МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»

Кафедра Телекоммуникационных сетей и систем

«Допущен к защите»

Зав.кафедрой Темырканова Э.К., доктор PhD, доц.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Разработка комплекса задач для практических занятий бакалавров по дисциплине «Мобильные телекоммуникации».

Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил Жармуханбетов А.Қ. **Группа** РЭТ-16-3

Научный руководитель Данько Е.Т. доцент, PhD
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

Консультанты
по технической части:
Гармашова Ю.М., доц.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

по экономической части:
Ибришев Н.Н., д.э.н., профессор
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Бекбасаров Ш.Ш., д.т.н
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
Гармашова Ю.М., доц.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Гармашова Ю.М., доц.
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____«____» _____2020 г.
(подпись)

Алматы 2020 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ ИМЕНИ ГУМАРБЕКА ДАУКЕЕВА»

Институт Космической инженерии и телекоммуникаций (ИКИТК)

Кафедра Телекоммуникационных сетей и систем

Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникаций

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студенту Жармуханбетову Асхату Қайратұлы

Тема проекта Разработка комплекса задач для практических занятий бакалавров по дисциплине «Мобильные телекоммуникации».

Утверждена приказом ректора № 147 от «_11_» ___ноября___ 2019 г.

Срок сдачи законченного проекта «25» _____мая____ 2020 г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта: Технология 5G, пакет прикладных программ «Технический расчет». Технические данные системы Beamforming. Функциональные дополнения 5G New Radio. Функциональные дополнения gNB.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта: Обзор характеристик и требований к построению сетей 5G. Структура формирования beamforming для 5G. Описание технологии New Radio. Состояние и направления развития технологии 5G. Функциональные дополнения к системам построения 5G.. Типы функциональных дополнений модуляций CP-OFDM и DFT-s-OFDM. Технические требования, предъявляемые к построению сете 5G. Технические характеристики и функции gNB. Мировая практика применения 5G. Безопасность жизнедеятельности. Технико-экономическое обоснование.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Цели и задачи дипломного проекта. Актуальность. Технология Beamforming. Технология New Radio.. Листинг программы «Технический расчет». Результаты расчета потерь. Анализ результатов расчета. Расчет потерь радиосигнала ниже уровня крыш с типом видимости LoS. Расчет потерь радиосигнала ниже уровня крыш с типом видимости NLoS. Расчет потерь сигнала методом Окумура-Хата. Расчет потерь сигнала методом Кся-Бертони. Расчет потерь сигнала методом Уолфиша-Икегами. Безопасность проекта для жизнедеятельности. Экономическая эффективность проекта.

Основная рекомендуемая литература:

1 Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно территориальное планирование : учеб ное пособие для вузов / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – Изд. 2 е, испр. – М. : Горячая линия Телеком, 2007. − 224 с.

2 Рекомендация МСЭ-R P.530-11.// URL:https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-11-200503-S!!PDF-R.pdf

3 Qualcomm.// URL:https://www.qualcomm.com/invention/5g/what-is-5g

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

5 Бекишева А.И. Методические указания к выполнению экономической части дипломной работы для бакалавров специальности 5В0703 - Информационные системы – Алматы: АУЭС; 2013. –24 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Техническая часть	Гармашова Ю.М.	25.05.2020 г.	
Экономическая часть	Ибришев Н.Н	25.05.2020 г.	
Безопасность жизнедеятельности	Бекбасаров Ш. Ш	25.05.2020 г.	
Применение вычислительной техники	Гармашова Ю.М.	25.05.2020 г.	
Нормоконтроль	Гармашова Ю.М.	28-30.05.2020 г.	

График
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1	Основы понятия беспроводного покоения в телекомуникации	13.01.-01.02. 2020 г.	
2	Стандартизация 5G	03-30.02. 2020 г.	
3	Описание технологии New Radio	01-12.03. 2020 г.	
4	Прицнип работы технолгии Beamforming	14-20.03. 2020 г.	
5	Форма волны 5G и модуляция: CP-OFDM и DFT-s-OFDM	22.03.-12.04. 2020 г.	
6	Расчеты потерь в городских условиях с типом видиости LoS и NLoS	12-25.04. 2020 г.	
7	Расчет потерь радиосигнала методом Кся-Бертони	25-30.04. 2020 г.	
8	Расчет потерь радиосигнала методом Окумура-Хата	01-15.05. 2020 г.	
9	Расчет потерь радиосигнала методом Уолфиша-Икегами	16-22.05. 2020 г.	
10	Безопасность жизнедеятельности	22-23.05. 2020 г.	
11	Технико-экономическое обоснование	24-25.05. 2020 г.	

Дата выдачи задания «09»___октября___2019 г.

Заведующий кафедрой _____ (Темырканова Э.К.)
(подпись) (Ф.И.О.)

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

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

Аңдатпа

Осы диплом жұмысының мақсаты "Мобильді телекоммуникациялар" пәні бойынша бакалаврлардың практикалық сабақтарына арналған кешенді есептер жасау, 4G технологиясын, сонымен қатар қала жағдайында 5G сымсыз желісін құру негіздерін , оның архитектурасы мен стандарттарын зерттеу болып табылады. Бұл жұмыс 5G желілерін құру негіздерін есептеуді үйрету мақсатында компьютерде оқу аудиториясында орындалады, сондай-ақ осы әдістемелік нұсқауды сыртқы кадрлардың "мобильдік телекоммуникациялар" саласындағы жіктеуді арттыру мақсатында пайдалану мүмкіндігі

Аннотация

Целью данной диплоной работы является разработка комплекса задач для практических занятий бакалавров по дисциплине «Мобильные телекоммуникации», изучение существующей технологии 4G, а так же основы построения беспроводной сети 5G в городских условиях , ее архитектуры и стандартов. Данная работа будет выполняться в учебной аудитории на компьютере с целью обучить учащихся рассчитывать основы построения сетей 5G, а так же возможность использовать данное методическое указание с целью повышения классификации в области «Мобильные телекоммуникации» внешних кадров.

Annotation

The purpose of this diploma work is to develop a set of tasks for practical training of bachelors in the discipline "Mobile telecommunications", to study the existing 4G technology, as well as the basics of building a 5g wireless network in urban conditions , its architecture and standards. This work will be performed in the classroom on a computer in order to teach students to calculate the basics of building 5G networks, as well as the ability to use this guideline to improve the classification in the field of "Mobile telecommunications" of external personnel.

.

-Содержание

Введение…….. 7
1 Анализ ……..... 9
1.1 Основное понятие беспроводного поколения …….. 9
1.2 Обзор сотовых систем …….…. 9
1.3 5G стандартизация……...…….. 11
1.4 Требования 5G…… 11
1.5 Новое радио 5G NR…… 12
1.6 Основы базовой сети 5G NextGen NG ……... 16
1.7 Форма волны 5G и модуляция: CP-OFDM и DFT-s-OFDM……..… 17
1.8 Техническое задание на разработку комплекса задач…….. 24
2 Расчет потерь радиосигнала в городских условиях…….…. 26
2.1 Потери сигнала прямой видимости и вне прямой видимости..…... 26
2.2 Общая модель для всех местоположений ……..……... 27
2.3 Расчет потерь сигнала ниже уровня крыш LoS в диапазоне УВЧ… 30
2.4 Расчет потерь сигнала ниже уровня крыш LoS в диапазоне СВЧ… 31
2.5 Распространение в диапазоне миллиметровых волн (КВЧ)…… 34
3 Модели распространения сигнала..... 35
3.1 Модель Кся-бертона..... 35
3.2 Модель Окумура-Хата …… 39
3.3 Модель COST 231 / Уолфиша-Икегами …….. 41
4 Безопасность жизнедеятельности…….. 45
4.1 Анализ условий труда ……... 45
4.2 Технические решения обеспечения безопасности жизнедеятельности……. 47
4.3 Выбор и обоснование кондиционера……... 51
5 Технико-экономическое обоснование ……...….. 52
5.1 Характеристика проекта……..…… 52
5.2 Определение трудозатратности выполнения НИР ……... 53
5.3 Затраты на разработку системы……..…. 55
5.4 Определение возможной (договорной) цены НИР ……... 63
Заключение……. 64
Список литературы…… 65
Приложение А Расчеты в программе Mathcad Professonal…..……... 67
Приложение Б Справка антиплагиата
Приложение В Электронная версия ДП и демонстрационные материалы (CD-R)
Приложение Г Раздаточные материалы (формат А4 – листов)

Введение

В настоящее время идет становление новой эпохи развития телекоммуникации, когда повседневная жизнь людей на всей планете будет более тесно взаимосвязана, чем когда-либо. Новые достижения в области технологий откроются с пятым поколенем, или 5G телекоммуникации.

Первое поколение мобильной связи предоставляло немногим пользователям дорогие и зачастую ненадежные аналоговые голосовые вызовы. Второе поколение предоставило услугу цифровой голосовой связи, которая будет доступна гораздо большему количеству людей и, в конечном счете, станет дешевле в использовании. 3G положил начало мобильному интернету, мобильным вычислениям и распространению приложений. 4G (часто называемый LTE) сделал возможным все, что мы ожидаем от мобильного широкополосного доступа.

5G - это технологический ответ, позволяющий создавать миллиарды новых соединений и делающий их безопасными и мгновенными. 5G повлияет на все отрасли - автомобили, здравоохранение, производство и распротранению товаров, аварийные службы, и это лишь некоторые из них. И 5G специально разработан таким образом, чтобы эти отрасли могли использовать преимущества сотовой связи способами, которые раньше были невозможны, и совершенствоваться мере расширения использования 5G.

Но смена поколений в мобильной связи происходит не мгновенно. Это требует значительных усилий в области исследований и разработок и ресурсов, необходимых для поддержки этих усилий. Работа над 4G заняла почти десятилетие, и проблемы были нелегкими.

Как и 3G и 4G, 5G входит в компетенцию организации по стандартизации 3GPP, где несколько компаний, разрабатывающих технологии, объединяются со многими, гораздо большим количеством компаний, которые будут разрабатывать продукты, реализующие эти технологии.

Новая сеть обмена данными, которая определяет так много технических приложений, была бы почти невозможна без 5G. Поскольку передача данных более эффективна, 5G потенциально может быть в 40 раз быстрее и иметь меньшую задержку, чем текущий стандарт 4G. Эта скорость имеет решающее значение для автономных автомобилей, где необходимо принимать своевременные решения, чтобы избежать аварий.

5G важен не только потому, что он способен поддерживать миллионы устройств на сверхбыстрых скоростях, но также потому, что он способен изменить жизнь людей во всем мире.

Улучшения в технологии 5G могут помочь сделать жизнь лучше. С 5G возможны значительные успехи в технологии автономных транспортных средств, благодаря чему у людей появляется новый уровень личной и профессиональной свободы. Подключенные устройства могут помочь

автоматизировать задачи по дому, что может не только улучшить личное удобство, но и помочь тем, кто нуждается в помощи в повседневных задачах.

Расширение досягаемости мобильной широкополосной связи 5G может привести в действие технологию, значительно превосходящую возможности современной мобильной технологии. Благодаря своей скорости и пропускной способности, 5G обещает значительно улучшить трехмерные голограммы, виртуальную реальность и дополненную реальность, создавая возможности для объединения людей далеко за пределы того, что позволяет современная сотовая технология.

Повышение надежности, безопаности и охраны здоровья. Доступ к технологии 5G обещает улучшить критически важные услуги, которые сегодня влияют на безопасность и защищенность услуг. Возможности включают в себя: умные города с 5G в общественных местах, возможности для удаленной хирургии, лучший контроль трафика и многие другие приложения, которые зависят от почти мгновенного времени отклика.

Поэтому дипломный проект посвящен теме «Разработка комплекса задач для практических занятий бакалавров по дисциплине «Мобильные телекоммуникации»».

1 Анализ

1.1 Основное понятие беспроводного поколения

В первую очередь «Generation» в беспроводных стандартах заключался в том, чтобы упростить переход между одной беспроводной системой доставки к более новой без существенных потерь. 5G имеет набор преимуществ, которые должны произойти без помех, или без каких-либо дополнительных затруднений:

– конвергентное обслуживание может привести к объединению операторов. Например, в большей части континентальной США ее провайдером кабельного телевидения был и поставщиком услуг широкополосного доступа в Интернет. 5G wireless стремится стандартизировать основы, поставив компании AT & T, Verizon и комбинированные компании T-Mobile / Sprint в конкуренцию с компаниями Comcast и Charter Communications, как для широкополосного интернета, так и для «кабельного» телевидения;

– небольшая клеточная инфраструктура могла бы изменить построение сетей. Чтобы сократить расходы операторов 5G, он использует передатчики меньшего размера, которые потребляют меньше энергии, но охватывают гораздо меньшие зоны обслуживания, чем типичные вышки 4G;

– глобальная экономика в сфере технологий может быть реконструирована. Nokia и Ericsson становятся мировыми центрами силы телекоммуникаций. А у Китая, чьи государственные China Mobile и поддерживаемый государством Huawei несут совместную ответственность за поддержку архитектуры 5G, теперь один из самых ценных переговорных центров для статуса сверхдержавы.

1.2 Обзор сотовых систем

По мере развития различных поколений сотовой связи каждое из них принесло свои улучшения. То же относится и к технологии 5G.

Анализ поколений:

– первое поколение, 1G: эти телефоны были аналоговыми и были первыми мобильными или сотовыми телефонами, которые будут использоваться. Они были революционными в свое время, но предлагали очень низкий уровень эффективности использования спектра и безопасности;

– второе поколение, 2G: они основаны на цифровых технологиях и предлагают гораздо лучшую эффективность использования спектра, безопасность и новые функции, такие как текстовые сообщения и связь с низкой скоростью передачи данных;

– третье поколение, 3G: Целью этой технологии было предоставление высокоскоростных данных. Первоначальная технология была усовершенствована, чтобы обеспечить скорость передачи данных до 14 Мбит/с и более;

– четвертое поколение, 4G: это технология, полностью основанная на IP, способная обеспечить скорость передачи данных до 1 Гбит/с;

– технология 5G: Когда впервые был сформулирован постулат 5G, было выдвинуто несколько вариантов использования: очень высокая скорость передачи данных, поскольку загрузка видео становится больше и более распространенной; дистанционное управление с малой задержкой - примеры автономных транспортных средств, обменивающихся информацией с радиолокационной инфраструктурой для обеспечения безопасной транспортировки, а также пример опытных хирургов, способных выполнять сложные операции удаленно с использованием линии связи 5G; оба эти примера требуют мобильной связи с очень малой задержкой; больше возможностей для общей передачи данных; способность приспосабливаться к очень низкой скорости передачи данных и периодической связи для Интернета вещей, IoT, где требуется очень длительное время автономной работы.

Вместо того, чтобы предлагать больше чем в предыдущих поколениях мобильной связи, технология 5G должна была предложить новые возможности и повсеместное подключение. Это потребует не только использования существующих базовых станций, которые могут быть преобразованы в 5G, но также и множества небольших сот.

Основа стандарта 5G состоит из спектра низких, средних и высоких частот. Сети 5G работают на разных частотах с частотой менее 6 ГГц и миллиметровыми волнами (20–60 ГГц) на нижних и верхних уровнях спектра.

Операторы уже использовали спектр ниже 6 для существующих сетей LTE, и теперь им нужно больше его для построения 5G. Частота миллиметровых волн ранее не использовалась, и появление 5G предоставило несущим доступ к спектру, который обеспечит более высокие скорости.

Но у миллиметровых радиоволн есть несколько недостатков: поскольку они высокочастотные, волны не распространяются на большие расстояния. Они даже не могут проходить через окна или здания. Это означает, что устройство, работающее в сети на базе миллиметровых радиоволн, например, Verizon, T-Mobile и сети ATG T 5G, должно быть очень близко к узлу 5G, чтобы перехватить сигнал.

Это эффективно в плотной городской области, где вы можете установить узел 5G через каждые несколько сотен футов. Но в сельской местности, где мало зданий или вышек сотовой связи, миллиметровые радиоволны работать не будут.

Для этого Sprint использует существующий спектр средних частот (2,5 ГГц) для построения своей сети 5G. На частоте 2,5 ГГц сигнал может распространяться дальше, но не так быстро, как в режиме миллиметровых радиоволн. Компания T-Mobile запустила свою сеть 5G с использованием миллиметровых радиоволн в нескольких городах, но теперь предлагает общенациональную услугу 5G, использующую спектр, который может

обеспечивать связью 5000 городов в дополнение к некоторым сельским районам.

1.3 5G стандартизация

Мобильная связь 5G регулируется рядом стандартов. Опираясь на 2G GSM, 3G UMTS и 4G LTE, стандарт 5G находится под эгидой 3GPP - Партнерского проекта третьего поколения.

