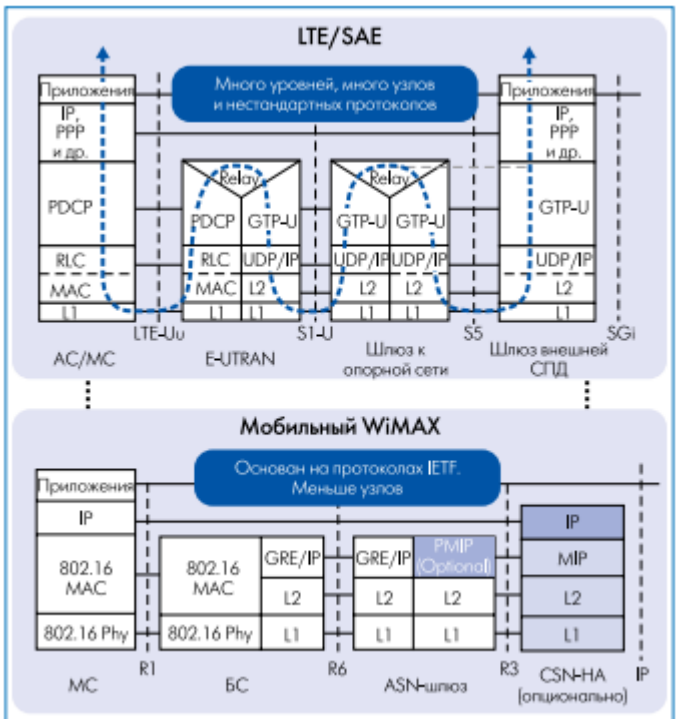


Рисунок .1.7 – Сравнение системных архитектур LTE и WIMAX

Но самое главное преимущество мобильного WiMAX – время выхода на рынок (рис.1.8). Ряд сетей мобильного WiMAX уже введены в коммерческую эксплуатацию. При том, что объем инвестиций для апгрейда уже существующих 3G-сетей в сети LTE сравним с затратами на развертывание WiMAX-сетей, фактор времени, а именно выигрыш в 2–3 года, становится решающим при выборе технологий 4G. Таким образом, можно в целом говорить, что с технической точки зрения и WiMAX, и LTE представляют собой примерно одинаковый класс систем.

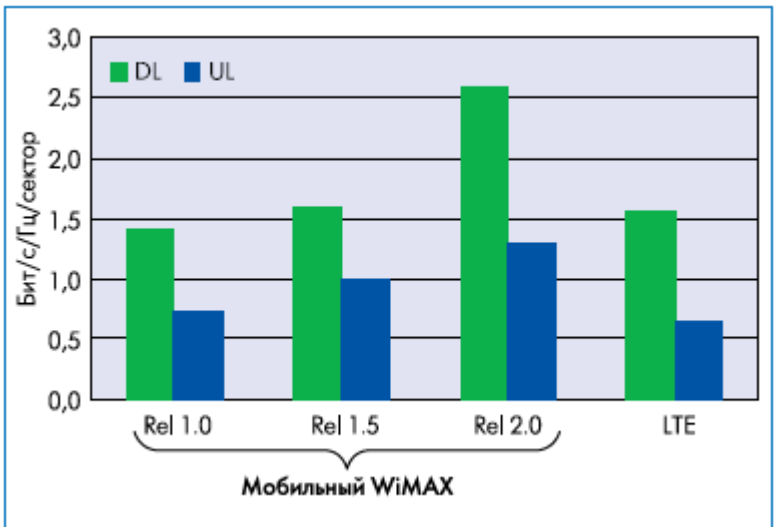


Рисунок 1.8 – Сравнительная диаграмма спектральной эффективности LTEиWIMAX

Рисунок 1.9 – Сравнение средней спектральной эффективности

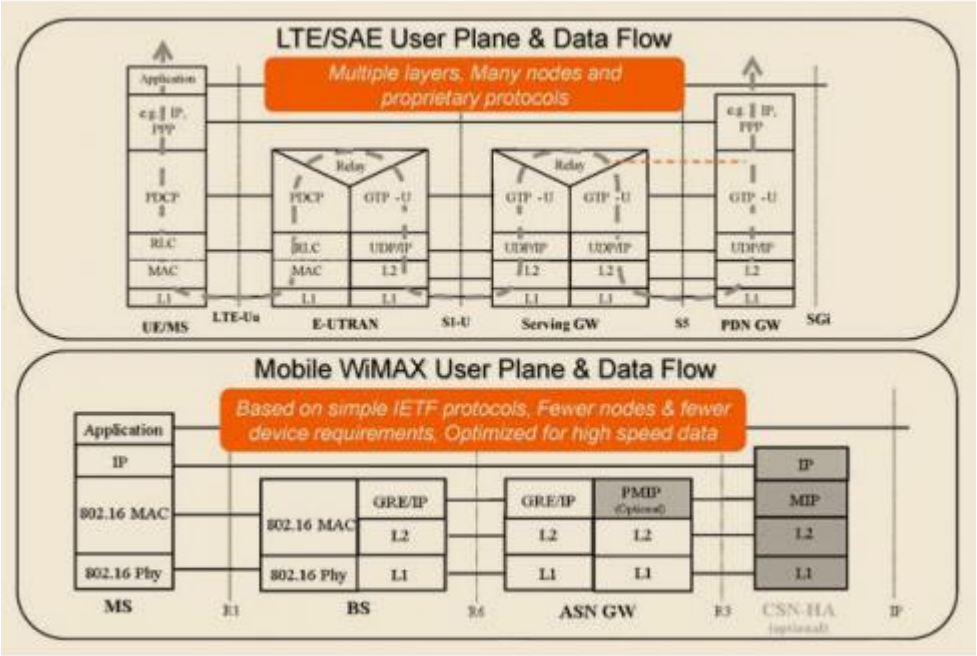


Рисунок 1.10 – Сравнение системных архитектур сетей WiMax и LTE

Если сеть WiMAX основывается полностью на IP протоколах IEEE, то сеть LTE более сложна, включает больше протоколов, в том числе проприетарные протоколы 3G.

2 Расчетная часть

Первоначальное планирование сети LTE производится по следующему алгоритму:

а) определение бюджета канала (с учетом технических характеристик аппаратуры определяем максимальные потери при распространении);

б) оценка покрытия (количество сайтов, которые должны быть развернуты для обеспечения покрытия);

в) частотное планирование (полоса канала, диапазон сети);

г) оценка емкости (количество сайтов, которые должны быть развернуты в соответствии с требованиями емкости).

На первом этапе производится оценка энергетического бюджета потерь или максимально допустимых потерь (МДП) на линии. МДП рассчитывается как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) передатчика и минимально необходимой мощностью сигнала на входе приемника, при которой с учетом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике.

Эквивалентная изотропная излучаемая мощность определяется как мощность, которую необходимо подать на изотропную антенну для того, чтобы получить в точке приема точно такое же поле, которое будет получено в ней при помощи антенны с коэффициентом усиления *G*, на вход которой подана мощность $P_{прд}$.

$$P_{ЭИИМ} = P_{прд.} + G_{прд.} + G_{прдан.} - L_{прд.ф}$$

Система LTE работает в диапазоне частот 1800 МГц с шириной полосы канала 20 МГц по принципу частотного разделения каналов FDD, т.е. системная полоса будет разделяться на два канала по 10 МГц для линии вверх (UL) и линии вниз (DL).

2.1 Расчет потерь

Энергетические параметры Downlink:

Выходная мощность БС, дБм	41;
Коэффициент усиления антенны БС, дБи	18;
Коэффициент усиления антенны МС, дБи	0;
Потери кабеля (зависят от типа кабеля, применяемого между RF и BBU в базовой станции. В нашем случае- оптоволоконный кабель), дБ	0,5;
Выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ	3;
Мощность теплового шума, дБм	-104,4;
Требуемое отношение сигнал-шум, дБ	19;
Коэффициент шума приемника, дБ	7;

Запас на помехи, дБ	8,51;
Запас на проникновение в помещение, дБ	17;
Запас на затенение, дБ	8,7;
Выигрыш от хэндовера, дБ	2,5.

Энергетические параметрыUplink:

Выходная мощность МС, дБм	18;
Коэффициент усиления антенны БС, дБи	18;
Коэффициент усиления антенны МС, дБи	0;
Потери в кабеле, дБ	0;
Выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ	0;
Мощность теплового шума, дБм	-118,4;
Требуемое отношение сигнал-шум, дБ	0,61;
Коэффициент шума приемника, дБ	2,5;
Запас на помехи, дБ	3,8;
Запас на проникновение в помещение, дБ	17;
Запас на затенение, дБ	8,7;
Выигрыш от хэндовера, дБ	2,5.

По формуле (3.1) рассчитаем эффективно изотропно излучаемую мощность.

Для линии вниз DL:

$$P_{ЭИИМ} = 41 + 3 + 18 - 0,5 = 61,5 \text{ дБм}.$$

Для линии вверх UL:

$$P_{ЭИИМ} = 18 + 0 + 0 – 0 = 18\text{дБм}.$$

Найдем чувствительность приемника

$$S_{прм} = P_N + M_{SNR} + L_N, \qquad (3.2)$$

$$S_{прмDL} = -104,4 – 0,24 +7 = -97,6 \text{ дБм},$$

$$S_{прмUL} = -118,4 +0,61 +2,5 = -115,29 \text{ дБм}.$$

Общее затухание по энергетическим характеристикам рассчитывается:

$$L_{сум.} = P_{ЭИИМ} – S_{прм} + G_{прман.} – L_{прман.} – M_{проник.} – M_{помехи} – M_{затен.} + \\ +G_{хэнд.}. \qquad (3.3)$$

Для нисходящего потока DL

$L_{сум \cdot DL}$ = 61,5 + 97,6 – 0 – 0,5 – 17 – 8,51 – 8,7 + 2,5 = 126,89 дБ.

Для восходящего потока UL

$L_{сум \cdot UL}$ = 18 + 115,29 +18 – 0 – 17 – 3,8 – 8,7 + 2,5 = 124,29 дБ.

Распространение радиоволн зависит от следующих факторов:

-положения антенны передающей радиостанции;

-рельефа местности;

-типа поверхности земли, на которой размещается система связи.

Местность оказывает существенное влияние на потери напряженности поля радиосигналов в месте введения. Поскольку антенна станции находятся в непосредственной близости к земле, а затем на радиотрасс неизбежно появляются крупномасштабные объекты, которые ограждают приемные антенны от трансмиссии, что затрудняет или полностью устраняющие условия прямой видимости. Чем более пересеченную местность, тем большее влияние она оказывает на условия линии видимости станции. Для расчета скорректированного радиотени от больших участков протяженных объектов, используемых, как известно из теории дифракции формул зон Френеля. Ослабление поля сигнала, таким образом, зависит не только от размера просвета трассы радиосвязи, но и от расстояния до объекта скрининга.

Зона покрытия радиосвязи должны быть предусмотрены практически в любой точке расположения мобильной станции. Это достигается не только координировать размещение базовых станций, но и выбор высоты поднимают антенны, преобладающие на площади и учитывать основные направления радиотрасс. Использование направленных антенн, диаграмма направленности которых частично перекрываются, позволяет создать круговую диаграмму ориентации базовой станции. Кроме того, возможность изменения излучаемой мощности и он автоматически приспосабливаться к каждому отдельному субканалов.

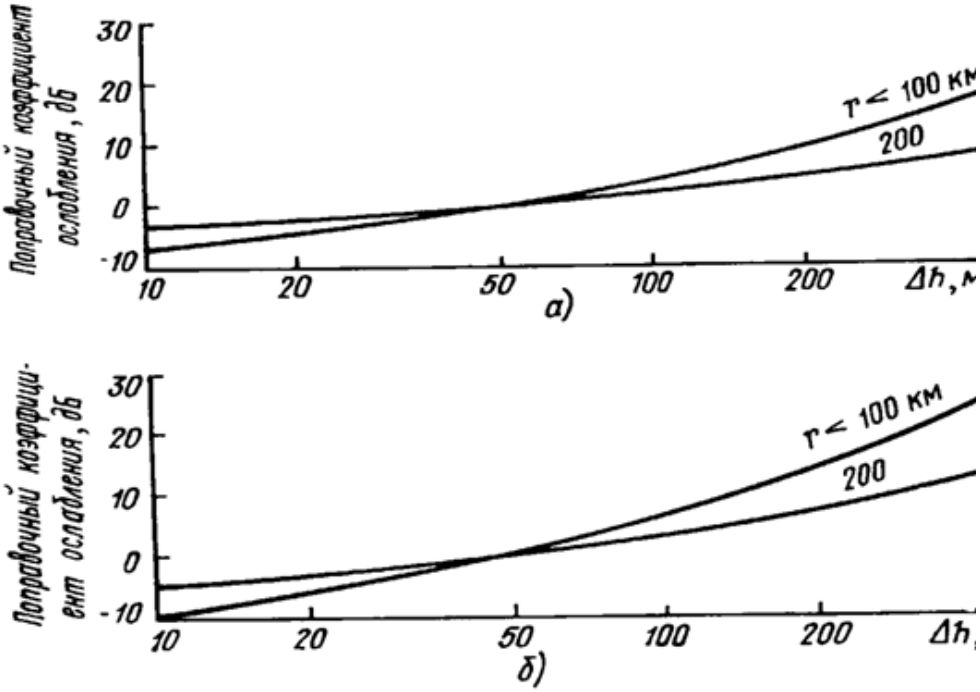
Знание рельефа местности (по картам) позволит избежать установки антенны БС в таких неподходящих местах, как низина, относительно ровный участок, перед которым находится холм, гора и пр.

Определим поправку, учитывающую реальный рельеф

местности между базовой и абонентской радиостанциями $L_{рел}$. Эта поправка определяется как функция максимального перепада рельефа Δh на расстоянии между базовой и абонентской радиостанциями. Эта величина оценивается от –5 дБ при условиях прямой видимости до примерно +5 дБ при перепаде высот Δh более 200 м.

Δhопределяется как разница высот(отметок)местности между самойвысокой возвышенностью и самой глубокой впадиной на участке распространения в данном направлении

Определим рельеф местности Медеуского района г. Алматы, используя карту GoogleEarth.



-

Рисунок 3.1 - График для определения поправки, учитывающей рельеф местности

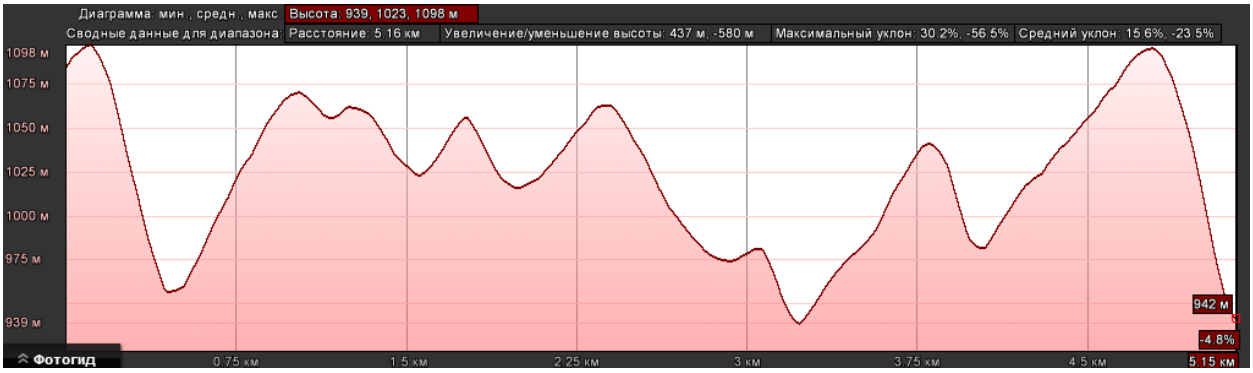


Рисунок 2.2–Рельеф в направлении Северо-Восток

$h_{max} = 1098,$

$h_{min} = 939.$

Δh=1098-939=159 м.

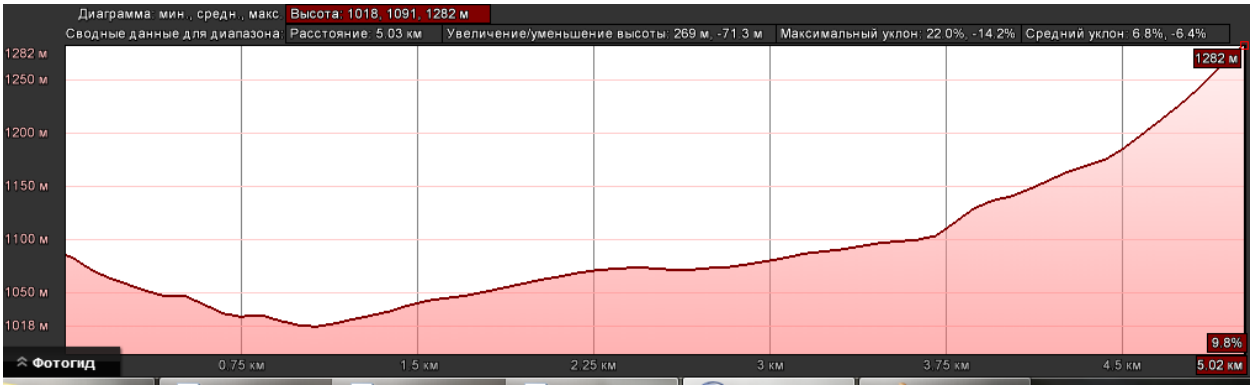


Рисунок 2.3 – Рельеф в направлении Юг

$h_{max} = 1282,$
$h_{min} = 1018.$

Δh=1282-1018=264 м.

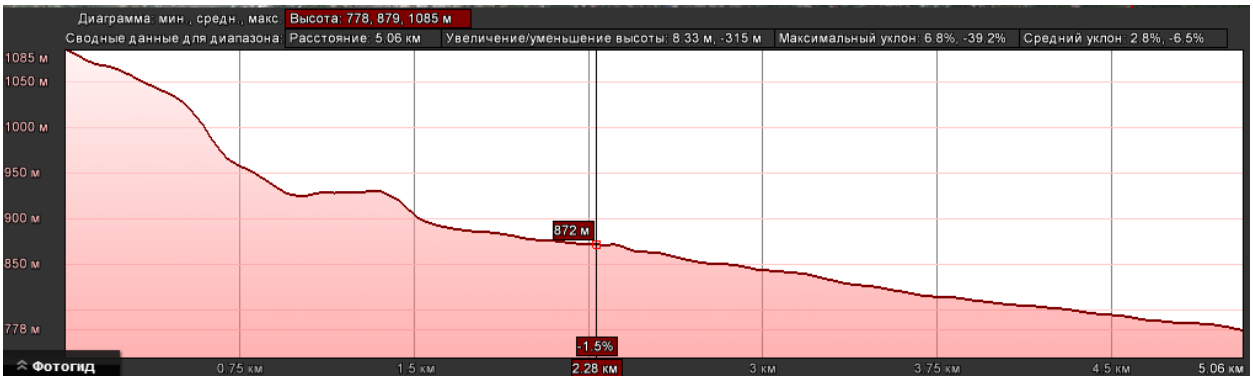


Рисунок 2.4 – Рельеф в направлении Северо-Запад

$h_{max} = 1085,$
$h_{min} = 778.$

Δh=1085-778=307 м.

Поправки, учитывающие рельеф местности в направлениях на Северо-Запад, Северо-Восток и Юг:

$$L_{\text{рел}} = \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{-10 - 18}{2} = -14.$$

Суммарное затухание радиоволн как потери распространения для соответствующего типа местности L_P и поправки, учитывающей рельеф местности $L_{РЕЛ}$

$$L_{\Sigma} = L_{P} + L_{РЕЛ}. \quad (3.4)$$

Тогда найдем затухание для соответствующего типа местности

$$L_{p} = L_{\Sigma} - L_{РЕЛ}. \quad (3.5)$$

Линия вниз DL в направлениях на Северо-Запад, Северо-Восток и Юго-Запад:

$$LP=126,89+14=140,89 дБ.$$

Линия вверх UL в направлениях на Северо-Запад, Северо-Восток и Юго-Запад:

$$LP=124,29+14=138.29 дБ.$$

Зная затухание для соответствующего рельефа, с помощью модели COST231-Хата найдем дальность связи.