3GPP имеет несколько различных рабочих групп, каждая из которых занимается различными элементами требуемых стандартов. Они привлекают экспертов отрасли, которые отдают свое время и спонсируются соответствующими компаниями мобильной связи. Таким образом, стандарты написаны и разработаны.

Имея основную отраслевую организацию, которая контролирует стандарты, заинтересованные стороны могут влиять на стандарты, чтобы обеспечить получение требуемой функциональности. Кроме того, поскольку стандарт является международным, различные компании могут не только работать над различными элементами системы и знать, что они будут взаимодействовать, но также и для пользователя, такие возможности, как роуминг, доступны, и в результате снижается стоимость телефонов, вызовов и т.д., экономии на масштабе и т.д.

Стандарты 3GPP обновляются как конкретные выпуски - в каждом выпуске уточняются элементы, которые уже были описаны, и вводятся новые функциональные возможности. Предыдущие выпуски содержали стандарты для GSM, UMTS и LTE. Когда 5G начал развиваться, он также был включен в стандарты.

1.4 Требования 5G

В качестве условий для работы над новой системой мобильной связи 5G были установлены общие требования. Они были определены МСЭ как часть IMT2020. Даже сейчас, когда 5G является активной системой мобильной связи, полезно обратиться к этим требованиям. Стандартизация 5G приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Стандартизация 5G

Параметры	Значения
1	2
Пиковая скорость передачи данных	20 Гбит/с нисходящей линии связи и 10 Гбит/с восходящей линии связи на мобильную базовую станцию. Это дает 20-кратное увеличение нисходящей линии связи по сравнению с LTE.
Плотность соединения 5G	Не менее 1 миллиона подключенных устройств на квадратный километр (для поддержки IoT).

Продолжение таблицы 1.1

1	2
5G мобильность	От 0 км/час до скоростного транспортного средства 500 км / ч.
5G энергоэффективность	Спецификация 5G требует радиоинтерфейсов, которые являются энергоэффективными, когда находятся под нагрузкой, но также быстро переходят в режим низкой энергии, когда они не используются.
5G спектральная эффективность	Нисходящая линия связи 30 бит/Гц и восходящая линия связи 15 бит/Гц. Это предполагает 8x4 MIMO (8 пространственных слоев вниз, 4 пространственных слоя вверх).
5G реальная скорость передачи данных	Спецификация «только» требует скорости загрузки для каждого пользователя 100 Мбит / с и скорости загрузки 50 Мбит / с.
5G задержка	В идеальных условиях сети 5G должны предлагать пользователям максимальную задержку всего 4 мс (по сравнению с 20 мс для LTE).

1.5 Новое радио 5G NR

5G NR или 5G New Radio - это новый радиоинтерфейс, разработанный для мобильной связи 5G.

С учетом высоких требований, предъявляемых к новому стандарту мобильной связи 5G, была разработана совершенно новая сеть радиоинтерфейса и радиодоступа. Названный 5G New Radio или 5G NR, новый радиоинтерфейс обеспечивает растущие потребности в мобильной связи.

Разработка 5G NR или 5G New Radio является основой к работе системы мобильной связи 5G и дает ряд существенных преимуществ по сравнению с 4G.

5G NR был разработан с нуля, принимая во внимание требования и рассматривая лучшие технологии и методы, которые будут доступны, когда 5G начнет использоваться. Пример сети радиодоступа показан на рисунке 1.1.

5G NR использует технологии модуляции и осциллограммы, которые позволят системе удовлетворить потребности служб с высокой скоростью передачи данных, тех, которые нуждаются в низкой задержке, и тех, которые нуждаются в малых скоростях передачи данных и длительном сроке службы батареи, среди других.

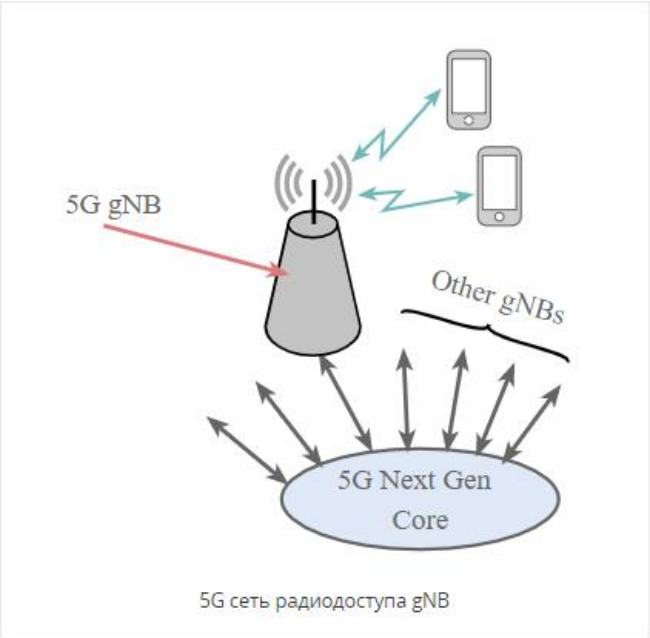

Рисунок 1.1 - 5G сеть радиодоступа gNB (Next generation nodeB)

Новое радио 5G было разработано для обеспечения значительных улучшений в таких областях, как гибкость, масштабируемость и эффективность с точки зрения энергопотребления и спектра.

Преимущество более высоких частотных диапазонов состоит в том, что они намного шире, и они смогут обеспечить гораздо более широкополосный сигнал и поддерживать гораздо более высокие скорости передачи данных. Недостаток в некоторых аспектах состоит в том, что они будут иметь гораздо более короткий диапазон, но это также является преимуществом, поскольку оно также позволит гораздо более частое повторное использование частоты.

Было принято раннее решение использовать форму OFDM(Orthogonal frequency-division multiplexing) в качестве формы волны для первой фазы нового радио 5G. Он очень успешно использовался с 4G, новейшими стандартами Wi-Fi и многими другими системами и стал оптимальным типом сигнала для множества различных приложений 5G. С дополнительной вычислительной мощностью, доступной для 5G, можно применять различные формы оптимизации.

Основная концепция OFDM, мультиплексирование с ортогональным частотным разделением конкретной версией OFDM, используемой в нисходящей линии связи 5G NR, является циклический префикс OFDM, CP-OFDM, и это тот же сигнал, который LTE принял для сигнала нисходящей линии связи. Пример концепции OFDM показан на рисунке 1.2.

Beamforming - это технология, которая стала реальностью в последние годы и предлагает 5G значительные преимущества. Формирование луча позволяет направлять луч от базовой станции к мобильному устройству.

Таким образом, оптимальный сигнал может быть передан на мобильное устройство и получен с него, одновременно снижая помехи для других

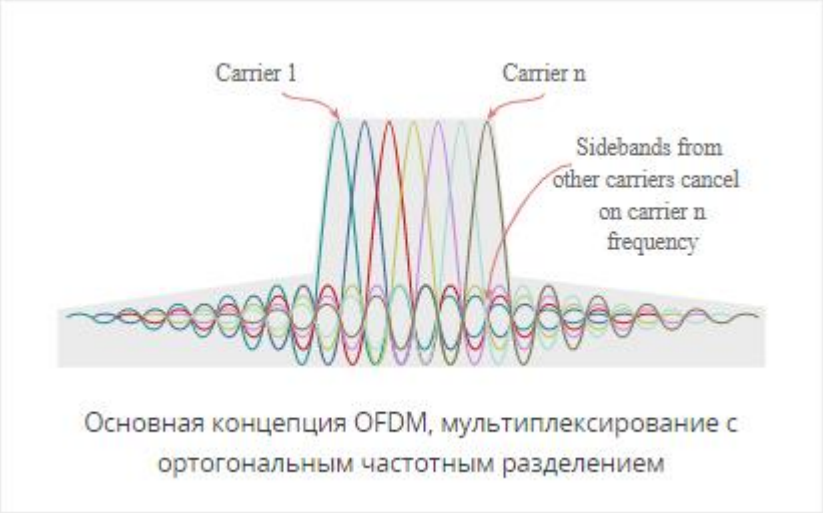

Рисунок 1.2 – Концепция OFDM

мобильных устройств. Принцип работы формирования диаграммы направленности показан на рисунке 1.3.

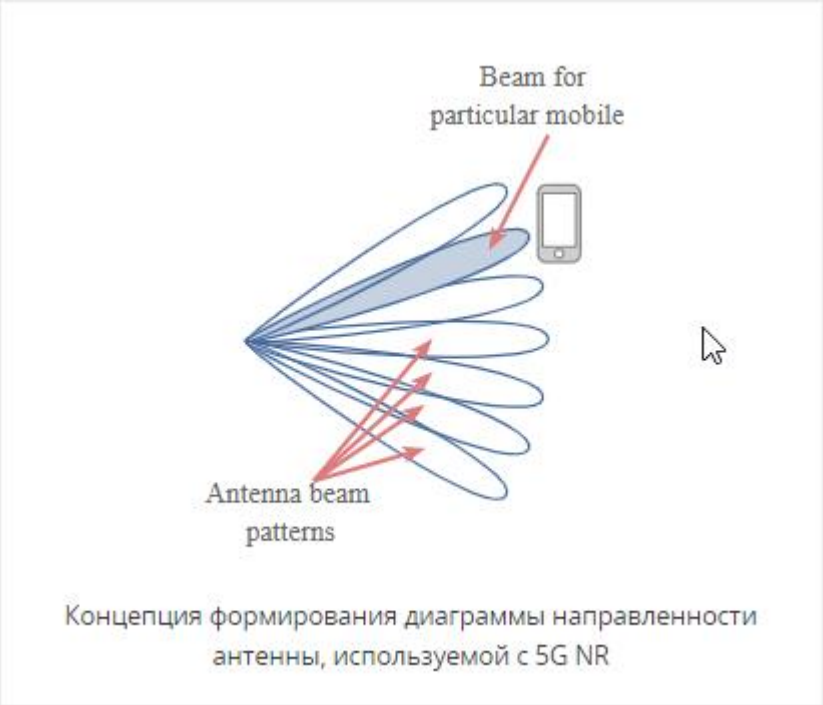

Рисунок 1.3 – Формирование диаграммы направленности

Концепция формирования диаграммы направленности антенны, используемой с 5G NR на более высокие частоты позволяет использовать антенны значительно меньшего размера и возможность программируемых уровней высокой направленности.

На частотах выше 24 ГГц, где антенны меньше, есть возможность иметь высокоэффективные антенны управления лучом, которые способны точно

направлять мощность на соответствующую подвижную станцию, а также обеспечивают усиление приемника в этом направлении..

5G будет в полной мере использовать преимущества многопользовательского MIMO(Multiple Input Multiple Output), MU-MIMO, где он будет предоставлять возможности множественного доступа, используя распределенное и некоррелированное пространственное местоположение различных пользователей.

При реализации этого gNB (базовая станция 5G) отправляет CSI-RS (опорный сигнал информации о состоянии канала) на другое пользовательское оборудование, а затем, в зависимости от ответов, gNB вычисляет пространственную информацию для каждого пользователя. Он использует эту информацию для вычисления необходимой информации для матрицы предварительного кодирования (W-Matrix), где символы данных встроены в сигналы для каждого из элементов антенной решетки gNB.

Множество потоков данных имеют свои собственные весовые коэффициенты, которые включают в себя сдвиги фаз для каждого потока, чтобы позволить сигналам конструктивно создавать помехи в приемнике. Это максимизирует уровень сигнала для пользователя, а также минимизирует сигнал и, следовательно, помехи для других пользователей. Таким образом, gNB может одновременно и независимо общаться с несколькими устройствами, используя пространственную информацию. Это означает, что 5G MU-MIMO позволяет пользовательскому оборудованию работать без необходимости знания канала или дополнительной обработки для получения потоков данных.

MU-MIMO на нисходящей линии связи значительно улучшает пропускную способность антенн gNB. Он масштабируется с минимальным количеством антенн gNB и суммой количества пользовательских устройств, умноженной на количество антенн на этих устройств. При использовании 5G MU-MIMO система может добиться увеличения пропускной способности, используя антенные решетки gNB и более простые устройства пользовательского оборудования.

Особенности:

– методы совместного использования радиочастотного спектра. Большая часть радиочастотного спектра, хотя и распределена, не используется эффективным образом. Один из предлагаемых методов предназначен для совместного использования спектра;

– унифицированный дизайн по частотам: с новым радио 5G, использующим широкое разнообразие частот, возможно от 3,4 до 3,6 ГГц ниже 6 ГГц, а затем от 24,25 до 27,5 ГГц, от 27,5 до 29,5 ГГц, 37 ГГц, 39 ГГц и от 57 до 71 ГГц в качестве возможностей для радио миллиметровых радиоволн. Важно иметь общий интерфейс между этими частотами;

– маленькие ячейки: поскольку для обеспечения требуемой пропускной способности требуется уплотнение сети, предлагается более широкое использование небольших ячеек и сетей с малыми ячейками. Небольшая

сотовая сеть - это группа передающих базовых станций с низким энергопотреблением, которые используют миллиметровые волны для увеличения общей пропускной способности сети. Сеть малых ячеек 5G работает, координируя группу маленьких ячеек, чтобы распределить нагрузку и уменьшить трудности физических препятствий, которые становятся более важными при миллиметровых волнах.

Используя эти и многие другие методы, 5G New radio, 5G NR сможет значительно повысить производительность, гибкость, масштабируемость и эффективность современных мобильных сетей.

1.6 Основы базовой сети 5G NextGen NG

Требования к сети для 5G будут многофункциональными. В одном случае необходима связь с очень высокой пропускной способностью, а в других приложениях существует потребность в чрезвычайно низкой задержке, а затем существуют также требования для передачи данных с низкой скоростью передачи данных между компьютерами и приложениями IoT.

В результате сеть 5G NextGen должна будет обеспечивать огромное количество типов трафика, и она должна быть в состоянии вместить каждый из них с большой эффективность. Считается, что создание основы, подходящий для всех типов, не дает оптимальной производительности в любом приложении, но это то, что необходимо для сети 5G.

Для достижения требований к сети 5G используется ряд методов. Это сделает сеть 5G значительно более масштабируемой, гибкой и эффективной.

– программно-определяемые сети, (software-defined networking, SDN). Используя программно-определяемые сети, можно управлять сетью, используя программное обеспечение, а не аппаратное обеспечение. Это обеспечивает значительные улучшения с точки зрения гибкости и эффективности;

– виртуализация сетевых функций, (Network Functions Virtualization, NFV): при использовании программно-определяемых сетей можно запускать различные сетевые функции исключительно с использованием программного обеспечения. Это означает, что стандартное оборудование может быть переконфигурировано для обеспечения различных функций и может быть развернуто по мере необходимости в сети;

– разрезание сети: поскольку 5G потребует очень разные типы сетей для различных приложений. Используя SDN и NFV, можно будет настроить тип сети, который потребуется отдельному пользователю для его приложения. Поэтому одно и то же оборудование, использующее различное программное обеспечение, может обеспечить низкий уровень задержки для одного пользователя, в то время как предоставление голосовой связи другому, использующему другое программное обеспечение, и другим пользователям, могут потребоваться другие типы производительности сети, и у каждого из них может быть часть сети с нужной производительностью.

Производительность, требуемая для сети 5G NextGen, была определена NGMN (Next Generation Mobile Networks). Альянс мобильных сетей следующего поколения - это мобильная телекоммуникационная ассоциация операторов мобильной связи, поставщиков, производителей и исследовательских институтов, которая, используя опыт всех сторон, может разрабатывать стратегии для мобильных сетей следующего поколения, например, для 5G.

В качестве 5G NG базовая сеть NextGen сможет использовать гораздо более высокие уровни гибкости, чтобы позволить ей соответствовать повышенным и разнообразным требованиям, предъявляемым к ней сетью радиодоступа, и увеличением числа соединений и трафика.

1.7 Форма волны 5G и модуляция: CP-OFDM и DFT-s-OFDM

Формат сигнала 5G NR основан на OFDM - CP-OFDM (Cyclic Prefix – OFDM) и DFT-s-OFDM(Discrete Fourier Transform Spread OFDM) с адаптивной модуляцией, включая QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) и 16QAM(Quadrature amplitude modulation), 64QAM, 256QAM.

Одним из определяющих элементов любой системы мобильной связи является форма волны, используемая для радиолинии в сети радиодоступа.

На этапе разработки технологии 5G были постулированы различные формы сигналов и методы модуляции, но для 5G New Radio, 5G NR, циклический префикс OFDM, CP-OFDM был выбран в качестве основного кандидата с DFT-s-OFDM, дискретным разбросом преобразования Фурье. мультиплексирование с ортогональным частотным разделением используется в некоторых областях.

OFDM обеспечивает хорошую спектральную эффективность, обеспечивая устойчивость к избирательному замиранию, а также позволяет реализовать возможность множественного доступа с использованием OFDMA (Orthogonal frequency-division multiplexing).