2.2 Расчет дальности связи с использованием модели COST231-Хата для LTE

Модель COST231-Хата справедлива для несущих частот в диапазоне от 1,5 до 2 ГГц, высоте антенны базовой станции от 30 до 200 м, высоте антенны подвижной станции от 1 до 10 м и расстоянию между ними от 1 до 20 км. Модель позволяет оценивать затухание по формуле:

$$L_P=46.3+33.9\lg(f_0)-13.83\lg(h_b)-a(h_m)+\left[44.9-6,55\lg(h_b)\right]\lg r+C, \quad (3.6)$$

где C– постоянная: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью $C = 0$ и для центров крупных городов $C = 3$.

Данными формулами можно пользоваться, если выполняются следующие условия:

- f_0:от1500до2000МГц;
- h_b:от15до200м;
- h_m:от1до10м;
- r :от1до20км.

Нисходящая линия Downlink

Примем f_0= 1910 МГц, h_b = 25 м, h_m = 5 м, C=3

$$a(h_m) = (1.1\ log\ f_0 - 0.7)\cdot h_m - (1.56\ log\ f_0 - 0.8) \quad (3.7)$$

$$a(h_m) = (1.1\ \log 1910 - 0.7)\cdot 3 - (1.56\ \log 1910 - 0.8) = 4.64$$

Из формулы (3.6) выразим дальность связи r:

$$r = 10^{\frac{L_p - 46.3 + 13.831\lg(h_b) - 33.9\lg(f) + a(h_m) - C}{(44.9 - 6.55 lg h_b}}$$

$$r = 10^{\frac{140.89 - 46.3 + 13.831\cdot\lg(25) - 33.9\cdot\lg(1910) + 4.64 - 3}{(44.9 - 6.55\lg 20)}} = 1.069 \text{ км.}$$

Восходящая линия Uplink

Примемf_0=1850МГц, h_b = 25м, h_m = 5м, C=3

$$a(h_m) = (1.1\ \log 1850 - 0.7)\cdot 3 - (1.56\ \log 1850 - 0.8) = 4.39$$

$$r = 10^{\frac{138.29 - 46.3 + 13.831\cdot\lg(25) - 33.9\cdot\lg(1850) + 4.39 - 3}{(44.9 - 6.55 lg 25)}} = 1.075 \text{ км.}$$

2.3 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей

Скорость передачи в канале LTE для «близких» (в центре соты) пользователей (Мбит/с):

$$R1(u) = \frac{4}{7} W log_2\big(1 + \eta 1(u)\big). \quad (2.6)$$

Для «далеких» (на границе соты) пользователей:

$$R2(u) = \frac{3}{7} W log_2\big(1 + \eta 2(u)\big), \quad (2.7)$$

где W – полоса системы, МГц;
η – SINR.

Таблица 2.4 - Исходные данные

Обозначения	Значения
W, МГц,	10
η1(u)	5
η2(u)	0.5

Скорость передачи для пользователей в центре соты:

$$R1(u) = \frac{4}{7} 10log_2(1+5) = 14.771 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}},$$

а скорость передачи для пользователей на границе соты

$$R2(u) = \frac{3}{7} 10log_2(1+0.5) = 2.507 \frac{\text{Мбит}}{c}.$$

2.4 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей с технологией MIMO 4×4

В данном случае будем применять технологию MIMO 4×4. Это означает, что полоса системы будет составлять W = 4×W = 40 МГц.

Таблица 2.5 - Исходные данные

Обозначения	Значения
W, МГц,	40
η1(u)	5
η2(u)	0.5

Скорость передачи для пользователей в центре соты:

$$R1(u) = \frac{4}{7} 40log_2(1+5) = 59.085 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}},$$

а скорость передачи для пользователей на границе соты:

$$R2(u) = \frac{3}{7} 40log_2(1+0.5) = 10.028 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}}.$$

2.5 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей с технологией MIMO 8×4

В данном случае будем применять технологию MIMO 8×4. Это означает, что полоса системы будет составлять W=8×W=80 МГц.

Таблица 2.6 - Исходные данные

Обозначения	Значения
W, МГц,	80
η1(u)	5
η2(u)	0.5

Скорость передачи для пользователей в центре соты:

$$R1(u) = \frac{4}{7}80log_2(1+5) = 118.17\frac{\text{Мбит}}{c},$$

скорость передачи для пользователей на границе соты:

$$R2(u) = \frac{3}{7}80log_2(1+0.5) = 20.056\frac{\text{Мбит}}{\text{с}}.$$

2.6 Расчет потерь для WiMax

Энергетические параметры Downlink:

Выходная мощность БС, дБм 36;

Коэффициент усиления антенны БС, дБи 18;

Коэффициент усиления антенны МС, дБи 0;

Потери кабеля (зависят от типа кабеля, применяемого между RF и BBU в базовой станции. В нашем случае- оптоволоконный кабель), дБ 0,5;

Выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ 3;

Мощность теплового шума, дБм -104,4;

Требуемое отношение сигнал-шум, дБ 19;

Коэффициент шума приемника, дБ 7;

Запас на помехи, дБ 8,51;

Запас на проникновение в помещение, дБ 17;

Запас на затенение, дБ 8,7;

Выигрыш от хэндовера, дБ 2,5.

Энергетические параметрыUplink:

Выходная мощность МС, дБм 16;

Коэффициент усиления антенны БС, дБи 18;

Коэффициент усиления антенны МС, дБи 0;

Потери в кабеле, дБ 0;

Выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ 0;

Мощность теплового шума, дБм -118,4;

Требуемое отношение сигнал-шум, дБ 0,61;

Коэффициент шума приемника, дБ 2,5;

Запас на помехи, дБ 3,8;

Запас на проникновение в помещение, дБ 17;
Запас на затенение, дБ 8,7;
Выигрыш от хэндовера, дБ 2,5.

По формуле (3.1) рассчитаем эффективно изотропно излучаемую мощность.

Для линии вниз DL:

$$P_{ЭИИМ} = 36 + 3 + 18 - 0,5 = 56,5 \text{ дБм.}$$

Для линии вверх UL:

$$P_{ЭИИМ} = 16 + 0 + 0 – 0 = 16 \text{дБм.}$$

Найдем чувствительность приемника

$$S_{прм} = P_N + M_{SNR} + L_N, \quad (3.2)$$

$$S_{прмDL} = -104,4 – 0,24 +7 = -97,6 \text{ дБм,}$$

$$S_{прмUL} = -118,4 +0,61 +2,5 = -115,29 \text{ дБм.}$$

Общее затухание по энергетическим характеристикам рассчитывается

$$L_{сум.} = P_{ЭИИМ} – S_{прм} + G_{прман.} – L_{прман.} – M_{проник.} – M_{помехи} – M_{затен.} + +G_{хэнд.}. \quad (3.3)$$

Для нисходящего потока DL

$$L_{сум \cdot DL} = 56,5 + 97,6 – 0 – 0,5 – 17 – 8,51 – 8,7 + 2,5 = 122,89 \text{ дБ.}$$

Для восходящего потока UL

$$L_{сум \cdot UL} = 16 + 115,29 +18 – 0 – 17 – 3,8 – 8,7 + 2,5 = 122.29 \text{ дБ.}$$

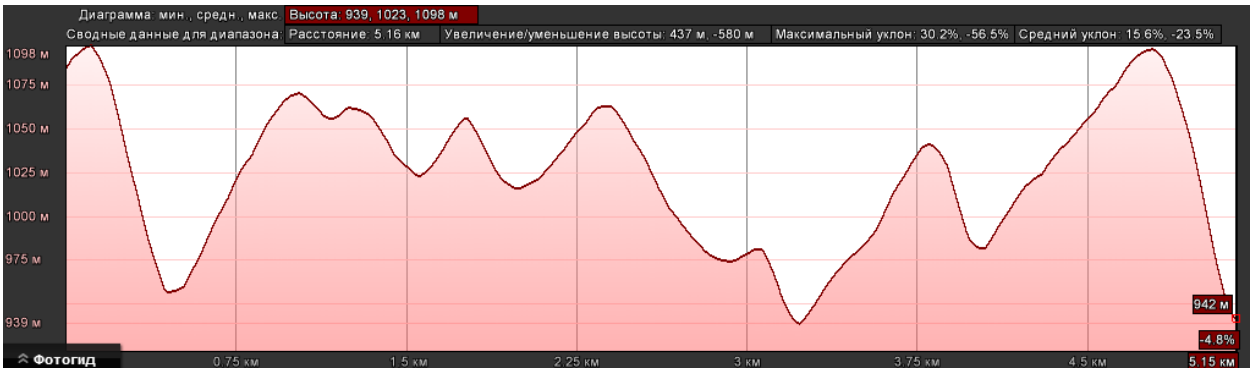


Рисунок 3.2–Рельеф в направлении Северо-Восток

$h_{max} = 1098,$

$h_{min} = 939.$

Δh=1098-939=159 м.

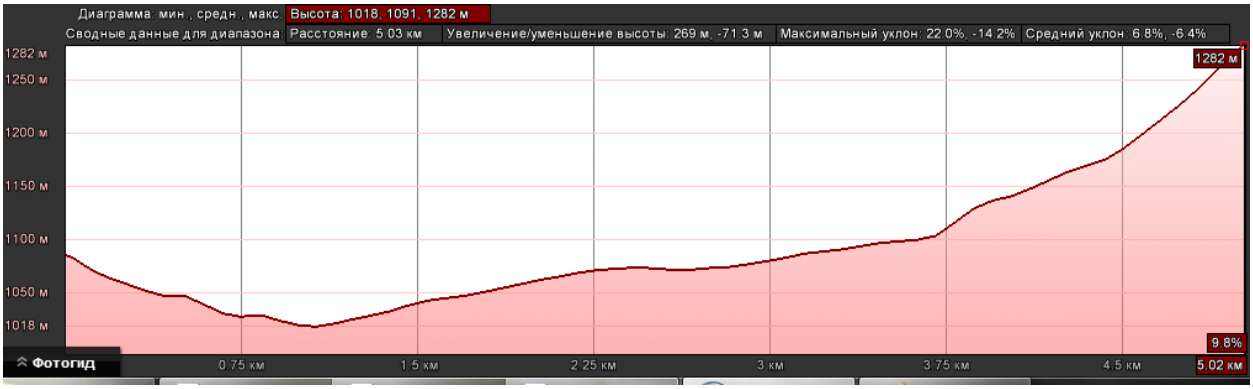


Рисунок 3.3 – Рельеф в направлении Юг

$h_{max} = 1282,$
$h_{min} = 1018.$

Δh=1282-1018=264 м.

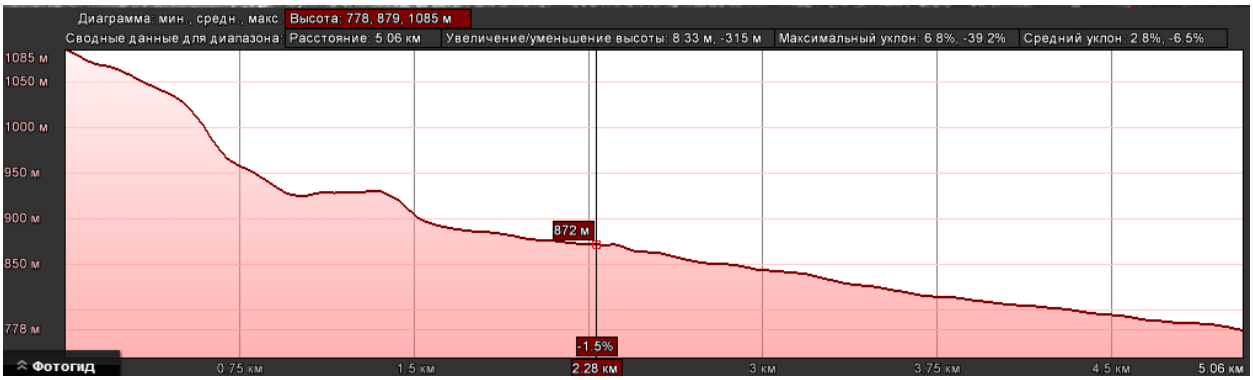


Рисунок 3.4 – Рельеф в направлении Северо-Запад

$h_{max} = 1085,$
$h_{min} = 778.$

Δh=1085-778=307 м.

Поправки, учитывающие рельеф местности в направлениях на Северо-Запад, Северо-Восток и Юг:

$$L_{\text{рел}} = \frac{L_1 + L_2}{2} = \frac{-10 - 18}{2} = -14.$$

Суммарное затухание радиоволн как потери распространения для соответствующего типа местности L_P и поправки, учитывающей рельеф местности $L_{РЕЛ}$

$$L_{\Sigma} = L_{P} + L_{РЕЛ}. \quad (3.4)$$

Тогда найдем затухание для соответствующего типа местности

$$L_{p} = L_{\Sigma} - L_{РЕЛ}. \quad (3.5)$$

Линия вниз DL в направлениях на Северо-Запад, Северо-Восток и Юго-Запад:

$$LP=125,89+14=135,89 дБ.$$

Линия вверх UL в направлениях на Северо-Запад, Северо-Восток и Юго-Запад:

$$LP=122,29+14=136.29 дБ.$$

Зная затухание для соответствующего рельефа, с помощью модели COST231-Хата найдем дальность связи.

2.7 Расчет дальности связи с использованием модели COST231-Хата для WIMAX

$$L_P=46,3+33,9\lg(f_0)-13,83\lg(h_b)-a(h_m)+\left[44,9-6,55\lg(h_b)\right]\lg r+C, \quad (3.6)$$

где C– постоянная: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью $C = 0$ и для центров крупных городов $C = 3$.

Данными формулами можно пользоваться, если выполняются следующие условия:

- f_0:от1500до2000МГц;
- h_b:от15до200м;
- h_m:от1до10м;
- r :от1до20км.

3.2.1 Нисходящая линия Downlink:

Примем f_0=1980 МГц, h_b = 25 м, h_m = 5 м, C=3

$$a(h_m) = (1.1 \log f_0 - 0.7)\cdot h_m - (1.56 \log f_0 - 0.8) \quad (3.7)$$

$$a(h_m) = (1.1 \log 1980 - 0.7)\cdot 3 - (1.56 \log 1980 - 0.8) = 4.67$$

Из формулы (3.6) выразим дальность связи r:

$$r = 10^{\frac{L_p - 46.3 + 13.831\lg(h_b) - 33.9\lg(f) + a(h_m) - C}{(44.9 - 6.55 lg h_b}}$$

$$r = 10^{\frac{135.89 - 46.3 + 13.831 \cdot \lg(25) - 33.9 \cdot \lg(1910) + 4.64 - 3}{(44.9 - 6.55 \lg 25)}} = 1{,}12 \text{ км.}$$

Восходящая линия Uplink:

Примемf_0=1850МГц, h_b = 25м, h_m = 5м, C=3

$$a(h_m) = (1.1 \log 1850 – 0.7)\cdot 3 – (1.56 \log 1850 – 0.8) = 4.39$$

$$r = 10^{\frac{136.29 - 46.3 + 13.831 \cdot \lg(25) - 33.9 \cdot \lg(1850) + 4.39 - 3}{(44.9 - 6.55 lg 25)}} = 1.19 \text{ км.}$$

2.8 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети WiMAX для «близких» и «далеких» пользователей

Скорость передачи в канале WiMAX для «близких» (в центре соты) пользователей (Мбит/с):

$$R1(u) = \frac{4}{7} W \log_2(1 + \eta 1(u))$$

Для «далеких» (на границе соты) пользователей:

$$R2(u) = \frac{3}{7} W \log_2(1 + \eta 2(u)),$$

где W – полоса системы, МГц;

η – SINR.

Рассчитать скорость передачи в канале для пользователей, расположенных в центре и на границе соты для DL, если известны полоса системы W, МГц, $\eta 1(u)$ – SINR для центра соты, $\eta 2(u)$ – SINR для границы соты.

Таблица 2.9 - Исходные данные

Обозначения	Значения
W, МГц,	20
η1(u)	5
η2(u)	0.5

Скорость передачи для пользователей в центре соты

$$R1(u) = \frac{4}{7} 20log_2(1+5) = 29.542 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}},$$

а скорость передачи для пользователей на границе соты

$$R2(u) = \frac{3}{7} 20log_2(1+0.5) = 5.014 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}}.$$

2.9 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети WiMAX для «близких» и «далеких» пользователей с технологией MIMO 4×4

В данном случае будем применять технологию MIMO 4×4. Это означает, что полоса системы будет составлять W=4×W=80 МГц.

Таблица 2.10 -Исходные данные

Обозначения	Значения
W, МГц,	*80*
η1(u)	*5*
η2(u)	*0.5*

Скорость передачи для пользователей в центре соты

$$R1(u) = \frac{4}{7} 80log_2(1+5) = 118.17 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}},$$

а скорость передачи для пользователей на границе соты

$$R2(u) = \frac{3}{7} 80log_2(1+0.5) = 20.056 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}}.$$

Вывод: проделав расчеты, можно сделать вывод, что технология MIMO увеличивает полосу системы, повышает скорость передачи данных, количество абонентов и качество связи как в центре соты, так и на краю.

3.Безопасность жизнедеятельности

3.1 Анализ условий труда обслуживающего персонала при эксплуатации технического оборудования

Основной целью данного проекта является организация беспроводной сети передачи данных в Медеуском районе на телебашне Коктюбе, в целях предоставления современных услуг связи.

Технический персонал состоит из четырех сотрудников в три смены: главный технический специалист и менеджер поддержки и мониторинга беспроводной сети. Менеджер для поддержки и мониторинга беспроводной сети меняются каждый день в соответствии с графиком.

Персонал напрямую подключен к компьютеру, и, таким образом, вредное добавил целый ряд факторов, что существенно снижает их производительность.

Эти факторы включают в себя:

1) неправильное освещение;

2) нарушение микроклимата;

3) наличие напряжения.

В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 Профессиональные стандарты безопасности "Оптимальные и допустимой климатической норме, в зависимости от категории работы", работа людей в помещении относится к легкой тяжести (1а), так как оборудование управляется дистанционно, компьютер

Для того, чтобы создать нормальные условия для работников предприятий связи, установленных норм рабочей среды. В тех районах, при работе с компьютерами, при соблюдении следующих климатических условиях:

Холодный сезон:

- Оптимальная температура 22-24 ю.ш., допустимая температура 18-26 ю.ш.;

- Относительная влажность воздуха 40-60%, не более 75% влажности;

- Скорость движения воздуха и относительная допустимая 0,1 м / с;

Теплый сезон

- Оптимальная температура 23-25 ю.ш., допустимая температура 20-30 с;

- Относительная влажность воздуха 40-60%, не более 55% влажности;

- Относительная скорость движения воздуха 0,1 м / с и допустимой 0,1-0,2 м / с.

Помещение имеет размеры: длина (L) = 6,5 метра, ширина (B) = 4,5 метра, высота (H) = 4 метра. Помещение находится в здании на 3-ем этаже, рассчитанный на 2-х рабочих мест.

План выбран для оборудования и технического персонала приведена на рисунке 3.1.

Рисунок 3.1 – План рабочего помещения

Рабочее место состоит из следующих компонентов:

- два стола;
- два эргономических стула;
- два персональных компьютера, один из которых является сервером

1) Сервер Fujitsu-Siemens PRIMERGYT X200 S3(2x Intel Xeon 5050 (3.0 GHz)

2) Intel Core i7 965XE (3.0 GHz, 2 GB ОЗУ)

- беспроводной коммутатор DWS-4026

3.2 Расчет системы искусственного освещения помещения

Зал комната имеет естественное освещение через одну сторону окна, и искусственное освещение, что делает возможным работу в ночное время и в течение дня в тех местах, где скорость КЕО не соответствует стандартам.