1.7.1 5G фон сигнала. Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением было отличным выбором формы сигнала для 4G LTE. Он обеспечивает превосходную эффективность использования спектра, с разными уровнями обработки, достижимыми в современных мобильных телефонах, и он хорошо работает с потоком с высокой скоростью передачи данных, занимающим широкие полосы пропускания. Он хорошо работает в ситуациях, когда наблюдается избирательное затухание.

Однако, благодаря прогрессу в возможностях обработки, которые будут доступны в ближайшем будущем, когда ожидается, что 5G будет иметь первые запуски и возможность рассмотреть другие формы сигналов.

Есть несколько преимуществ использования новых сигналов для технологии 5G. OFDM требует использования циклического префикса, и это занимает место в потоках данных. Есть также другие преимущества, которые могут быть введены при использовании одного из множества новых сигналов для 5G.

Одним из ключевых требований является наличие вычислительной мощности. Хотя закон Мура в его базовой форме работает до пределов размеров элементов устройства, и дальнейшие достижения в миниатюризации на некоторое время маловероятны, разрабатываются другие методы, которые означают, что дух закона Мура может продолжаться, и возможности обработки возрастут. Как таковые, новые формы волны 5G, которые требуют дополнительной вычислительной мощности, но могут обеспечить дополнительные преимущества, все еще жизнеспособны.

Требования к форме волны 5G.

Потенциальные приложения для мобильной связи 5G, включая высокоскоростную загрузку видео, игры, связь между автомобилями и машинами в инфраструктуру, обычную сотовую связь, связь IoT / M2M и т.п.

Некоторые из ключевых требований, которые должны поддерживаться схемой модуляции и общей формой волны, включают:

– способен обрабатывать сигналы с высокой пропускной способностью и высокой пропускной способностью;

– требуется обеспечить передачу с малой задержкой для длинных и коротких пакетов данных, то есть очень короткие интервалы передачи, TTI;

– возможность быстрого переключения между восходящей и нисходящей линиями для систем TDD, которые могут использоваться;

– обеспечивание возможность энергоэффективной связи, минимизируя время включения устройств с низкой скоростью передачи данных.

1.7.2 Схемы множественного доступа 5G. Существует несколько систем-кандидатов, которые рассматриваются как схема множественного доступа 5G.

Они включают в себя множество разных идей:

– OFDMA: OFDMA с множественным доступом с ортогональным частотным разделением каналов широко используется и очень успешен для 4G и может использоваться в качестве схемы множественного доступа 5G. Однако это требует использования OFDM и требует ортогональности между несущими, а использование циклического префикса имеет некоторые недостатки. В результате исследуются другие схемы множественного доступа;

– множественный доступ с разреженным кодом, SCMA: SCMA - это еще одна идея, рассматриваемая как схема множественного доступа 5G, и она фактически является комбинацией OFDMA и CDMA. Обычно с OFDMA несущая или несущие назначаются данному пользователю. Однако, если к каждому поставщику добавлен код расширения, он сможет передавать данные нескольким пользователям. Эта методика была разработана для использования так называемого разреженного кода, и таким образом можно добавить значительное количество пользователей при сохранении уровней спектральной эффективности;

– неортогональный множественный доступ, NOMA: NOMA является одним из методов, рассматриваемых как схема множественного доступа 5G. NOMA накладывает несколько пользователей в области мощности, используя

методы отмены для удаления более мощного сигнала. NOMA может использовать множественный доступ с ортогональным частотным разделением, OFDMA или дискретное преобразование Фурье, OFDM с DFT-расширением.

Есть несколько схем множественного доступа, которые можно использовать с 5G. Один или один из них будет выбран в результате процесса стандартизации, который в настоящее время продолжается.

1.7.3 Циклический префикс OFDM: CP-OFDM. Конкретной версией OFDM, используемой в нисходящей линии связи 5G NR, является циклический префикс OFDM, CP-OFDM, и это тот же сигнал, который LTE принял для сигнала нисходящей линии связи.

В рамках CP OFDM последняя часть данных кадра OFDM добавляется в начале кадра OFDM, и длина циклического префикса выбирается так, чтобы она превышала разброс задержки канала. Это преодолевает межсимвольные помехи, которые могут возникнуть в результате задержек и отражений. В дополнение к этому, разброс задержки в канале зависит от частоты, причем длина циклического префикса выбирается так, чтобы она была достаточно большой для учета обоих помех. По этой причине длина CP является адаптивной в соответствии с условиями соединения.

В восходящей линии связи 5G NR использовался формат, отличный от 4G LTE. В восходящей линии связи используются формы сигналов на основе CP-OFDM и DFT-s-OFDM. Кроме того, 5G NR предусматривает использование гибкого разнесения поднесущих. Поднесущие LTE обычно имеют разнесение 15 кГц, но 5G NR позволяет разнести поднесущие с частотой 15 кГц x 2 с максимальным разносом 240 кГц. Интегральное расстояние между несущими, а не дробное расстояние между несущими, требуется для сохранения ортогональности несущих.

Гибкий интервал несущих используется для правильной поддержки разнообразных полос / типов спектра и моделей развертывания, которые 5G NR необходимо будет учитывать. Например, 5G NR должен быть в состоянии работать в полосах мм-волны, которые имеют более широкую ширину канала до 400 МГц. В спецификации 3GPP 5G NR Release-15 подробно описывается масштабируемая нумерология OFDM с масштабированием в 2 с разнесения поднесущих, которое может масштабироваться с шириной канала, поэтому размер FFT масштабируется, так что сложность обработки не увеличивается без необходимости для более широких полос пропускания. Гибкое расстояние между несущими также обеспечивает дополнительную устойчивость к воздействию фазового шума в системе.

Использование сигналов OFDM предлагает более низкую сложность реализации по сравнению с той, которая была бы необходима, если бы были реализованы некоторые другие сигналы, рассмотренные для 5G. В дополнение к этому, OFDM хорошо понято, поскольку оно использовалось для 4G и многих других беспроводных систем.

1.7.4 DFT-s-OFDM. OFDM прямого распространения с преобразованием

Фурье, обычно сокращенно обозначаемый как DFT-s-OFDM, является схемой передачи, подобной SC или одиночной несущей, которую можно комбинировать с OFDM, что обеспечивает значительную гибкость для системы мобильной связи, такой как 5G. Он более известен как SC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access).

Обработка передачи SC-FDMA очень похожа на обработку OFDMA. Для каждого пользователя переданная последовательность битов отображается в сложную совокупность символов (BPSK, QPSK или M-квадратурная амплитудная модуляция). Затем разным передатчикам (пользователям) назначаются разные коэффициенты Фурье. Это назначение выполняется в блоках отображения и обратного отображения. Сторона приемника включает в себя один блок обратного отображения, один блок IDFT и один блок обнаружения для каждого принимаемого пользовательского сигнала. Как и в OFDM, защитные интервалы (называемые циклическими префиксами) с циклическим повторением вводятся между блоками символов для эффективного устранения межсимвольных помех из-за расширения времени (вызванного многолучевым распространением) среди блоков.

1.7.5 Соображения модуляции 5G. В общем формате сигнала могут использоваться разные типы модуляции несущей. В системе связи 5G это варианты фазовой манипуляции и квадратурной амплитудной модуляции.

При использовании различных форматов модуляции необходимо учитывать несколько факторов:

– отношение пиковой к средней мощности, (Peak-to-Average Power Ratio, PARP): Отношение пиковой к средней мощности является одним из аспектов производительности, который необходимо учитывать для любой схемы модуляции связи 5G. Отношение пикового значения к среднему существенно влияет на эффективность усилителей мощности. Для 2G GSM уровень сигнала был постоянным, и в результате оказалось возможным запустить конечный РЧ-усилитель в сжатом состоянии, чтобы получить высокий уровень эффективности и максимально продлить срок службы батареи.

С появлением 3G, затем усовершенствований HSPA(High Speed Packet Access) и затем 4G LTE, схемы модуляции и формы сигналов означают, что сигналы становятся все более «пиковыми» с более высокими уровнями отношения пиковой мощности к средней мощности. Это означает, что конечные РЧ-усилители не могут работать в режиме сжатия, и, поскольку PAPR увеличилось, эффективность РЧ-усилителей снизилась, и это является одним из факторов, сокращающих срок службы батареи.

Порядок модуляции является одним из факторов, который оказывает основное влияние на PAPR: чем выше уровень «пиковости», тем ниже эффективность, которая может быть достигнута эффективностью усилителя мощности РЧ, хотя схемы, такие как отслеживание огибающей и усилители Doherty, позволяют улучшить быть сделано;

– спектральная эффективность. Одним из ключевых вопросов в любой форме схемы модуляции 5G является спектральная эффективность. Поскольку спектр имеет первостепенное значение, особенно на частотах ниже 3 ГГц, важно, чтобы любая схема модуляции, принятая для 5G, могла обеспечить высокий уровень спектральной эффективности. Часто существует баланс между более высокими порядками модуляции, такими как 64QAM, в отличие от 16QAM, например, и шумовой характеристикой. Таким образом, схемы модуляции более высокого порядка, как правило, используются только при хорошем отношении сигнал / шум.

1.7.6 5G модуляция: PSK & QAM. Для технологии 5G используются различные форматы модуляции:

– фазовая манипуляция: технология 5G реализует квадратурную фазовую манипуляцию, QPSK как формат модуляции самого низкого порядка. Это обеспечит самую низкую пропускную способность данных, но оно также обеспечит наиболее надежную линию связи и его можно использовать при низких уровнях сигнала или при высоких помехах.

Фазовая манипуляция PSK является формой модуляции, используемой, в частности, для передачи данных. Изменяя число различных фазовых состояний, которые могут быть приняты, скорости данных, которые могут быть достигнуты в данном канале, могут быть увеличены, но за счет более низкой устойчивости к помехам и помехам;

– квадратурная амплитудная модуляция: квадратурная амплитудная модуляция позволяет увеличить пропускную способность данных. Форматы, используемые в системе мобильной связи 5G, включают 16QAM, 64QAM и 256QAM. Чем выше порядок модуляции, тем выше пропускная способность, но штрафом является слабая устойчивость к шуму. Поэтому 256AM используется только тогда, когда качество связи хорошее, и уменьшается до 64QAM, а затем до 16QAM и т. д., Поскольку связь ухудшается. Это баланс между пропускной способностью данных и отказоустойчивостью.

Квадратурная амплитудная модуляция, QAM широко используется для передачи данных, поскольку она обеспечивает лучший уровень спектральной эффективности, чем другие формы модуляции. QAM использует две несущие на одной частоте, сдвинутые на 90, которые модулируются двумя потоками данных - I или Inphase и Q - квадратурными элементами.

Форма волны и типы модуляции, используемые с технологией 5G, были выбраны для обеспечения спектральной эффективности, пропускной способности и устойчивости, необходимых для новой системы мобильной связи.

Мобильная связь 5G способна обеспечить очень высокую пропускную способность, поэтому сигналы и модуляция должны поддерживать это и обеспечивать надежное обслуживание для пользователей.

1.7.7 5G миллиметровая волна. Одним из вариантов, будет включен в технологии 5G, разрабатываемые для систем сотовой связи 5G, является возможность миллиметровых волн.

Из-за недостатка спектра ниже 4 ГГц рассматриваются частоты до 60 ГГц.

Предполагается, что операторам может потребоваться полоса пропускания в несколько ГГц для обеспечения некоторых из прогнозируемых чрезвычайно высоких скоростей передачи данных.

В настоящее время частоты ниже 4 ГГц используются системами сотовой связи, и по самой своей природе эти частоты могут предлагать максимальную полосу пропускания только 4 ГГц, даже если они все были свободны для использования, что, очевидно, невозможно.

Благодаря интерфейсу миллиметровых волн 5 ГБ, возможно гораздо более широкую полосу пропускания, и есть несколько возможных миллиметровых полос, которые рассматриваются для распределения этому типу услуг.

5G распространение миллиметровой волны.

Характеристики распространения полос миллиметровых волн очень отличаются от характеристик ниже 4 ГГц. Обычно расстояния, которые могут быть достигнуты, намного меньше, и сигналы не проходят через стены и другие объекты в зданиях.

Обычно связь миллиметрового диапазона может использоваться для наружного покрытия плотных сетей - как правило, для густонаселенных улиц и т.п. Здесь возможны диапазоны до 200 или 300 метров.

Одна из проблем использования сигналов миллиметровых волн заключается в том, что на них также могут влиять естественные изменения, такие как дождь. Это может привести к значительному снижению уровня сигнала во время осадков. Это может привести к снижению покрытия в течение некоторых периодов.

Часто эти маленькие ячейки 5G миллиметрового диапазона могут использовать методы формирования луча для нацеливания на требуемое пользовательское оборудование, а также для уменьшения вероятности отражений и т. Д.

Миллиметровое покрытие.

Когда установлены маленькие ячейки миллиметрового диапазона, они обеспечивают хороший уровень охвата. Поэтому покрытие, как правило, ниже, чем у макросот и оно не будет таким хорошим, но при рассмотрении уровня данных, которые они могут нести, они обеспечивают отличный путь для удовлетворения потребностей систем 5G.

Еще одна проблема заключается в том, что они будут вызывать гораздо большее количество передач, чем обычная макросота. Дополнительная сигнализация и управление должны быть размещены в системе. Также необходимо рассмотреть вопросы транзитных перевозок.

1.7.8 5G Massive MIMO & Формирование луча. MIMO - это разновидность антенной технологии, в которой используются несколько антенн для разделения сигналов, проходящих по разным путям в результате отражений и т.д., и их возможности, используемые для улучшения

пропускной способности данных и / или отношения сигнал / шум, тем самым улучшая производительность системы.

MIMO - Multiple Input Multiple Output хорошо зарекомендовал себя для мобильной связи, а также многих других технологий. Он используется в Wi-Fi 802.11 и является центральной частью 4G LTE, а также многих других технологий радиосвязи.

В результате спроса устанавливаются базовые станции с массивными антеннами MIMO 5G, а пользовательское оборудование также может работать с MIMO для повышения общей производительности.

Используя антенны MIMO и методы формирования луча, беспроводная технология 5G была способна предложить увеличенную емкость и скорость передачи данных.

5G MIMO и массивное MIMO.

Спецификация 4G LTE позволяет использовать до восьми пространственных уровней в нисходящей линии связи и четыре пространственных уровня в восходящей линии связи. В действительности развернутые сети 4G LTE могут использовать два или четыре пространственных уровня для повышения производительности.

Чтобы перейти от базового MIMO, используемого в 4G LTE, к массивному формату MIMO 5G, можно увеличить количество антенных элементов. Например, использование 64 кросс-поляризованных антенн означает, что базовая станция может быть определена как массивная система MIMO.

Удивительно, что значительное увеличение количества антенных элементов не увеличивает количество пространственных слоев.

Использование этого большого количества элементов позволяет антенне 5G MIMO обеспечивать возможности MIMO и формирования луча.

Не существует определения, где проходит граница между обычной системой MIMO и массивной системой MIMO. Он имеет тенденцию применяться к системам с числом десятков антенн или более. Доступны массивные антенны 5G MIMO с 64, 96 и даже 128 антенными системами.

Использование массивного MIMO в беспроводной технологии 5G дает много преимуществ, и на самом деле оно преодолевает многие проблемы, которые возникали при использовании подходов 4G LTE MIMO. Однако это приносит много новых проблем.

Разработка антенн является ключевым вопросом. Необходимо разработать недорогие антенны низкой точности.

Также необходимо уметь проводить содержательное тестирование. С MIMO и, в этом случае, с массивным MIMO, имеющим так много перестановок и разных условий, его становится очень сложно тестировать. Массивные антенны 5G MIMO представляют много интересных задач.

Если взглянуть на преимущества массивного MIMO 5G, есть значительные преимущества с точки зрения увеличения емкости. По

некоторым оценкам, улучшение в 50 раз, хотя это может быть немного преувеличено.

Предыдущие поколения систем мобильной связи не имели возможности управлять ресурсами так, как 5G, и это привело к перегрузке сетей. Используя массивный MIMO и технологию формирования луча, управление спектром обрабатывается намного более разумно, и это приводит к тому, что скорости передачи данных и уровни задержки становятся значительно более равномерными по всей сети.

1.8 Техническое задание на разработку комплекса задач

Все рассмотренное выше позволяет сделать вывод о необходимости иметь углубленные и подробные знания бакалаврам о технологии 5G, что является основой для приобретения необходимых специализированных компетенций в ходе подготовки бакалавра РЭТ.

При обучении в дисциплине «Мобильные телекоммуникации» рассматривается следующий круг тем:

– классификация мобильных телекоммуникаций. Основные виды мобильных телекоммуникаций: их назначение, характеристики и области применения. Назначение и особенности функционирования транкинговых и спутниковых систем связи;

– сотовые структуры. Понятие и основные положения частотно-территориального планирования. Проблемы использования частотного ресурса. Понятие кластера;

– общие характеристики наземной сотовой системы связи 2G стандарта GSM. Особенности организации эфирного интерфейса, структура и иерархия кадров;

– модель цифровой системы связи. Обзор канально-физического уровня системы сотовой связи стандарта GSM. Архитектура сети GSM. Подсистемы и элементы сети, протоколы и интерфейсы;

– канальная структура GSM. Процедуры установления соединения, обеспечения мобильности и секретности в сетях GSM;

– организация пакетной передачи данных в сетях GSM/GPRS. Архитектура GPRS, протоколы, управление передачей данных, особенности организации физического уровня. Технология EDGEac;

– общие характеристики стандарта сотовой связи IS-95. Достоинства и недостатки систем с кодовым разделением каналов. Разновидности стандарта. Организация канально-физического уровня в прямом и обратном направлении передачи. Особенности архитектуры и сетевых процедур;

– направления развития систем мобильной связи 3G. Общие характеристики стандарта CDMA2000. Назначение и особенности канального уровня CDMA2000-1X и CDMA2000 EV-DO. Архитектура сети CDMA2000 EV-DO;

– сети UMTS/HSPA. Основные характеристики систем UMTS. Особенности радиоинтерфейсов WCDMA FDD и WCDMA TDD.

Архитектура, организация физического уровня и базовых системных процедур сетей UMTS/HSPA;

– технология MIMO в современных системах беспроводной связи. Различные конфигурации MIMO. Расчет канала в системах MIMO;

– системы подвижной связи 4G на основе технологии LTE;

– особенности технологии и технические характеристики стандарта. Принципы построения радиоинтерфейса E-UTRAN. Организация восходящего и нисходящего канала. Механизмы передачи и сетевая архитектура SAE;

– системы подвижной связи 4G на основе технологии LTE. Возможности самоорганизации сетей LTE. Управление частотным ресурсом. Фемтосоты. Перспективы развития LTE;

– технологии пятого поколения мобильной связи (5G). Стандартизация сетей 5G. Ключевые решения и потенциальные технологические компоненты сетей 5G. Архитектура сетей 5G. Логическая архитектура подсистемы радиодоступа. Перспективные методы множественного доступа в системах 5G.Использование Massive MIMO в сетях 5G;

– концепция реализации опорной сети в 5G;

– перспективы развития мобильной связи.

Так же на практических занятиях изучаются:

– расчет принимаемой мощности при распространении сигнала в свободном пространстве и определение абсолютных средних потерь в системах подвижной радиосвязи, работающих на разных частотах;

– расчет потерь при распространении сигнала внутри зданий и вне зданий с использованием различных моделей (двулучевая модель, многолучевое «ущелье», CCIR);

– расчет внутрисистемных помех для кластера;

– оценка качества обслуживания в системе сотовой связи.

Поэтому разработка комплекса задач для практических занятий бакалавров по дисциплине «Мобильные телекоммуникации» является актуальным.

При дальнейшей разработке проекта по созданию комплекса задач будет рассмотрено:

- расчет потерь радиосигнала в городских условиях
- расчет потерь методом Окумура-Хата, Кся-Бертони и COST-231;
- рассмотреть задание по безопасности жизнедеятельности;
-разработать бизнес план;
-заключение дипломного проекта.

2 Расчет потерь радиосигнала в городских условиях

2.1 Потери сигнала прямой видимости и вне прямой видимости

Потери радиосигнала в городской местности бывают двух видов Без прямой видимости(NLOS) и прямой видимости(LoS)- это радиопередачи по пути, который частично перекрыт, обычно физическим объектом в самой внутренней зоне Френеля.

Многие типы радиопередач зависят в различной степени от линии прямой видимости (LOS) между передатчиком и приемником. Препятствия , которые обычно вызывают потери включают в себя здания, деревья, холмы, горы, и, в некоторых случаях, высоковольтные электрические силовые линии. Некоторые из этих препятствий отражают определенные радиочастоты, а некоторые просто поглощают или искажают сигналы; но в любом случае они ограничивают использование многих типов радиопередач, особенно при низком энергопотреблении.

Более низкие уровни мощности в приемнике уменьшают вероятность успешного приема передачи. Низкие уровни могут быть вызваны по меньшей мере тремя основными причинами: низкий уровень передачи, например, уровни мощности Wi-Fi; удаленный передатчик, такой как 4G на расстоянии более 8,0 км или телевизор на расстоянии более 50 км; и препятствие между передатчиком и приемником, не оставляя свободного пути.

NLOS снижает эффективную принимаемую мощность. С ближней линией видимости обычно можно справиться с использованием более качественных антенн, но для не прямой видимости обычно требуются альтернативные пути или методы многолучевого распространения.

В настоящее время наиболее распространенным методом работы с условиями NLOS в беспроводных компьютерных сетях является просто обход состояния NLOS и размещение ретрансляторов в дополнительных местах, посылая содержимое радиопередачи вокруг препятствий. Некоторые более продвинутые схемы передачи NLOS теперь используют многолучевое распространение сигнала, отражая радиосигнал от других близлежащих объектов, чтобы добраться до приемника.

Non-Line-of-Sight (NLOS) - это термин, который часто используется в радиосвязи для описания радиоканала или линии, где отсутствует визуальная линия видимости(LOS) между передающей антенной и приемной антенной. В этом контексте LoS берется:

– либо как прямая линия, свободная от любой формы визуальной обструкции, даже если она на самом деле слишком далека, чтобы видеть невооруженным человеческим глазом;

– как виртуальный LOS, т.е. Как прямая линия через визуально затрудняющий материал, таким образом оставляя достаточную передачу для обнаружения радиоволн

Существует много электрических характеристик среды передачи, которые влияют на распространение радиоволн и, следовательно, на качество работы радиоканала, если это вообще возможно, на трассе NLOS.

Аббревиатура NLOS стала более популярной в контексте беспроводных локальных сетей (WLAN) и беспроводных городских сетей, таких как WiMax поскольку способность таких каналов обеспечивать разумный уровень покрытия NLOS значительно улучшает их конкурентоспособность и универсальность в типичных городских районах. среды, в которых они наиболее часто используются. Однако NLOS содержит много других подмножеств радиосвязи.

Влияние визуальной обструкции на канал NLOS может быть от незначительного до полного подавления. Примером может служить тракт LOS между антенной телевизионного вещания и приемной антенной на крыше. Если между антеннами пройдет облако, линия связи может фактически стать NLOS, но качество радиоканала может быть практически не затронуто. Если вместо этого на пути было построено большое здание, в результате чего канал стал недоступен, канал может быть недоступен для приема.

Пример распространения радиоволн в городских условиях с наличием LoS и Nlos приведен на рисунке 2.1

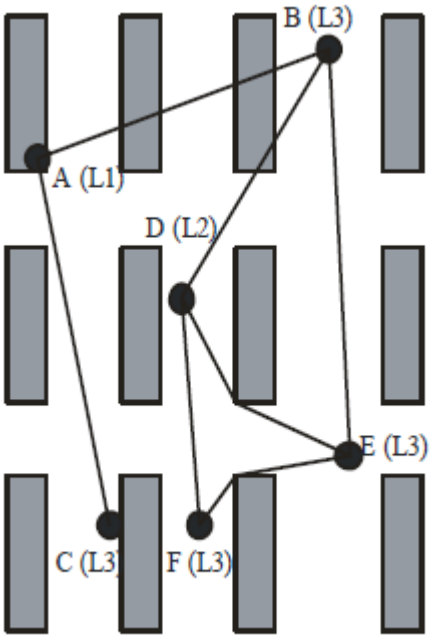

Рисунок 2.1 - Распространение радиоволн в городе

2.2 Общая модель для всех местоположений

Эта общая модель для всех местоположений применима к ситуациям, когда передающая и приемная станции расположены ниже уровня крыш,

независимо от высоты их антенны. Общая модель для всех местоположений описывается следующим уравнением

$$PL(d, f) = 10\alpha log_{10}(\mathrm{d}) + \beta + 10\gamma \log_{10}(f) + N(0, \sigma) \text{ (дБ)}, \qquad (2.1)$$

где d - прямое расстояние между передающей и приемной станциями в трехмерной системе координат (м),

f - рабочая частота (ГГц),

α - коэффициент, связанный с увеличением потерь на трассе с расстоянием,

β - коэффициент, связанный со значением смещения потерь на трассе;

γ - коэффициент, связанный с увеличением потерь на трассе с частотой;

$N(0,\sigma)$ - нулевая средняя гауссова случайная величина со стандартным отклонением.

Для нахождения коэффициентов потерь на трассе воспользуемся таблицей 2.1.

Таблица 2.1 - Коэффициенты потерь на трассе при распространении ниже уровня крыш

Диапазон частот (ГГц)	Диапазон расстояний (м)	Тип среды	Тип Видимости	**α**	**β**	**γ**	**σ**
0,8-73	5-660	Городская зона, многоэтажной застройки, городская зона малоэтажной застройки/пригородная зона	Los	2.12	29.2	2.11	5.06
0,8-38	30-715	Городская зона многоэтажной застройки	NLoS	4	10.2	2.36	7.6

Задача 1.

Дано: Частоты передачи и приема канала связи оказываются в диапазоне для городской среды с типом видимости LoS от 800 до 73000 МГц, а диапазон расстояния базовой станции до абонентской станции равен 5-600 м, поэтому примем f = 16400 МГц. Расстояние от БС до АС, R = 300 м.

Рассчитать: общую модель для всех местоположений для городской зоны многоэтажной застройки с типом видимости LoS.

Решение.

Воспользуемся данными из таблицы 2.1.

Общая модель для всех местоположений для городской зоны многоэтажной застройки с типом видимости LoS

$$PL(d, f) = 10 \cdot 2{,}12 \cdot log_{10} 300 + 29{,}2 + 10 \cdot 2{,}11 \cdot \log_{10} 16400 + 5.06 = 175{,}69 \text{ (дБ).}$$

Задача 2.

Дано: Частоты передачи и приема канала связи оказываются в диапазоне для городской среды с типом видимости NLoS от 800 до 38000 МГц, а диапазон расстояния базовой станции до абонентской станции равен 30-715м, поэтому примем f = 14200 МГц. Расстояние от БС до АС, R = 410 м.

Рассчитать: общую модель для всех местоположений для городской зоны многоэтажной застройки с типом видимости NLoS.

Решение.

Воспользуемся данными из таблицы 2.1.

Общая модель для всех местоположений для городской зоны многоэтажной застройки с типом видимости NLoS

$$PL(d, f) = 10 \cdot 4 \cdot log_{10} 410 + 10{,}2 + 10 \cdot 2{,}36 \cdot \log_{10} 16400 + 7{,}6 = 220{,}15 \text{ (дБ).}$$

2.3 Расчет потерь сигнала ниже уровня крыш LoS в диапазоне УВЧ

В диапазоне частот УВЧ основные потери при передаче могут быть охарактеризованы двумя наклонами и одной точкой прерывания. Приблизительный нижний предел LoS, определяется следующим образом

Для $d \le R_{bp}$

$$L_{LoS,l} = L_{bp} + 20\log_{10}(\frac{d}{R_{bp}}) \text{ (дБ).} \quad (2.2)$$

Для $d > R_{bp}$

$$L_{LoS,l} = L_{bp} + 40\log_{10}(\frac{d}{R_{bp}}) \text{ (дБ).} \quad (2.3)$$

Приблизительный верхний предел LoS определяется как

Для $d \le R_{bp}$

$$L_{LoS,l} = L_{bp} + 20 + 25\log_{10}(\frac{d}{R_{bp}}) \text{ (дБ).} \quad (2.4)$$

Для $d > R_{bp}$

$$L_{LoS,l} = L_{bp} + 20 + 40\log_{10}(\frac{d}{R_{bp}}) \text{ (дБ).} \quad (2.5)$$

Расстояние от точки прерывания в метрах

$$R_{bp} = \frac{4h_1h_2}{\lambda} \text{ (м).} \quad (2.6)$$

Значение основных потерь при передаче в точке прерывания

$$L_{bp} = \left| 20\log_{10}\frac{\lambda^2}{8\pi h_1 h_2} \right| \text{ (дБ),} \quad (2.7)$$

где λ—длина волны, $\lambda = \frac{c}{f}$; (м),

h_1 — высота базовой станции (м),

h_1 — высота абонентской станции (м).

В соответствии с кривой потерь [12] в свободном пространстве медианное значение LoS определяется как

Для $d \le R_{bp}$

$$L_{LoS,l} = L_{bp} + 6 + 20\log_{10}(\frac{d}{R_{bp}}) \text{ (дБ).} \quad (2.8)$$

Для $d > R_{bp}$

$$L_{LoS,l} = L_{bp} + 6 + 40\log_{10}(\frac{d}{R_{bp}}) \text{ (дБ).} \quad (2.9)$$

Задача 3.

Дано:

Высота базовой станции h_1=8 м., h_2=2.6 м., частота передачи сигнала f=8450 МГц, длина волны при частоте 8450 λ=0,035 м.

Рассчитать:

Найти основные потери сигнала в точке прерывания и медианное значение потерь при передачи от базовой станции до абонентской при типе видимости LoS для УВЧ.

Решение.

Находим основные потери при передаче в точке прерывания по формуле (2.7)

$$L_{bp} = \left| 20\log_{10} \frac{0,035^2}{8\pi \cdot 8 \cdot 2,6} \right| = 112,62 \text{ (дБ).}$$

Расчёт от точки прерывания в метрах

$$R_{bp} = \frac{4 \cdot 8 \cdot 2,7}{0,035} = 2468 \text{ (м).}$$

Так как $d \le R_{bp}$, используем формулу (2.4) для нахождения нижнего предела

$$L_{LoS,l} = 112,62 + 25\log_{10}(\frac{300}{2468}) = 89,87 \text{ (дБ).}$$

Приблизительный верхний предел LoS определяется как

$$L_{LoS,l} = 112,62 + 20 + 25\log_{10}(\frac{300}{2468}) = 109,87 \text{ (дБ).}$$

Исходя из формулы (2.8), находим медианное значение

$$L_{LoS,l} = 112,62 + 6 + 25\log_{10}(\frac{300}{2468}) = 95,87 \text{ (дБ).}$$

2.4 Расчет потерь сигнала ниже уровня крыш LoS в диапазоне СВЧ

В диапазоне СВЧ при длине трассы приблизительно до 1 км дорожное движение будет оказывать влияние на эффективную высоту дороги и, следовательно, на расстояние до точки прерывания. Это расстояние R_{bp} рассчитывается по формуле

$$R_{bp} = 4\frac{(\mathrm{h}_1 - h_s)(\mathrm{h}_2 - \mathrm{h}_s)}{\lambda} \text{ (м),} \qquad (2.10)$$

где h_s - эффективная высота дороги из-за влияния таких объектов, как транспортные средства на дороге и пешеходы рядом с проезжей частью дороги (м).

Таблица зависимости эффективной высоты дороги при интенсивном трафике приведена в таблице 2.2.

Талица 2.2 - Эффективная высота дороги h_s при интенсивном трафике

Частота (ГГц)	h_1 (м)	h_s (м)	
		h_2=2,7	h_2=1.6
3.35	4	1.3	(2)
	8	1.6	(2)
8.45	4	1.6	(2)
	8	1.6	(2)
15.75	4	1.4	(2)
	8	(1)	(2)
* где: (1) - расстояние до точки прерывания не превышает 1 км; (2) – точка прерывания не существует			

Если h_1, h_2 > h_s, то приближенные значения верхнего и нижнего пределов основных потерь при передаче для диапазона СВЧ можно рассчитать, используя уравнения (2.2), (2.3), (2.4) и (2.5), где L_{bp} задается как

$$L_{bp} = \left| 20\log_{10} \frac{\lambda^2}{8\pi(h_1 - h_s)(h_2 - h_s)} \right| \text{ (дБ).} \qquad (2.11)$$

Но когда h_1 или h_2 < h_s, точка прерывания отсутствует. Если два терминала находятся рядом ($d < Rs$), то основные потери при распространении аналогичны основным потерям при распространении в диапазоне УВЧ. Если два терминала удалены друг от друга, характеристики распространения таковы, что коэффициент ослабления имеет кубическую зависимость. Поэтому приблизительный нижний предел при $d \geq Rs$ задается как

$$L_{LoS,l} = L_s + 30\log_{10}(\frac{d}{R_s}) \text{ (дБ).} \qquad (2.12)$$

Приблизительный верхний предел при $d \geq Rs$ задается следующим образом

$$L_{LoS,l} = L_s + 20 + 30\log_{10}(\frac{d}{R_s}) \text{ (дБ).} \qquad (2.13)$$

Основные потери при распространении Ls определяются как

$$L_s = \left| 20\log_{10} \frac{\lambda}{R_s} \right| \text{ (дБ).} \qquad (2.14)$$

Экспериментально установлено, что значение *Rs* в уравнениях (2.12) – (2.14) равно 20 м.