Поэтому мы рассчитать общее освещение оборудования длина пространство комнаты А = 6,5 м., Ширина В = 4,5 м., Высота Н = 4 м. С побелены потолки, светлые стены и занавешенных окна. Ранг зрительная работа - III точность. Нормируемости освещение - 300 люкс. [1]. Для того, чтобы использовать пространство LB люминесцентная лампа (белый), 40 Вт, световой поток 3120 лм., Диаметр 40 mm.i зубец 1213,6 мм. [1].

Высота светильника h_c = 4-r,

где r- высота лампочки.

$$h_c = 4 - 3{,}2 = 0{,}8 \text{ м.}$$

Высота рабочей поверхности $h_P = 1{,}2$ м.

Определим необходимое расстояние между светильниками [1]:

$$L = \lambda \cdot h \text{ м.,} \qquad (3.1)$$

где $\lambda = 1.2 \div 1.4$ [1]

Высота светильника над освещаемой поверхностью:

$$h = H - h_P - h_c = 4 - 1{,}2 - 0{,}8 = 2 \text{ м.} \quad (3.2)$$

По этим данным находим, что необходимое расстояние между светильниками равно:

$$L = \lambda \cdot h = 1{,}2 \cdot 2 = 2{,}4 \text{ м.,} \qquad (3.3)$$

Определим индекс помещения I [1]:

$$I = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6{,}5 \cdot 4{,}5}{3{,}2 \cdot (6{,}5 + 4{,}5)} = 0{,}824, \qquad (3.4)$$

Определим коэффициент использования η по таблице 2.5 [1] .

$\eta = 0{,}61$

В качестве светильника возьмем ЛСП02 рассчитанный на две лампы мощностью 40 Вт, диаметром 40 мм и длиной со штырьками 1213,6 мм. Длина светильника 1234 мм, ширина 276 мм. Световой поток лампы ЛБ 40 Фл составляет 3120 лм., световой поток, излучаемый светильником Фсв равен:

$$\Phi_{CB} = \Phi_Л \cdot 2 = 3120 \cdot 2 = 6240 \text{ лм.} \qquad (3.5)$$

Определим число светильников:

$$N = \frac{E \cdot K_З \cdot S \cdot Z}{n \cdot \Phi_Л \cdot \eta}, \qquad (3.6)$$

где S – площадь помещения, S=29,25 м^2.;

КЗ – коэффициент запаса, КЗ=1,5[1];

E – заданная минимальная освещенность, E=400 лк.; [1]
Z – коэффициент неравномерности освещения, Z=1,2; [1]
n – количество ламп в светильнике, n=2;
Фл – световой поток выбранной лампы, Фл=3120 лм.;
η – коэффициент использования, η=0,61[1].

$N = \frac{400 \cdot 1{,}5 \cdot 29{,}25 \cdot 1{,}2}{2 \cdot 3120 \cdot 0{,}61} = 5{,}45 \approx 6$ светильников (Расположение светильников показано на рисунке 3.2)

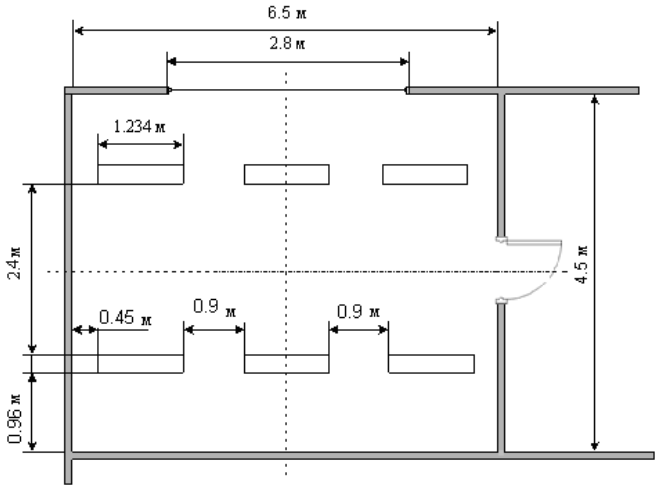


Рисунок 3.2 – Расположение светильников в помещении

Итого, для создания нормированной освещенности нам понадобится 12 ламп в 6-ти светильниках располагающихся в два ряда, в каждом ряду по три светильника, в каждом светильнике по две лампы.

3.3 Анализ пожарной безопасности

Согласно здания СНиП 2.04.09-84 от серьезности пожара, по функциональному назначению и пожарной нагрузки горючих материалов, относится к первой группе категории D.

Причины пожара являются:

- элементы противопожарного оборудования;
- пожара отделочные материалы из неисправного выключатели, розетки.
- несоблюдение условий эксплуатации оборудования, несоблюдения правил эксплуатации персонала.

В случае возникновения пожара может пострадать не только пространство, но и дорогостоящего оборудования, приводят к человеческим жертвам. Поэтому необходимо, чтобы меры для раннего обнаружения пожаров и разрушений были приняты. Источники зажигания могут быть электронные схемы, компьютерные устройства, используемые для

технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционеры воздуха, в результате чего образуются различные нарушения перегретые элементы и др. [4]

В соответствии с требованиями правил пожарной безопасности помещение оборудованы углекислотными огнетушителями ОУ-5 с учетом – один огнетушитель на 100 м^2. Общая площадь помещения управления составляет 29,25 м^2 таким образом устанавливаются 1 огнетушитель. В качестве огнетушащего вещества применяется комбинированный углекислотно-хладоновый состав. Расчетная масса комбинированного углекислотно-хладонового состава md ,кг, для объемного пожаротушения определяется по формуле:

$$m_d = k \cdot g_n \cdot V \tag{3.7}$$

где k = 1,2- коэффициент компенсации не учитываемых потерь углекислотно-хладонового состава[4],

gn = 0,04 – нормативная массовая концентрация углекислотно-хладонового состава, [4]

V – объем помещения

$$V = A \cdot B \cdot H \tag{3.8}$$

где A = 6,5 м – длина помещения,

B = 4,5 м – ширина помещения,

H = 4 м – высота помещения.

Тогда: $V = 6.5 \cdot 4.5 \cdot 4 = 117 м^3$.

Следовательно: $m_d = 1.2 \cdot 0.04 \cdot 117 \approx 7 кг$

Расчетное число баллонов ξ определяется из расчета вместимости в 20-литровый баллон 12 кг углекислотно-хладонового состава.

Внутренний диаметр магистрального трубопровода d_i, мм, определяется по формуле:

$$d_i = 12 \cdot \sqrt{2} = 17 мм \text{ [4]} \tag{3.9}$$

Эквивалентная длинна магистрального трубопровода l2. м, определяется по формуле:

$$l_2 = k_1 \cdot l_2 \qquad (3.10)$$

где k1=1,2-коэффициент увеличения длины трубопровода для компенсации не учитывающих местных потерь, [4]

l=3м – длина трубопровода по проекту тогда, [4]

$$l_2 = 1.2 \cdot 3 = 3{,}6 \text{ м.}$$

Расход углекислотно-хладонового состава Q, кг/с, в зависимости от эквивалентной длины и диаметра трубопровода равна 1.4 кг/с

Расчетное время подачи углекислотно-хладонового состава t. мин, определяется по формуле:

$$t = \frac{m_d}{60Q} = \frac{7}{60 \cdot 1.4} = 0.166 \qquad (3.11)$$

Масса основного запаса углекислотно-хладонового состава m, кг, определяется по формуле:

$$m = 1.1 x m_d x (1 + \frac{K_2}{K}) \qquad (3.12)$$

где К2=0.2 – коэффициент учитывающий остаток углекислотно-хладонового состава в баллонах и трубопроводах

$$m = 1.1x7x\left(1 + \frac{0.2}{1.2}\right) = 7.867 \text{ кг} \qquad (3.13)$$

Таким образом из полученных результатов можно сделать вывод, что для обеспечения нормального функционирования системы автоматического пожаротушения потребуется 1 баллон углекислотно-хладонового состава вместимостью 20 литров, с массой смеси 7 кг. Автоматические установки газового пожаротушения имеют устройства для автоматического пуска в соответствии с ГОСТ 12.4.009-83

3.4 Выводы по разделу «Безопасность жизнедеятельности»

В этом разделе был проведен анализ условий труда в рабочем помещении. Уровень условий труда признаются действительными, и данные, полученные из расчета полностью отвечают требованиям стандартов безопасности и гигиены труда.

Естественно, что одна коробка не соответствует нормам естественного света рабочего помещения. Таким образом, подсчитали, что это заняло бы 12 ламп по 40 Вт для создания нормированной освещенности., Световой поток 3120 лм., Диаметр 40 мм. и зубец 1213,6 мм. 6-лампы, которые расположены в два ряда, каждая строка из трех ламп, каждая лампа с двумя лампой.

Электрическое оборудование в комнате является потенциальным источником пожара и.

Расчеты показали, что для обеспечения нормального функционирования автоматической системы пожаротушения требуется 1 бутылка uglekislotno хладон состава емкостью 20 литров, с массой смеси 7 кг.

4 Технико-экономическое обоснование

4.1 Резюме

В данном дипломном проекте сравниваются две технологии четвертого поколения LTE и WiMax. Когда выбирались технологии технико-экономического обоснования, был рассчитан сравнительный анализ,а также рассчитаны экономические показатели. После проведения данного анализа была выбрана более эффективная технология.

4.2 Анализ услуги

Основной целью этого технико-экономического анализа служит проектирование эффективного выбора технологии для осуществления услуг мобильной связи.

Так же, как и проводной широкополосный доступ, который является самым распространенным видом подключения, WiMax и LTE характеризуется высокой скоростью доступа в интернет — до 380 Мбит/с. Это дает возможность участвовать в online-играх в мобильном режиме, смотреть видеоролики или телепередачи, а также скачивать большие файлы (например, фильмы высокого качества).

4.3 Маркетинговый план

В настоящее время индустрия мобильной связи в Казахстане является одной из самых быстро развивающихся отраслей. С каждым годовым объем данных, передаваемых через инфраструктуру телекоммуникации, увеличивается в несколько раз.