С учетом измерений медианное значение определяется как

$$L_{LoS,\mathrm{m}} = L_s + 6 + 30\log_{10}(\frac{d}{R_s}) \text{ (дБ).} \qquad (2.15)$$

Задача 4.

Дано:

Диапазон СВЧ, сигнал с типом видимости LoS ниже уровня крыш при h_1=8, h_2=2,6 и частота f=8450 МГц.

Рассчитать:

Определить медианное значение потерь радиосигнала ниже уровня крыш для ситуации LoS с учетом эффетивой высоты дороги при интенсивном трафике в диапазоне СВЧ.

Решение.

В диапазоне СВЧ для сигнала с типом видимости LoS ниже уровня крыш при h_1=8, h_2=2,6 и частоте f=8450 МГц, расстояние до точки прерывания находится по формуле (2.10)

$$R_{bp} = 4\frac{(8-1,6)(2,7-1,6)}{0,035} = 857 \text{ (м).}$$

Так как h_1, h_2 > h_s, то рассчитать верхний и нижний предел потерь можно по формулам (2.2)-(2.5), рассчитав основные потери при распространении, исходя из формулы (2.11)

$$L_{bp} = \left| 20\log_{10}\frac{0,035^2}{8\pi(8-1,6)(2,7-1,6)} \right| = 104,4 \text{ (дБ).}$$

Приблизительный нижний предел LoS в СВЧ

$$L_{LoS,l} = 104,4 + 25\log_{10}(\frac{300}{2468}) = 8,22 \text{ (дБ).}$$

Приблизительный верхний предел LoS в СВЧ

$$L_{LoS,l} = 104,4 + 20 + 25\log_{10}(\frac{300}{2468}) = 101,65 \text{ (дБ).}$$

2.5 Распространение в диапазоне миллиметровых волн (КВЧ)

На частотах выше приблизительно 10 ГГц расстояние от точки прерывания R_{bp} в уравнении (2.6) намного превышает ожидаемый максимальный радиус соты (500 м). Это означает, что в данном диапазоне частот не ожидается действие закона четвертой степени. Поэтому скорость уменьшения мощности при увеличении расстояния будет почти точно соответствовать закону свободного пространства с показателем потерь на трассе приблизительно 1,9–2,2.

Для направленных антенн, ориентированных по линии прицеливания, потери на трассе задаются формулой

$$L_{LoS} = L_0 + 10n\log_{10}(\frac{d}{d_0}) + \mathrm{L}_{gas} + L_{rain} \text{ (дБ).} \qquad (2.16)$$

где n – показатель потерь на трассе;

d – расстояние между станцией 1 и станцией 2 (м);

L_0 – потери на трассе на эталонном расстоянии;

$d0$ - эталонное расстояние (м);

L_{gas} – ослабление при атмосферных газах(4,4 дБ)[10];

L_{rain} – ослабление при дожде(0,8 дБ)[11].

$$L_0 = 20\log_{10} f - 28 \text{ (дБ).}$$

где f – частота , выражаемая (МГц).

Таблица коэффициентов потерь на трассе для направленного распространения миллиметровых волн приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3. - Коэффициенты потерь на трассе для направленного распространения миллиметровых волн

Частота (ГГц)	Тип условий	Ширина луча на половинной мощности (градус)		Показатель потерь на трассе
		Передающая антенна	Приемная антенна	n
28	Городская зона высотной застройки	30	10	2,21
	Городская зона малоэтажной застройки	30	10	2,06
60	Городская зона малоэтажной застройки	15,4	15,4	1,9

Задача 5.

Дано:

Используя частоты f=28 ГГц и 60 ГГц. для городских зон высокоэтажной и малоэтажной застройки соответственно. Расстояние между базовой и абонентской станцией равно d=300м.

Рассчитать:

Исходя из таблицы 2.3, определить коэффициент потерь на трассе и рассчитать потери на трассе типа LoS в диапазон КВЧ.

Решение.

Для городской зоны высокой застройки: если f=28 ГГц

$$L_0 = 20\log_{10} 28000 - 28 = 60,8 \text{ (дБ)},$$

$$L_{LoS} = 60,8 + 10 \cdot 2,21 \cdot \log_{10}(\frac{300}{1}) + 4,4 + 0,8 = 127,78 \text{ (дБ)}.$$

Для городской зоны малоэтажной застройки: если f=60 (ГГц)

$$L_0 = 20\log_{10} 60000 - 28 = 67,6 \text{ (дБ)},$$

$$L_{LoS} = 67,6 + 10 \cdot 1,9 \cdot \log_{10}(\frac{300}{1}) + 4,4 + 0,8 = 118,69 \text{ (дБ)}.$$

3 Модели распространения сигнала

3.1 Модель Кся-бертона

Модель Кся-Бертона - это аналитический метод, который позволяет оценить основные потери распространения для городских и пригородных зон. По сравнению с другими моделями, такими как Окумара-Хата и Уолфиша — Икегами, его можно использовать для прогнозирования потерь на трассе для различных зон покрытия.

Модель идентифицирует процессы распространения как наиболее важные компоненты, которые управляют распространением радиосигнала в городских и пригородных средах:

- распространение в свободном пространстве;
- дифракция от крыши до уровня улицы;
- многократная дифракция вперед через ряды зданий.

Основным вкладом этой модели является аналитический подход, используемый для решения множественной прямой дифракции через ряды зданий. Ряды зданий аппроксимируются как поглощающие полуэкраны, так

что распространение по зданиям рассматривается как процесс многократной дифракции.

На рисунке 3.1 показан путь радиосвязи и геометрические параметры, участвующие в прогнозировании потерь на трассе. Он не учитывает угол ориентации дороги относительно прямой трассы радиосвязи.

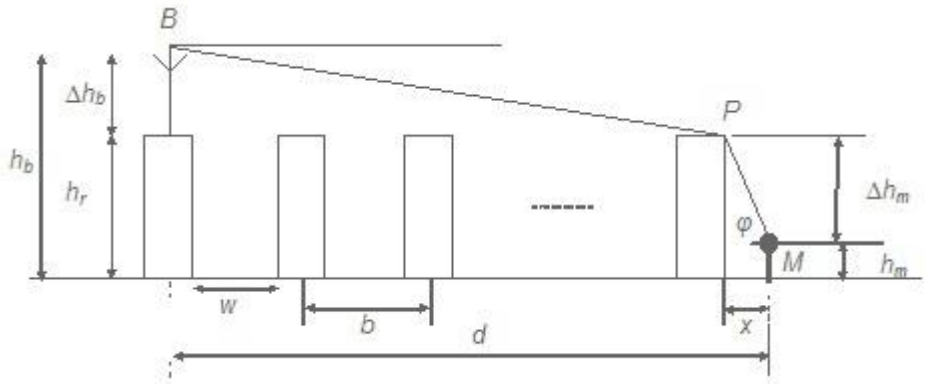

Рисунок 3.1 - Модель распространения модели Кся-Бертона

С учетом ранее упомянутых процессов распространения общая потеря радиосигнала ниже уровня крыши на трассе, L_b (дБ), выражается как сумма трех независимых членов

$$Lb = L0 + Lrts + Lmsd \text{ (дБ)}, \quad (3.1)$$

где L_0- потери в свободном пространстве (дБ);

L_{rts}- потери на дифракцию от крыши до улицы (дБ);

L_{msd}- уменьшение из-за многократной дифракции на плоских волнах в каньонах зданий (дБ).

3.1.1 Потеря свободного пространства - L_0. Потери в свободном пространстве L_0, можно просто записать как функцию частоты и расстояния между передатчиком и приемником.

$$L0 = -10lg\left[\left(\frac{\lambda}{2\sqrt{2\pi R}}\right)^{2,}\right] \text{ (дБ)}, \quad (3.2)$$

где λ—длина волны, $\lambda = \frac{c}{f}$ (м);

h_0 = средняя высота крыш (м);

R — расстояние между БС и АС (м).

Задача 1.

Дано:

Частота сигнала равна 1460 МГц. Длина волны радиосигнала равна $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\cdot10^8}{1460\text{МГц}}$ =0,2 м. Расстояние между БС и АС равно R = 300 м.

Рассчитать:

Определить потери в свободном пространстве, если базовая антенна расположена выше уровня крыш.

Решение.

Используя формулу (3.2) находим потерю в свободном пространстве

$$L0 = -10lg\left[\left(\frac{0.2}{2\sqrt{2\pi 300}}\right)^2\right] = 62{,}76 \text{ (дБ)}.$$

3.1.2 Потери с крыши на улицу L_{rts}. Используя хорошо разработанную геометрическую теорию дифракции, L_{rts} определяется как

$$Lrts = -10lg\left[\frac{\lambda}{2\pi^2 r}\left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi+\theta}\right)^2\right] \quad \text{(дБ)}, \qquad (3.3)$$

где $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\triangle h_M}{x}\right)$ (радианы);

$r = \sqrt{\triangle h_m{}^2 + \chi^2}$ - расстояние от точки дифракции до мобильной станции (м);

h_m: разница между средним уровнем крыши и антенной абонентской станции (м);

x — дальность по горизонтали между АС и кромкой крыши, на которой дифрагирует волна. x = ω / 2; (м);

ω— средняя ширина улиц, ω = 10 ÷ 15 (м).

Задача 2

Дано:

Частота сигнала равна 1460 МГц. Высота базовой станции h_1=35 м, высота абонентской станции h_2=2 м., средняя высота крыш равна h_0=27.

Ширина улицы равна 14 м.

Рассчитать:

Определить потери сигнала с крыши на улицу.

Решение.

Используя формулу (3.3) находим потери с крыши на улицу

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{25}{7}\right) = 1{,}29 \text{ (радианы)},$$

$$r = \sqrt{25^2 + 48^2} = 54{,}12 \text{ (м)},$$

$$Lrts = -10lg\left[\frac{0{,}2}{2\pi^2 \cdot 54{,}12}\left(\frac{1}{1{,}29} - \frac{1}{2\pi+1{,}29}\right)^2\right] = 36{,}02 \text{ (дБ)}.$$

3.1.3 Многоэкранные дифракционные потери, L_{msd}. Многоэкранная дифракция L_{msd} оценивается следующим общим выражением

$$Lmsd = -10lg|Qm|^2. \text{ (дБ).} \quad (3.4)$$

Параметр Q_m рассчитывается методом множественного интегрирования, включающим функции Бурсмы [13]. Следуя решениям модели Кся-Бертони, значение Q_m аппроксимируется выражением

$$Qm = \left(\frac{d}{2\pi(R-d)}\right) \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{\Delta h_B^2 + d^2}} \cdot \left(\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{2\pi+\varphi}\right) \text{ (дБ).} \quad (3.5)$$

где: d-средний интервал мжду кварталами

$\triangle h_b$ – Разница высоты между БС и средней высотой крыш

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\triangle h_b}{w}\right) \text{ (радианы).}$$

Заменив (3.5) в (3.4), получаем следующее выражение для многоэкранных дифракционных потерь L_{msd}

$$Lmsd = -10lg\left[\left(\frac{d}{2\pi(R-d)}\right)^2 \cdot \frac{\lambda}{\Delta h_B^2 + d^2} \cdot \left(\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{2\pi+\varphi}\right)^2\right] \text{ (дБ).} \quad (3.6)$$

На основании предыдущего исследования частичных потерь, связанных с оценкой основных потерь в тракте, нижеприведенные выражения суммируют метод расчета общих потерь в тракте, L_b, согласно модели Кся-Бертони

$$Lb = -10lg\left[\left(\frac{\lambda}{2\sqrt{2\pi R}}\right)^2\right] - 10lg\left[\frac{\lambda}{2\pi^2 R}\left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi+\theta}\right)^2\right] -$$
$$-10lg\left[\left(\frac{d}{2\pi(R-d)}\right)^2 \frac{\lambda}{\Delta h_B^2 + d^2}\left(\frac{1}{\varphi} - \frac{1}{2\pi+\varphi}\right)\right] \text{ (дБ).} \quad (3.7)$$

Задача 3

Дано:

Частота сигнала равна 1460 МГц. Высота базовой станции h_1=35 м, высота абонентской станции h_2=2 м., средняя высота крыш равна h_0=27м, средний интервал межд кварталами d=20 м, расстояние от БС до АС R=300 м, ширина улицы равна 14 м.

Рассчитать:

Определить многоэкранные дифракционные потери сигнала. Исходя из расчетов задачи 1 и задачи 2 рассчитать общую потерю сигнала по модели Кся-Бертона.

Решение.

Используя формулу (3.5) вычисляем параметр Q_m:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{8}{14}\right)=0{,}52,$$

$$Qm = \left(\frac{20}{2\pi(300-20)}\right)\cdot\sqrt{\frac{0{,}2}{62^2+20^2}}\cdot\left(\frac{1}{0{,}52}-\frac{1}{2\pi+0{,}52}\right) = 0.0000054.$$

После подставляем параметр Q_m в формулу (3.4)

$$Lmsd = -10lg|0.00000054|^2 = 40 \text{ (дБ)},$$

$$Lb = 62{,}76 + 36{,}02 + 40 = 138{,}78 \text{ (дБ)}.$$

3.2 Модель Окумура-Хата

На основании обширных измерений на частотах в диапазоне от 100 МГц до 1920 МГц, была опубликована одну из наиболее широко используемых моделей для прогнозирования потерь на трассе в городских районах [14]. Основным результатом работы Окумуры был набор кривых, дающих среднее затухание относительно свободного пространства в зависимости от частоты, расстояния, высоты и нескольких поправочных коэффициентов, характерных для трассы. Эта модель считается одной из самых простых и лучших с точки зрения точности в прогнозировании потерь на трассе. Это стало стандартом для системного планирования в современных системах мобильной радиосвязи.

Чтобы сделать этот метод простым в применении, Хата определил ряд эмпирических отношений, описывающих графический метод, предложенный Окумура. Такие выражения, которые имеют эмпирическую природу, известны как модель Окумура-Хата, также называемая моделью Хата.

Основным результатом, представленным моделью, является среднее значение основных потерь при распространении, как функции частоты, расстояния, высоты базовой станции и высоты мобильной антенны. Хотя он не включает в себя какие-либо поправочные коэффициенты, специфичные для пути, которые доступны в модели Окумуры, выражения, предложенные Хатой, имеют значительную практическую ценность.

Модель Окумура-Хата выражает основные потери при распространении, L_b, следующим образом

$$Lb = 69{,}55 + 26{,}161lgf - 13{,}821lgh_B + \\ +k(44{,}9 - 6{,}55lgh_B)lgR - a(h_b) \text{ (дБ)}. \qquad (3.8)$$

где h_b - эффективная высота установки антенны БС до АС (м),

f- частота излучения БС (МГц),

k - поправочный коэффициент, считающий протяженность трассы;

a (h_b)- поправочный коэффициент для высоты мобильной антенны.

Поправочный коэффициент для высоты мобильной антенны рассчитывается следующим образом:

– для городских территорий:

а) для небольшого или среднего города

$$\mathrm{a(hm)} = (1{,}1 \cdot lgF - 0{,}7)H_{AC} - (1{,}56 \cdot lgF - 0{,}8); \quad (3.9)$$

б) для большого города

$$\alpha(h_b) = 8{,}29(lg1{,}54h_m)^2 - 1{,}1 \text{ для f < 200 МГц}, \quad (3.10)$$

$$\alpha(h_b) = 3{,}2(lg11{,}75h_m)^2 - 4{,}97 \text{ для f > 400 МГц}; \quad (3.11)$$

– для дачных участков

$$Lb = 2\left[\log\left(\frac{f}{28}\right)\right]^2 - 5{,}4 \text{ (дБ)}, \quad (3.12)$$

– для сельской местности

$$Lb = 4{,}78\log(f)^2 + 18{,}33logf - 40{,}94 \text{ (дБ)}. \quad (3.13)$$

Как правило, эта модель достаточно хороша в городских и пригородных условиях, но не так хороша в сельских районах, поскольку она не учитывает ни волнистости местности, ни эффектов, обусловленных степенью урбанизации вдоль пути распространения.

Задача 4

Дано:

Частота сигнала равна f=1260 МГц, эффективная высота установки антенны h_b=40 м, расстояние от БС до АС R=300 м, поправочный коэффициент равен k=1

Рассчитать:

Определить основные потери сигнала по модели Окумура-Хата для большого оружия.

Решение.

Определив поправочный коэффициент из формул (3.9)-(3.13) вычисляем основные потери на трассе

$$\alpha(h_b) = 3{,}2(lg11{,}75 \cdot 40)^2 - 4{,}97 = 23{,}83,$$

$$Lb = 69{,}55 + 26{,}161lg1260 - 13{,}821lg40 + 1 \cdot (44{,}9 - 6{,}55lg40) \times$$
$$\times lg300 - 23{,}83 = 189{,}648 \text{ (дБ)}.$$

3.3 Модель COST 231 / Уолфиша-Икегами

Модель COST 231 - представляет собой полуэмпирическую модель потерь на трассе, полученную в результате комбинации моделей Уолфиша-Бертони и Икегами. Рекомендуется для макросот в городских и пригородных сценариях, показывая очень хорошие результаты для расчета потерь на трассе для антенн базовых станций, расположенных выше средней высоты крыши. Однако ошибки прогнозирования значительно возрастают, когда высота антенны передатчика приближается к высоте крыши, что приводит к очень плохим характеристикам для передатчиков, расположенных ниже этого уровня.

Модель COST 231 имеет диапазон частот от 800 МГц до 2000 МГц. По сравнению с предыдущими моделями, такими как Окумура-Хата и Кся-Бертони, процедура расчета более детальная и включает четыре дополнительных параметра, а именно:

- высота зданий;
- ширина дорог;
- разделение зданий;
- ориентация дороги относительно прямой радиосвязи.

Основные потери при распространении L_b рассчитываются как сумма трех компонентов: потери в свободном пространстве L_0, потери от крыши до улицы L_{rts}, произведенные на улице, где расположен приемник, в результате дифракция на следующей крыше. И многоэкранные дифракционные потери L_{msd}, вызванные множественными дифракциями на крышах зданий вдоль прямой траектории распространения. Модель также различает ситуации LOS и NLoS.

3.3.1 Потери радиосигнала для LoS. Для сценариев LoS оценка потерь на трассе учитывает только потери в свободном пространстве

$$L_b = L_0 \text{ (дБ)}. \tag{3.14}$$

Основные потери при распространении для сценария LoS определяются как

$$L0 = 42{,}6 + 26\log(d) + 20\log(f) \text{ (дБ)}. \tag{3.15}$$

3.3.2 Потери радиосигнала для NLoS. Типичный путь NLoS, описанный в модели COST 231, представлен на рисунках 3.1 и 3.2.

Параметры, определенные в модели COST 231.

Основные потери при распространении для сценария NLoS определяются как

$$Lb = L0 + Lrts + Lmsd \text{ (дБ)}. \tag{3.16}$$

Потери при распространении в условиях свободного пространства,L_0,

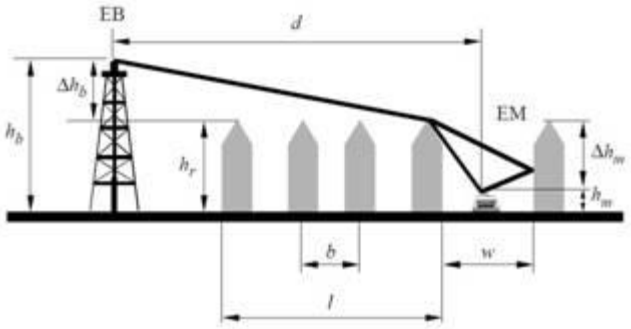

Рисунок 3.1 - Типичный сценарий распространения NLoS, используемый в модели COST 231.Вид сбоку

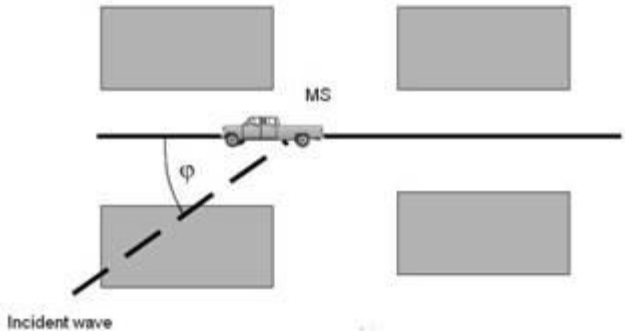

Рисунок 3.2 - Типичный сценарий распространения NLoS, используемый в модели COST 231.Вид сверху

получают согласно выражению

$$L0 = 32{,}4 + 20\log(d) + 20\log(f) \text{ (дБ)}, \qquad (3.17)$$

где d - расстояние между базовой станцией и мобильной станцией (м),
f – частота, (МГц).

Термин L_{rts} учитывает ширину улицы и его ориентацию по отношению к направлению распространения основного пучка. Его определение основано на принципах крыш-улиц, данных моделью Икегами. Выражение для расчета L_{rts} принимается МСЭ-R в его Рекомендации P.1411 [15] и определяется как

$$Lrts = -8{,}2 - 10\log(w) + 10\log(f) + 20\log(\Delta h_m) + Lori \text{ (дБ)} \qquad (3.18)$$

где

$$Lori = \begin{cases} -10 + 0{,}354 & \text{для} \quad 0 \le \varphi < 35 \\ 2{,}5 + 0{,}075(\varphi - 35) & \text{для} \quad 35 \le \varphi < 55, \text{ (дБ).} \\ 4 - 0{,}114(\varphi - 55) & \text{для} \quad 55 \le \varphi \le 90 \end{cases}$$

где φ - угол ориентации между направлением распространения и осью улицы (градусы),

w - ширина улицы (м),

h_m - высота антенны подвижной станции (м),

$\Delta h_m = h_r - h_m$ – разница между средней высоты здания и АС (м),

$\Delta h_b = h_b - h_r$ – разница между БС и средней высотой здания (м).

Термин L_{ori} является поправочным коэффициентом, который учитывает потери сигнала из-за ориентации улицы. Если значение $L_{rts} < 0$, его следует считать $L_{rts} = 0$.

Многоэкранные дифракционные потери, L_{msd} , являются функцией частоты, расстояния между мобильной станцией и базовой станцией, а также высоты базовой станции и высоты здания. Подобно L_{rts}, если значение L_{msd} является отрицательным, считается, что $L_{msd} = 0$. Его значение рассчитывается с использованием выражения

$$Lmsd = Lbsh + k_a + k_d \log(d) + k_f \log(f) - 9\log(b) \text{ (дБ)}, \qquad (3.19)$$

где

$$Lbsh = \begin{cases} -18log_{10}(1 + \Delta h_b) & \text{для} \quad h_b > h_r \\ 0 & \text{для} \quad h_b \le h_r \end{cases} \text{ (дБ)},$$

где h_r средняя высота зданий, м;

b - среднее расстояние между зданиями, м;

h_b - основание высота антенны станции, м.

L_{bsh} это термин, который зависит от высоты базовой станции. Кроме того, коэффициенты определены

$$k_a = \begin{cases} 54 & \text{для} \quad h_b > h_r \\ 54 - 0{,}8\Delta h_b & \text{для} \quad h_b \le h_r\,, d \ge 0{,}5 \text{ км} \\ \frac{54 - 0{,}8\Delta h_b}{0{,}5} & \text{для} \quad h_b \le h_r\,, d < 0{,}5 \text{ км} \end{cases} \text{(дБ)},$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & \text{для} \quad h_b > h_r \\ 18 - 15\frac{\Delta h_b}{h_r} & \text{для} \quad h_b \le h_r \end{cases} \text{ (дБ)},$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0{,}7(\frac{f}{924}) & \text{для} \quad \text{Пригородних центров} \\ -4 + 1.5(\frac{f}{924}) & \text{для} \quad \text{Крупного города} \end{cases} \text{ (дБ)}.$$

Термин k_a представляет увеличение потерь на трассе для антенн базовой станции ниже средней высоты зданий. Члены k_d и k_f управляют зависимостью L_{msd} от расстояния и частоты соответственно.

Расчет задачи №5 выполнен в программе Mathcad Professional и приведен в приложении А.

Задача 5.

Дано:

Частота сигнала равна f=1920 МГц, расстояние между базовой и мобильной станцией d=300 м, ширина дороги w=15 м, высота БС h_b=40 м, высота АС h_m=2 м, средняя высота зданий h_r=15 м, угол ориентации между направлением распространения и осью улицы φ=90 º, среднее расстояние между зданиями b=25 м.

Рассчитать:

Определить основные потери радиосигнала с типом видимости NLoS для модели Уолфиша-Икегами в крупном городе.

Решение.

По формуле (3.17) находим потери в пространстве

$$L0 = 32{,}4 + 20\log(300) + 20\log(1920) = 147{,}6 \text{ (дБ)}.$$

Далее из формулы (3.18) находим L_{rts} с поправочным коэффициентом L_{ori}:

$$Lori = 4 - 0{,}114(90 - 55) = 0{,}01 \text{ (дБ)},$$

$$Lrts = -8{,}2 - 10\log(15) + 10\log(1920) + 20\log 13 + 0{,}01 = 35{,}16 \text{ (дБ)}.$$

Рассчитываем дифракционные потери используя форму (3.19)

$$Lbsh = -18log_{10}(1 + 25) = -25{,}47 \text{ (дБ)},$$

$$Lmsd = -25{,}47 + 54 + 18\log(300) - 4 + 1.5\left(\frac{1920}{924}\right)\log(1920) - 9\log(25) = \\ = 57{,}638 \text{ (дБ)}.$$

И с помощью полученных результатов находим основные потери радиосигнала модели Уолфиша-Икегами для NLoS видимости

$$Lb = 147{,}6 + 35{,}16 + 57{,}638 = 240{,}41 \text{ (дБ)}.$$

Решить задачу 5, используя данные, приведённые в таблице 3.1 и 3.2

Таблица 3.1. Исходные данные

Последняя цифра зачетной книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f (МГц)	1250	1400	2200	2500	2150	1860	2900	1790	2460
d (м)	120	150	220	430	260	325	185	215	290
w (м)	13	14	14	17	11	16	15	13	17

Таблица 3.2. Исходные данные

Предпоследняя цифра зачетной книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
h_b (м)	20	50	55	37	42	33	28	39	40
h_m (м)	1,5	5	2	2,5	2,7	1,9	1,2	3,6	3,5
φ (градусы)	30	35	60	65	55	85	70	45	35
b (м)	20	29	35	10	15	29	27	13	24

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ условий труда

В данной дипломной работе рассматривается организация сети передачи данных на базе учебной аудитории в АУЭС. Вся работа происходит в аудитории и задание выполняется на персональных компьютерах. В данном разделе нам необходимо рассмотреть условия труда в помещении, где расположены 12 компьютеров и 1 сервер. Показатели освещения - в пределах нормы, количество шумов - допустимое для оптимальной работы. Кондиционер не соответствует нормам труда, необходимо заменить его на более подходящую версию.

Устройство работает лучше всего при следующих условиях:

- температура - 10 ° C - 40 ° C;
- влажность - 5% - 75%;
- электропитание: переменный ток - напряжение от 100 до 220 В, частота 50/60 Гц, ток 2 - 5 А.

Поскольку все оборудование сертифицировано, уровень профессионального риска считается минимальным.

Электроприборы по технике безопасности подходят для оборудования с рабочим напряжением до 1 кВ.

В зависимости от степени опасности поражения электрическим током помещение относится к классу без высокого риска, поскольку оно отвечает следующим требованиям:

- сухое;
- нормальная температура;
- изолированный пол;

- нет пыли;
- нет незаземленных предметов.

Работа сотрудника относится к работе легкой тяжести, потому что контакт с пользователем осуществляется техническими средствами в близости к сотруднику.

Расположение устройства показано на рисунке 4.1.

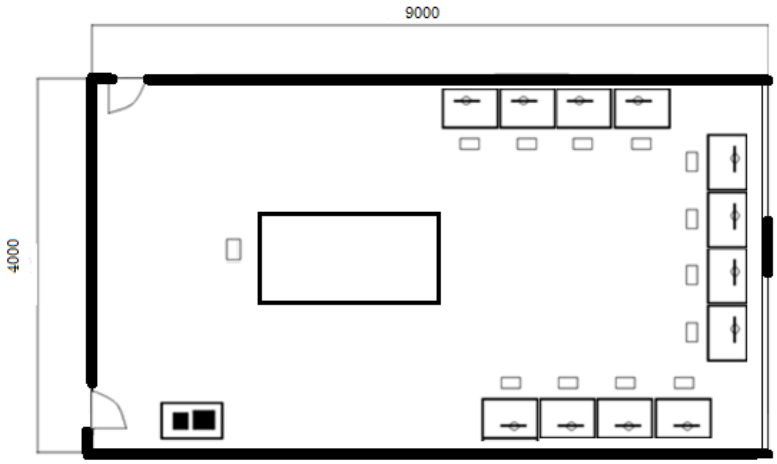

Рисунок 4.1 - План размещения оборудования и рабочих мест в аудитории

Зал периодики имеет следующие размеры: длина А = 9 м, ширина зала В = 4 м, высота Н = 3,5 м. Рабочая поверхность - 0,8 метра над землей, количество окон - 2, окно начинается с высоты 0,8 метра, высота окна - 1,6 метра, а длина – 1,7 метра.

В помещении находится следующее телекоммуникационное оборудование:

- персональный компьютер;
- сервер.

В помещении находятся 12 пользователей, согласно требованиям ГОСТ на человека за работой за плоским монитором должно быть не менее 4,5 м^2. Размер помещения составляет 36 квадратных метров, а это значит, что на каждого сотрудника приходится 3 м^2 площади помещения, что не соответствует требованиям ГОСТ [16].

В рабочем помещении размером 9х4х3,5 метра объемом 126 м^3 работает 12 человек. Другими словами, в помещение должно подаваться следующее количество наружного воздуха: если объем помещения составляет менее 20 кубометров на человека - 3 кубометра в час на 1 кубический метр помещения. Воздух, поступающий в помещение, не загрязнен, в том числе пылью и микробами.

Микроклимат на производстве оценивается в рабочей зоне, т.е. пространстве высотой до 2 м., над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания пользователей. Влажность зависит от количества водяного пара в нем.

В целях поддержания необходимых микроклиматических условий и

нормальной работы оборудования цифровой силовой установки в соответствии с «Санитарными нормами микроклимата промышленного предприятия» ГОСТ 12.1.005-88[17] в аудитории необходимо установить 1 кондиционер. Нормативные показатели для микроклимата приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Нормы микроклимата производственных помещений при выполнении работ средней тяжести[18]

Период Года	Температура С		Оптимальная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Холодный период года	18-20	17-23	40-60	75	0,2	Не более 0,1
Теплый период года	21-23	18-27	40-60	65	0,3	0,2-0,4

В помещении прежде отсутствовало оборудование для кондиционирования воздуха. Ниже приведен подробный расчет системы для обеспечения оптимального микроклимата путем выбора конкретного устройства.

4.2 Технические решения обеспечения безопасности жизнедеятельности

Меры по улучшению микроклимата. При расчете системы кондиционирования воздуха все вредные факторы должны быть удалены из зоны производства, например, избыток тепла, влаги, пара, газа и пыли.

Количество тепла, поступающего в помещение, из-за разности температур определяется по формуле

$$Q_{ОГР} = V_{ПОМ} \cdot X_0 \cdot (t_{Нрасч} - t_{Врасч}), \quad (4.1)$$

где $V_{пом}$ = 9x4x3,5 = 126 м^3– объём помещения; (м^3);

X_0 = 0,42 Вт/(м^3 × °С) – удельная тепловая характеристика;

$t_{Нрасч}$ = 27,6 ° - расчётная наружная температура для тёплого периода года;

$t_{Нрасч}$ = -10 ° - расчётная наружная температура для холодного периода года;

$t_{Врасч}$ = 23 ° - расчётная внутренняя температура для тёплого периода года;

$t_{Врасч}$ = 16 ° оптимально, 23° допустимо - расчётная внутренняя температура для холодного периода года [18].

Тогда теплопоступления для тёплого периода года составят (формула 4.1)

$$Q_{\text{ОГР}} = 126{,}42 \cdot (27{,}6 - 23) = 243{,}92 \text{ (Вт.)}.$$

А теплопотери для холодного периода года составят (формула 4.1)

$$Q_{\text{ОГР}} = 126 \cdot 0{,}42[-10 - 23] = 1746{,}36 \text{ (Вт)}.$$

Количество тепла от солнечного излучения.

Площадь ленточного остекления учебной аудитории (2 окна – 1,6 х 1.7 метра, направление на север «С»)

$$F_0 = n \cdot S_{\text{окна}} = 2 \cdot 2{,}72 = 5{,}44 \text{ (м}^2\text{)}, \quad (4.2)$$

где $Q_{РАД}$ - количество тепла от солнечного излучения.

$$Q_{\text{РАД}} = m \cdot F_0 \cdot (q^I + q^{II}) \cdot \beta_{\text{С.З.}} \cdot k_1 \cdot k_2, \text{(Вт)}, \quad (4.3)$$

где m – количество окон;
F_0 – площадь окна(м);
q^I, q^{II} - тепловые потоки от прямой и рассеянной радиации (таблица 4.2) (Вт/м^2);
$\beta_{С.З.}$ - коэффициент тепло пропускания (таблица 4.3);
k_1 - коэффициент затемнения остекления (таблица 4.4);
k_2 - коэффициент загрязнения стекла (таблица 4.5).

Коэффициенты для нахождения количества тепла от солнечного излучения приведены в таблицах 4.2, 4.3, 4.4, 4.5.

Таблица 4.2 – Поступление тепла от прямой и рассеянной солнечной радиации через вертикальное остекление

Географическая широта	Солнечное время	Остекление	
		С	
		Прям.	Рассеян
44	11-12 ч.		59

Таблица 4.3 – Коэффициент тепло пропускания

Солнцезащитное устройство	$\beta_{С.З.}$
Жалюзи, с деревянными пластинками	0,15

Таблица 4.4 – Коэффициент K_1, учитывающий затемнение световых проемов

Заполнение светового проема	Незагрязненная атмосфера
Остекление в металлических переплетах	1,15

Таблица 4.5 – Коэффициент K_2, учитывающий загрязнение остекления

Степень загрязненности остекления	K_2
Незначительное (не более 5 мг/м^3)	0,95

$$Q_{\text{РАД}} = 2 \cdot 2{,}72 \cdot 59 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}95 \cdot 1{,}15 = 52{,}6 \text{ (Вт)}.$$

Теплопоступление от людей.

В помещении летом при температуре 23° находится одновременно 12 человек. Один мужчина при температуре 23° в положении сидя выделяет явного тепла 79 Вт, для женщин этот показатель составляет 67 Вт. В зале периодики находятся 6 мужчин и 6 женщин. Зимой же средняя температура в аудитории равна 16°С, поэтому явное тепловыделение одного мужчины равно 109 Вт, а у женщин 93 Вт. Таким образом, приведем расчеты тепловыделения людей[4]

$$Q_{\text{Л}} = q_{\text{я}} \cdot n, \tag{4.4}$$

где $q_{\text{Я}}$ - тепловыделение явное (Вт).(для 23◦С - 79 Вт, для 16◦С – 109 Вт)

$q_{\text{Я}}$ женщин составляет 85% $q_{\text{Я}}$ мужчин (Вт).

Лето

$$Q_{\text{Л}} = q_{\text{я}} \cdot n = 6 \cdot 79 + 6 \cdot 67 = 876, \text{ (Вт)}.$$

Зима

$$Q_{\text{Л}} = q_{\text{я}} \cdot n = 6 \cdot 109 + 6 \cdot 93 = 1212 \text{ (Вт)}.$$

Теплопоступление от осветительных приборов и оргтехники.

Теплопоступление от ламп определяется по формуле

$$Q_{\text{ОСВ}} =\approx \eta \cdot N_{OY} \cdot F. \tag{4.5}$$

Коэффициент перехода электрической энергии в тепловую энергию для люминесцентных ламп: $\eta = 0{,}5 - 0{,}6$

Установленная мощность ламп

$$N_{OY} = 9 \quad (\text{Вт/м}^2),$$

Площадь пола

$$F_{ПОЛ} = 9 \cdot 4 = 36 \quad (\text{м}^2), .$$

Тогда

$$Q_{ОСВ} = 0,5 \cdot 9 \cdot 36 = 162 \quad (\text{Вт}),$$

Теплопритоки, возникающие за счёт находящейся в аудитории оргтехники, в среднем составляют 300 Вт на один компьютер т. е.:

$$Q_{ОБ} = 300 \cdot 12 = 3600 \quad (\text{Вт}).$$

Тогда общий баланс теплопоступлений определяется формулой

$$Q = Q_{ОГР} + Q_{РАД} + Q_{ЛЮД} + Q_{ОСВ} + Q_{ОБ}, \qquad (4.6)$$

И равен для тёплого периода года

$$Q = 243,97 + 52,6 + 876 + 162 + 3600 = 4935 \quad (\text{Вт}).$$

Для холодного периода года

$$Q = 1746,36 + 52,6 + 1212 + 162 + 3600 = 6773 \quad (\text{Вт}).$$

Тепло напряженность

Так как тепловой баланс для зимы больше летнего теплового баланса, то необходимо рассчитать тепло напряженность воздуха по формуле

$$Q_{Н} = \frac{Q_{ИЗБ.зима} \cdot 860}{V_{ПОМ}} = \frac{6773 \cdot 860}{126} = 46,23 \quad \left(\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}\right), \qquad (4.7)$$

При $Q_{Н}$>20ккал/м^3, Δt=8 °С,

при $Q_{Н}$<20ккал/м^3, Δt=6 °С.

Определение количества воздуха, необходимое для поступления в помещение

$$L = \frac{Q_{ИЗБ.} \cdot 860}{C \cdot \Delta t \cdot \gamma} = \frac{6773 \cdot 860}{0,24 \cdot 6 \cdot 1,204 \cdot 10^4} = 337 \quad (\text{м}^3/\text{ч}) \qquad (4.8)$$

Определение кратности воздухообмена

$$n = \frac{L}{V_{ПОМ}} = \frac{336}{126} = 2,67 \quad (\text{час}^{-1}).$$

4.3 Выбор и обоснование кондиционера

Исходя из общего максимального теплопоступления (теплопоступления максимальны в тёплый период года) для рассматриваемого помещения, модель кондиционера выбираем из типового ряда по ближайшему (с учётом запаса) значению холодопроизводительности.

Для обеспечения круглогодичной работы кондиционера выберем оборудование фирмы Panasonic (Япония), модель CS-W18NKD/CU-W18NKD технические характеристики приведем в таблице 4.6, а внешний вид на рисунке 4.2.

Рисунок 4.2 – Кондиционер SAMSUNG 24 JSFNRWKNER

Таблица 4.6 - Технические характеристики настенного кондиционера

Характеристика	Значение
1	2
Тип	настенная сплит-система
Максимальная длина коммуникаций	27 м
Основные режимы	Охлаждение, вентиляция, обогрев, осушение
Максимальный воздушный поток	26,44 куб. м/мин
Мощность в режиме охлаждения	6800 Вт
Мощность в режиме обогрева	7000 Вт
Потребляемая мощность при обогреве	2325 кВт
Потребляемая мощность при охлаждении	2420 кВт
Режим осушения	есть, до 2 л/ч
Пульт дистанционного управления	Есть
Таймер включения/выключения	Есть
Внутреннего блока сплит-системы или мобильного кондиционера (ШхВхГ)	1063х317х294 см
Уровень шума (мин/макс)	37 дБ / 42 дБ

Продолжение таблицы 4.6

1	2
Регулировка скорости вращения вентилятора	есть, количество скоростей – 4
Другие функции и особенности	дезодорирующий фильтр, плазменный фильтр,
Обслуживаемая площадь	72 кв. м

Вывод: Аудиторию необходимо было оборудовать системой кондиционирования воздуха для поддержания необходимых микроклиматических условий, так как установленный кондиционер не соответствовал правилам. Определено количество воздуха, необходимое для поступления в помещение - $126\ м^3/ч$. Установлен 1 кондиционер для обеспечения необходимых микроклиматических условий в соответствии с требованиями «Санитарных норм, микроклимата производственных помещений» ГОСТ 12.1.005–88[17] и нормального функционирования оборудования цифровой станции в аудитории, выбран SAMSUNG 24 JSFNRWKNER

5 Технико-экономическое обоснование

5.1 Характеристика проекта

Технико-экономическое обоснование разработки и внедрения в моей работе содержит следующее:

– определение трудоемкости разработки методически указаний
– расчет затрат, связанных с составлением задач;
– эксплуатационные расходы;
– эффективность от работы.

В данной главе я произведу технико-экономическое обоснование дипломной работы научно-исследовательского характера.

Технико-экономическое обоснование исследований в моей работе содержит следующее:

– определение трудоемкости выполнения научно-исследовательской работы (НИР);
– расчет затрат на выполнение НИР;
– определение возможной (договорной) цены НИР;

Этот план дает конкретное значение, как практическую, так и финансовую, поэтому нужно высчитать его себестоимость и рыночную цену, квалифицировать его конкурентоспособность на рынке проектирования сеток.

Как уже отмечалось, этот проект сети как продукт выступает на ненасыщенном рынке, в следствие этого его вероятная конкурентоспособность довольно высочайшая. В случае в случае если стоимость на этот продукт станет повыше стоимости на подобный продукт знакомой компании, конкурентоспособность станет снижена, в случае особого

занижения стоимости, создание продукта станет считаться экономически нерентабельным, собственно что еще имеет возможность работать препятствием к его производству.

Этот план намечается воплотить в жизнь с внедрением группы специалистов, санкционированной по иерархическому принципу.

В группу обязаны войти: руководитель проекта, консультант по экономической части и консультант по части БЖД, разработчик. Руководитель и консультанты сделают план, и будут следить за выполнением работы. Этим образом, на руководителе и консультантах лежит обязанность за планирование и общая обязанность за реализацию плана. Разработчик должен собрать информацию и составить методическое пособие для занятий бакалавров.

В данной работе будет определены всевозможные затраты на производство методического указания, а так же определение возможной договорной цены.

5.2 Определение трудозатратности выполнения НИР

5.2.1 Описание работы и обоснование необходимости. Целью работы является разработка комплекса задач для практических занятий бакалавров по дисциплине «Мобильные телекоммуникации». Также применяя разрабатываемый проект, есть возможность обучить учащихся и повысить квалификацию внеших кадров..

В данном разделе приводится рассмотрение экономической составляющей реализации данного проекта, отражающей временные, трудовые и финансовые затраты на проект.

5.2.2 Трудовые ресурсы, используемые в работе. В разработке программного проекта задействованы:

– разработчик – разработка программного проекта;
– руководитель проекта - постановка задачи, контроль за исполнением;
– консультант по экономической части;
– консультант по части «Безопасности жизнедеятельности». количество сотрудников с соответствующей заработной платой задействованных в разработке научного продукта, представлено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Данные о работниках, задействованных в проекте и их заработная плата

Наименование	Количество	Заработная плата, тенге
Разработчик	1	150000
Руководитель проекта	1	100000
Консультант по части «Экономика»	1	65000
Консультант по части «БЖД»	1	65000
Итого	4	380000

5.2.3 Оборудование, используемое в работе. Для реализации проекта нам необходимо оборудование. Оборудование, используемое при разработке научного проекта, представлено в таблице 5.2. В ней указаны наименование оборудования, его характеристики, количество товара и стоимость представленного оборудования.

Таблица 5.2 – Перечень оборудования, необходимого для разработки научного проекта

Наименование	Характеристики	Количество единиц	Цена за единицу, тенге	Общая сумма, тенге
Ноутбук	Lenovo z50 /Intel Core i5-4210UI 1.7 GHz/ 6000 МБ, DDR3/NVIDIA GeForce GT 820M - 2048 МБ/1000Gb	1	151000	151000
Всего				151000

Цены на оборудование указаны без учета НДС.

5.2.4 Программное обеспечение, используемое в работе. Программное обеспечение, используемое в работе, используемого при разработке научного продукта представлено в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Перечень программного обеспечения

Программное обеспечение	Стоимость, тенге
1 MS Windows 10 Home Premium	30000
2 Mathcad Professional – Individual	45000
Итого	150000

Цены на ПО указаны без учета НДС.

5.2.5 Сроки реализации проекта. Проектирование и разработка программного продукта состоит из этапов и включает следующие этапы:

- постановка задачи, сбор необходимой информации, разработка структуры базы данных;
- создание объектов конфигурации и их форм;
- заполнение базы данных;
- создание ролей, пользователей и разработка интерфейсов для них;
- проверка на работоспособность научного продукта;
- оформление отчетов.

Этапы и сроки реализации проекта представлены в 6 этапах. График нареализацию проекта представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Этапы и сроки реализации проекта

Наименование этапа		Недели от начала работ									
		11	22	33	44	55	66	77	88	99	110
1 этап	Постановка задачи										
	Подбор и изучение литературы										
	Разработка структуры БД										
2 этап	Составление и оформление задач, а так же их решение										
3 этап											
	Заполнение базы данных										
4 этап	Подготовка раздела «Экономика»										
	Подготовка раздела «Безопасность жизнедеятельности»										
	Проверка и сдача отчета										

5.3 Затраты на разработку системы

Затраты на разработку продукта (производственные затраты) представляют собой единовременные расходы на всех этапах инновационного процесса: исследование, разработка, опытная проверка. Определение затрат на разработку проекта производится путем составления калькуляции планов себестоимости. В плановую себестоимость включают все затраты, связанные с ее выполнением, независимо от источника их финансирования [20].

Вся стоимость разработки проекта определяется по формуле 5.1

$$Сб = ФОТ + О_{сн} + А + Э + Н, \quad (5.1)$$

где Сб – себестоимость;

ФОТ – фонд оплаты труда;

$О_{сн}$ – отчисления на социальные нужды;

А – амортизационные отчисления;

Э – затраты на электроэнергию;

Н – накладные расходы.

Расчет фонда оплаты труда. Фонд оплаты труда (ФОТ) – это суммарные издержки предприятия на оплату труда всех работников за определенный

период, который формируется из основной и дополнительной заработной платы и определяется по формуле 5.2

$$ФОТ = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.2)$$

где $З_{осн}$ - основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

На этапах разработки научного продукта, участники разработки задействованы неравноценно, для этого необходимо рассчитать средний дневной заработок, а затем общий размер заработной платы.

Средний дневной заработок каждого работника рассчитывается по формуле

$$D = \frac{ЗПм}{Др} \quad (5.3)$$

где ЗПм – ежемесячный размер заработной платы, тенге;

Др – количество рабочих дней в месяце (24 дня – шестидневнаярабочая неделя).

Определим заработную плату каждого работника за один рабочий день – для этого месячный оклад работника делится на количество рабочих дней с помощью формулы (5.3):

– разработчик

$$D = \frac{150000}{24} = 6250 \quad \text{(тенге / день);}$$

– руководитель

$$D = \frac{100000}{24} = 4166 \quad \text{(тенге / день);}$$

– консультант по части «Экономика»

$$D = \frac{65000}{24} = 2708 \quad \text{(тенге / день);}$$

– консультант по части «БЖД»

$$D = \frac{65000}{24} = 2708 \quad \text{(тенге / день).}$$

Заработная плата за один час рассчитывается по формуле

$$H = \frac{ЗПм}{Др \cdot Чр} \quad . \qquad (5.4)$$

где ЗПм – ежемесячный размер заработной платы, тенге;

Др – количество рабочих дней в месяце (24 дня – шестидневная рабочая неделя);

Чр – продолжительность рабочего дня, час (при 8-часовом рабочем дне).

- разработчик

$$D = \frac{150000}{24 \cdot 8} = 781 \quad \text{(тенге / день);}$$

- руководитель

$$D = \frac{100000}{24 \cdot 8} = 520 \quad \text{(тенге / день);}$$

- консультант по части «экономика»

$$D = \frac{65000}{24 \cdot 8} = 338 \quad \text{(тенге / день);}$$

- консультант по части «бжд»

$$D = \frac{65000}{24 \cdot 8} = 338 \quad \text{(тенге / день).}$$

Длительность цикла в днях по каждому виду работ определяется по формуле

$$t_n = \frac{T}{q_n \cdot z \cdot K} \quad , \qquad (5.5)$$

где Т – трудоемкость этапа, норма - час;

qn – количество исполнителей по этапу;

z – продолжительность рабочего дня, z = 8 часов;

К – коэффициент выполнения норм времени, К = 1,1.

Полученную величину t_n округляю в большую сторону до целых дней. Данные для расчетов возьмем из таблицы 4.5

$$t_1 = \frac{16}{1 \cdot 8 * \cdot 1,1} = 2$$ -руководитель; постановка задачи;

$$t_2 = \frac{21}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 3$$ - разработчик; подбор и изучение литературы;

$$t_3 = \frac{32}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 4$$ руководитель; подбор и изучение литературы;

$$t_4 = \frac{28}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 4$$ - разработчик; разработка структуры БД;

$$t_5 = \frac{60}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 7$$ - разработчик; составление и оформление задач, а так же их решение

$$t_6 = \frac{21}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 3$$ - разработчик; заполнение базы данных;

$$t_7 = \frac{21}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 3$$ - разработчик; подготовка раздела «Экономика»;

$$t_8 = \frac{21}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 3$$ - консультант по экономической части; подготовка раздела «Экономика»;

$$t_9 = \frac{21}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 3$$ - разработчик, консультант части БЖД; подготовка раздела «БЖД»;

$$t_{10} = \frac{21}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 3$$ - разработчик, консультант части БЖД; подготовка раздела «БЖД»;

$$t_{11} = \frac{14}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 2$$ - разработчик, руководитель; проверка и сдача отчета;

$$t_{11} = \frac{14}{1 \cdot 8 \cdot 1,1} = 2$$ - разработчик, руководитель; проверка и сдача отчета.

Дополнительная заработная плата составляет 10 % от основной заработной платы и рассчитывается по формуле 5.6

$$З_{доп} = З_{осн} * 0,1 \qquad (5.6)$$

$$З_{доп} = 242638 \cdot 0,1 = 24263,8$$ (тенге).

Таким образом, суммарный фонд оплаты труда составит

ФОТ=242638+24263,8=266901,8 (тенге).

Полученные результаты расчета затрат на основную заработную плату работников, задействованных в разработке научного продукта представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Сводные результаты расчета затрат на основную заработную плату

Наименование работ	Исполнитель	Трудоемкость		Длительность цикла, днях	Заработная плата за час работы,	Сумма заработной платы, тенге
		Нормо-час	% от общей трудоемкости			
1. Постановка задачи	Руководитель	16	4.2	2	520	8320
2. Подбор и изучение литературы	Руководитель	2 21	5.9	2	520	10920
	Разработчик	3 32	9.2	2	781	24992
1. Разработка структуры БД	Разработчик	228	7.7	4	781	43736
2. Составление и оформление задач, а так же их решение	Разработчик	660	35.7	1	781	41359
3. Заполнение БД	Разработчик	221	5.5	3	781	24601
4. Подготовка раздела «Экономика»	Разработчик	221	5.5	3	781	24601
	Консультант по экономическо й части	221	5.5	3	338	10647
5. Подготовка раздела «БЖД»	Разработчик	221	5.5	3	781	24601
	Консультант части БЖД	221	5.5	3	338	10647
6. Проверка и сдача отчета	Разработчик	214	4.9	2	781	10934
	Руководитель	114	4.9	2	520	7280
Итого		90	100	36		242638

Расчет затрат по социальному налогу. Социальный налог составляет 13% (ст. 358 п.1 НК РК)[22] от дохода работника, и рассчитывается по формуле (5.7)

$$C_{н} = (ФОТ - ПО) \cdot 0{,}13 \ , \qquad (5.7)$$

где ПО – пенсионные отчисления, которые составляют 10% от ФОТ и социальным налогом не облагаются

$$ПО = ФОТ \cdot 0{,}1, \qquad (5.8)$$

$$ПО = 266901{,}8 \cdot 0{,}1 = 26690{,}18.$$

Размер отчислений на социальные нужды составит

$$C_{н} = (266901{,}8 - 26690{,}18) \cdot 0{,}13 = 26423{,}28.$$

Расчет амортизационных отчислений. Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле 4.9

$$A_i = \frac{H_A \cdot C_{пер} \cdot N}{100 \cdot 12 \cdot n} \ , \qquad (5.9)$$

где H_A - норма амортизации;

$C_{пер}$ - первоначалная стоймость обоудования;

N – количесвто дней на выполнение работ;

n – количесвто дней в рабочем месяце.

Норма амортизации НА на компьютерную технику и на программное обеспечение составляет 40% от всей стоимости. Амортизационные отчисления по используемому оборудованию и программному обеспечению составят

$$A_1 = \frac{40 \cdot 15000 \cdot 36}{100 \cdot 12 \cdot 24} = 7500 \quad \text{(тенге)},$$

$$A_2 = \frac{40 \cdot 300000 \cdot 36}{100 \cdot 12 \cdot 24} = 15000 \quad \text{(тенге)},$$

$$A_2 = \frac{40 \cdot 450000 \cdot 36}{100 \cdot 12 \cdot 24} = 22500 \quad \text{(тенге)},$$

$$A = 7500 + 22500 + 15000 = 45000 \quad \text{(тенге).}$$

Расчет затрат на электроэнергию. Так как, в процессе производства используется электрооборудование необходимо рассчитать затраты на электроэнергию. Затраты на электроэнергию для производственных нужд включают в себя расходы электроэнергии на оборудование и дополнительные нужды

$$Э = З_{эл.эн.обор.} + З_{доп.нуж}, \qquad (5.10)$$

где $З_{эл.энобор}$ - затраты на электроэнергию оборудования,

$З_{доп.нуж.}$ - затраты электроэнергии на дополнительные нужды.

Расходы электроэнергии на оборудование рассчитываются по формуле 5.11

$$З_{эл.эн.обор.} = W \cdot T \cdot S \cdot K_{исп.}, \qquad (5.11)$$

где W - потребляемая мощность, Вт;

T – количество часов работы оборудования;

S – стоимость киловатт-часа электроэнергии (1кВтч = 12,04 тг);

Кисп = коэффициент использования (Кисп = 0,9).

Данные о ноутбуке:

W = 90 Вт = 0,09 кВт (мощность ноутбука);

T = 60×8= 480 ч;

S = 12,04 тг.

Сумма затрат на электроэнергию основного оборудования составляет

$$З_{эл.эн.обор.} = 0,09 \cdot 480 \cdot 12,04 \cdot 0,9 = 468,12 \quad \text{(тенге),}$$

На дополнительные нужды берутся по укрупненному показателю вразмере 5% от затрат на оборудование

$$З_{доп.нуж} = 0,05 \cdot З_{эл.эн.обор.}, \qquad (5.12)$$

$$З_{доп.нуж} = 0,05 \cdot 409,6 = 23,41 \quad \text{(тенге).}$$

Суммарные затраты на электроэнергию составляют

Э = 468,12 + 23,41 = 491,5 (тенге).

Расчет накладных расходов. Накладные расходы составляют 50% от всех затрат и рассчитываются по формуле

$$НР = (ФОТ+Сн+А+Э)\cdot 0,5, \quad (5.13)$$

Накладные расходы согласно формуле (4.13) составляют

$$НР = (266901,8+26423,28+45000+491,5)\cdot 0,5 = 169408,29 \text{ (тенге)}.$$

Таким образом, в соответствии с формулой (5.1), суммарные затраты по разработке научного продукта составляют

$$Сб = 266901,8+26423,28+45000+491,5+169408,29 = 508225,01 \text{ (тенге)}.$$

Смета затрат по разработке научного и структура затрат представлены в таблице 5.6 и на рисунке 5.1.

Таблица 5.6 – Стоимость разработки программного продукта

Наименование статей затрат	Сумма, тенге	Структура затрат, %
ФОТ	266901,8	58,69
Социальный налог	26423,28	5,81
Амортизационные	45000	2,1
отчисления		
Затраты на электроэнергию	491,5	0,05
Накладные расходы	169408,29	33,33
Итого	508225	100

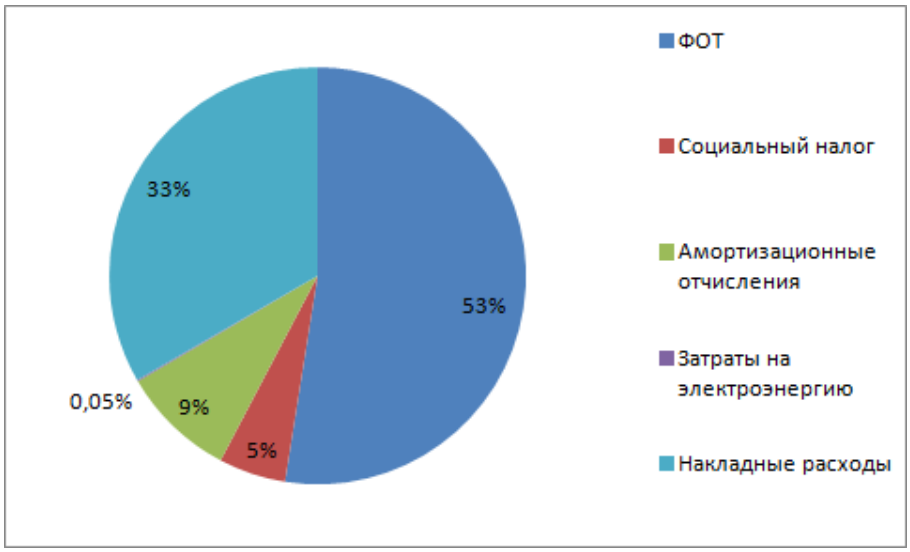

Рисунок 5.1 – Структура затрат по разработке программного продукта

5.4 Определение возможной (договорной) цены НИР

Величина возможной (договорной) цены НИР должна устанавливаться с учетом эффективности, качества и сроков ее выполнения на уровне, отвечающем экономическим интересам заказчика (потребителя) и исполнителя.

Договорная цена ($Ц_Д$) для прикладных НИР рассчитывается по формуле

$$Ц_Д = З_{НИР} * (1 + \frac{Р}{100}) \qquad (5.14)$$

где $З_{НИР}$ - затраты на выполнение НИР (из таблицы 4,6), тг;

Р - средний уровень рентабельности НИР, % (принимается в размере 20-30% по согласованию с консультантом по экономической части).

Договорная цена по формуле 4.14 составляет

$$Ц_Д = 508225 \cdot (1 + \frac{20}{100}) = 609,870 \text{ (тенге).}$$

Далее определяется цена реализации с учетом налога на добавленную стоимость (НДС), ставка НДС устанавливается законодательно Налоговым Кодексом РК. На 2020 год ставка НДС установлена в размере 13%.

Цена реализации с учетом НДС рассчитывается по формуле

$$Ц_Р = Ц_Д + Ц_Д \cdot НДС, \qquad (5.15)$$

Цена реализации по формуле 4.15 составляет

$$Ц_Р = 609870 + 609870 \cdot 0,12 = 683054,4 \text{ (тенге).}$$

Вывод по четвертому разделу. В результате экономического расчета затраты на разработку научного продукта составили 508225 тенге. От общей суммы расходов 59,49% составляет заработная плата. Далее идут накладные расходы, которые равны 33,33%. Данный программный продукт не будет реализовываться на рынке, так как разработан для личного использования университетом АУЭС в своей методической литературе, которые они предоставляют своим учащимся.

Заключение

Основная часть дипломного проекта включает в себя следующие вопросы: что такое технология 5g, сфера применения этой технологии, основные различия этой технологий от предыдущих поколений, плюсы и основные этой технологии.

Во второй части идет расчет потерь радиосигнала по разным событиям с определённым типом видимости, особенности и недостатки построения таких сетей, основные расчеты проводились для станций, расположенных ниже уровня крыш.

В третьей главе был предложен различные модели потерь: Окумура-Хата, Кся-Бертони, Уолфиша-Икегами. В расчетной части были вычислены потери сигнала для видимости LoS и NLoS в городских и пигородны условиях.

С точки зрения безопасности жизнедеятельности рассматривается расчет необходимого воздухообмена и выбор подходящего кондиционера для учебной аудитории, в которой будут выполняться занятия студентов.

В разделе экономики предлагается техническо-экономическая характеристика, по которому определялся общие затраты и издержки по данной работе, а так же ее возможная договорная цена в случае ее коммерческой реализации.

Технология 5G является новейшей концепцией, только покоряющей вершины телекоммуникационной отрасли, но эксперты предсказывают хорошее будущее этой технологии. Текущие тенденции включают в себя увеличение количества активных пользователей Интернета, значительное повышения скорости передачи данных, развитие новых технологий и обработки больших данных в реальном времени, которые на глазах меняют мир телекоммуникаций. В мире появляются все более новые и современные технологии, основанные на дополненной виртуальной реальности, интернета вещей, дистанционного управления техникой а так же нужды пользователей на быстрый доступ к интернет ресурсам. Поэтому технология 5G способна полностью изменить и улучшить многие проекты? Реализая которых пока нне доступная из-за низкой скорости передачи старых поколений интернета.

Список литературы

1 Weforum.org.// World economic forum / URL.: https://weforum.org/agenda/2018/01/the-world-is-about-to-become-even-more-interconnected-here-s-how/ (дата обращения 14.05.20)

2 Verizon.com// Важность 5G / URL.: https://verizon.com/about/our-company/5g/why-5g-important-discover-importance-5g-technology (дата обращения 14.05.20)

3 PCmag.com// Что такое 5G / URL.: https://pcmag.com/news/what-is-5g (дата обращения 15.05.20)

4 Toms Guide.com// Полное руководство по развертыванию сети 5G / URL.: https://tomsguide.com/us/5g-release-date,review-5063.html (дата обращения 16.05.20)

5 Electronics notes.com//. Технология 5G: мобильная связь 5G/ URL.: https://electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/technology-basics.php (дата обращения 16.05.20)

6 Qualcomm.com// Все о 5G// URL.:. https://qualcomm.com/invention/5g/what-is-5g (дата обращения 17.05.20)

7 Harri Holma, Antti Toskala. WCDMA for UMTS, Radio Access for Third Generation Mobile Communications. Chichester: John Wiley and Sons Ltd, 2004. 478с.

8 Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование : учеб- ное пособие для вузов / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – Изд. 2-е, испр. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. − 224 с.

9 Rec-master.com// Поглощение энергии сигнала в атмосфере/ URL.: http://rec-master.com/3/ANO/kantor/4.4.pdf (дата обращения 19.05.20)

10 Itu.int // Рекомендация МСЭ-R P.530-11/. https://itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-11-200503-S!!PDF-R.pdf (дата обращения 20.05.20)

11 Itu.nt // Рек. МСЭ-R P.676-6/ URL.: . https://itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-6-200503-S!!PDF-R.pdf (дата обращения 21.05.20)

12 Itu.nt // Рек. МСЭ-R P.2040 /. URL.: https://itu.int/rec/dologin.asp?lang=e&id=R-REC-P.2040-0-201309-S!!PDF-R&type=items (дата обращения 21.05.20)

13 H. H. Xia, L. Bertoni. “Diffraction of Cylindrical and Plane Waves by an Array of Absorbing Half-Screens”. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 40, no. 2, Febrero 1992.

14 Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, K. Fukuda, “Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile radio service”, Rev. Elec. Commun. Lab., 16(9/10), 825-73. 1968.

15 Itu.nt // UIT-R Рек. P.1411-4, МСЭ, Женева, Швейцария. 2007/ URL.: https://itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-6-201202-S!!PDF-R.pdf (дата обращения 21.05.20)

16 Garannt.ru // СанПиН для офисных работников 2.2.2/2.4.1340-03/ URL: http://garant.ru/infografika/1093322/ (дата обращения: 10.05.2020)

17 Online.zakon.kz // ОБЩИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУХУ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ГОСТ 12.1.005-88 / URL: https://online.zakon.kz/document//?doc_id=1037922#pos=0;0 (дата обращения: 10.05.2020)

18 Know-house.ru // Нормативные и рекомендательные документы по строительству // Отопление, вентиляция и кондиционирование взамен СНиП я2.04.05-91* / URL: http://know-house.ru/gost/gost3_1.html (дата обращения: 10.05.2020)

19 М.К.Дюсебаев. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела в дипломных проектах. - Алматы: АИЭС, 2001. — 11с.

20 Волков О.И., Скляренко В.К. Экономика предприятия: курс лекций, Москва, 2006. – 368 с.

21 Грузинов В.П., Грибов В.Д. Экономика предприятия. – 2-е изд., допол. – Москва, 2001. – 259 с.

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

23 Бекишева А.И. Методические указания к выполнению экономической части дипломной работы для бакалавров специальности 5В0703 - Информационные системы – Алматы: АУЭС; 2013. –24 с.

Приложение А

Расчеты в программе Mathcad 2014

Дано

$f := 1920$
$d := 300$
$w := 15$
$Hb := 40$
$Hm := 2$
$Hr := 15$
$\varphi := 90$
$b := 25$

Решение

Потери в условиях свободного пространства

$L0 := 32.4 + 20\cdot(\log(d)) + 20\cdot\log(f) = 147.608$

Потери с уровня крыш

$\Delta Hm := Hr - Hm = 13$

$Lori := 4 - 0.114\cdot(\varphi - 55) = 10 \times 10^{-3}$

$Lrts := -8.2 - 10\cdot\log(w) + 10\log(f) + 20\log(\Delta Hm) + Lori = 35.161$

Дифракционные потери

$Lbsh := -18\cdot\log(1 + 25) = -25.47$

$\Delta Hb := Hb - Hr = 25$

$Ka := 54$ Для

$Kd := 18$

$Kf := -4 + 1.5\cdot\frac{f}{924} = -0.883$

$Lmsd := Lbsh + Ka + Kd\cdot\log(d) + Kf\cdot\log(f) - 9\cdot\log(b) = 57.638$

Общие основные потери

$Lb := L0 + Lrts + Lmsd = 240.407$

Рисунок А1. расчёт потерь с помощью метода Уолфиша-Икегами в программе Mathcad Professional