Возникают и энергично развиваются новые технологии мобильной связи, стремительно увеличивается информационная часть экономической активности объектов экономики. Новые технологий влияют на науку, здоровье и интеллектуальный потенциал населения.

Следует отметить, что сохраняющийся рост развития отрасли телекоммуникаций, способствует развитию общества и укреплению государственной безопасности, а также является важным источником стабильного роста экономики всей страны.

По оценке специалистов, интеллектуальные услуги связи будут пользоваться большим спросом. Основными пользователями интеллектуальных услуг, будут руководители крупных предприятий, владельцы малого и среднего бизнеса и туристы, т.е. люди, часто находящиеся вне офиса для которых важно всегда принимать звонки. Компании, которые имеют несколько филиалов, так же нуждаются в интеллектуальных услугах связи. С их помощью клиенты смогут, не запоминая номера всех филиалов звонить на один номер, после чего они будут выбирать из речевого меню номер того филиала, который им нужен.

4.4 Производственный план

В данном проекте будут произведены расчеты по затратам на покупку, доставку, установку, а также развертывание деятельности WiMax и LTE, производства компании Airspan [17] и Huawei [18]. Приемлемая стоимость, хорошие технические характеристики, совместимость с оборудованиями других производителей данных технологий были главными характеристиками при выборе именно этих производителей оборудования.

Для сравнения цен и проведения анализа, рассмотрим технологии разных производителей. Данные оборудование не будет нуждаться в дальнейшей модернизации первые два года работы компании.

Стоимость и наименование необходимого приведены в таблицах 4.1 и 4.2 соответственно.

Таблица 4.1 - Наименование и стоимость необходимого оборудования WiMax.

Наименование оборудования	Количество	Цена за еденицу, тыс.тенге	Общая цена, тыс. тенге
WiMax(оборудование для станции MacroMaxe)	3	7390.0	22170.0
AirMax(антенна секторная)	3	34.49	103.47
Телекоммуникационна стойка	3	82.0	246.0
Персональный компьютер	5	101.2	506.0
Кабель (10м. для антенн)	3	7.8	23.4

Продолжение таблицы 4.1

Наименование оборудования	Количество	Цена за еденицу, тыс.тенге	Общая цена, тыс. тенге
Оптический кросс	5	19.9	99.5
Оборудование для центрального пульта слежения	1	650.0	650.0
Роутер (Asus WMNV24E2+)	3	39.0	117.0
Итого	-	-	23914.9

Таблица 4.2 - Наименование и стоимость необходимого оборудования LTE

Наименование оборудования	Количество	Цена за еденицу, тыс.тенге	Общая цена, тыс. тенге
LTE (оборудование для базовой станции 9325 digital 2UnodeB)	3	8200.0	24600.0
Антенна (DS-MIMO 16)	3	24.5	73.5
Телекоммуникационна стойка	3	84	252.0
Персональный компьютер	5	101.5	507.5
Кабель (10м. для антенн)	3	7.0	21.0
Оптический кросс	5	21.0	105.0
Оборудование для центрального пульта слежения	1	690.0	690.0
Роутер(Dlink Dir-319)	3	24.1	72.3
Итого	-	-	26321.5

4.5 Финансовый план

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

Целью данной разработки является получение максимальной прибыли, при минимальных издержках и хорошем качестве предоставляемых услуг, с учетом приемлемой для пользователей цены. Далее, показаны расчеты,

показывающие экономическую эффективность использования, стоимость внедрения и срок окупаемости.

4.5.1 Капитальные затраты

Формула для капитальных затрат (4.1) [18]:

$$К = Ц + Ктр + кмон + РС\,, \tag{4.1}$$

где Ц – капитальные вложения на покупку оборудования (стационарных, линейных и др.);

Ктр - стоимость транспортировки к месту эксплуатации;

Кмон - стоимость установки прибора на месте;

РС - стоимость рабочих станций.

Стоимость оборудования и их комплектующих для WiMax указаны в таблице 4.1.

Ц = 23914,9 тыс.тг.

Стоимость транспортировки к месту эксплуатации Ктр составляет 2% от цены системы:

$$Ктр = Ц\text{x}0.02 = 23914.9\text{x}0{,}02 = 478.29\ тыс.тг.$$

Цена монтажа платформы на месте равна 5% от цены всей системы:

$$Кмон = Ц\text{x}0.05 = 23914.9\text{x}0{,}05 = 1195.7\ тыс.тг.$$

Стоимость оборудования и их комплектующих для LTE указаны в таблице 4.2

Ц = 26321,5 тыс.тг.

Стоимость транспортировки к месту эксплуатации Ктр равна 2% от цены всей системы:

$$\text{Ктр} = \text{Цx}0.02 = 26321.5\text{x}0.02 = 526.43\ \text{тыс.тг.}$$

Цена монтажа платформы на месте равна 5% от цены системы:

$$\text{К} = \text{Цx}0.05 = 26321.5\text{x}0{,}05 = 1316.1\ \text{млн.тыс.тг}$$

Стоимость рабочих станций (РС) [18] – включает стоимость системы управления и рабочих мест операторов. Предусмотрено шесть рабочих мест: место программиста, место управляющего, место инженера БС, место системы управления, место оператора, место бухгалтера которые включают в себя наименования, приведенные в таблице 4.3.

Таблица 4.3 –Затраты на организацию рабочего места

Наименование	Цена, тыс. тг.	Кол-во	Стоимость, тыс. тг
Компьютер (системный блок, монитор)	73	5	365
Лазерный принтер	30	1	30
Компьютерный стол	13	5	65
Стул	2.5	5	12.5
Шкаф	9	3	27
Стул на колесиках	8	5	40
Телефонный аппарат	9	5	45
Стол офисный	21	2	42
Итого:	-	-	626.5

В таблице 4.4 указаны затраты, которые являются в составной частью капитальных затраты.

Наименование затрат	Стоимость для WiMax, тыс. тг.	Стоимость для LTE, тыс. тг
Стоимость оборудования, (Ц)	23914.9	26321.5
Стоимость перевозки к месту эксплуатации, (Ктр)	478.29	526.43
Стоимость монтажа платформы на месте, (Кмон)	1195.7	1316.1
Стоимость рабочих станций, (РС)	626.5	626.5
Итого	26215.39	28790.53

Отсюда капитальные затраты равны:

26215.39 тыс. тг. – для WiMax

28790.53 тыс. тг.– для LTE

4.5.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Формула эксплуатационных расходов 21[18]:

$$ЭЭ = ФОТ + Сн + М + Эл + А + Н, \quad (4.2)$$

где ФОТ – фонд оплаты (основная и дополнительная заработная плата);

Сн – социальный налог (11 % от ФОТ);

М – материальные затраты и запасные части. (Расходы на запасные части и текущий ремонт составляют 0,5% от капитальных вложений);

Эл – электричество для производственных нужд;

А – амортизационные отчисления;

Н – накладные расходы (косвенные расходы, также сюда входят неучтённые расходы: транспортные расходы, хозяйственные, административно-управленческие, затраты за обучение кадров). Примем составляет 30 % от себестоимости.

Для расчета заработной платы приведем среднемесячные доходы обслуживающего персонала, которые укажем в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Заработная плата обслуживающего персонала [25].

Наименование	Заработная оплата (Тенге)	Число рабочих
Инженер БС	110000	2
Программист	90000	2
Дежурный оператор	58000	2

Основная заработная плата за один год составит:

$$ФОТосн = 12x(110000 + 110000 + 90000 + 90000 + 2x58000) = 6192{,}0\ тыс.тг. \quad (4.3)$$

В годовой фонд заработной платы входит дополнительная заработная плата которая составляет 30% от основной заработной платы [18]. ФОТдоп = ФОТоснх0.3 = 6192.0х0.3 =1857.6 тыс.тг. (4.4) Заработная плата вычисляется путем сложения основной и дополнительной заработной платы:

$$ФОТ = ФОТосн + ФОТдоп\ , \quad (4.5)$$

$$ФОТ = 6192.0 + 1857.6 = 8049.6.тыс.тг.$$

Отчисления в пенсионный фонд равны 10% от общей заработной платы:

$$Сн = ФОТ\ x0.1 = 8049.6x0.1 = 804{,}96\ тыс.тг.$$

Социальный налог с учетом отчислений в пенсионный фонд составляет 11% от общей заработной платы:

$$Сн = ФОТ\ x0.9x0.11 = 8049.6x0.9x0.11 = 796.910\ тыс.тг. \quad (4.6)$$

Амортизационные отчисления на компьютеры равны 40% от стоимости оборудования:

$$А = Ц\ x0.4 = 507x0.4 = 202.8\ тыс.тг. \quad (4.7)$$

Амортизация на оборудование и машины составляет 25% от стоимости оборудования:

WiMax: А = Ц х 0.25 = 23914.9х0,25 = 5978.7 тыс.тг.

LTE: А= Ц х 0.25 = 26321.5х 0.25 = 6580.3 тыс.тг.

Амортизация стационарные и на мебель объекты составляет 15% от стоимости оборудования [15]:

А= Ц х 0.15 =180х 0.15 = 27.0 тыс.тг.

Итого амортизация составляет:

WiMax: А = 202.8 + 5978.7 + 27 = 6208.5 тыс. тг.

LTE: А = 202,8 + 6580,3 + 27 = 6810.1 тыс. тг.

Стоимость прочих расходов равна 30% от годового фонда заработной платы:

Н = ФОТ х0.3 = 8049.6х0.3 = 2414.88 тыс.тг. (4.8)

Затраты на электроэнергию рассчитаем по следующей формуле:

Ээл =WxT x S , (4.9)

где W используемая мощность станций, W = 25 кВт,

Т – количество часов работы оборудования в год. 8810,

S – тариф накиловатт-часа электроэнергии, S =24.30 тг/кВт час.

Отсюда:

Ээл =25х8810х 24.30 = 5352.07 тыс.тг.

Таким образом в сумме эксплуатационные расходы составят:

ΣЭWiMax = 8049.6 + 796.910 + 6208.5 + 120.9 + 5352.07 + 2414.88 = 22942.86 тыс.тг.

ΣЭLTE = 8049.6 + 796.910 + 6810.1 + 132.5 + 5352.07 + 2414.88 = 23556.06 тыс.тг.

Таблица 4.6 – Эксплуатационные расходы для 2-х технологий

Параметр	WiMax (тыс. тг.)	LTE (тыс.тг.)
Основная заработная плата	6192.0	6192.0
Дополнительная заработная плата	1857.6	1857.6
ФОТ:	8049.6	8049.6
Пенсионный фонд (10%)	804.96	804.96
Социальный налог (11%)	796.910	796.910
Амортизационные отчисления:	6208.5	6810.1

4.5.3 Расчет доходов от реализации услуг

Существующих абонентов разделим на следующие сегменты:

Три группы пользователей являются потребителями интеллектуальных услуг – это индивидуальные предприниматели физические и юридические лица.

Общая сумма абонентской платы определяется как размер абонентской платы в месяц и произведение количества абонентов. Эта сумма указана в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Распределение ёмкости по категориям потребителей

	Кол-во абонентов	Доля в %	Абонентская плата в месяц, тг.	Сумма, тыс. тг.
Физические лица	999	66	999	999
Юридические лица	499	33	4990	2495
Всего	1498	100	3494	

Доходы по тарифам определяются на основании количества номеров в каждой абонентской группе и абонентской платы:

$$Дгод = \sum(ti \times Ni).(4.10)$$

Тарифные доходы, получаемые от абонентской платы физических лиц составляют:

$$Дфиз = 12 \times 999 = 11988 \text{ тыс. тенге.}$$

Тарифные доходы, получаемые от абонентской платы юридических лиц составляют:

$$Дюр = 12 \times 2495 = 29940 \text{ тыс. тенге.}$$

Доходы от всех категорий абонентов:

$$Дгод = Дфиз + Дюр = 11988 + 29940 = 41928 \text{ тыс. тенге.}$$

4.5.4 Расчет экономической эффективности

Расчёт чистой прибыли и прибыли от реализации услуг:

Прибыль от реализации услуг связи вычисляется как разница годовыми эксплуатационными расходами и между доходами. В абсолютном выражении прибыль зависит от деятельности предприятия. Формула для определения прибыли:

$$Пр = Дгод – \sum э. \quad (4.11)$$

Для WiMax:

$$Пр = 41928 – 22942,86 = 18985 \text{ тыс. тг.}$$

Для LTE:

$$ПР = 41928 – 23556,06 = 18371,94 \text{ тыс. тг.}$$

Также уплаты в бюджет налога на прибыль, чистая прибыль остается в распоряжении предприятия. На данный момент налог на прибыль составляет 20%.

Формула для вычисления чистой прибыли, Пч:

$$Пч = Пр – (Пр x\ 0,20) \quad (4.12)$$

Для WiMax:

$$Пч = 18985.14 – (18985.14 \text{ x } 0,2) = 15188.112 \text{ тыс. тг.}$$

Для LTE:

$$Пч = 18371.94 – (18371.94 \text{ x } 0.2) = 14697.552 \text{ тыс. тг.}$$

4.5.5 Расчёт срока окупаемости капитальных вложений

Коэффициент экономической эффективности рассчитываем по формуле:

$$E = Пч / \sum К$$

$$E\ WiMax = 15188.112/22942.86 = 0.66$$

E lte=14697.552/23556.06 = 0.62

Таблица 4.8 – Сводная таблица экономической эффективности проекта для LTE и WiMax

Статьи затрат	Сумма (тыс.тг.) WiMax	Сумма (тыс.тг.) LTE
Объем капиталовложений	26215.39	28790.53
Эксплуатационные расходы	22942.86	23556.06
Доходы от реализации	41928	41928
Прибыль чистая	15188.122	14697.552
Срок окупаемости	3.8 года	3.7 года

4.5.6 Метод расчета абсолютной величины чистого дохода NPV

Определим капитальные вложения методом расчета абсолютной величины чистого дохода NPV.

Коэффициент PV – это коэффициент дисконтирования или норматив приведения, при установлении которого следует учитывать инфляционное изменение покупательной способности денег в течение рассматриваемого периода времени, необходимость обеспечения минимального гарантированного уровня доходности и риск инвестора.

Общая накопительная величина дисконтированных доходов рассчитывается по формуле:

$$PV = \frac{\text{ЧП}}{(1+r)^{n`}} \tag{4.13}$$

где: r – ставка дисконты;
n – год

$$1\text{год WiMax}: PV = \frac{15188.112}{(1+0.15)^1} = 11239.21\ тг.$$

$$\text{LTE}: PV = \frac{14697.552}{!1+0.15)^1} = 13595.24\ тг.$$

$$2\text{год WiMax}: PV = \frac{15188.112}{(1+0.15)^2} = 13016.21\ тг.$$

$$\text{LTE}: PV = \frac{14697.552}{(1+0.15)^2} = 12595.80\ тг.$$

$$3\text{годWiMax}: PV = \frac{15188.112}{(1+0.15)^3} = 12044.17\ тг.$$

$$\text{LTE}: PV = \frac{14697.552}{(1+0.15)^3} = 11869.27\ тг.$$

Тогда чистая приведенная стоимость проекта будет рассчитываться по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} PV - К_{вл} \qquad (4.14)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость, тенге;

PV – текущая стоимость доходов, тенге;

E– ставка дисконтирования;

$K_{вл}$– капитальные вложения, тенге.

Для WiMax:

$$NPV = (11239.21 + 13016.21 + 12044.17) - 26215.39 = 10084.2\ тг.$$

Для LTE:

$$NPV = (13595.24 + 12595.80 + 11869.81) - 28790.53 = 9269.78\ тг.$$

NPV меньше нуля, следовательно, доходы от инвестиции недостаточно высоки, чтобы компенсировать риск, присущий данному проекту.

Определим индекс рентабельности проекта – отношение суммарного дисконтированного дохода к суммарным дисконтированным затратам, вычисляется по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^{n} PV / K_{вл}, \qquad (4.15)$$

$$\text{Для WiMax}: PI = \frac{(11239.21+13016.21+12044.17)}{26215.39} = 1.38.$$

$$\text{Для LTE}: PI = \frac{(13595.24+12595.80+11869.27)}{28790.53} = 1.32.$$

PI> 1,0 – инвестиции

Определим дисконтированный период окупаемости DPP по формуле:

$$DPP = t = \frac{K_{вл} - (П1 + П2 + \cdots Пn - 1)}{Пn} \qquad (4.16)$$

где t – год, за который капитальные вложения окупятся;

$К_{вл}$ – капитальные вложения;

П – прибыль по годам.

В нашем случае, вместо значений прибыли возьмем значение чистой прибыли с учетом дисконтирования. Учитывая, что по результатам вычисления без учета дисконтирования, проект окупится за 5.5 года, возьмем t=6

$$\text{Для WiMax:}DPP = 3 + \frac{26215.39-(11239.21+13016.21+12044.17)}{12044.17} = 3.8\,лет.$$

$$\text{Для LTE:}DPP = 3 + \frac{28790.53-(13595.24+12595.80+11869.27)}{11869.27} = 3.7\,лет.$$

То есть, с учетом дисконтирования, срок окупаемости увеличится до 3.7 лет.

4.6 Вывод по разделу

В данном разделе был проведен анализ двух технологий WiMax и LTE с технико-экономической точки зрения. По производственным расчетам можно сделать вывод, что технология WiMax является более эффективной. Она требует меньше капитальных затрат (26215.39 тыс. тг., по сравнению с 28790.53 тыс. тг. для LTE). Данные технологии будут внедряться для построения мобильного широкополосного доступа и они нацелены одинаковые категории абонентов. В связи с этим ценовая политика для технологии WiMax и LTE является одинаковой, а срок окупаемости вложении равна 3,8 для WiMax и 3,7 для LTE.

Предлагаю использовать технологию мобильной передачи данных LTE для построения сети, так как сделанные мной расчеты показал

Заключение

Данный дипломный проект посвящен анализу возможности применения MIMO в современных беспроводных системах. За основу взяты две технологии современный мобильной связи четвертого поколения LTE И WiMax.

Известно, что в нынешних телекоммуникационных системах различного назначения используется технология MIMO. В ходе дипломного проектирования был выполнен анализ проектирования систем LTE И WiMax с различными конфигурациями приемных и передающих антенн.

В расчетной части на основе используемого оборудования проведен расчет потери сигнала при распространении на основе прогностической модели COST231 и дальности связи. Классически, за основу была взята вышка Коктюбе как самая используемая платформа для приемо-передающего оборудования. При проведении расчетов было показано сравнение скоростей передачи данных как в центре соты, так и на границе соты с применением MIMO различных конфигураций.

Доказано, что применение технологии MIMO в различных сетях достаточно эффективно. При этом улучшаются основные технические параметры системы связи: спектральная эффективность, максимальная скорость передачи, пропускная способность полосы, увеличение количества абонентов, повышение помехоустойчивости сигнала.

В данном расчете был проведен анализ двух технологий WiMax и LTE с технико-экономической точки зрения. По производственным расчетам можно сделать вывод, что технология WiMax является более эффективной. Она требует меньше капитальных затрат (26215.39 тыс. тг., по сравнению с 28790.53 тыс. тг. для LTE). Данные технологии будут внедряться для построения мобильного широкополосного доступа и они нацелены одинаковые категории абонентов. В связи с этим ценовая политика для технологии WiMax и LTE является одинаковой, а срок окупаемости вложении равна 3,7 для WiMax и 3,8 для LTE.

В разделе безопасности жизнедеятельности было изучено влияния различных параметров на жизнь человека. В связи с этим были рассчитаны значения, при которых работа на базовой станции стала безопасной.

Перечень сокращений

3GPP	3dGenerationPartnershipProject	Партнерский проект ETSI, занимающийся стандартизацией в области систем 3G
BBU	BasebandUnit	ВнутреннийблокеNodeB
CDMA	CodeDefinitionMultiplex Access	Множественный доступ с кодовым разделением каналов
CP	CyclicPrefix	Циклический префикс
CQI	ChannelQualityIndicator	Индикатор качества сигнала
eNodeB	EnhancedNodeB	Усовершенствованная базовая станция LTE
EPC	EvolvedPacketCore	Усовершенствованная опорная сеть
ETSI	EuropeanTelecommunicationsStandartInstitute	Европейский институт телекоммуникационных стандартов
FDD	FrequencyDivisionDuplex	Метод дуплексной связи с частотным разделением направлений передачи
GSM	GlobalSystemofMobile	Стандарт сети 2 поколения
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers	Институт инженеров электротехники и электроники
LTE	LongTermEvolution	Система мобильной связи 4 поколения
MIMO	MultipleInputMultipleOutput	Технология передачи радиосигналов- «Множественный вход-множественный выход»
MME	EPC MobilityManagement	Блок управления мобильностью
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	Ортогональный многостанционный доступ с частотным разделением
PCRF	Policy and Charging Rules function	Функция политик сети и правил тарификации

PDCP	PacketDataConvergenceProtocol	Протокол сходимости пакетных данных
QAM	QuadratureAmplitudeModulation	Квадратурная амплитудная модуляция
QoS	QualityofService	Качество обслуживания
QPSK	QuadraturePhaseShiftKeying	Квадратурная фазовая манипуляция
RLC	RadioLinkControl	Протокол радиоуправления каналом
RRH	RadioResourceHead	Внешний блок eNodeB
SAE	SystemArchitectureEvolution	Архитектура базовой пакетной сети нового поколения
SC-FDMA	Single Carrier-Frequency Division Multiple Access	Множественный доступ с частотным разделением канало на одной несущей
TDD	TimeDivisionDuplex	Метод дуплексной связи с временным разделением направлений передачи
UMTS	UniversalMobileTelecommunicationsSystem	Универсальная система мобильной связи
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network	Сеть радиодоступа UMTS
VoIP	Voiceover IP	Передача голоса по IP
Wi-Max	World Interoperability for Microwave Access	Сеть беспроводного доступа стандарта IEEE 802.16
WLAN	WirelessLocalAccessNetwork	Локальная беспроводная сеть

Списоклитературы

1 Электронное научное специализированное издание – журнал «Проблемы телекоммуникаций» • № 1 (1) 2010

2 Andrews J.G., Ghosh A., Muhamed R. Fundamentals of WiMax. – Prentice Hall, 2008.

3 Long Term Evolution (LTE): an introduction. White Paper. – Ericsson, October 2007.

4 ДальманЭ., ФурускарА., ЯдингИ. Радиоинтерфейс LTE вдеталях. – СетиисистемысвязиЗ, 2008, № 9.

5 Введение в LTE. Интернет страница LiVEJOURNAL (Новый Живой Журнал): http://community.livejournal.com/ru_4g/9542.html

6 Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMax. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.

7 WiMax. Интернет страница свободной энциклопедии Википедия: http://ru.wikipedia.org/wiki/WiMax.

8 Стандарт IEEE 802.16 - WiMax. Интернет страница журнала "Коммуникации нового поколения - концепции и применяемые технологии": http://lgp.kz/technologies/wimax.php.

9 Васильев В. Г. Технология фиксированного широкополосного беспроводного доступа WiMax стандарта IEEE 802.16-2004. ЮНИДАТА, 2009.

10 Статья: Производительность сети TD-LTE в сравнении с WiMax, автор Лидия Варукина, к. т. н., ведущий специалист по дизайну радиосетей компании Alcatel-Lucent. Интернет страница мобильного форума: http://www.mforum.ru/news/article/093817.htm.

11 Статья интернет издания THG.ru "Технология WiMax: Текущее состояние", автор Анастасия Докторович. Интернет страница: http://www.thg.ru/network/wimax_2007/wimax_2007-01.html.

12 IEEE Std 802.16e-2005 and IEEE Std 802.16-2004/Cor 1-2005. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Amendment 2: PhysicaI and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bauds. IEEE, 28 February 2006.

13 Описание оборудования. Интернет страница НПЦ «Дэйтлайн»: http://www.dateline.ru/oborudovanie/.

14 Описание оборудования MacroMaxe. Интернет страница компании Alvarion: http://www.alvarion.ru/ products/products-list/breezemax/.

15 Базылов К. Б., Алибаева С. А., Бабич А.А. Методические указания по выполнению экономического раздела выпускной работы бакалавров для студентов специальности 050719 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации - Алматы: АИЭС, - 2008. -19 с.

16 Аманжолова К. Б., Алибаева С. А. Экономика предприятий телекоммуникаций: Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2003.

17 Дюсебаев М.К., Бегимбетова А.С. Безопасность жизнедеятельности: Методические указания к выпускной работе – Алматы, 2008. – 10 с.

18 Оборудование. Раздел 4G FAQ. Интернет страница компании Yota: http://yota-faq.ru/archives/7666.

19 Баклашов Н.И., Китаева Н.Ж., Терехов Б.Д. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды. – М.: Радио и связь, 1989.

20 Инструкция по устройству освещенности зданий и сооружений. РД 34.21.122-87.

21 Волков О.М. Пожарная безопасность вычислительных центров. М: Стройиздат, 1990.

22 Голубицкая Е. А.,. Жигульская Г. М. Экономика связи. – М.: Радио и связь, 2000. 86

23http://kz.zarplat.info/profession/%D0%B8%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80

Приложение А
Таблица частотного диапазона стандарта LTE

RRU	Frequency band	RX band (MHz)	TX band (MHz)
RRU3908	900 MHz	890 to 915	935 to 960
		880 to 905	925 to 950
	850 MHz	824 to 849	869 to 894
	1800 MHz	1,710 to 1,755	1,805 to 1,850
		1,740 to 1,785	1,835 to 1,880
	1900 MHz	1,850 to 1,890	1,930 to 1,970
		1,870 to 1,910	1,950 to 1,990
RRU3804	Band I (2100 MHz)	1,920 to 1,980	2,110 to 2,170
	Band II (1900 MHz)	1,850 to 1,910	1,930 to 1,990
	Band IV (AWS)	1,710 to 1,755	2,110 to 2,155
	Band V/VI (850 MHz)	824 to 849	869 to 894

Рисунок А.1 – Частотный диапазон стандарта LTE

Приложение Б
Скриншоты расчетов на программе MathCAD

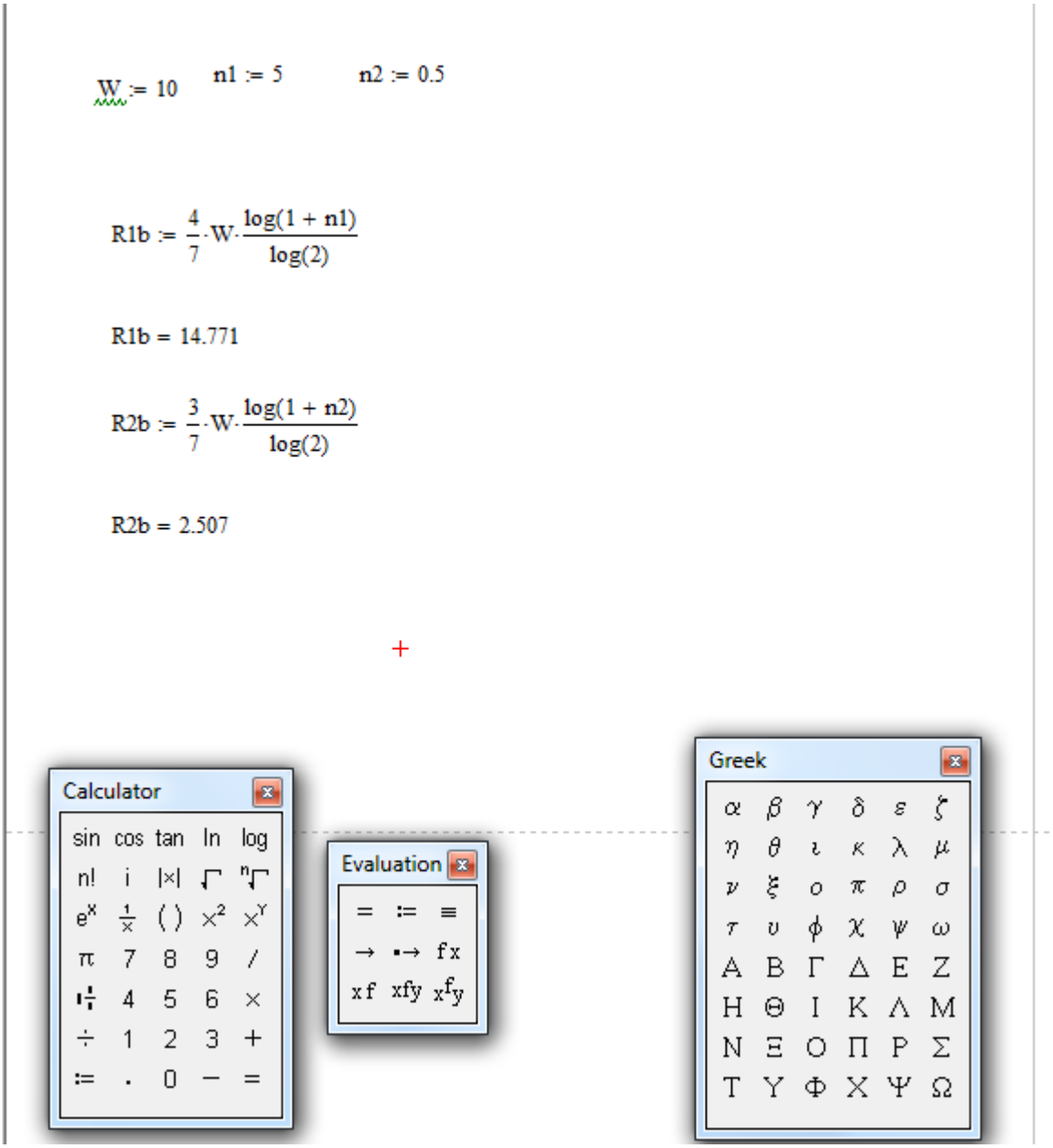


Рисунок Б.1 – Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей