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: Организация сети радиодоступа на основе 5G
Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Выполнил Бұтақбаев Т.Б. **Группа** РЭТ-16-3
Научный руководитель Жунусов К.Х. к.ф.м.н., доцент АУЭС
(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 Бұтақбаеву Темірлану Бекболатұлы
Тема проекта Организация сети радиодоступа на основе 5G

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:
Организация сети радиодоступа на основе 5G в жилом комплексе «Легенда». Здание имеет 12 этажей, 196 квартир и 3 подъезда. Используемый диапазон частот 3650-3750 МГц.

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта:
1.Анализ технологии 5G
2.Организация сети радиодоступа на основе 5G в жилом комплексе «Легенда» в г. Алматы
3.Расчетная часть
4.Безопасность жизнедеятельности
5.Бизнес план.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Цели и задачи дипломного проекта. Архитектура сети радиодоступа 5G. Ключевые интерфейсы и протоколы NG-RAN. Технологии в 5G. Проект сети радиодоступа в ЖК Легенда. Тестирование системы 5G. Определение ситуаций распространения радиоволн. Расчет потерь на трассе Экономическая эффективность проекта. Безопасность проекта для жизнедеятельности.

Основная рекомендуемая литература:

1 Развитие 5G // brainbridge.be сервер Brainbridge BVBA 2010-2020 URL: https://www.brainbridge.be/news/from-1g-to-5g-a-brief-history-of-the-evolution-of-mobile-standards (дата обращения 16.03.2020г.).

2 Технологии 5G // electronics-notes.com сервер electronics-notes.com 2013-2020 URL: https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/technology-basics.php(дата обращения 22.03.2020г.).

3 Тихвинский В.О. 5G WORLD SUMMIT – 2014: Курс прежний - ОТ 4G К 5G // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – № 7. – С. 95-96.

4 Тихвинский В.О. 5G WORLD SUMMIT: "Достойная старость" 2G на фоне бурного роста 5G // ОБ ИТОГАХ 5G WORLD SUMMIT. – 2015. – № 10. – С. 18-21.

5 Олейникова А.В., Нуртай М.Д., Шманов Н.М. Перспективы развития связи 5G // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – № 2. – С. 233-235.

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.	14-17.06.2020 г.	

График
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1	Анализ технологии 5G	03-28.02. 2020 г.	
2	Организация сети радиодоступа на основе 5G в жилом комплексе «Легенда» в г. Алматы	02-30.03. 2020 г.	
3	Расчетная часть	01-23.04. 2020 г.	
4	Безопасность жизнедеятельности	24.04-8.05. 2020 г.	
5	Бизнес план	11-21.05. 2020 г.	

Дата выдачи задания «____»_____2020 г.

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

Научный руководитель проекта _____ (подпись) (Жунусов К.Х.) (Ф.И.О.)

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

Аңдатпа

Бұл дипломдық жобада «Legenda» тұрғын үй кешенінде 5G-ге негізделген радиоқатынау желісін ұйымдастыру ұсынылған. 5G радиоқатынау желісін ұйымдастырудың архитектуралық нұсқалары қарастырылған, 3GPP Rel-15(3GPP Non-Standalone Architecture – Option 3.X) архитектурасы таңдалды. «Легенда» тұрғындарына 5G технологиясы бойынша қызметтерді АҚ «Қазақтелеком» ұсынуы қарастырылған.
Барлық қажетті техникалық параметрлердің есептеулері орындалды, қажетті жабдықтың түрі анықталды.

Бұл дипломдық жобада жобаның экономикалық тиімділігі есептелген. Жобалау кезіндегі қауіпсіздік мәселелері қаралды.

Аннотация

В данном дипломном проекте представлена организация сети радиодоступа на основе 5G в жилом комплексе «Легенда». Рассмотрены возможные варианты архитектуры организации сети радиодоступа 5G, в качестве предпочтительной выбрана архитектура 3GPP Rel-15(3GPP Non-Standalone Architecture – Option 3.X). Рассматривается предоставление услуг по технологии 5G жителям ЖК «Легенда» от АО «Казахтелеком». Выполнены расчеты всех необходимых технических параметров, определен тип необходимого оборудования.

В данном дипломном проекте рассчитана экономическая эффективность проекта. Рассмотрены вопросы безопасности при проектировании.

Annotation

This graduation project presents the organization of a 5G-based radio access network in the «Legenda» residential complex. Possible architecture options for 5G radio access network organization are considered, 3GPP Rel-15 architecture (3GPP Non-Standalone Architecture - Option 3.X) is chosen as the preferred one. The provision of 5G technology services to residents of «Legenda» residential complex from «Kazakhtelecom» JSC is under consideration. The calculations of all the necessary technical parameters are carried out, the type of necessary equipment is determined.

In this diploma project, the economic efficiency of the project is calculated. Safety issues in the design process are considered.

Содержание

Введение ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
1 Анализ технологии 5G ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
1.1 Развитие стандартов беспроводной связи.....8
1.2 Технологии в 5G..... **Ошибка! Закладка не определена.**
1.3 Архитектура сети радиодоступа NG (NG-RAN) 13
1.4 Ключевые интерфейсы и протоколы NG-RAN 21
1.5 Общие сведения о ЖК «Легенда» 24
1.6 Постановка задачи на проект организации сети радиодоступа 5G 25
2 Организация сети радиодоступа на основе 5G в ЖК «Легенда» г.Алматы...26
2.1 Проект сети радиодоступа в ЖК «Легенда».....27
2.2 Тестирование сети 5G 27
3 Расчетная часть.....39
3.1 Физические рабочие условия.....39
3.2 Категории трасс.....40
3.3 Модель распространия над крышами 42
4 Безопасность жизнедеятельности.....46
4.1 Анализ воздействия электромагнитного поля антенны AAU5613.....46
4.2 Расчет плотности потока мощности (ППМ) ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
4.2 Общий вывод по разделу 54
5 Бизнес план.....55
5.1 Резюме 55
5.2 Компания и отрасль 55
5.3 Описание продукции (услуги).....56
5.4 Анализ рынка сбыта.....56
5.5 Финансовый план.....56
5.6 Расчёт показателей экономической эффективности 62
Заключение.....64
Список литературы 65
Приложение А Расчеты в программе Mathcad 2014……67
Приложение Б Справка антиплагиата
Приложение В Электронная версия ДП и демонстрационные материалы (CD-R)
Приложение Г Раздаточные материалы

Введение

Пятое поколение беспроводных сетей, 5G, представляет собой эволюционный процесс предыдущих поколений беспроводных сетей (т.е. 2G, 3G и 4G).

5G - это больше, чем просто эволюционный шаг к новому поколению технологий. Он представляет собой фундаментальное изменение роли мобильных технологий в обществе. Поскольку спрос на непрерывное подключение растет, 5G - это возможность создать гибкую, целенаправленную сеть, адаптированную к различным потребностям граждан. 5G естественным образом эволюционирует из существующих сетей 4G, но будет отмечать точку перегиба в будущем коммуникаций, обеспечивая мгновенную мощную связь с миллиардами устройств.

5G, являясь следующим поколением стандартов мобильных сетей, обещает обеспечить улучшенное взаимодействие конечных пользователей, предлагая новые приложения и услуги за счет высокой скорости передачи данных, низкой задержки, а также значительно улучшенной производительности и надежной связи. Это позволит повысить энергоэффективность, эффективность спектра, эффективность сети, а также эффективность других систем. 5G расширяет разнообразие и объем вариантов использования, которые LTE может минимально решить сегодня, и приносит новые потоки доходов операторам, используя новые решения, которые LTE не смогла обслуживать.

Эта беспроводная технология следующего поколения предназначена для обеспечения скорости загрузки(нисходящей) 20 Гбит/с, скорости загрузки(восходящей) 10 Гбит/с и задержки в одну миллисекунду. Это представляет собой скорость загрузки на 200 быстрее (скорость разгрузки на 100 быстрее) по сравнению с текущими долгосрочными эволюционными сетями (LTE) (т.е. 4G), а также одну десятую задержки 4G. 5G разрабатывается для трех сценариев использования: расширенная мобильная широкополосная связь (eMBB), массовая машинная связь (mMTC) и сверхнадежная связь с низкой задержкой (ULC). Следующее поколение беспроводных сетей обладает потенциалом для стимулирования инноваций и удовлетворения растущих потребностей цифровой экономики. 5G представляет собой прогресс в области мобильных технологий, и поскольку мобильные сети можно рассматривать как расширение фиксированных сетей, она будет способствовать расширению возможностей широкополосной связи во всех частях цифровой экономики и общества.

Поэтому выполнить дипломный проект на тему «Организация сети радиодоступа на основе 5G» позволит закрепить и углубить знания по вопросам пятого поколения беспроводных сетей.

1 Анализ технологии 5G

1.1 Развитие стандартов беспроводной связи

Первое поколение(1G)

1980 году началась эра мобильной сотовой связи, и с тех пор мобильная связь претерпела значительные изменения. Мобильные системы первого поколения использовали аналоговую передачу для речевых услуг. В 1979 году первая в мире сотовая связь была введена в эксплуатацию компанией Nippon Telephone and Telegraph (NTT) в Токио, Япония.

В 1983 году США одобрили первые операции 1G, и DynaTAC Motorola стал одним из первых «мобильных» телефонов, которые получили широкое распространение в США.

Первое поколение было впервые разработано для голосовой связи в начале 1980-х годов, где почти все они были аналоговыми системами, использующими метод частотной модуляции для радиопередачи с использованием FDMA (Frequency Division Multiple Access) с пропускной способностью канала 30 КГц и полосой частот 824-894 МГц, которая была основана на технологии, известной как Advance Mobile Phone Service (AMPS), а ее скорость достигает 2,4 Кбит/с.

Наиболее популярными аналоговыми системами были Analog mobile phone system (AMPS), Nordic Mobile Telephones (NMT) и Total Access Communication Systems (TACS). Кроме AMPS, NMT и TACS, некоторые другие аналоговые системы были также введены в 1980-х годах по всей Европе.

Однако технология 1G имела ряд недостатков. Охват был плохим, а качество звука низким. Между различными операторами не было поддержки роуминга, и поскольку разные системы работали в разных частотных диапазонах, между системами не было совместимости. Хуже всего то, что звонки не были зашифрованы, поэтому любой, у кого есть радиосканер, мог зайти на звонок [1].

Успех 1G проложил путь для второго поколения, которое, соответственно, называется 2G.

Второе поколение(2G).

Второе поколение было создано в конце 1990-х гг., которое до сих пор используется в разных частях мира.

Для обеспечения роуминга был создан ETSI (European Telecommunications Standards Institute), который стал началом 2-го поколения. Сети были коммерчески запущены в 1991 году в Финляндии на базе GSM (Global System for Mobile Communications). Основными преимуществами были цифровое шифрование разговоров, более эффективное использование спектра и большее проникновение мобильного телефона, а также внедрение сервиса передачи данных SMS (Short Message Service), услуги графических сообщений и услуги мультимедийных сообщений MMS (Multimedia Messaging Service).

Это поколение в основном используется для передачи голоса с

цифровыми сигналами и скоростью до 64 Кбит/с. В этом поколении используются две схемы цифровой модуляции; один - это множественный доступ с временным разделением TDMA(Time Division Multiple Access), а 2-й - множественный доступ с кодовым разделением CDMA(Code Division Multiple Access), и диапазон частот составляет 850-1900 МГц. В 2G технология GSM использует восемь каналов на несущую с общей скоростью передачи данных 22,8 Кбит/с (чистая скорость 13 Кбит/с) в канале полной скорости и кадром длительностью 4,6 миллисекунды. Семейство этого поколения включает в себя 2G, 2.5 G и 2.75 G.

Для получения более высоких скоростей передачи данных операторы GSM начали разработку услуги под названием General Packet Radio Service (GPRS), относящейся к 2.5G. Она была разработана в 1995 году и в основном представляла собой сеть пакетной коммутации с GSM. GPRS может передавать данные со скоростью до 160 Кбит/с. В 1997 году, на следующем этапе после GPRS, была усовершенствована скорость передачи данных для EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), относящаяся к 2.7G. В ней была введена 8PSK модуляция, и она может передавать данные со скоростью до 500 Кбит/с, используя ту же самую GPRS технологию. Телефоны начали поддерживать просмотр веб-страниц. Это был Интернет-бум в 1998 году. Несмотря на относительно медленную скорость, 2G произвела революцию в бизнесе и навсегда изменила мир. Хотя технологии 2G значительно улучшили мобильную связь, что привело к росту числа абонентов, это было связано со многими ограничениями. Один из них включает в себя тот факт, что 2G была сетью с коммутацией каналов, поэтому она неэффективно использует полосу пропускания и ресурсы, что сильно ограничивает возможности высокой скорости передачи данных, она также не способна обрабатывать сложные данные, такие как видео, а также ограничивает количество пользователей. Другие ограничения включают в себя отсутствие взаимодействия между сетями 2G, плохую стандартизацию и тот факт, что 2G предлагает очень мало возможностей для услуг и приложений [2].

Третье поколение (3G).

3G был запущен компанией NTT DoCoMo в 2001 году и был нацелен на стандартизацию сетевого протокола, используемого поставщиками. Это означало, что пользователи могли получать доступ к данным из любого места в мире, поскольку были стандартизированы «пакеты данных», которые управляют подключением к Интернету. Это впервые сделало возможным предоставление услуг международного роуминга.

Расширенные возможности передачи данных в 3G (в 4 раза быстрее, чем у 2G) также привели к появлению новых услуг, таких как видеоконференции, потоковое видео и передача голоса по IP (например, Skype). В 2002 году был запущен Blackberry, и многие из его мощных функций стали возможными благодаря 3G-соединению.

Третье поколение (3G) - это услуги, которые сочетают высокоскоростной мобильный доступ с услугами на основе интернет-

протокола (IP). Стандарт 3G W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) был разработан для пакетной беспроводной связи, так что компьютеры, развлекательные устройства и телефоны могут совместно использовать одну и ту же беспроводную сеть и подключаться к интернету в любое время и в любом месте. Важной особенностью технологии 3G является то, что она обеспечивает более высокую скорость передачи данных до 2 Мбит/с, более 5 МГц ширины несущей канала, в зависимости от мобильности и скорости, и высокую эффективность спектра. Благодаря большей скорости передачи данных и пропускной способности 3G мобильные телефоны предлагают мультимедийные приложения и мобильный доступ в интернет. 3G предоставляет больше новых функций, таких как просмотр веб-страниц, электронная почта, потоковое телевидение, видеоконференцсвязь, пейджинг, факс и навигационные карты. Технология 3G является более гибкой по сравнению с 2G, потому что она поддерживает технологии которые функционируют под CDMA, TDMA и FDMA. Как и 2G, 3G эволюционировал в 3.5G и 3.75G, так как было введено больше функций, чтобы создать 4G.

Четвертое поколение (4G).

О технологии 4G было объявлено рано. Скорость 4G для стационарного модема в 2008 году должна была быть на уровне 1 Гбит/с, а скорость для мобильного устройства - на уровне 100 Мбит/с. Однако ни один оператор не смог добиться этой скорости. Также формально внедрили в четвертое поколение HSPA+ соответствующий третьему поколению. Только через пять лет технологии стали достигать указанных параметров. Это было обусловлено влиянием стандартов LTE (Long Term Evolution) и WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

В то время как 4G является текущим стандартом во всем мире, некоторые регионы страдают от сетевых пятен и имеют низкое проникновение 4G LTE .

Впервые 4G был развернут в Стокгольме, Швеция и Осло, Норвегия, в 2009 году как стандарт 4G Long Term Evolution (LTE). Впоследствии он был представлен по всему миру и сделал потоковое видео высокого качества реальностью для миллионов потребителей. 4G предлагает быстрый мобильный веб-доступ (до 1 Гбит/с для стационарных пользователей), который облегчает игровые услуги, HD-видео и видеоконференции в штаб-квартире.

Потенциальные и текущие приложения включают в себя измененный мобильный веб-доступ, IP-телефонию, игровые сервисы, мобильное телевидение высокой четкости, видеоконференции, 3D-телевидение и облачные вычисления. 4G - это мобильная система на базе IP, которая обеспечивает доступ через набор радиоинтерфейсов. Он имеет возможность обеспечить скорость 100 Мбит – 1 Гбит/с и имеет высокий QoS (качество обслуживания) и безопасность. Он также предлагает различные виды услуг в любое время в соответствии с требованиями пользователя в любом месте. Беспроводная технология 4G комбинируется вместе с существующей и

предлагаемой технологией беспроводной сети (например, OFDM, MC-CDMA, LAS-CDMA).

4G имеет ряд технологических особенностей: увеличенный тип емкости сети, преимущества трафика устройств, IP склонность, стандартность в различных странах. Кроме того, появление нового поколения стало хорошей маркетинговой рекламой в продаже новых услуг и оборудования.

Пятое поколение (5G).

Поскольку в некоторых районах охват 4G низок, фокус уже сместился на 5G.

5G на самом деле были годы в создании.

В интервью интернет-журнала Tech Republic Кевин Эштон описал, как он придумал термин «IoT (internet of things)» - во время презентации PowerPoint, которую он дал в 1990-х годах.

Эта фраза завоевала популярность, и вскоре IoT был объявлен следующей крупной цифровой революцией, в результате которой миллиарды подключенных устройств беспрепятственно обмениваются данными по всему миру. IoT увидит, как данные перемещаются из серверных центров в так называемые «периферийные устройства», такие как устройства с поддержкой Wi-Fi, такие как холодильники, стиральные машины и автомобили.

К началу 2000-х разработчики знали, что сети 3G и даже 4G не смогут поддерживать такую сеть. Поскольку задержка 4G между 40 мс и 60 мс слишком мала для откликов в реальном времени, ряд исследователей начали разработку мобильных сетей следующего поколения.

В 2008 году НАСА помогло создать корпорацию Machine-to-Machine Intelligence (M2Mi) для разработки технологий IoT и M2M, а также технологии 5G, необходимой для ее поддержки. В том же году в Южной Корее была разработана программа исследований и разработок 5G, а в 2012 году Нью-Йоркский университет основал ориентированный на 5G проект NYU WIRELESS.

Превосходная связь, предлагаемая 5G, обещала превратить все от банковского дела до здравоохранения. 5G предлагает возможность таких инноваций, как дистанционные операции, телемедицина и даже дистанционный мониторинг жизненно важных функций, которые могут спасти жизни [3].

1.2 Технологии в 5G

Новая радиочастота.

Воздушный интерфейс, определенный 3GPP для 5G, известен как Новое радио NR(New Radio), и спецификация подразделяется на две полосы частот, FR1 (ниже 6 ГГц) и FR2 (mmWave), каждая из которых имеет различные возможности.

а) Диапазон частот (<6 ГГц).

Максимальная полоса пропускания канала, определенная для FR1, составляет 100 МГц. Начиная с выпуска 10, LTE поддерживает агрегацию 100

МГц (пять каналов 20 МГц). FR1 поддерживает максимальную модуляцию 64-QAM, что означает, что 5G достигает значительных улучшений пропускной способности по сравнению с LTE-advanced, уже использующим 256-QAM, устраняя преимущество 5G FR1.

б) Диапазон Частот (24-86 ГГц).

Максимальная полоса пропускания канала, определенная для FR2, составляет 400 МГц, а двухканальная агрегация поддерживается в выпуске 3GPP 15. Максимальная скорость физического уровня, потенциально поддерживаемая этой конфигурацией, составляет приблизительно 40 Гбит/с. В Европе предлагаемый диапазон частот составляет 24,25 – 27,5 ГГц.

Массивные MIMO.

Массивные антенны MIMO (multiple input band multiple output) увеличивают пропускную способность сектора и плотность мощности, используя большое количество антенн и многопользовательское MIMO (MU-MIMO). Каждая антенна индивидуально управляется и может встраивать в себя компоненты радиопередатчика.

Пограничные вычисления.

Пограничные вычисления - это метод оптимизации облачных вычислительных систем путем передачи управления вычислительными приложениями, данными и сервисами от некоторых центральных узлов. В сети 5G это будет способствовать более высокой скорости и низкой задержке передачи данных пограничных устройств.

Радио конвергенция.

Одним из ожидаемых преимуществ перехода на 5G является конвергенция множества сетевых функций для достижения снижения затрат, мощности и сложности. LTE нацелился на конвергенцию с Wi-Fi с помощью различных усилий, таких как License Assisted Access (LAA) и LTE-WLAN Aggregation (LWA), но различные возможности сотовой связи и Wi-Fi ограничили сферу конвергенции. Однако значительное улучшение характеристик производительности сотовой связи в 5G в сочетании с переходом от распределенной сети радиодоступа (D-RAN) к облачной или централизованной сети (C - RAN) и развертыванием сотовых небольших ячеек потенциально может сократить разрыв между Wi-Fi и сотовыми сетями в плотных и закрытых развертываниях. Конвергенция радиосвязи может привести к совместному использованию различных технологий - от агрегирования сотовых и Wi-Fi каналов до использования одного кремниевого устройства для нескольких технологий радиодоступа.

Канальное кодирование.

Методы кодирования канала для 5G HP изменились из Турбо в 4G в полярный для канала управления и низкоплотностных кодов для канала данных.

Работа в нелицензируемом спектре.

Как LTE, 5G также будет поддерживать работу в нелицензируемом спектре. В дополнение к License Assisted Access (LAA) от LTE, которые

позволяют операторам использовать этот нелицензионный спектр для повышения своей операционной эффективности для пользователей, в 5G NR он будет поддерживать автономную нелицензионную работу NR-U, которая позволит создать новую сеть 5G NR в другой среде без получения операционной лицензии в лицензированном спектре, например для локализованной частной сети или снизить входной барьер для предоставления 5G интернет-услуг населению [4].

1.3 Архитектура сети радиодоступа NG (NG-RAN)

NG-RAN представляет сеть радиодоступа для 5G. NG-RAN обеспечивает радиодоступ как NR, так и LTE. Узел NG-RAN (т.е. базовая станция) является:

- gNB (то есть базовая станция 5G), предоставляющая услуги NR плоскости пользователя и плоскости управления;
- ng-eNB, предоставляющий услуги LTE / E-UTRAN в направлении UE.

GNB и ng-eNB связаны друг с другом посредством интерфейса Xn. GNB и ng-eNB также связаны посредством интерфейсов NG с ядром 5G (5GC), более конкретно с функцией управления доступом и мобильностью (AMF - Access and Mobility Management Function) посредством интерфейса NG-C и с UPF (плоскостью пользователя). Функция с помощью интерфейса NG-U.

Общее отношение NG-RAN к общей системе 5G показано на рисунке 1.1.

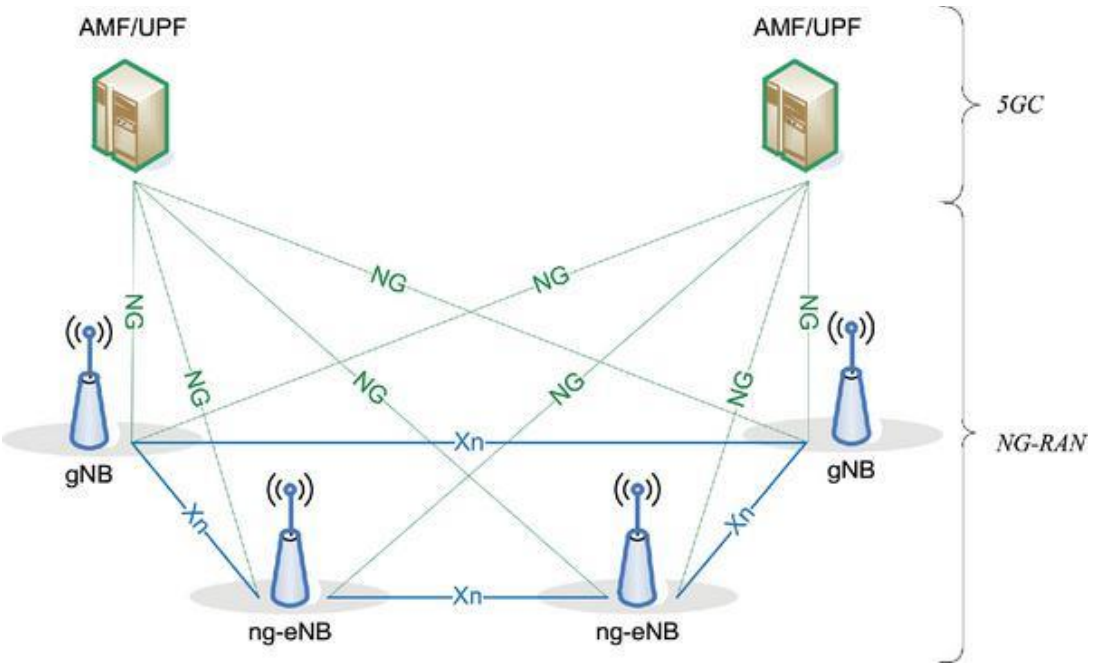


Рисунок 1.1 - NG-RAN по отношению к системе 5G

1.3.1 Варианты архитектуры. Одной из отличительных особенностей NG RAN является возможность работать как в так называемой автономной (SA-

Standalone) операции, так и в автономной (NSA- Non-Standalone). В режиме SA, gNB подключается к базовой сети 5G (5GC); в режиме NSA NR и LTE тесно интегрированы и подключаются к существующей базовой сети 4G (EPC), используя двойное подключение (DC- Dual Connectivity) к терминалу. В архитектуре двойного подключения главный узел (MN - Master Node) и вторичный узел (SN- Secondary Node) одновременно предоставляют радиоресурсы терминалу для повышения скорости передачи данных конечного пользователя. Варианты архитектуры NSA и SA определены как часть стандартов 5G фазы 1 3GPP в версии 15.

NR gNB, подключенный к 5GC (вариант 2).

В этом варианте gNB подключаются к базовой сети 5G (5GC) через интерфейс NG. GNB соединяются через интерфейс Xn, рисунок 1.2.

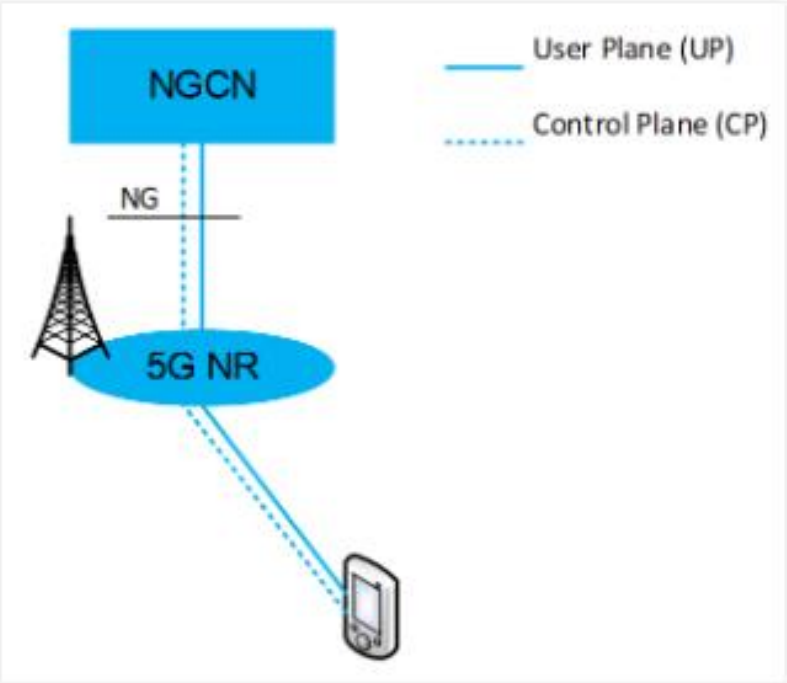


Рисунок 1.2 – NR gNB, подключенный к 5GC

Multi-RAT DC с EPC (вариант 3).

В этом варианте, обычно известном как EN-DC (двойное подключение LTE-NR), UE подключается к eNB, который действует как MN, и к en-gNB, который действует как SN, см. рисунок 1.3. En-gNB отличается от gNB(gNodeB) тем, что он реализует только часть функциональности базовой станции 5G, которая требуется для выполнения функций SN для EN-DC.

ENB подключается к EPC через интерфейс S1 и к en-gNB через интерфейс X2. En-gNB также может быть подключен к EPC через интерфейс S1-U и к другим en-gNB через интерфейс X2-U. Полученная архитектура показана на рисунке 1.3. en-gNB может отправлять UP в EPC либо напрямую, либо через eNB.

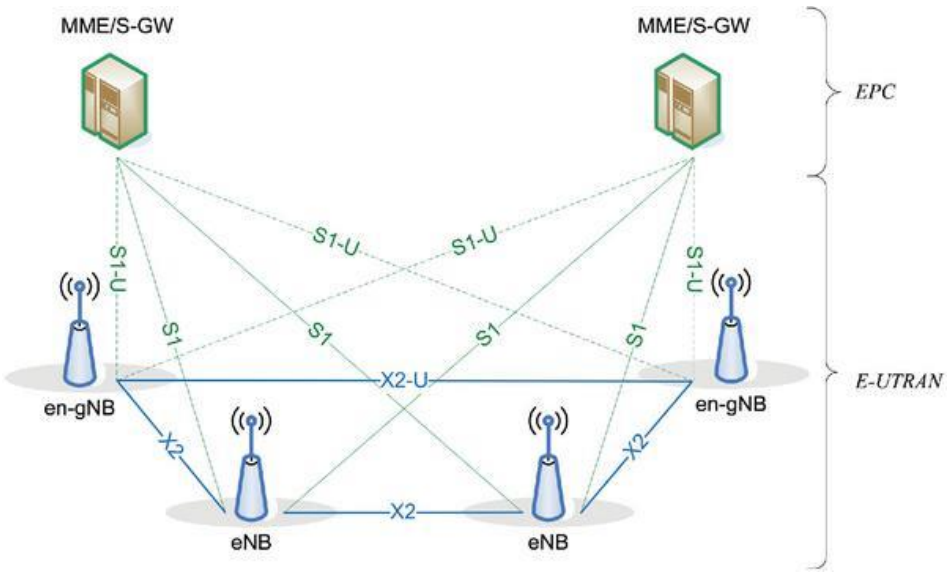


Рисунок 1.3 - Общая архитектура LTE (E-UTRAN) -NR DC

Multi-RAT DC с 5GC, NR в качестве мастера (вариант 4).

В этом варианте UE соединяется с gNB, который действует как MN, и с ng-eNB, который действует как SN. Эта опция требует развертывания ядра 5G. GNB подключен к 5GC, а ng-eNB подключен к gNB через интерфейс Xn. Ng-eNB может отправлять UP на ядро 5G либо напрямую, либо через gNB, рисунок 1.4.

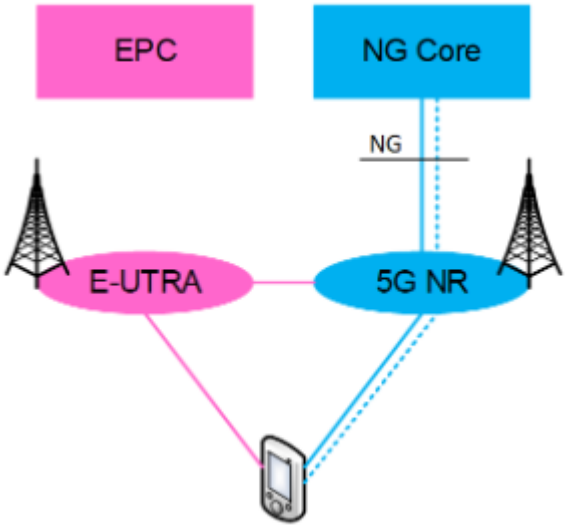


Рисунок 1.4 - Multi-RAT DC с 5GC, NR в качестве мастера

LTE ng-eNB, подключенный к 5GC (вариант 5).

В этом варианте ng-eNB подключаются к базовой сети 5G (5GC) через интерфейс NG. Ng-eNB соединяются через интерфейс Xn. По сути, эта опция позволяет существующей радио инфраструктуре LTE (через обновление до eNB) подключаться к новому ядру 5G, рисунок 1.5.

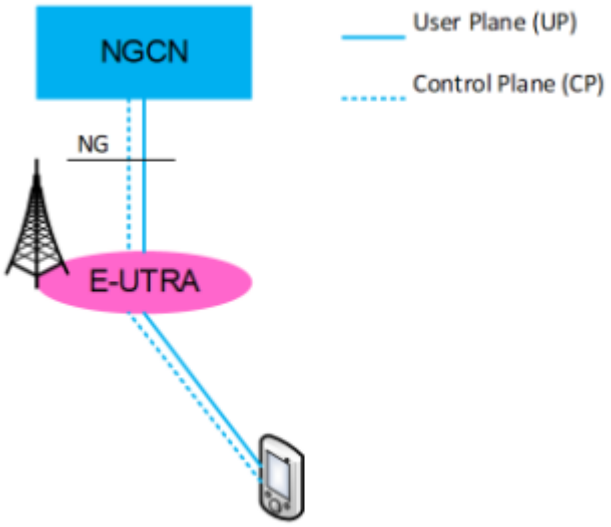


Рисунок 1.5 - LTE ng-eNB, подключенный к 5GC

Multi-RAT DC с 5GC, E-UTRA в качестве мастера (вариант 7).

В этом варианте UE соединяется с ng-eNB, который действует как MN, и с gNB, который действует как SN. Ng-eNB подключен к 5GC, а gNB подключен к ng-eNB через интерфейс Xn. GNB может отправлять UP на 5GC либо напрямую, либо через ng-eNB, рисунок 1.6 [5].

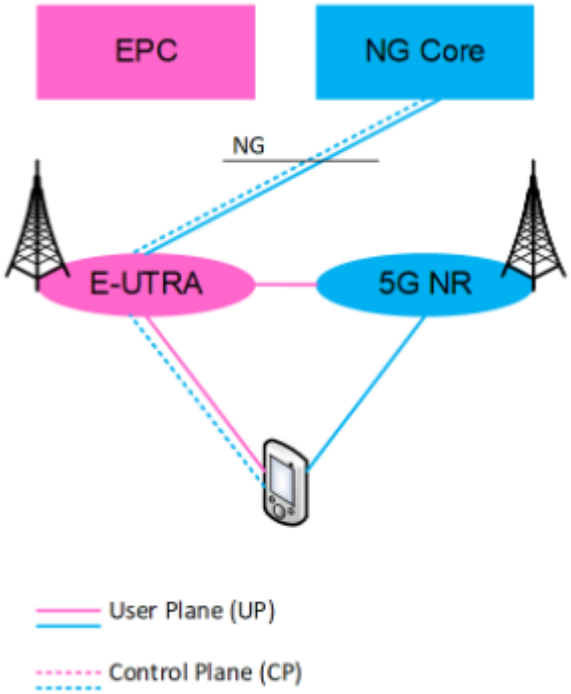


Рисунок 1.6 - Multi-RAT DC с 5GC, E-UTRA в качестве мастера

1.3.2 Миграционные аспекты. Когда 5G впервые развернут с NR, вероятным сценарием является развертывание NR на более высоких частотах, чем для LTE. В этом случае покрытие NR обычно намного меньше покрытия

LTE, особенно на частотах выше 6 ГГц. Затем желательно использовать существующее покрытие LTE для обеспечения непрерывного общенационального покрытия и мобильности, одновременно повышая пропускную способность плоскости пользователя с NR в целевых областях с высокой нагрузкой трафика. Вариант 3 позволяет операторам запускать службу NR, опираясь на свои существующие инвестиции в E-UTRAN и EPC.

Когда операторы решат внедрить ядро 5G, это «разблокирует» новый набор возможных сценариев развертывания, среди которых поддержка NR в качестве автономной технологии радиодоступа (RAT) (вариант 2) и одновременное использование развернутые узлы LTE в качестве вторичных узлов через Dual Connectivity (DC) (вариант 4).

Еще одна возможность для внедрения Core 5G состоит в том, чтобы сохранить LTE в качестве основного «якоря», подключив его к ядру 5G (вариант 5), и при этом использовать NR в качестве вторичного узла через DC (вариант 7).

Выбор между развертыванием NR с 5GC в качестве «якоря» и сохранением LTE в качестве «якоря» с новым 5GC, как правило, будет деловым решением каждого оператора. Как правило, это будет зависеть от таких факторов, как плотность развернутой сети LTE, доступность новых частот, скорость увеличения спроса трафика конечного пользователя и относительный «вес» в бизнес-случае новых функций (таких как, например, нарезка), которые применяются только в новых сетях.

1.3.3 Архитектура базовой станции 5G NR (gNB). Архитектура 4G RAN была основана на «монолитном» строительном блоке, eNB. Это привело к очень простой архитектуре RAN, в которой необходимо указать несколько взаимодействий между логическими узлами. Однако с самых ранних этапов исследования NR считалось, что разделение gNB (логического узла NR) между центральными блоками (CU) и распределенными блоками (DU) принесет дополнительные преимущества. Некоторые преимущества в этом отношении были выявлены уже на ранней стадии исследования, в том числе:

- гибкая аппаратная реализация позволяет масштабируемые экономически эффективные решения;
- разделенная архитектура позволяет координировать характеристики производительности, управлять нагрузкой и оптимизировать производительность в режиме реального времени. Это также позволяет виртуализированные развертывания;
- конфигурируемые функциональные разделения позволяют адаптировать к различным случаям использования, таким как переменная задержка транспорта.

Выбор способа разделения функций NR в архитектуре зависит от сценариев развертывания радиосети, ограничений и предполагаемых услуг. Например, это зависит от необходимости поддерживать конкретные настройки QoS для предлагаемых услуг (например, низкая задержка, высокая пропускная способность, удельная плотность пользователей и требование

нагрузки на данную географическую область (что может влиять на уровень координации RAN)) или необходимость взаимодействия с транспортными сетями, имеющими разные уровни производительности: от идеального до неидеального.

Несколько возможных вариантов разделения CU-DU, показанных на рисунке 1.7 , были рассмотрены на этапе исследования. Стек протокола E-UTRA, который включает PHY, MAC, RLC, PDCP и RRC, был взят за основу для этого исследования. В ходе исследования были проанализированы возможные точки разделения в стеке протоколов, эти возможные точки разделения изображены на рисунке 1.7 в виде различных перечисленных опций.

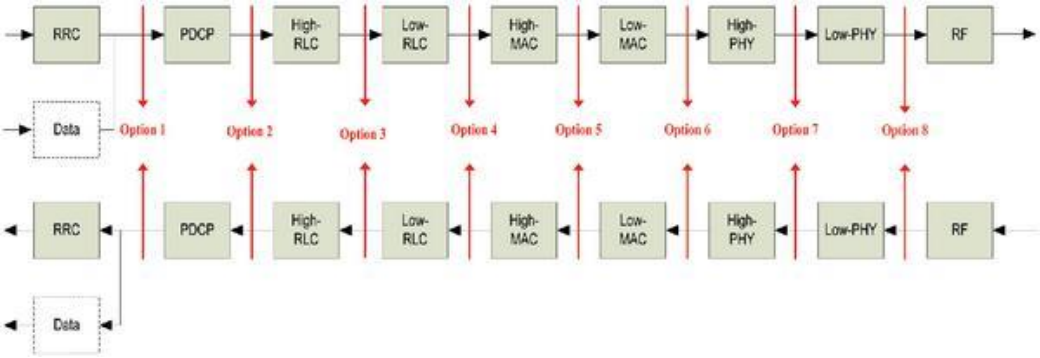


Рисунок 1.7

После подробного сравнения 3GPP решил взять вариант 2 (на основе централизованного PDCP/RRC и децентрализованного RLC / MAC / PHY) в качестве основы для работы над нормативной спецификацией. Основной причиной выбора этой опции было близкое сходство с разделением стека протоколов, применяемым в двойном соединении: в конфигурации постоянного тока главный узел (MN) и вторичный узел (SN) «разделяются» вдоль той же точки, что и вариант 2.

Разделение по верхнему слою (HLS) gNB

Общая архитектура NG-RAN с разделенным gNB на рисунке 1.8.

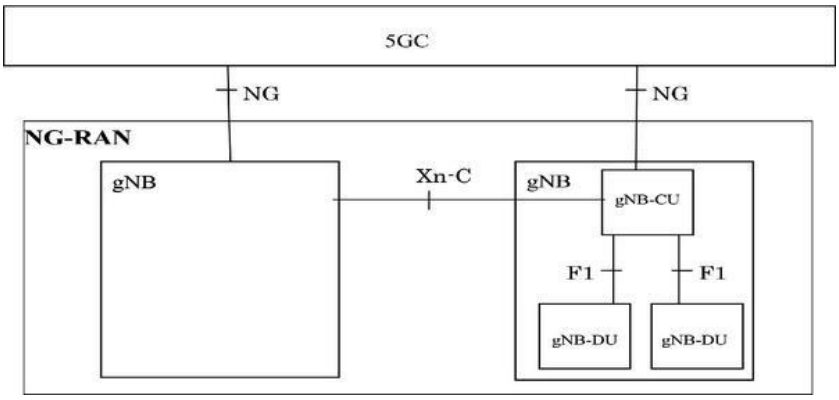


Рисунок 1.8 - Разделение верхнего уровня gNB

Как показано на рисунке 1.8, в NG-RAN набор gNB подключен к базовой сети 5G (5GC) через интерфейс NG, и они могут быть соединены через интерфейс Xn.

Затем gNB может состоять из gNB-CU и одного или нескольких gNB-DU, и интерфейс между gNB-CU и gNB-DU называется F1. Интерфейсы NG и Xn-C для gNB оканчиваются в gNB-CU. Максимальное количество gNB-DU, подключенных к gNB-CU, ограничено только реализацией. В стандарте 3GPP один gNB-DU подключается только к одному gNB-CU, но реализации, которые позволяют нескольким gNB-CU подключаться к одному gNB-DU, например, для дополнительной отказоустойчивости, не исключаются. Один gNB-DU может поддерживать одну или несколько сот. Внутренняя структура gNB не видна базовой сети и другим узлам RAN, поэтому gNB-CU и подключенные gNB-DU видны только другим gNB и 5GC как gNB.

Интерфейс F1 поддерживает обмен сигналами и передачу данных между конечными точками, разделяет уровень радиосети и уровень транспортной сети и обеспечивает обмен сигнализацией, связанной с UE, и не связанной с UE. Кроме того, функции интерфейса F1 разделены на функции F1-C и F1-U.

F1-C (плоскость управления). Функции:

– функции управления интерфейсом F1: состоят из настройки F1, обновления конфигурации gNB-CU, обновления конфигурации gNB-DU, индикации ошибок и функции сброса;

– функции управления системной информацией: gNB-DU отвечает за планирование и передачу системной информации. Для широковещательной передачи системной информации кодирование NR-MIB и SIB1 выполняется посредством gNB-DU, в то время как кодирование других сообщений SI выполняется посредством gNB-CU. Интерфейс F1 также обеспечивает поддержку сигнализации для доставки SI по требованию, обеспечивая энергосбережение UE;

– функции управления контекстом UE F1: Эти функции отвечают за установление и изменение необходимого контекста UE. Установление контекста F1 UE инициируется gNB-CU, и gNB-DU может принять или отклонить установление на основе критериев управления допуском (например, gNB-DU может отклонить запрос установки или изменения контекста в случае, если ресурсы нет в наличии). Кроме того, запрос модификации контекста F1 UE может быть инициирован либо gNB-CU, либо gNB-DU. Принимающий узел может принять или отклонить модификацию. Функцию управления контекстом F1 UE также можно использовать для установления, изменения и выпуска однонаправленных радиоканалов данных (DRB) и сигнальных однонаправленных радиоканалов (SRB);

– функция передачи сообщений RRC: эта функция отвечает за передачу сообщений RRC из gNB-CU в gNB-DU и наоборот.

F1-U (плоскость пользователя). Функции:

– передача пользовательских данных: эта функция позволяет передавать пользовательские данные между gNB-CU и gNB-DU;

– функция управления потоком: эта функция позволяет управлять передачей пользовательских данных по нисходящей линии в направлении gNB-DU. Для улучшения производительности при передаче данных введены некоторые функции, такие как быстрая повторная передача PDU PDCP, потерянных из-за сбоя радиолинии, отбрасывание избыточных PDU, индикация повторно переданных данных и отчет о состоянии.

В случае разделения CU-DU поддерживаются следующие сценарии мобильности в подключенном режиме:

– мобильность между gNB-DU: UE перемещается из одного gNB-DU в другой в пределах того же gNB-CU;

– межсотовая мобильность внутри gNB-DU: UE перемещается из одной соты в другую в пределах одного и того же gNB-DU, поддерживаемого процедурой модификации контекста UE (инициированной gNB-CU);

– мобильность EN-DC с Inter-gNB-DU. Мобильность с использованием MCG SRB: UE перемещается из одного gNB-DU в другой в том же gNB-CU, когда во время работы EN-DC доступен только MCG SRB;

– мобильность EN-DC с Inter-gNB-DU. Мобильность с использованием SCG SRB: UE перемещается из одного gNB-DU в другой, когда SCG SRB доступен во время работы EN-DC.

Разделение CP и UP с разделением более высокого уровня (HLS).

Чтобы оптимизировать расположение различных функций RAN в соответствии с различными сценариями и требованиями к производительности, gNB-CU может быть дополнительно разделен на его части CP и UP (gNB-CU-CP и gNB-CU-UP соответственно).

Интерфейс между CU-CP и CU-UP называется E1 (чисто интерфейс плоскости управления). Общая архитектура RAN с разделением CU-CP и CU-UP показана на рисунке 1.9.

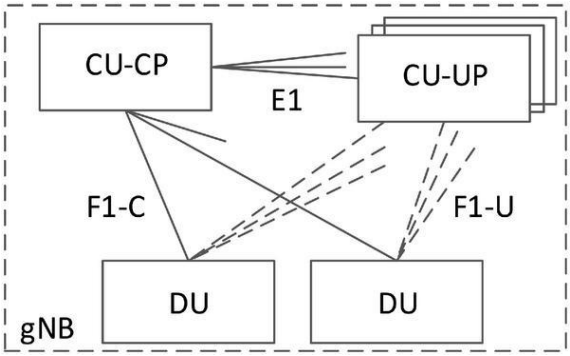


Рисунок 1.9 - Общая архитектура RAN с разделением CU-CP и CU-UP

GNB-CU-CP размещает RRC и часть плоскости управления протокола PDCP; он также завершает интерфейс E1, связанный с gNB-CU-UP, и интерфейс F1-C, связанный с gNB-DU. GNB-CU-CP содержит часть пользовательской плоскости протокола PDCP gNB-CU для en-gNB и часть пользовательской плоскости протокола PDCP и протокола SDAP gNB-CU для

gNB. GNB-CU-UP завершает интерфейс E1, связанный с gNB-CU-CP, и интерфейс F1-U, связанный с gNB-DU.

1.4 Ключевые интерфейсы и протоколы NG-RAN

Семейство интерфейсов Xx.

Узлы NG-RAN могут быть соединены посредством горизонтальных интерфейсов Xn и X2, которые в основном используются для трех целей: мобильность (т.е. передача обслуживания), мультисвязность и SON (самооптимизированные сети). Первоначально X2 был определен как интерфейс между двумя узлами E-UTRAN, позже расширен для поддержки EN-DC (то есть как интерфейс между eNB и en-gNB) и будет дополнительно расширен для поддержки NR-DC. Xn следует схожему дизайну, соединяя два gNB.

Стеки протоколов Xn и X2 похожи. В плоскости пользователя он опирается на GTP-U, работающий поверх UDP и IP. В плоскости управления используется SCTP. Это показано на рисунке 1.10.

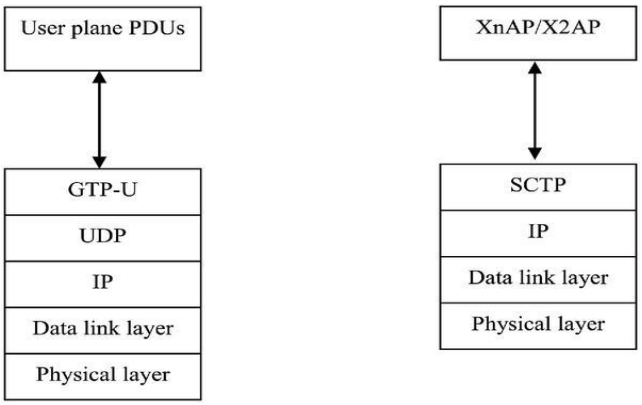


Рисунок 1.10 - Стеки протоколов Xn и X2

Интерфейс Xn-U / X2-U обеспечивает негарантированную доставку PDU пользовательской плоскости между двумя узлами NG-RAN для поддержки двойной/множественной связи или работы с мобильностью. Кроме того, он поддерживает функцию управления потоком посредством процедуры статуса доставки данных по нисходящей линии связи.

Интерфейс Xn-C/X2-C использует протоколы Xn-AP/X2-AP соответственно для обслуживания интерфейса, мобильности (хэндовер, извлечение контекста UE и т. д.) И операции двойного/множественного подключения.

NR Протокол радиоинтерфейса.

Архитектура протокола радиосвязи состоит из плоскости пользователя, используемой для передачи пользовательских данных (IP-пакетов) между сетью и UE, и плоскости управления, которая используется для сигнализации управления между NG-RAN и UE.

Уровень пользователя.

На рисунке 1.11 показан стек протоколов пользовательской плоскости в UE и gNB.

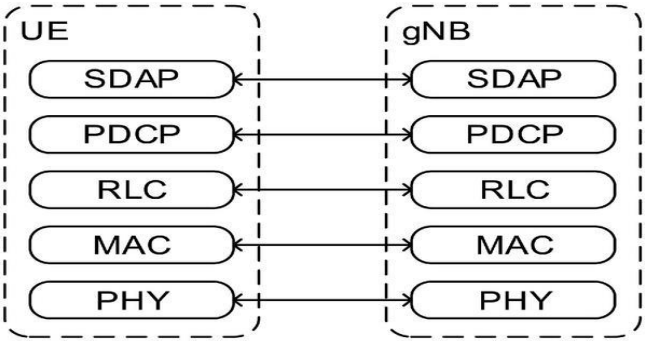


Рисунок 1.11 - Стек протоколов плоскости пользователя

Протокол адаптации служебных данных (SDAP).

Протокол SDAP представляет собой заметное отличие в архитектуре плоскости пользователя по сравнению с архитектурой LTE, и он введен для поддержки новой модели QoS на основе потоков базовой сети 5G. С помощью этой новой модели QoS базовая сеть может конфигурировать разные требования QoS для разных потоков IP сеанса PDU. Уровень SDAP обеспечивает сопоставление потоков IP с различными требованиями QoS к однонаправленным радиоканалам, которые настроены соответствующим образом для доставки этого требуемого QoS. Отображение между IP-потоками и однонаправленными радиоканалами может быть сконфигурировано и реконфигурировано посредством сигнализации RRC, но оно также может быть изменено более динамично без участия сигнализации RRC через процесс отражающего отображения.

Протокол конвергенции пакетных данных (PDCP).

Основными функциями протокола PDCP являются обеспечение сжатия и распаковки заголовка посредством использования RoHC (надежное сжатие заголовков), функции безопасности, включая шифрование/дешифрование и защиту целостности, дублирование переданных PDU PDCP, а также переупорядочивание и обнаружение дубликатов принятых PDU PDCP. Наиболее существенными отличиями в NR PDCP по сравнению с LTE являются введение дублирования данных на разных каналах передачи для достижения чрезвычайно высокой надежности для приложений URLLC (сверхнадежный с низкой задержкой) и введение защиты целостности для данных плоскости пользователя.

Протокол управления радиолинией (RLC).

NR RLC по функциональности очень похож на LTE RLC, при этом основными функциями являются обеспечение сегментации, чтобы согласовать размер передаваемого PDU с доступными радиоресурсами и исправление ошибок посредством ARQ. Одно отличие по сравнению с LTE RLC состоит в том, что он не обеспечивает конкатенацию SDU RLC с

эквивалентными функциональными возможностями, предоставляемыми в настоящее время уровнем MAC, и не обеспечивает переупорядочение, а вместо этого стек протоколов полагается только на переупорядочение в PDCP.

Средний контроль доступа (MAC).

Подобно LTE MAC, предоставляемая функциональность включает в себя мультиплексирование и демультиплексирование данных от разных радиоканалов в транспортные блоки, которые переносятся на физическом уровне, обработку приоритетов между данными от разных радиоканалов и исправление ошибок посредством гибридного ARQ. Заметным дополнением по сравнению с LTE является то, что протокол MAC переносит управляющую сигнализацию, используемую с целью управления лучами на физическом уровне [6].

Панель управления.

На рисунке 1.12 показан стек протоколов плоскости управления. Протоколы Non Access Stratum (NAS) оканчиваются в UE и AMF базовой сети 5G и используются для функций, связанных с базовой сетью, таких как регистрация, аутентификация, обновление местоположения и управление сеансом. Протокол управления радиоресурсами (RRC) заканчивается в UE и 5G-RAN и используется для управления и настройки связанных с радио функций в UE.

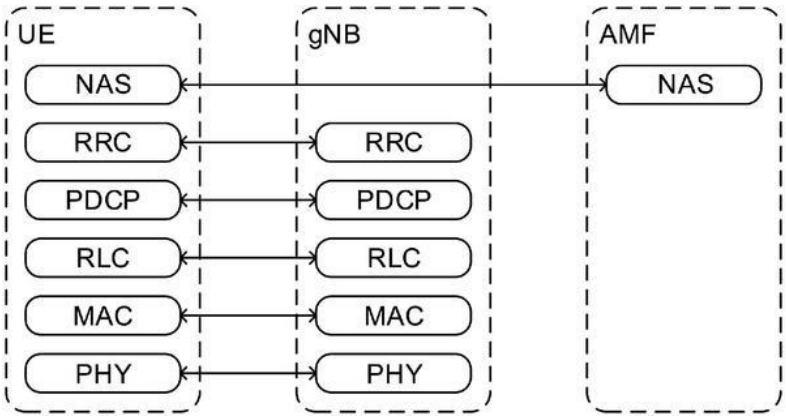


Рисунок 1.12 - Стек протоколов плоскости управления

Существенной разницей в RR NR по сравнению с RRC LTE является введение модели с 3 состояниями с добавлением состояния RACT INACTIVE, как показано на рисунке ниже. RRC Inactive предоставляет состояние с эффективностью батареи, аналогичное RRC Idle, но с сохранением контекста UE в NG-RAN, так что переходы в/из RRC Connected происходят быстрее и требуют меньших накладных расходов на сигнализацию. Смотрите рисунок 1.13.

Другими значительными дополнениями относительно LTE RRC являются поддержка механизма системной информации «по требованию», который позволяет UE запрашивать, когда требуется конкретная системная

информация, вместо использования NG-RAN радиоресурсов для обеспечения частой периодической широковещательной передачи системной информации, и расширение системы отчетов об измерениях для поддержки измерений луча для передачи обслуживания в развертывании на основе высокочастотного луча.

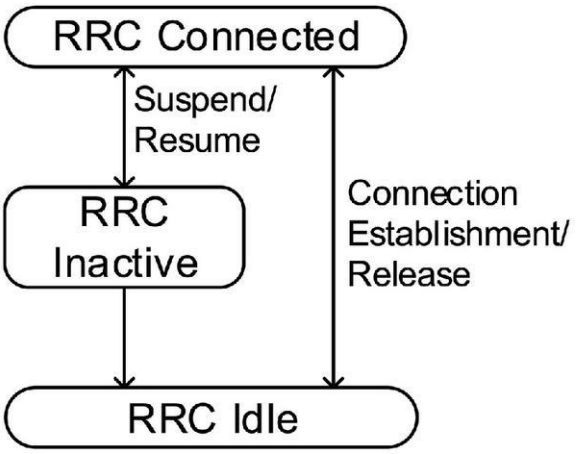


Рисунок 1.13 - NR RRC состояние модели

Архитектура NG-RAN основывается на успехе архитектуры радиосвязи 4G LTE, в то же время вводя ряд ключевых, революционных и перспективных концепций как в области архитектуры в целом, так и в протоколах.

3GPP предпринял несколько шагов для определения интерфейсов и протоколов, которые облегчают миграцию сотовых сетей на основе LTE на 5G и NR. Ожидается, что эти шаги помогут освоению NR и 5GC, одновременно упростив развитие сетей наиболее экономически эффективным способом. Усовершенствования, выходящие за рамки этапа 1, будут касаться требований и функций, необходимых для отраслей, выходящих за пределы сотовой подвижной широкополосной связи: автоматизированное управление, автоматизация отрасли, услуги электронного здравоохранения и т.д. Платформа 5G обещает стать основой для следующего десятилетия в эпоху цифровых технологий [7].

1.5 Общие сведения о жилом комплексе «Легенда»

О жилом комплексе

- Количество блоков – 3;
- Этажность зданий – 12;
- Количество квартитр – 196.

Расположение объекта

«Легенда» расположен в центре города, в Алмалинском районе, на улице Наурызбай батыра, между улицей Курмангазы и проспектом Абая.

ЖК «Легенда» изображен на рисунке 1.14.

Архитектура.

Комплекс имеет обособленный подземный двухуровневый паркинг. В

уровне 1-го этажа расположены встроенные помещения коммерческого назначения с выходом на улицу Наурызбай батыра.

Эксплуатируемая кровля по стилобату представляет собой обособленную территорию, украшенную зелеными насаждениями с детскими и спортивными площадками, зонами для отдыха жителей комплекса [8].

Квартиры в ЖК «Легенда»:

- Двух комнатные - от 56,0 до 66,4 м2;
- Трех комнатные - от 101 до 104,7 м2.

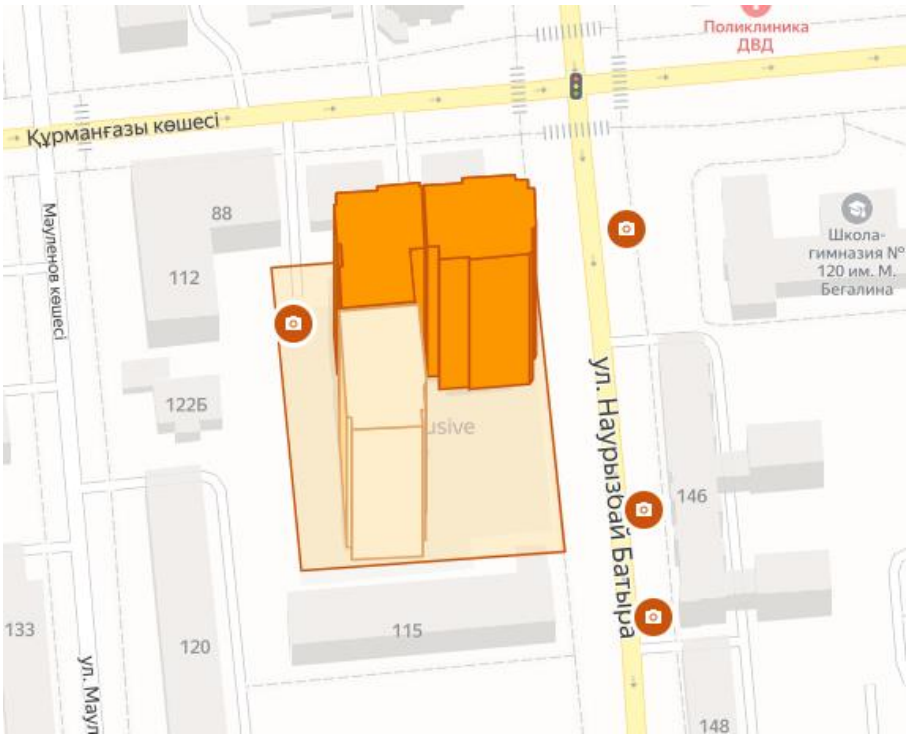


Рисунок 1.14 - ЖК «Легенда» на карте

1.6 Постановка задачи на проект организации сети радиодоступа 5G

Развитие сетей телекоммуникаций в настоящее время происходит во многих направлениях, в том числе и в создании сетей стандарта 5G. Именно это направление наиболее перспективно на сетях Республики Казахстан, поэтому тема дипломного проекта «Организация сети радиодоступа на основе 5G» является актуальной и подразумевает установку радиодоступа на основе 5G в жилом комплексе «Легенда» в г. Алматы.

При реализации дипломного проекта необходимо выполнить:

- разработку схем и описание технического проекта в ЖК «Легенда»;
- описание устанавливаемого оборудования;
- выполнение расчета зоны покрытия радиодоступа;
- выполнение расчета;
- разработку вопросов по безопасности жизнедеятельности;
- разработку бизнес плана.

2 Организация сети радиодоступа на основе 5G в жилом комплексе «Легенда» в г. Алматы

Наиболее востребованная операторами связи стратегия развертывания 5G будет заключаться в длительном совместном существовании сетей 4-го и 5-го поколений при максимальном переиспользовании инфраструктуры, узлов и сетевых элементов. Это позволит операторам модернизировать свои сети не революционно, а поступательно (эволюционно), с одной стороны сохраняя инвестиции в строительство сетей LTE и широкую зону радиопокрытия сетей LTE, с другой - предоставлять клиентам новые, базирующиеся на 5G услуги в тех зонах, где эти услуги востребованы.

Определенные 3GPP опции, приведены на рисунке 2.1.

	Опции											
	1	5	2	6	3	3a	8	8a	4	4a	7	7a
Тип радиодоступа	SA				NSA							
	E-UTRAN		NR		E-UTRAN, NR							
Тип ядра сети	EPC	NGCN	NGCN	EPC	EPC				NGCN			
Интерфейс RAN – CN	S1	NG	NG	S1	S1				NG			
eNb → ng-eNb	Нет	Да	-	-	Нет				Да			
Обработка Control Plane	E-UTRA		NR		E-UTRA		NR		NR		E-UTRA	
Расщепление трафика	-	-	-	-	eNb	EPC	gNb	EPC	gNb	EPC	eNb	EPC

Рисунок 2.1 - 3GPP опции

Option 3a:

– используется ядро сети LTE (EPC);

– пользовательский терминал (UE) имеет двойное подключение к 5G NR и E-UTRA;

– сигнальный трафик (Control Plane - CP) обрабатывается исключительно на eNb;

– точкой расщепления пользовательского трафика (User Plane - UP split bearer) является EPC;

– пользовательский трафик передается по двум маршрутам: EPCóeNbóUE и EPCógNbóUE;

– интерфейс Xx используется для переноса трафика только Control Plane.

Option 3a – актуальна на ранних этапах строительства 5G (в виде точечного радиопокрытия) в географических зонах, где уже развернуты сети 4G-LTE. Не требует внедрения ядра NGCN (используется ядро сети LTE – EPC). Базируется на технологии двойного подключения. В качестве интерфейса, связывающего сети радиодоступа E-UTRA/NR и EPC, и переносящего пользовательский (User Plane) и сигнальный (Control Plane) трафик используется S1, что изображено на рисунке 2.2. Якорной точкой для терминации S1-MME являются базовые станции сети радиодоступа E-UTRAN (eNb) [9].

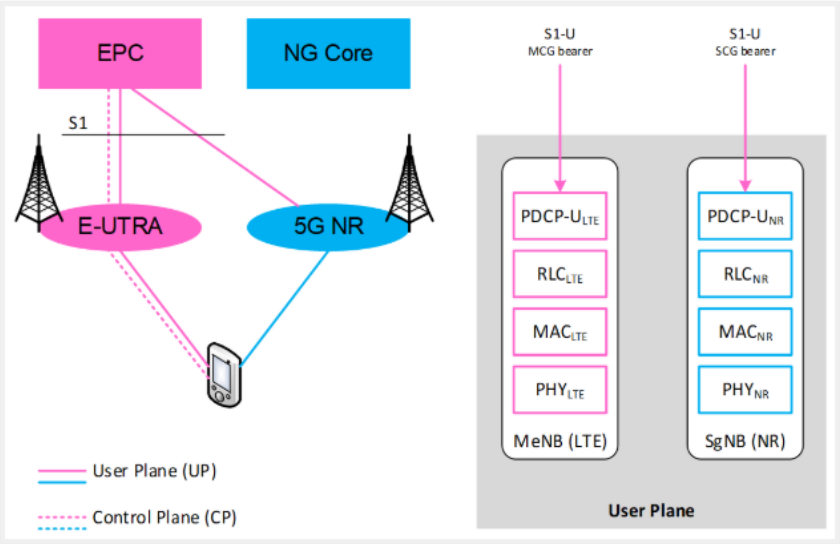


Рисунок 2.2 – Архитектура – Option 3.a

2.1 Проект сети радиодоступа в ЖК «Легенда»

На рисунке 2.3 показана схема сети радиодоступа 5G. Ядро сети Tele2/Altel, находится на улице Сейфуллина в здании офиса Tele2, номер здания 577, базовая станция 5G располагается на пересечениях улиц Чайковского и Курмангазы на крыше дома 198. Адрес ЖК Легенда – Наурызбай батыра 111.

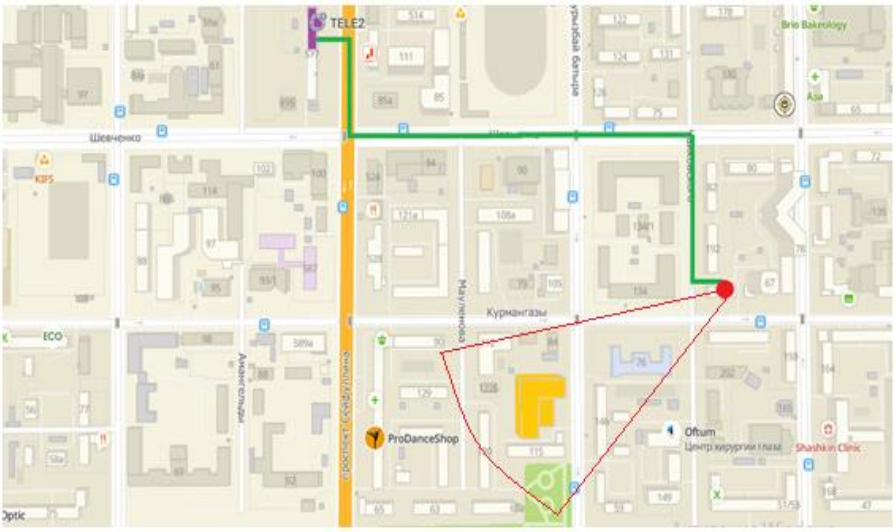


Рисунок 2.3 – Схема сети радио доступа 5G

2.2 Тестирование системы 5G

Целью тестирования являлось:

– продемонстрировать технологию радиосвязи MU-MIMO (несколько

пользователей, несколько входов, несколько выходов) в диапазоне 3,7 ГГц с шириной полосы 100 МГц;

– продемонстрировать максимальную скорость 5G в режиме Dual connectivity (5G+4G; ширина полосы 4G сектора 20 МГц+20 МГц) для одного пользователя;

– радиосистема Huawei BTS5900 содержит одно пользовательское оборудование 5G + 4G для демонстрации нескольких пользователей;

– система содержит один блок обработки данных BBU5900 и активный радиоблок (встроенный радиоблок с расширенной антенной, 3,4-3,8 ГГц);

– продемонстрировать способность максимальной пропускной способности системы в режиме Dual connectivity более 1,6 Гбит/с путем загрузки данных с ftp-server подключенного к PS-Core сети;

– продемонстрировать задержку приема-передачи меньше 7-8 мс.

На время проведения тестирования МЦРИАП (Министерство цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности) РК совместно с Министерством Обороны РК выделил диапазон частот 3650-3750 МГц. Был организован транспортный канал 10GE от базовой станции 5G до ядра сети Tele2/Altel, что позволило обеспечить покрытие всего ЖК Легенда. Также для тестирования было выполнено обновление элементов ядра сети Tele2/Altel для проведения тестирования в режиме Non-Stand-Alone и базовая станция 5G была полностью проинтегрирована в ядро сети Tele2/Altel, что позволило провести тестирование на коммерческой сети с использованием коммерческих абонентских устройств [10].

Технические характеристики системы приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Технические характеристики системы

Параметры	Требования	Комментарии
Weather sealing		Radio Unit & UE antenna
Ambient temperature – indoor	< +35 °C	Baseband system, Radio Unit and UE
Ambient temperature – outdoor		
- Radio Unit	-33 – +40 °C	
- UE	+0 – +40 °C	
Power		
- Baseband system		DC power -48V (1.5 -2 KW)
- TP		Distributed = 30 A
IP connectivity		
- Radio Unit		Commercial Network, stand alone.
- UE		Commercial Network, stand alone.
Shock requirements	No	No shock requirements are required for the equipment, only safety
Sync		GPS

2.2.1 Базовая станция Huawei BBU5900. BBU5900 имеет три отличительные особенности: «Шесть режимов в одной коробке», «Очень большая пропускная способность» и «Extreme 5G-ориентированная эволюция». Он предназначен для удовлетворения будущих потребностей в многополосных, многолучевых и мультисервисных конвергентных сетях.

Принцип работы

BBU состоит из следующих подсистем: подсистема основной полосы частот, силовая и механическая подсистема, подсистема передачи, подсистема межсоединений, подсистема основного управления, подсистема мониторинга и подсистема часов. каждая подсистема состоит из разных модулей:

- подсистема базовой полосы: блок обработки основной полосы;
- силовая и механическая подсистема: объединительная плата, модуль вентилятора и модуль питания;
- подсистема передачи: главный блок управления и передачи;
- подсистема межсоединений: главный блок управления и передачи;
- основная подсистема управления: главный блок управления и передачи;
- подсистема мониторинга: блок питания и блок мониторинга;
- подсистема часов: основной блок управления и передачи, а также спутниковая карта и часы единица измерения.

BBU выполняет следующие функции:

- предоставляет порты для подключения к передающему оборудованию, РЧ-модулям, USB-устройствам, внешним опорным часам и LMT или U2000 для передачи сигналов, автоматического обновления программного обеспечения базовой станции, получения опорных тактовых сигналов и поддержки технического обслуживания на LMT или U2000;
- управляет всей системой базовой станции. Управление включает в себя обработку данных восходящей и нисходящей линий связи, обработку сигналов, управление ресурсами, а также эксплуатацию и обслуживание.

BBU имеет 11 слотов. На рисунке 2.3 показано распределение слотов BBU. Входная мощность BBU в таблице 2.2, размеры и вес в таблице 2.3.

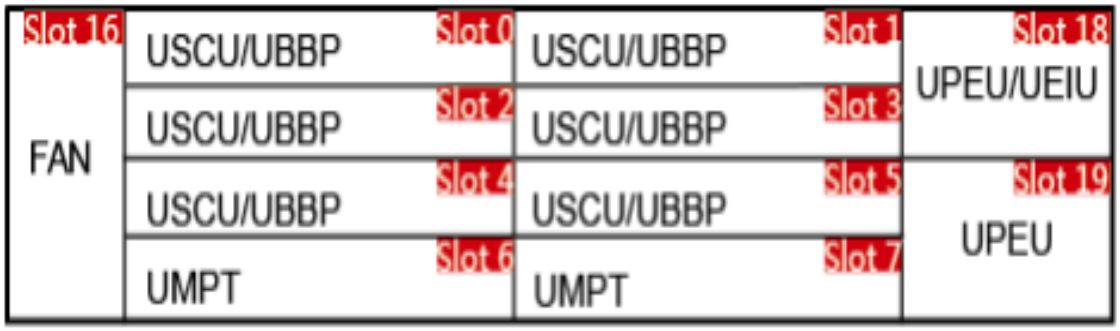


Рисунок 2.3 – Распределение слотов BBU

Таблица 2.2 – Входная мощность

Тип	Выходная мощность	Диапазон напряжния
BBU5900	– 48 В	– 38,4 В до – 57 В

Таблица 2.3 – Размеры и вес

Пункт	Технические характеристики
Размеры	86 мм x 442 мм x 310 мм
Вес	BBU ≤ 18 кг

Изображение BBU5900 представлено на рисунке 2.4.

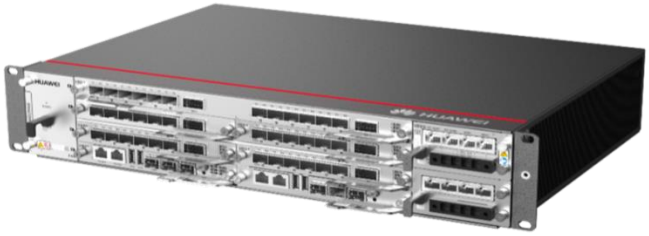


Рисунок 2.4 - Huawei BBU5900

Развертывание BBU5900 для поддержки расширения услуг беспроводной широкополосной связи LTE и услуг NB-IoT обеспечивает возможность быстрого внедрения 5G NR с разъединением восходящей линии связи и нисходящей линии связи для достижения недорогого развертывания и бесперебойного покрытия местоположения на совместной площадке 5G NR и LTE в будущем.

Функции BBU5900 следующего поколения от Huawei включают: блок блока BBU «6 в 1» с 6 режимами (GSM, UMTS, LTE FDD, LTE TDD, NB-IoT, 5G NR) в одном блоке; пропускная способность 50 Гбит/с для удовлетворения требований многополосного, многомодового и массового развертывания MIMO на одной площадке; с серией многоантенных РЧ-модулей, поддерживающих 4T4R/8T8R/64T64R, экстремальный пользовательский опыт в эпоху 4.5G/5G.

Типичные базовые станции вокруг BBU5900 обеспечивают плавную эволюцию, ориентированную на 5G, чтобы создать унифицированную и эффективную платформу для построения многополосных сетей с несколькими RAT, которые помогают операторам в эпоху 4.5G/5G более эффективно создавать высококонкурентные сети.

2.2.2 Радио-модуль AAU5613. На рисунке 2.5, изображен радио-модуль AAU5613. Характеристики:

а) используемый спектр частот:

- 3,4 – 3,8 GHz;

− полоса частот 100 МГц.

б) выходная мощность:

− 53 dBm EIRP;
− 64 дуал-поляризация;
− 256 радио цепей.

Рисунок 2.5 – Huawei радио-модуль AAU5613. Справа - Huawei ATR для LTE (4G) 1800 МГц, 2100 МГц и 2600 МГц, который обслуживает клиентов 4G и является якорем 5G

Схема AAU5613 Massive MIMO изображена на рисунке 2.6

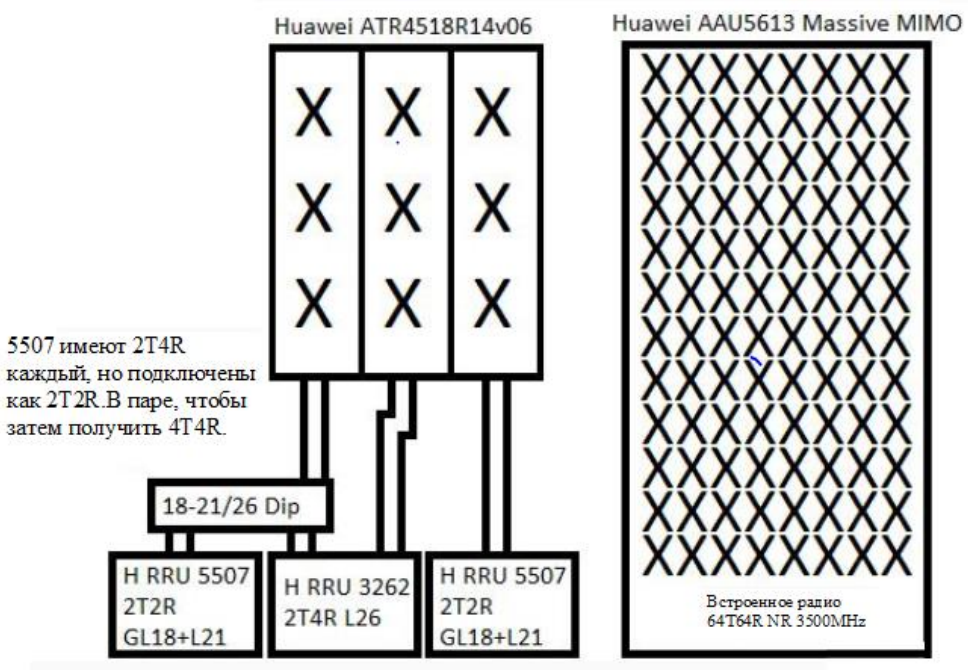


Рисунок 2.6 - Схема AAU5613 Massive MIMO

Активный антенный блок (AAU) - это новый тип радиочастотного модуля, следующий за RFU и RRU. Он включает в себя функции RRUs и обычных антенн и требует меньше ресурсов сайта.

Эволюция базовых станций Huawei изображена на рисунке 2.7.

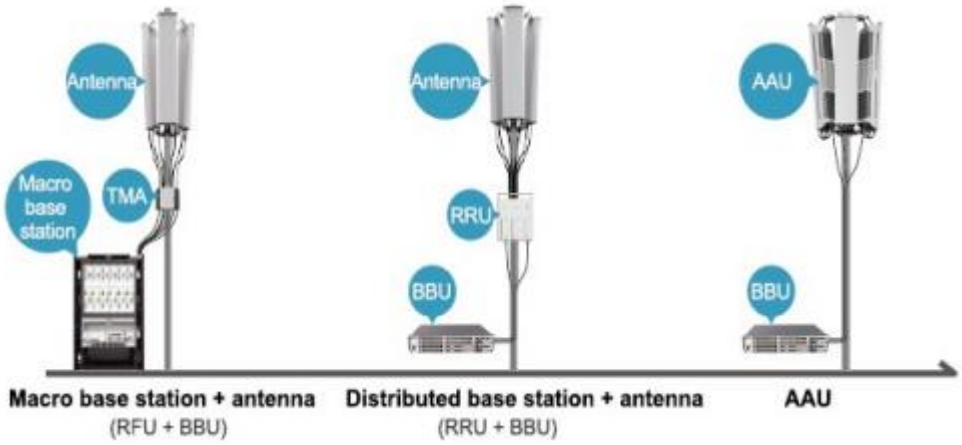


Рисунок 2.7 – Эволюция базовых станций Huawei

AAU5613 - это один из основных продуктов Huawei, который реализует массовое MIMO в сетях 5G NR и LTE TDD.

AAU5613 поддерживает 64T64R. благодаря резкому увеличению передающих и приемных антенных каналов этот продукт обеспечивает большее разнообразие, массив, пространственное мультиплексирование и усиление подавления помех. Это помогает операторам максимально использовать существующие ресурсы сайта и спектра, повысить производительность системы и увеличить пропускную способность беспроводной сети.

Ведущая Производительность

Множественные каналы AAU5613 использует технологию massive MIMO и поддерживает 64T64R. Massive MIMO отличает принятием массивных антенных решеток для совместного приема сигнала и демодуляции или передачи, и поэтому значительно увеличивает производительность однопользовательской линии связи и возможность многопользовательского пространственного мультиплексирования, а также улучшает качество связи системы и скорость передачи данных по сравнению с традиционными технологиями множественной антенны. Массивное MIMO также позволяет системе гибко регулировать форму луча как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, что значительно повышает возможности 3D-покрытия.

Большая полоса пропускания AAU5613 поддерживает большую полосу пропускания 200 МГц и развертывание C-диапазона. AAU5613 может работать в C-диапазоне. C-диапазон является основным частотным

диапазоном и имеет обильные ресурсы спектра. Операторы могут получить полосу пропускания более 100 МГц в полосе частот. AAU5613 имеет пропускную способность 200 МГц и поддерживает различные ресурсы спектра С-диапазона операторов. Только один такой модуль может быть использован для завершения развертывания С-диапазона, экономия пространство сайта и снижая затраты на строительство сети.

Высокая мощность AAU5613 использует ведущую в отрасли технологию усиления мощности, разработанный Huawei чип IF и RF, а также уникальную технологию антенного элемента. Модуль отличается высокой мощностью, большой пропускной способностью и малым размером. Передовая технология усиления мощности обеспечивает максимальную мощность в 200 Вт и поддерживает более широкую зону покрытия.

Высокая интеграция.

Легкий вес и малый размер AAU5613 объединяет функции антенн и радиочастотных модулей с общим весом 40 кг и небольшим размером (795 мм x 395 мм x 220 мм). Его вес и габариты значительно меньше, чем у традиционного решения RRU+antenna.

Малая фронтальная площадь фронтальная площадь (795 мм x 395 мм) AAU5613 меньше, чем у обычной антенны.

Гибкое развертывание интегрированная конструкция AAU5613 экономит место для установки, необходимое для RRU, перемычки и внешнего объединителя. Это упрощает платформу установки антенны и обеспечивает гибкое развертывание. Его поддержка для 3D-формирования луча и регулировки наклона снижает требования к высоте антенны и облегчает установку.

Физические порты показаны на рисунке 2.8.

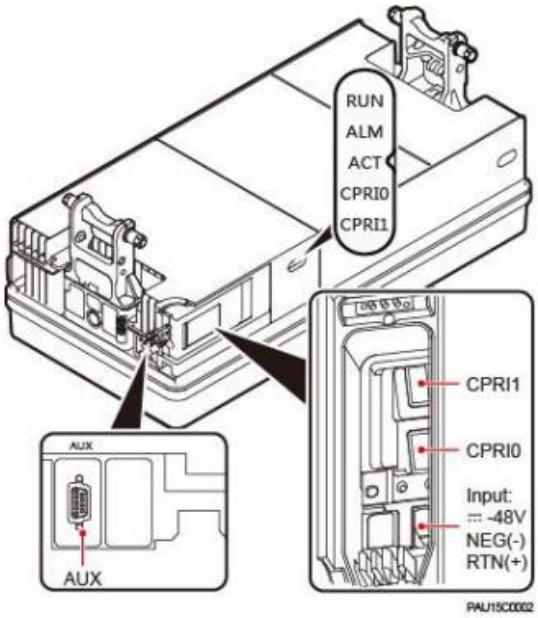


Рисунок 2.8 – Порты на AAU

Таблица 2.4 – Порты на AAU

Порты	Протоколы	Коннекторы	Количество	Описание
CPRI0	eCPRI	SFP	1	Подключается к BBU. Максимальная скорость 25 Гбит/с
CPRI1	eCPRI	SFP	1	Подключается к BBU. Максимальная скорость 25 Гбит/с
Input	N/A	EPC9	1	Порт питания
Aux	ASIG 2.1	DB9	1	Подключается к внешнему модулю AISU

На рисунке 2.9 показаны функциональные модули AAU.

Функциональные модули	Описание функций
AU	Каждая антенна использует массив 8x12 и поддерживает 96 двухполяризованных элементов для передачи и приема радиоволн.
RU	• Выполняет понижающее преобразование, усиление, аналого-цифровое преобразование (с помощью АЦП) и цифровой обработкой сигналов RF черезканал RX. (АЦП-это сокращение от аналого-цифрового преобразователя) • Выполняет фильтрацию, цифроаналоговое преобразование (с помощью ЦАП),восходящее преобразование и усиление аналогового сигнала для нисходящей линии связи сигналы через передатчик канала. (ЦАП-это сокращение от цифро-аналогового преобразователя) • Выполняет калибровку фазы для восходящих и нисходящих радиочастотных каналов. • Обеспечивает порт питания постоянного тока напряжением -48 В. • Обеспечивает функции защиты и фильтрации
Модуль питания	Подает рабочее напряжение на AU и RU
L1 (физический уровень) блок обработки	• Реализует обработку восходящей и нисходящей линий связи на уровне 5G NR и физические уровни LTE TDD. • Взвешивает каналы. • Предоставляет порты eCPRI для конвергенции или распределения сигналов eCPRI

Рисунок 2.9 - функциональные модули AAU

Электрические характеристики антенны AAU5613 NR изображены на рисунке 2.10.

Пункт	Технические характеристики NR
Полоса частот	3400 MHz to 3600 MHz 3600 MHz to 3800 MHz
Режим поляризации	+45° and –45°
Усиление (dBi)	25
Горизонтальный диапазон сканирования вещательных лучей	–60° to +60°
Вертикальный диапазон сканирования вещательных лучей	–15° to +15°
Количество антенных элементов	192

Рисунок 2.10 - Электрические характеристики антенны AAU5613 NR

Выходная мощность антенны изображена на рисунке 2.11.

Полоса частот	Общая мощность NR
N78 (3400 MHz to 3600 MHz)	200 W
N78 (3600 MHz to 3800 MHz)	200 W

Рисунок 2.11 - Выходная мощность антенны

Потребляемая мощность показана на рисунке 2.12.

Полоса частот	Энергопотребление
3400 MHz to 3600 MHz	950 W
3600 MHz to 3800 MHz	950 W

Рисунок 2.12 - Потребляемая мощность антенны AAU5613 NR

В качестве терминалов 5G использовался:

а) два смартфона Huawei Mate-20-X-5G с чипсетом Kirin 980 с модемом Balong 5000 (см. рисунок 2.13);

б) один раскладной смартфон Huawei Mate-X с чипсетом Kirin 980 с модемом Balong 5000 (см. рисунок 2.14);

в) два CPE Huawei с модемом Balong 5000 (см. рисунок 2.15).

Рисунок 2.13 – Huawei Mate-20-X-5G

Рисунок 2.14 – Huawei Mate-X

Рисунок 2.15 – Huawei модем Balong 5000

2.2.3 Тестовое окружение. Схема тестового окружения, показана на рисунке 2.16. На рисунке представлены базовые станции NR, eNodeB, 5G терминалы Huawei Mate-20-X-5G, Huawei Mate-X, сервер абонентских данных сети HSS(Home Subscriber Server) [11].

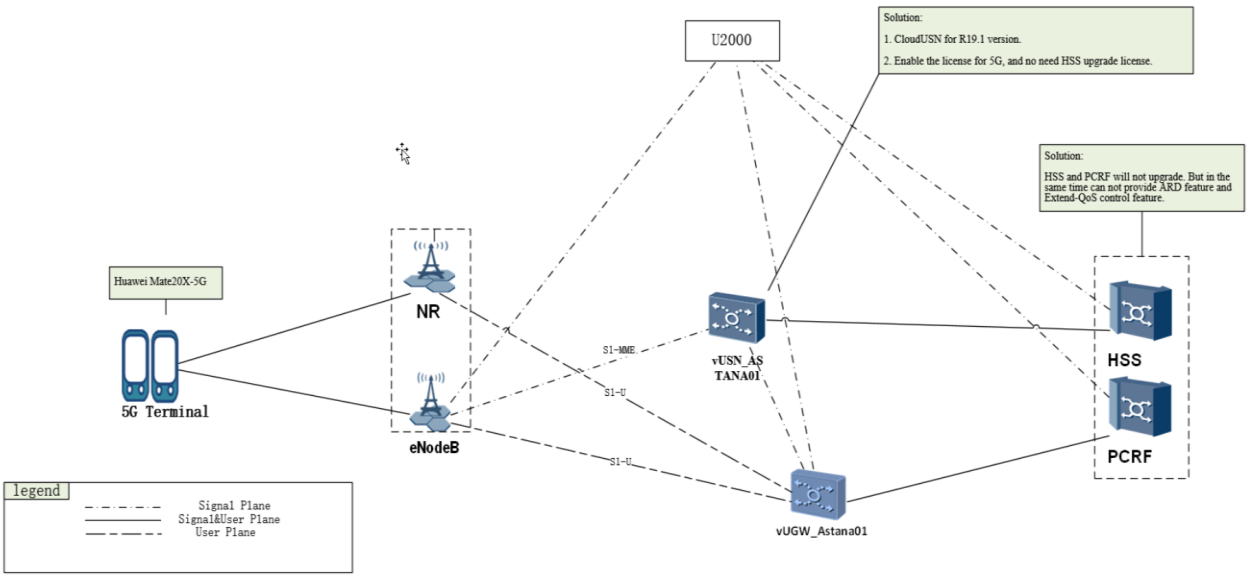


Рисунок 2.16 – Схема тестового окружения

2.2.4 Демонстрация работы функциональностей:

а) пропускная способность (см. рисунок 2.17):

– назначение: демонстрация максимальной пропускной способности на абонентский терминал на частоте 3,7 ГГц в режиме Dual connectivity;

– критерий прохождения теста - достижение пропускной способности мин.1,5 Гбит/с;

– результат - достигнуты пиковые значение 1,8 Гбит/с.

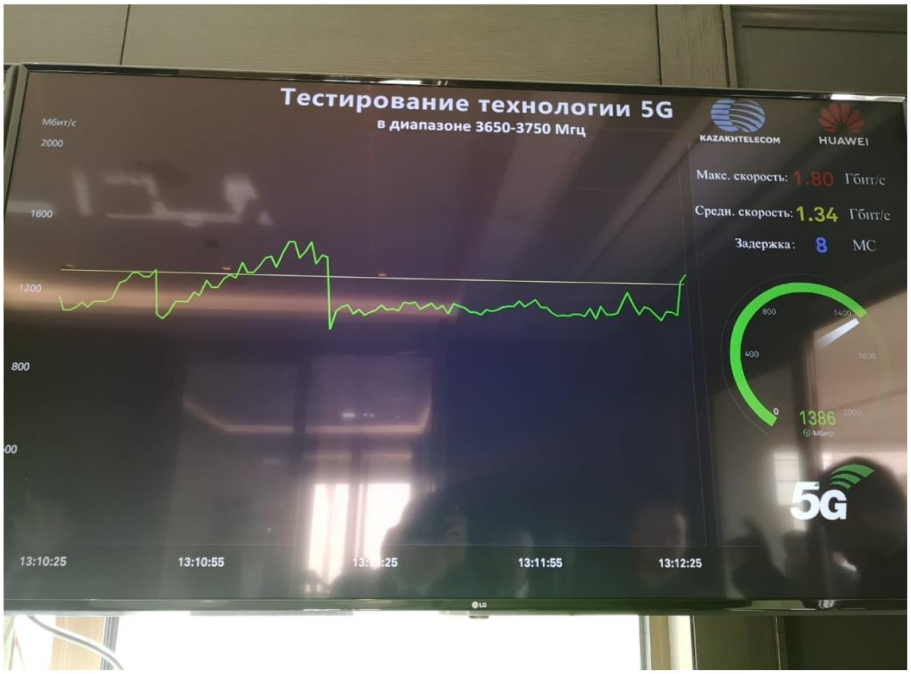


Рисунок 2.17 - Максимальная пропускная способность, максимальная задержка

б) задержка (см. рисунок 2.17):

– назначение: демонстрация максимальной задержки round-trip (в обе стороны) на абонентский терминал на частоте 3,7 ГГц;

– критерий прохождения теста - достижение максимальной задержки 8 мс round-trip;

– результат - достигнута максимальная задержка 8 мс.

в) работа в выделенном сплошном спектре с шириной канала 100МГц в диапазоне частот 3,65-3,75 ГГц (см. рисунок 2.18):

– назначение: демонстрация использования полной ширины полосы 100МГц для тестирования в диапазоне 3.65-3.75 ГГц;

– критерий прохождения теста - вещание полного спектра в заданном диапазоне частот;

– результат - по результатам замеров инспектора РГП «Государственная Радиочастотная Служба» были сделаны замеры непрерывной полосы 100 МГц в диапазоне частот, которая составила 3,65 МГц – 3,75 МГц [12].

Рисунок 2.18 – Используемый диапазон частот

3 Расчетная часть

3.1 Физические рабочие условия

Такие условия, как конструкция и высота зданий, использование мобильных терминалов (для пешеходов/автомобилей) и положение антенн, влияют на распространение радиоволн. В таблице 3.1 приведены четыре различных типа условий, которые считаются наиболее характерными.

Таблица 3.1 – Физические рабочие условия

Условия	Описание и рассматриваемые ухудшения распространения радиоволн
Городская зона многоэтажной застройки	– Городской каньон, характеризующийся улицами, вдоль которых стоят высокие многоэтажные здания – Большая высота зданий делает маловероятными существенные вклады от распространения волн над крышами – Ряды высоких зданий обеспечивают возможность больших задержек на трассе – Большое число движущихся транспортных средств в такой зоне играет роль отражателей, которые вносят доплеровский сдвиг в отраженные волны
Городская зона многоэтажной застройки/ пригородная зона	– Типичные широкие улицы – Высота зданий в целом меньше трех этажей, что обусловливает вероятность дифракции над крышами – Иногда возможны отражение и затенение, вызываемые движущимся транспортом – Основными эффектами являются длительные задержки и малые доплеровские сдвиги
Жилая зона	– Одноэтажные и двухэтажные жилые дома – Дороги обычно двухрядные с припаркованными по обочинам автомобилями – Возможна густая или редкая листва – Движение автотранспорта обычно неинтенсивное
Сельская зона	– Небольшие здания, окруженные большими садами – Влияние высоты рельефа местности – Возможна густая или редкая листва – Движение автотранспорта неинтенсивное

Распространение радиоволн также зависит от высоты антенны базовой станции относительно окружающих зданий. В таблице 3.2 приведен список характерных типов сот (ячеек) для распространения радиоволн вне зданий на коротких трассах.

Таблица 3.2 – Определение типов сот

Тип соты	Радиус соты	Положение антенны базовой станции
Микросота	От 0,05 до 1 км	Вне здания; устанавливается выше среднего уровня крыш
Микросота городской зоны плотной застройки	От 0,05 до 0,5 км	Вне здания; устанавливается ниже среднего уровня крыш
Пикосота	До 50 м	Внутри или вне здания (устанавливается ниже среднего уровня крыш)

3.2 Категории трасс

3.2.1 Определение ситуаций распространения радиоволн. На рисунке 3.1 показаны типичные ситуации распространения радиоволн в городских или пригородных зонах. Если одна станция (A) установлена выше уровня крыш, а другая станция (B или C) расположена на уровне головы, то соответствующая сота представляет собой микросоту. Трасса может быть трассой LoS (A–C) или NLoS (A–B). Распространение между станциями A и B происходит главным образом поверх крыш. Если одна станция (D) установлена ниже уровня крыш, но выше уровня головы, а другая станция (E или F) расположена на уровне головы в условиях городской или пригородной зоны, то соответствующая ячейка характеризуется условиями микросоты или пикосоты. В сотах этого типа радиоволны распространяются главным образом по уличным каньонам. Для линий связи между подвижными терминалами можно предположить, что оба конца линии находятся на уровне головы. Трасса может быть трассой LoS (B–E) или NLoS (E–F).

3.2.2 Распространение радиоволн над крышами вне прямой видимости (NLoS). Типичный случай NLoS (линия A–B на рисунке 1) показан на рисунке 3.2. Ниже этот случай называется NLoS1. Случай NLoS1 часто встречается в условиях жилой/сельской зоны для всех типов сот и преобладает в микросотах в условиях городской зоны малоэтажной застройки /пригородной зоны. Параметры hr, b и l можно получить из данных о зданиях, расположенных на линии между антеннами. Однако определение w и j требует двумерного анализа зоны вокруг подвижного терминала. Следует отметить, что l – это не обязательно нормаль по отношению к ориентации здания.

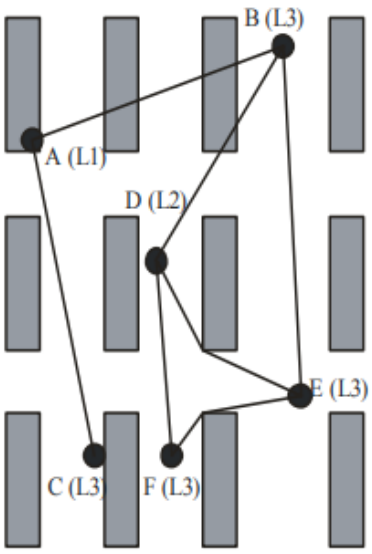


Рисунок 3.1 - Типичная ситуация распространения радиоволн в городских зонах

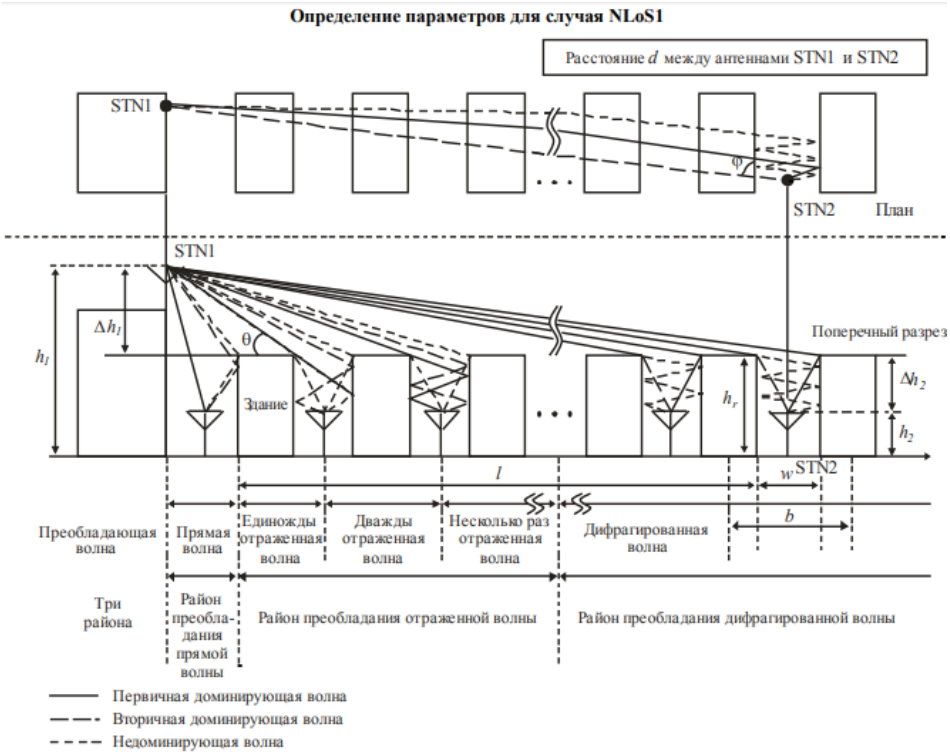


Рисунок 3.2 - Определение параметров для случая NLoS1

Соответствующие параметры для этой ситуации:

- hr - средняя высота зданий (м);
- w - ширина улицы (м);
- b - среднее расстояние между зданиями (м);
- j - ориентация улицы относительно прямой трассы (градусы);
- h1 - высота антенны станции 1 (м);

– h2 - высота антенны станции 2 (м);
– l - длина участка трассы, занимаемого зданиями (м);
– d - расстояние от станции 1 до станции 2.

3.2.3 Распространение радиоволн по уличным каньонам, NLoS. На рисунке 3.3 показана ситуация для типичного случая NLoS микросоты городской зоны плотной застройки (линия D–E на рисунке 3.1). Ниже этот случай называется NLoS2.

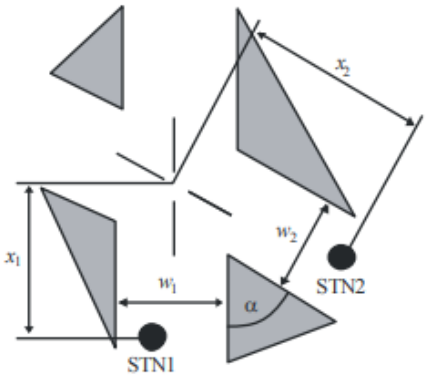


Рисунок 3.3 - Определение параметров для случая NLoS2

Соответствующие параметры для этой ситуации:
– w1 - ширина улицы в точке расположения станции 1 (м);
– w2 - ширина улицы в точке расположения станции 2 (м);
– x1 - расстояние от станции 1 до перекрестка (м);
– x2 - расстояние от станции 2 до перекрестка (м);
– a - угол перекрестка (рад).

NLoS2 – это преобладающий тип трассы в условиях городской зоны многоэтажной застройки для всех типов сот и часто встречается в микро- и пикосотах городской зоны плотной застройки в условиях городской зоны малоэтажной застройки. Определение всех параметров для случая NLoS2 требует двумерного анализа зоны вокруг подвижного терминала.

3.3 Модель распространения над крышами

3.3.1 Городская зона. Если предположить, что высота крыш вдоль трассы распространения l различается лишь на величину меньше радиуса первой зоны Френеля (рисунок 2), высота крыш, используемая в этой модели, – это средняя высота крыш. В модели потерь при передаче в случае NLoS1 (см. рисунок 3.2) для крыш одинаковой высоты потери между изотропными антеннами выражаются как сумма потерь в свободном пространстве Lbf, дифракционных потерь на пути от крыши до улицы Lrts и ослабления из-за дифракции на большом числе экранов при прохождении мимо рядов зданий Lmsd.

В этой модели Lbf и Lrts не зависят от высоты антенны станции, а Lmsd зависит от того, расположена ли антенна станции ниже или выше высоты

зданий

$$L_{NLos1} = \begin{cases} L_{bf} + L_{rts} + L_{msd} & \text{для } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_{bf} & \text{для } L_{rts} + L_{msd} \leq 0 \end{cases} \text{ (Дб).} \quad (3.1)$$

Потери в свободном пространстве определяются по формуле

$$L_{bf} = 32{,}4 + 20log_{10}\left(\frac{d}{1000}\right) + 20log_{10}(f) \text{ (Дб),} \quad (3.2)$$

где d - длина трассы (м);

f - частота (МГц).

Член уравнения Lrts описывает взаимодействие волны, распространяющейся по трассе с большим числом экранов на улицу, где находится подвижная станция. Он учитывает ширину улицы и ее ориентацию

$$L_{rts} = -8{,}2 - 10log_{10}(w) + 10\,log_{10}(f) + 20\,log_{10}(\Delta h_2) + L_{ori} \text{ (Дб),} \quad (3.3)$$

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0{,}354\varphi & \text{для } 0° \leq \varphi < 35° \\ 2{,}5 + 0{,}075(\varphi - 35) & \text{для } 35° \leq \varphi < 55° \\ 4 - 0{,}114(\varphi - 55) & \text{для } 55° \leq \varphi \leq 90° \end{cases} \text{ (Дб),} \quad (3.4)$$

где

$$\Delta h_2 = h_r - h_2 \text{ (м).} \quad (3.5)$$

Lori – это поправочный коэффициент на ориентацию улицы, который учитывает влияние дифракции на пути крыша – улица на улицы, которые не перпендикулярны направлению распространения волны (см. рисунок 2). Дифракционные потери на большом количестве экранов на пути от станции 1 из-за распространения мимо рядов зданий зависят от высоты антенны относительно высоты зданий и от угла падения. Критерий скользящего падения – это расстояние установившегося поля ds

$$d_s = \frac{\lambda d^2}{\Delta h_1{}^2} \text{ (м),} \quad (3.6)$$

где

$$\Delta h_1 = \Delta h_1 - \Delta h_r \text{ (м).} \quad (3.7)$$

Для расчета Lmsd расстояние ds сравнивается с расстоянием l, которое занимают здания. Для расчета Lmsd используется следующая процедура для устранения любого разрыва между различными используемыми моделями в случаях, когда длина зданий больше или меньше расстояния установившегося поля. Общие потери согласно модели дифракции на большом числе экранов

определяются по формуле

$$L_{msd} = \begin{cases} -\tan h\frac{\log(d)-\log(d_{bp})}{\chi}\cdot\left(L1_{msd}(d)-L_{mid}\right)+L_{mid} & \text{для } l > d_s \text{ и } dh_{bp} > 0 \\ -\tan h\frac{\log(d)-\log(d_{bp})}{\chi}\cdot\left(L2_{msd}(d)-L_{mid}\right)+L_{mid} & \text{для } l \le d_s \text{ и } dh_{bp} > 0 \\ L2_{msd}(d) & \text{для } dh_{bp} = 0 \\ L1_{msd}(d) - \tan h\frac{\log(d)-\log(d_{bp})}{\zeta}\cdot\left(L_{upp}-L_{mid}\right)-L_{upp}+L_{mid} & \text{для } l > d_s \text{ и } dh_{bp} < 0 \\ L2_{msd}(d)+\tan h\frac{\log(d)-\log(d_{bp})}{\zeta}\cdot\left(L_{mid}-L_{low}\right)+L_{mid}-L_{low} & \text{для } l \le d_s \text{ и } dh_{bp} < 0 \end{cases} \text{ (Дб)}, \quad (3.8)$$

где

$$dh_{bp}=L_{upp}-L_{low} \text{ (Дб)}, \quad (3.9)$$

$$\zeta=(L_{upp}-L_{low})\cdot v \text{ (Дб)}, \quad (3.10)$$

$$L_{mid}=\frac{(L_{upp}+L_{low})}{2} \text{ (Дб)}, \quad (3.11)$$

$$L_{upp}=L1_{msd}(d_{bp}) \text{ (Дб)}, \quad (3.12)$$

$$L_{low}=L2_{msd}(d_{bp}) \text{ (Дб)}, \quad (3.13)$$

и

$$d_{bp}=|\Delta h_1|\sqrt{\frac{1}{\lambda}}, \quad (3.14)$$

$$v=[0{,}0417],$$

$$x = [0{,}1].$$

где отдельные потери, согласно данной модели L1msd(d) и L2msd(d), определяются следующим образом. Расчет L1msd для случая l > ds.

$$L1_{msd}(d)= L_{bsh} + k_a+ k_d log_{10}\left(\frac{d}{1000}\right) + k_f log_{10}(f) - 9log_{10}(b) \text{ (Дб)}, \quad (3.15)$$

где

$$L_{bsh}=\begin{cases} -18log_{10}(1+\Delta h_1) & \text{для } h_1 > h_r \\ 0 & \text{для } h_1 \le h_r \end{cases} \text{ (Дб)}, \quad (3.16)$$

является показателем потерь, который зависит от высоты антенны

$$k_a=\begin{cases}71{,}4 & \text{для } h_1 > h_r \text{ и } f > 2000 \text{ МГц} \\ 73-0{,}8\Delta h_1 & \text{для } h_1 > h_r \text{ и } f > 2000 \text{ МГц и } d \geq 500\text{м} \\ 73-1{,}6\Delta h_1 d/1000 & \text{для } h_1 > h_r \text{ и } f > 2000 \text{ МГц и } d < 500\text{м} \\ 54 & \text{для } h_1 > h_r \text{ и } f \leq 2000 \text{ МГц} \\ 54-0{,}8\Delta h_1 & \text{для } h_1 > h_r \text{ и } f \leq 2000 \text{ МГц и } d \geq 500\text{м} \\ 54-1{,}6\Delta h_1 d/1000 & \text{для } h_1 > h_r \text{ и } f \leq 2000 \text{ МГц и } d < 500\text{м}\end{cases}, \quad (3.17)$$

$$k_d=\begin{cases}18 & \text{для } h_1 > h_r \\ 18-15\frac{\Delta h_1}{h_r} & \text{для } h_1 \leq h_r\end{cases}, \quad (3.18)$$

$$k_f=\begin{cases}-8 \text{ для } f > 2000 \text{ МГц} \\ -4+0{,}7(f/925-1) \text{ для } f \leq 2000 \text{ МГц} \\ -4+1{,}5(f/925-1) \text{ для } f \leq 2000 \text{ МГц}\end{cases}. \quad (3.19)$$

Расчет L2msd для случая l < ds. В этом случае следует провести дальнейшее различие согласно относительным высотам антенны и крыш

$$L2_{msd}(d) = -10\log_{10}({Q_M}^2) \text{ (Дб)}, \quad (3.20)$$

где

$$Q_M=\begin{cases}2{,}35\left(\frac{\Delta h_1}{d}\sqrt{\frac{b}{\lambda}}\right)^{0{,}9} & \text{для } h_1 > h_r + \delta h_u \\ \frac{b}{d} & \text{для } h_1 \leq h_r + \delta h_u \text{ и } h_1 \geq h_r + \delta h_l \\ \frac{b}{2\pi d}\sqrt{\frac{\lambda}{\rho}}\left(\frac{1}{\theta}-\frac{1}{2\pi+\theta}\right) & \text{для } h_1 < h_r + \delta h_l\end{cases}, \quad (3.21)$$

и

$$\theta = arctan\left(\frac{\Delta h_1}{b}\right) \text{ (градус)}, \quad (3.22)$$

$$\rho = \sqrt{\Delta h^2{}_1 + b^2} \text{ (м)}, \quad (3.23)$$

$$\delta h_u = 10^{-\log_{10}\left(\sqrt{\frac{b}{\lambda}}\right)-\frac{\log_{10}(d)}{9}+\frac{10}{9}\log_{10}\left(\frac{b}{2{,}35}\right)}, \quad (3.24)$$

и

$$\delta h_1 = \frac{0{,}00023b^2-0{,}1827b-9{,}4978}{(\log_{10}(f))^{2{,}938}} + 0{,}000781b + 0{,}06923. \quad (3.25)$$

3.3.2 Расчет мощности в точке приема [13].Расчет мощность в точке приема определяется по формуле

$$Рпрм=Рпер- L+ Ga1+Ga2-ς \text{ (Дб)}, \quad (3.26)$$

–мощность передатчика: $P_{передатчика}$ = 16.5 (Дб);
–коэффициент усиления передатчика Ga1: $G_{передатчика}$ = 18 (Дб);
–коэффициент усиления приёмника Ga2: $G_{приёмника}$ = 10 (Дб);
–потери в фидере: $ς = 1.5$ (Дб).
Все расчеты проводились в программе Mathcad 14 (приложение А).

4 Безопасность жизнедеятельности

4.1 Анализ воздействия электромагнитного поля антенны AAU5613

Тема дипломной работы «Организация сети радиодоступа на основе 5G». Исследование сети радиодоступа будет проводиться опытным путем, посредством его конструкторского проектирования.

Характеристики антенны AAU5613 NR изображены на рисунке 4.1, выходная мощность показана на рисунке 4.2, потребляемая мощность на рисунке 4.3.

Пункт	Технические характеристики NR
Полоса частот	3400 MHz to 3600 MHz 3600 MHz to 3800 MHz
Режим поляризации	+45° and –45°
Усиление (dBi)	25
Горизонтальный диапазон сканирования вещательных лучей	–60° to +60°
Вертикальный диапазон сканирования вещательных лучей	–15° to +15°
Количество антенных элементов	192

Рисунок 4.1 - Характеристики антенны AAU5613 NR

Полоса частот	Общая мощность NR
N78 (3400 MHz to 3600 MHz)	200 W
N78 (3600 MHz to 3800 MHz)	200 W

Рисунок 4.2 - Выходная мощность AAU5613 NR

Полоса частот	Энергопотребление
3400 MHz to 3600 MHz	950 W
3600 MHz to 3800 MHz	950 W

Рисунок 4.3 - Потребляемая мощность AAU5613 NR

В данной дипломной работе рассматривается способ радиодоступа на основе 5G технологии. Вещание ведется в диапазоне 3,6-3,8 ГГц.

Согласно международной классификации, диапазоны СВЧ (3 ... 30 ГГц) и КВЧ (30 ... 300 ГГц) соответствуют диапазонам радиоволн или 0,01 ... 0,1 м и 0,001 ... 0,01 м. Подобные радиоволны распространяются как световые волны от источника излучения к месту приема - в виде прямолинейных лучей. Отсутствие экранирующих препятствий на пути распространения радиоволн является одним из важных условий. Это связано со слабой способностью огибать препятствия такими радиоволнами. Радиус действия технических средств СВЧ и КВЧ диапазонов ограничен линией прямой видимости. Передающая и приемная антенны должны находиться на одной линии - «видеть» друг друга. Линия прямой видимости для наземных радиолиний определяется высотой подвеса передающей и приемной антенн и не превышает 40 ... 60 км. Такое обстоятельство не влияет на строительство наземных радиолиний протяженностью в сотни и тысячи километров. В этом случае используется принцип последовательной пересылки сигналов. Таким образом устанавливаются прямые радиорелейные соединения для линий прямой видимости.

В форме энергии окружающая среда загрязняется теплом, ионизирующим излучением, электромагнитными полями (ЭМП), энергией света (включая ультрафиолетовое и инфракрасное излучение), акустическим шумом, вибрациями и ультразвуком. С экологической точки зрения, ЭМП является одним из видов загрязнения.

До некоторых значений интенсивности воздействующего ЭМП в организме действуют пассивные механизмы защиты – реакции приспособления, адаптация, обусловленная быстро реагирующей периферической нервной системой.

В случае длительного и интенсивного воздействия облучения, выходящего за пределы адаптивности организма, в действие вступают активные защитные механизмы. Они называются компенсаторными, когда регуляция биологических процессов осуществляется центральной нервной системой. Однако эти возможности не безграничны, а скорее ограничены истощением защитных резервов организма.

Из-за воздействия ЭМП возможны как острые, так и хронические поражения, нарушения в системах и органах, функциональные изменения в деятельности нервно-психической, сердечно-сосудистой, эндокринной, кроветворной и других систем.

Изменения в активности нервной и сердечно-сосудистой систем обычно обратимы и обычно уменьшаются и исчезают, когда устраняются эффекты ЭМП и улучшаются условия окружающей среды. Однако длительное и интенсивное воздействие ЭМП приводит к постоянным расстройствам и заболеваниям.

В гигиенической практике принято, что контроль ЭМП первоначально осуществляется в зависимости от диапазона частот. В то же время предельно допустимое значение ЭМП может быть постоянным или зависящим от частоты в любой части частотного диапазона, что особенно часто наблюдается в зарубежных стандартах. Во-вторых, предельно допустимые значения часто связаны с типом технического оборудования (объекты радиотехники, телевидение, радиолокационные станции, терминалы видеодисплея и т. Д.). В-третьих, в нормативных документах выделены различные контингенты облучаемых лиц - население, производственный персонал и пользователи. Каждый контингент характеризуется своими характеристиками радиационных условий, и это, конечно, учитывается при нормализации.

Нормирование с точки зрения экологических проблем – это установление предельно допустимых уровней воздействующего фактора. По определению предельно допустимый уровень (ПДУ) – это уровень вредного фактора, который не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований, в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений. Предельно допустимый уровень устанавливается по биологически активному параметру воздействующего фактора.

Предельно допустимые уровни ЭМП устанавливаются в диапазоне частот до 300 МГц по напряженности электрического поля *E* в В/м, по напряженности магнитного поля *H* в А/м. Иногда в зарубежных стандартах нормируется индукция магнитного поля, которая выражается в Тл (мТл, мкТл) – 1мТл соответствует 800 А/м. В диапазоне частот выше 300 МГц предельно допустимые уровни устанавливаются по плотности потока энергии ППЭ в Вт/м2 (мВт/см2 и мкВт/см2).

Конечной целью системы защиты окружающей среды и человека от ЭМП является разработка и внедрение различных защитных мероприятий. Мероприятия по защите от ЭМП определяются общими методами защиты, разработанными в теории безопасности жизнедеятельности.

Первый метод основан на пространственном или временном разделении ноксосферы (пространства, в котором действуют орпеделенные опасные факторы) и гомосферы (пространства, в котором находится человек). Этому соответствует защита расстоянием для населения (организация при необходимости санитарно-защитных зон вокруг излучающих объектов) или контроль времени нахождения производственного персонала в ЭМП с целью не допустить превышения предельно допустимых доз облучения.

Второй метод заключается в обеспечении безопасного состояния

окружающей среды человека. Этот метод используется для защиты населения от ЭМП, например, с использованием лесозащитных поясов, искусственных сооружений и природных рельефов в качестве защитных препятствий. Для производственного персонала этот метод реализуется путем экранирования рабочих мест и помещений или путем экранирования источников излучения.

И третий способ защиты от опасностей включает средства, обеспечивающие адаптацию человека в производственной среде с использованием средств индивидуальной защиты.

Меры по защите от ЭМП традиционно делятся на активные и пассивные защитные меры. Активная защита предполагает воздействие на сам источник излучения и обеспечивается мероприятиями по снижению излучаемой мощности, изменению характеристик излучения антенных систем, изменению режимов работы технических средств и, как крайняя мера, вынос излучающего объекта с данной территории. Пассивная защита заключается в проведении организационных или технических мероприятий на участках, прилегающих к излучающему объекту, или на определенных объектах, подверженных воздействию электромагнитных полей [14].

4.2 Расчет плотности потока мощности (ППМ)

Прогнозирование электромагнитной обстановки вокруг излучающих объектов является важнейшей задачей электромагнитной экологии. Оно должно проводиться на этапах планирования, строительства или реконструкции излучающих объектов и дает возможность оценить электромагнитную среду с точки зрения выполнения применимых стандартов и представления комплекса организационных и градостроительных мер.

В качестве технического средства рассмотрим оборудование радиорелейной системы передачи прямой видимости (РРСП ПВ). Антенна находится на высоте 17 м. длина антенны d = 0,8 м, КНД антенны D0 = 25 дБ. Сравним плотность потока мощности (ППМ) в точках М1, и М2 с предельно-допустимым уровнем (ПДУ) ППМ. Точка М1 расположена в направлении на соседнюю станцию, ее высота над поверхностью земли – 2м. а удаление от основания мачты - 50 м. Точка М2 расположена на оси мачты, на высоте 10 м.

Постановку задачи иллюстрирует рисунок 4.4.

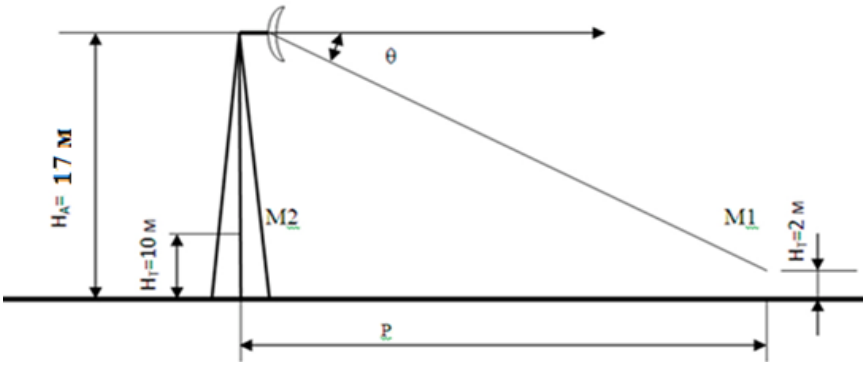


Рисунок 4.4 - Расчет ППМ от антенны РРСП ПВ

Расчет ППМ выполним сначала в точке М, затем в точке М2.

Исходные данные: H_A=17 м, Р=50м, d=1,2 м

Расчет ППМ в точке М1 при H_T=10м.

Находим расстояние $R_м$ - "центр апертуры - точка М1" и угол к направлению максимального излучения $\theta_м$:

$$R_M = \sqrt{(H_A - H_T)^2 + p_M{}^2} = \sqrt{(17-10)^2 + 50^2} = 50{,}5\ (м), \qquad (4.1)$$

где H_A – высота передающей антенны;

H_T – высота точки М1;

p_M – расстояние от передающей антенны до точки М1

$$\theta_M = \arccos\left(\frac{[p_M \cdot \cos\varphi \cdot \sin\alpha - (H_A - H_T)\cdot \sin\alpha]}{R_M}\right). \qquad (4.2)$$

При φ= 0 и α = 0

$$\theta_M = \arccos\frac{p_M}{R_M} = \arccos\frac{50}{50{,}5} = 25°.$$

Находим $R_{гр}$ – граничное расстояние, начиная с которого можно считать, что расчетная точка находится в дальней зоне:

$$R_{гр} = 2 \cdot \frac{d^2}{\lambda} = 2 \cdot \frac{1{,}2^2}{0{,}08} = 36\ (м), \qquad (4.3)$$

где d - диаметр антенны;

λ – средняя длина волны диапазона частот 3,6-3,8 ГГц, λ= 0,08 м.

Определяем координаты x и u:

$$x = R_м/R_{гр} = 50{,}5/36 = 1{,}41, \qquad (4.4)$$

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot \sin\theta_M}{\lambda} = (\pi \cdot 1{,}2 \cdot \sin 25°)\ /0{,}08 = 19{,}7. \qquad (4.5)$$

По графику (рисунок 4.5) определяем функцию 20lgF(u, x), где F(u, x) - нормированная ХН в координатах *u*, *x*.

По графику (см. рисунок 4.6) определяем функцию $20\lg[\frac{B(x)}{x}]$, где, B(x) - функция, учитывающая изменение КНД в зависимости от относительного расстояния.

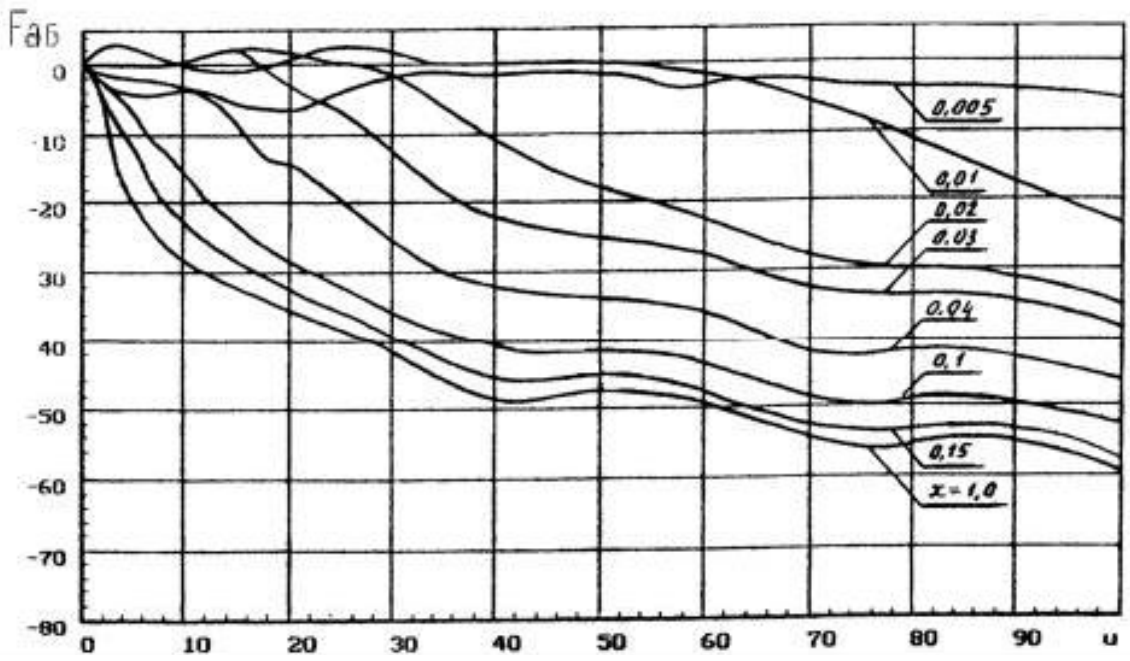


Рисунок 4.5 - Гарантированные огибающие ХН квадратной апертуры с учетом затенения для u = 0 ÷ 100

$$20\lg F(u, x) = -34 \text{ (Дб)},$$

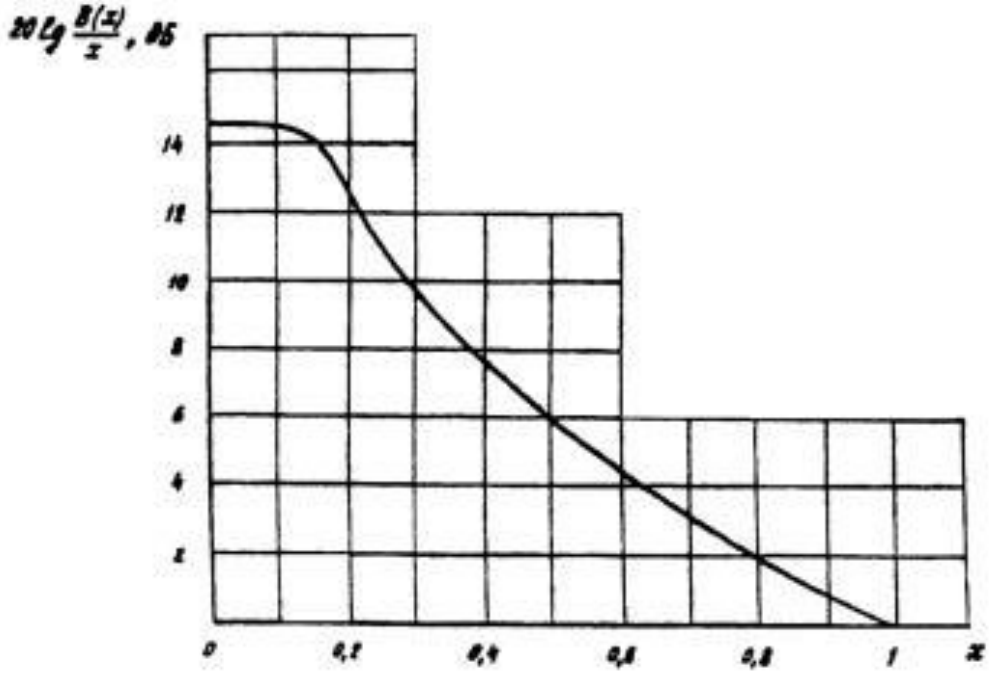


Рисунок 4.6 - График функции $20\lg[\frac{B(x)}{x}]$ для квадратной апертуры

$$20\lg\left[\frac{B(x)}{x}\right] = 2{,}1 \text{ (Дб)},$$

Рассчитываем апертурную составляющую ППМ $П_А$

$$П_А = 10\lg\frac{P\lambda^2}{d^4} + 10\lg D_0 + 20\lg\frac{B(x)}{x} + 20\lg F(u,x) + 3 = \quad (4.6)$$
$$= 10\lg\frac{200 \cdot 0{,}08^2}{1{,}2^4} + 13.9 + 2{,}1 - 34 + 3 = -17{,}1 \text{ (Дб)},$$

где D_0 – КНД антенны в направлении максимального излучения в волновой зоне;

P - мощность, излучаемая антенной, P = 200 (Вт).

По графику (рисунок 4.7) определяем КНД облучателя в направлении его максимального излучения

$D_{Обл}$, дБ = 10 lg $D_{Обл}$ = 13,9 (Дб).

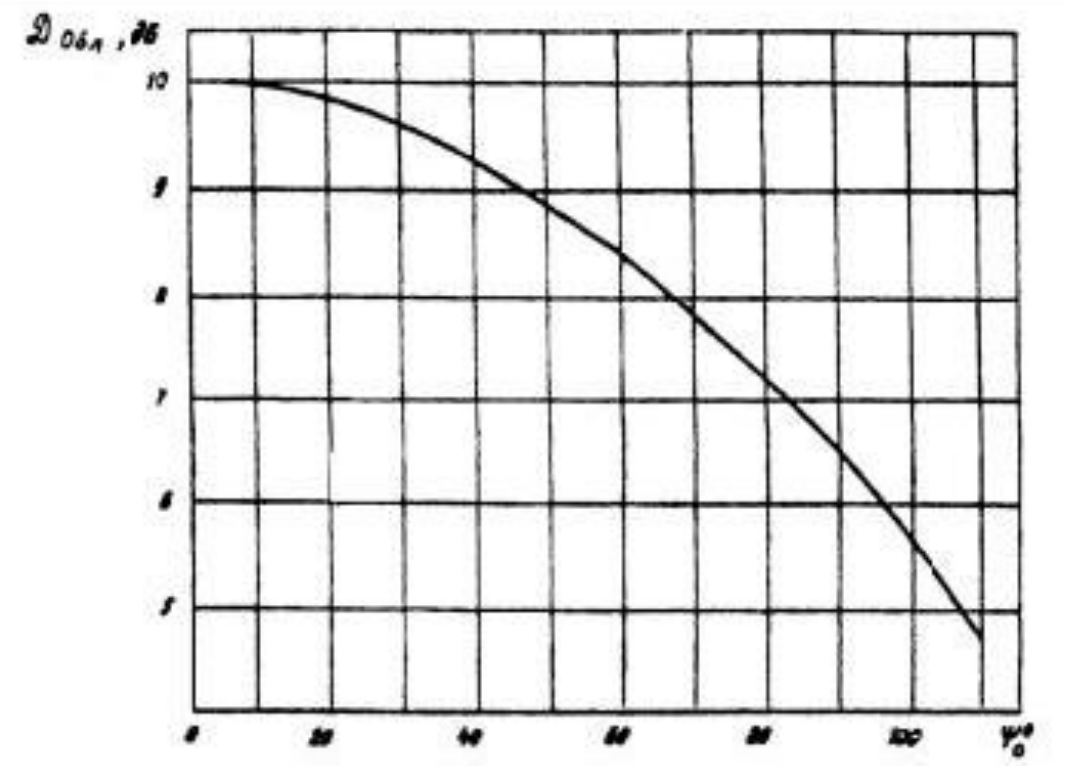


Рисунок 4.7 - Зависимость КНД облучателя в направлении максимального излучения от угла

Рассчитываем составляющую ППМ, определяемую непосредственно излучением облучателя $П_{Обл}$:

$$П_{Обл} = 10\lg\left(\frac{P}{4\pi {R_M}^2}\right) + 10\lg D_{Обл} + 10 = \quad (4.7)$$
$$= 10\lg\left(\frac{200}{4\pi 50.4^2}\right) + 13{,}9 + 10 = -1{,}7 \text{ (Дб)}.$$

Рассчитываем суммарную ППМ в точке М1:

$$\Pi = 10^{\Pi_{А,\frac{дБ}{10}}} + 10^{\Pi_{Обл,\frac{дБ}{10}}} = 10^{-1,7} + 10^{-0,17} = 1,16 \cdot 10^{-3}\ (мкВт/см^2). \quad (4.8)$$

Следовательно, ППМ в точке М1 существенно меньше ПДУ = 10 (мкВт/см^2).

Расчет ППМ в точке М2 при $H_Т$=2 м

Согласно (4.1) принимаем, что

$$R_М = H_А - H_Т = 17–2 = 15\ (м),$$

$$\theta_М = 90°.$$

Определяем граничное расстояние

$$R_{гр} = 2 \cdot \frac{d^2}{\lambda} = 2 \cdot \frac{1,2^2}{0,08} = 36\ (м),$$

и координаты

$$x = R_м/R_{гр} = 15/36 = 0,41,$$

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot \sin\theta_М}{\lambda} = (\pi \cdot 1,2 \cdot \sin 90°)\ /0,08 = 47,1.$$

По графику (рисунок 4.8) определяем функцию 20lgF(u, x).

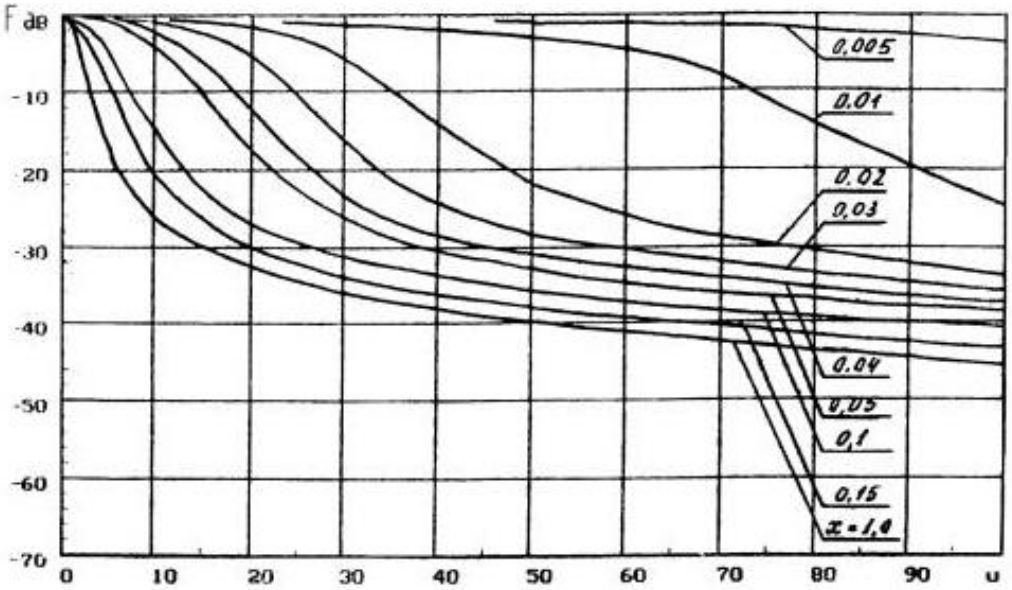


Рисунок 4.8 - Гарантированные огибающие ХН квадратной апертуры с учетом затенения для u = 0 ÷ 100

$$20\lg F(u, x) = -52 \text{ (Дб)}.$$

По графику (рисунок 3) определяем функцию $20\lg[\frac{B(x)}{x}]$

$$20\lg\left[\frac{B(x)}{x}\right] = 12{,}1 \text{ (Дб)}.$$

По формуле (4.6) рассчитываем $П_А$

$$П_А = 10\lg\frac{P\lambda^2}{d^4} + 10\lg D_0 + 20\lg\frac{B(x)}{x} + 20\lg F(u,x) + 3 =$$
$$= 10\lg\frac{200 * 0{,}08^2}{1{,}2^4} + 13{,}9 + 12{,}1 - 40 + 3 = -13{,}2 \text{ (Дб)}.$$

По формуле (4.7) рассчитываем $П_{Обл}$ с учетом того, что величина $D_{Обл}$, дБ определена

$$П_{Обл} = 10\lg\left(\frac{P}{4\pi {R_М}^2}\right) + 10\lg D_{Обл} + 10 =$$
$$= 10\lg\left(\frac{200}{4\pi 15^2}\right) + 13{,}9 + 10 = -37 \text{ (Дб)}.$$

По формуле (4.8) рассчитываем суммарную ППМ в точке М2

$$П = 10^{П_{А,дБ/10}} + 10^{П_{Обл,дБ/10}} = 10^{-5{,}2} + 10^{-3{,}7} = 205{,}8 \text{ (мкВт/см}^2\text{)}.$$

Следовательно, ППМ в точке М2 существенно больше ПДУ = 10 мкВт/см^2. Данные расчёты приведены для x = 50м. В таблицу1 сведены результаты расчётов, до достижения ППМ, не превышающего ПДУ [15].

Таблица 4.1 - Результаты расчётов

x, м	П, мкВт/см^2
50	205,8
100	156,7
150	112,1
200	77,6
250	24,5
300	8,4

4.3 Общий вывод по разделу

Проведенный анализ воздействия электромагнитного поля антенны AAU5613 позволяет нам отметить экологическую безвредность антенны.

Расчеты показали, что уровень электромагнитного поля, создаваемого антенной AAU5613, не представляет опасности для организма человека и окружающей среды. Рассчитанные значения плотности потока мощности в двух точках, находящихся на расстоянии 300 м от источника излучения ($1{,}16 \cdot 10^{-3}$ мкВт/см^2) и на оси расположения передатчика (0,01 мкВт/см^2), оказались меньше предельно допустимого уровня 10 мкВт/см^2. В этих условиях антенну AAU5613 можно устанавливать на крышах зданий, не причиняя вреда населению и не сказываясь на окружающий ландшафт и здания.

Защита персонала от воздействия ЭМИ РЧ осуществляется с помощью организационных и технических мер, а также с использованием средств индивидуальной защиты.

Организационные мероприятия включают в себя: выбор рациональных режимов работы оборудования; ограничение места и времени пребывания персонала в зоне воздействия ЭМИ РЧ и т.д.

Технические меры включают в себя: рациональное размещение оборудования; использование средств, ограничивающих поступление электромагнитной энергии на рабочие места персонала (поглотители мощности, экранирование, использование минимальной необходимой мощности генератора); обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем ЭМИ РЧ.

Средства индивидуальной защиты включают защитные очки, щитки, шлемы, защитная одежда (комбинезоны, халаты и т.д.).

Метод защиты должен быть определен с учетом диапазона рабочих частот, вида выполняемых работ и требуемой эффективности защиты.

5 Бизнес-план

5.1 Резюме

Цель бизнес-плана состоит в экономическом обосновании разрабатываемого проекта по организации сети радиодоступа на основе технологии 5G в жилом комплексе «Легенда» расположенном в городе Алматы.

5.2 Компания и отрасль

Компания «ALTEL» – одна из телекоммуникационных компаний Казахстана. Единственный оператор сотовой связи со стандартом CDMA в Казахстане. Владеет брендами PAThWORD, Dalacom, City, JET и Алтел4G. Первый казахстанский оператор сотовой связи. Основана в 1994 году казахстанско-английским АО «Бесет Интернейшнл». Компанией владеет АО «Казахтелеком».

Компания оказывает услуги сотовой связи в стандартах GSM 1800, UMTS (3G) 850 и LTE 1800.

В декабре 2012 года «Алтел» запускает 4G в коммерческую

эксплуатацию, став, таким образом, оператором в Республике Казахстан.

Более 3 лет «Алтел» был единственным оператором с лицензией 4G в Казахстане.

В апреле 2015 года оператор отрапортовал о подключении двухмиллионного абонента. По итогам 2015 года база оператора достигла 3 миллиона абонентов (15 % рынка).

5.3 Описание продукции (услуги)

При построении сети радиодоступа 5G провайдер может предоставлять следующие виды услуг:

Передача данных:

– передача больших объемов данных (10Гбит / с);

– Доступ в Интернет;

– услуги виртуальной реальности (Virtual Reality, VR);

Передача голоса:

– голосовые услуги 5G (VoNR);

– голосовые услуги (5G Voice);

Передача видео:

– видео-конференция;

– видео в разрешении 4K, 8K, 3D-видео, онлайн игры, услуги на основе голограмм и мультимедиа с полным эффектом присутствия [16].

5.4 Анализ рынка сбыта

Основными потребителями услуг должен стать частный сектор и компании с множеством филиалов по всему городу.

На сегодняшний день отрасль телекоммуникаций по праву считается одной из самых скорорастущих отраслей по всему миру, объем передаваемой информации через данную инфраструктуру удваивается каждые три года.

В странах запада рост инвестиций в отрасль телекоммуникаций существенно превысил рост инвестиций в промышленность и горнодобывающую промышленность.

Доля доходов от телекоммуникационной отрасли в ВВП постоянно растет, равно как и численность работников в ней.

Новые сектора информационной индустрии растут и успешно развиваются, информационная составляющая экономической активности участников рынка и влияние информационных технологий на научный, технический и текущий потенциал значительно возрастают, тем самым обновляя конкретную роль источника информации в жизни компаний.

5.5 Финансовый план

5.5.1 Расчет инвестиционных затрат. В приведенной ниже таблице показаны все устройства, которые используются для построения сети. Они помечены своим именем, ценой за единицу материала, количеством оборудования и общей стоимостью оборудования. В данной главе будет рассчитана общая сумма всех капитальных вложений путем расчета всех

затрат (таблица 5.1), включая не только покупку оборудования, но и оставшиеся затраты, необходимые для создания проекта.

Таблица 5.1 – Стоимость покупки оборудования для построения сети

Наименование оборудования	Количество	Цена, тенге	Общая сумма, тенге
BBU5900	1	616685	616685
AAU5613	1	411123	411123
Оптический кабель (100м.)	3	31000	93000
Кабель антенный, 20 м		12000	12000
Кросс оптический	1	25000	25000
Джампера	6	7500	45000
Итого:	12		1202808

Инвестиции - это все затраты на создание новых предприятий, расширение и модернизацию существующих. Капитальные вложения включают затраты на оборудование, затраты на установку и транспортные услуги. Всего инвестиций

$$K_{\Sigma} = K_{об} + K_{М} + K_{ТР} + K_{ПР}, \quad (5.1)$$

где $К_{ОБ}$ - стоимость оборудования;

$К_{М}$ - затраты на проведение монтажных работ;

$К_{ТР}$ - затраты на транспорт (5-10% от стоимости оборудования);

$К_{ПР}$ - расходы на проектирование.

Транспортные расходы, составляют пять % от стоимости всего оборудования

$$K_{ТР}=K_{ОБ}\cdot 0{,}05= 1202808\cdot 0{,}05=60140 \text{ (тенге)}. \quad (5.2)$$

Стоимость на проведение монтажных работ определяется, как 10 % от цены оборудования определим по формуле

$$K_{М}=K_{ОБ}\cdot 0{,}1= 1202808\cdot 0{,}1=120280 \text{ (тенге)}. \quad (5.3)$$

Расходы на проектировку и составление проекта равны 8 % от цены оборудования, определим по формуле

$$K_{ПР}=0{,}08\cdot K_{ОБ} = 0{,}08\cdot 1202808=96224 \text{ (тенге)}. \quad (5.4)$$

Общее значение капитальных вложений

$$K_{\Sigma} = 1202808+120280+60140+96224= 1479452 \text{ (тенге)}.$$

Таблица 5.2 – Капитальные вложения

Наименование	Сумма, тенге
Расходы на закупку оборудования	1202808
Транспортные расходы	60140
Монтажные работы	120280
Расходы на проектировку	96224
Общие затраты	1479452

5.5.2 Эксплуатационные расходы

Процесс работы состоит из, обслуживания и предоставления услуг связи, осуществляя деятельность, которая требует расхода ресурсов предприятия. Общие суммарные затраты в год и будут фактической производственной себестоимостью или величиной годовых эксплуатационных расходов.

$$Э_{\Sigma} = ФОТ + Ос + М + Э + A_{O} + Н, \quad (5.5)$$

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

$О_{С}$ – социальный налог (13 % от ФОТ);

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

Э – электроэнергия для производственных нужд;

А – амортизационные отчисления, 17% (до 25% в год);

Н – накладные расходы (косвенные расходы, сюда можно отнести все неучтённые расходы – управленческие, хозяйственные, затраты за обучение кадров, транспортные расходы). До 50% от всех затрат. Возьмем 40%.

Фонд оплаты труда (ФОТ) находится как сумма основной заработной платы, из них 15% дополнительные расходы за ночную смену и сверхурочные, и 30% премия

$$ФОТ = З_{ОСН} + З_{ДОП}, \quad (5.6)$$

где $З_{ОСН}$ – основная заработная плата;

$З_{ДОП}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата находится в зависимости от количества задействованного персонала и установленного оклада.

Основная заработная плата за год (таблица 5.3) составит 6600000тенге.

Таблица 5.3 - Информация о коллективе

Наименование должности	Количество	Месячная заработная плата (тенге)	Сумма (тенге)	Годовая заработная плата (тенге)
Оператор-инженер	1	150000	150000	1800000
Техник-инженер	1	200000	200000	2400000
Главный инженер	1	250000	250000	3000000
Всего	-	-	-	7200000

Дополнительное значение заработной платы определяется как 10 % от основной заработной платы

$$З_{доп}=0,1\cdot З_{осн}, \quad (5.7)$$

$$З_{ДОП}=0,1\cdot 7200000=720000 \text{ (тенге)}.$$

Общий фонд оплаты труда за год составит

$$ФОТ = 7200000 + 720000 = 7920000 \text{ (тенге)}.$$

Социальный налог составляет 13%. Тогда социальный налог с вычетом пенсионных отчислений составит

$$О_С = 0,13\cdot (ФОТ-П_Ф), \quad (5.8)$$

где $П_Ф$ – пенсионный фонд.

Пенсионный фонд равен 10% от ФОТ

$$П_Ф = 0,1\cdot ФОТ \quad (5.9)$$

$$П_Ф= 0,1\cdot 7200000 =720000 \text{ (тенге)}.$$

Показатель социального налога

$$О_С=0,13\cdot(7200000-720000)=842400 \text{ (тенге)}.$$

Материальные затраты и расходы на запасные части и текущий ремонт равны 5% от расходов на оборудование.

$$M = 0{,}05 \cdot K_{ОБ} = 0{,}05 \cdot 1479452 = 73972 \text{ тенге.} \quad (5.10)$$

Затраты на электроэнергию, состоят из расходов электроэнергии на оборудование и дополнительные.

$$Э = З_{эл.эн.обор} + З_{доп.нужд}, \quad (5.11)$$

$$З_{эл.эн.обор} = W \cdot T \cdot S, \quad (5.12)$$

где W - общее значение потребляемой мощности, кВт (W=3,5 кВт);

T - количество рабочих часов, ч/год (8760ч.);

S - цена за киловатт-часа электроэнергии, кВт/час (23 тенге).

Затраты электроэнергии на дополнительные нужды находим по показателю 5% от затрат на электропитание оборудования

$$З_{за.зн.обор.} = 3{,}5 \cdot 8760 \cdot 23 = 705180 \text{ (тенге),}$$

$$З_{доп.нужд} = 0{,}05 \cdot З_{эл.эн.обор} = 0{,}05 \cdot 705180 = 35259 \text{ (тенге),}$$

$$Э = 705180 + 35259 = 740439 \text{ (тенге).}$$

Амортизационные отчисления выбираются исходя из того условия, что норма амортизации на оборудование в области связи составляет до 25% в год, примем это значение 17%, и вычисляются по следующей формуле

$$A_0 = H_A \cdot K_{\Sigma}, \quad (5.13)$$

Тогда амортизационные отчисления будут

$$A = 0{,}17 \cdot 1479452 = 251506 \text{ (тенге).}$$

Накладные расходы определяются как 40 % от всех затрат и рассчитываются по формуле [17]

$$H = 0{,}4 \cdot (ФОТ + O_C + A_O + Э), \quad (5.14)$$

$$H = 0{,}4 \cdot (7920000 + 842400 + 251506 + 740439) = 3901738 \text{ (тенге),}$$

$$Э_{\Sigma} = 7920000 + 842400 + 251506 + 740439 + 3901738 = 13656083 \text{ (тенге).}$$

Полученные значения занесем в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 - Эксплуатационные расходы

Расход	Описание	Сумма (тенге)
ФОТ	-	7920000
Социальный налог	13% от ФОТ, за вычетом пенсионного фонда	842400
Амортизационные отчисления	17 % от основных производственных фондов	251506
Материальные расходы	5% от капитальных вложений	73972
Затраты на электроэнергию	-	740439
Накладные расходы	40 % от всех затрат	3901738
Всего	-	13656083

5.5.3 Расчет доходов предприятия. Общая сумма абонентской платы определяется как произведение количества абонентов и ежемесячной абонентской платы. Тарифные доходы определяются на основании абонентской платы и числа номеров в каждой абонентской группе

$$ДТ = \sum(ti * Ni), \quad (5.15)$$

где ti – абонентская плата за один номер i-категории;

Ni – число номеров в каждой абонентской группе.

Тарифные доходы, полученные от абонентской платы физическими лицами

$$Д_{Физ}=12 \cdot 4500 \cdot 250=13500000 \text{ (тенге).}$$

Тарифные доходы, получаемые от абонентской платы юридическими лицами

$$Д_{Юр}=12 \cdot 6900 \cdot 50=4140000 \text{ (тенге).}$$

Доходы от всех категорий абонентов

$$ДТ=Д_{Физ}+Д_{Юр}=13500000+4140000=17640000 \text{ (тенге).}$$

Отсюда прибыль без учета налогов будет определяться по формуле

$$П=Д_{о}-Э \quad (5.16)$$

$$П=17640000-13656083=3983917 \text{ (тенге)}.$$

Налог на прибыль для юридических лиц равен 20%, тогда чистая прибыль будет

$$ЧП=П-0,2 \cdot П \tag{5.17}$$

$$ЧП=3983917 -0,2 \cdot 3983917=3187133 \text{ (тенге)}.$$

5.6 Расчет показателей экономической эффективности

Для обоснования выбора одного из вариантов предлагаемого оборудования производится оценка эффективности на основе расчета и сравнения показателей экономической эффективности, который включает в себя расчет абсолютного экономического эффекта и расчет срока окупаемости.

Коэффициент общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений рассчитывается по формуле

$$E_а = ЧП / K_{\sum}, \tag{5.18}$$

где ЧП – чистая прибыль;

$K_{\sum}$ – капитальные вложения.

$$E_а = \frac{3187133}{1479452} = 2,15.$$

Нормативный (плановый) срок окупаемости (возврата) капитальных вложений характеризует период времени в годах, в течение которого вложенные средства полностью возместятся прибылью, получаемой в соответствии с нормативным коэффициентом абсолютной экономической эффективности.

Условие эффективности имеет вид

$$T_Р < T_Н; E_Р > E_Н, \tag{5.19}$$

где $T_н$ – нормативный срок окупаемости ($T_н$=5 лет);

$E_н$ – нормативная абсолютная экономическая эффективность ($E_н$=0,2).

Срок окупаемости капитальных вложений – срок возвратности средств является показателем, обратным коэффициенту общей эффективности.

$$T=1/E_а, \tag{5.20}$$

$$T=1/2,15=0,46 \text{ лет} \approx 6 \text{ (месяцев)}.$$

Рассчитанные показатели соответствуют условию эффективности (формула 5.20).

Срок окупаемости составляет около 6 месяцев. Вложенные в данный проект средства окупятся уже через 6 месяцев после вложения [18].

Вывод: На основе выполненных расчетов можно сделать следующий вывод: организация сети радиодоступа на основе технологии 5G является выгодной.

Таким образом, при разработке проекта при капитальных вложениях в 1479452 тенге, чистая годовая прибыль составит 3187133 тенге. Срок окупаемости данного проекта составил 6 месяцев. Как известно, срок окупаемости не должен превышать пяти лет.

На основе данного технико-экономического обоснования можно сделать вывод, что внедрение данного проекта является достаточно эффективным или даже очень.

Заключение

В данном дипломной проекте была организована сеть радиодоступа на основе технологии 5G в ЖК «Легенда».

Мы рассмотрели вопросы касающиеся развития технологии 5G, типы архитектуры радиодоступа данной технологии, на основе проведенного анализа была выбрана архитектура 3GPP Rel-15(3GPP Non-Standalone Architecture – Option 3.X) в качестве предпочтительной. Архитектура NG-RAN основывается на успехе архитектуры радиосвязи 4G LTE, в то же время вводя ряд ключевых, революционных и перспективных концепций как в области архитектуры в целом, так и в протоколах.

Проведен анализ и последующий выбор оборудования для проектируемой сети, также рассмотрены протоколы, которые используются в этой технологии. Были определены потери на трассе т.е. от базовой станции до жилого комплекса и произведен расчет мощности в точке приема.

Был произведен экономический расчет, который доказал эффективность данной технологии. Рассмотрены мероприятия по безопасности жизнедеятельности.

Подведя итоги, можно сказать, что цели и задачи поставленные в ходе выполнения работы были выполнены.

Список литературы

1 Развитие 5G // brainbridge.be сервер Brainbridge BVBA 2010-2020 URL: https://www.brainbridge.be/news/from-1g-to-5g-a-brief-history-of-the-evolution-of-mobile-standards (дата обращения 16.03.2020г.).

2 Технологии 5G // electronics-notes.com сервер electronics-notes.com 2013-2020 URL: https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/5g-mobile-wireless-cellular/technology-basics.php(дата обращения 22.03.2020г.).

3 Тихвинский В.О. 5G WORLD SUMMIT – 2014: Курс прежний - ОТ 4G К 5G // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – № 7. – С. 95-96.

4 Тихвинский В.О. 5G WORLD SUMMIT: "Достойная старость" 2G на фоне бурного роста 5G // ОБ ИТОГАХ 5G WORLD SUMMIT. – 2015. – № 10. – С. 18-21.

5 Олейникова А.В., Нуртай М.Д., Шманов Н.М. Перспективы развития связи 5G // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – № 2. – С. 233-235.

6 Мельник С.В. 5G - Работа над ошибками предыдущих поколений // Вестник связи. – 2014. – № 7. – С. 29-30.

7 Вайтакр Я. Потребность в 5g. Проблемы разработки и тестирования // Вестник связи. – 2014. – № 8. – С. 4-6.

8 Balazs Bertenyi NG Radio Access Network (NG-RAN) // Journal of ICT Standardization. – 2018. – № 4. – С. 59-76.

9 Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. – М: Горячая линия – Телеком, 2007.

10 В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов. Системы мобильной связи. Учебное пособие для ВУЗов – М.: Горячая линия - Телеком, 2003.

11 Бабаков В. Ю., Вознюк М. А., Михайлов П. А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для ВУЗов. – М: Горячая линия – Телеком, 2007.

12 Ермолаев В.Т., Флаксман А.Г. Теоретические основы обработки сигналов в системах мобильной радиосвязи. (Электронное методическое пособие), Нижний Новгород 2010.

13 Жилой комплекс «Легенда» // KRISHA.KZ: Krisha. 2006-2020: https://krisha.kz/complex/show/almaty/легенда/ (дата обращения 02.03.2020).

14 Оборудование 5G//huawei.com сервер Huawei Technologies 2011-2020 URL: https://www.huawei.com/en/?ic_medium=direct&ic_source=surlent (дата обращения 12.04.2020г.)

15 О.В.Маслеева, А.Б.Елькин, Т.И.Курагина. Безопасность жизнедеятельности. Методические указания к выполнению раздела «Расчет электромагнитного излучения» в выпускных работах для всех специальностей Бакалавриат – Нижний Новгород: НГТУ,- 2005.

16 Голубицкая Е.А. Жигульская Г.М. Экономика связи. Учебник для

студентов ВУЗов. М.: -Радио и связь, 1999.

17 Гончарук В.Д., Канаев Н.Я. Экономика, организация и планирование предприятий связи. М., 2009.

18 Инструкции по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции и услуг на предприятиях, Астана, 2009.

Приложение А

Расчеты в программе Mathcad 2014

Расчет L2 для случая $1 < ds$

$b := 25$ - срденее расстояние между зданиями

$f := 3700$ - рабочая частота

$$\delta h1 := \frac{0.00023 \cdot b^2 - 0.1827 \cdot b - 9.4978}{\log(f, 10)^{2.938}} + 0.000781 \cdot b + 0.06923 = -0.243$$

$\Delta h1 := 5$

$$\rho := \sqrt{\Delta h1^2 + b^2} = 25.495$$

$\lambda := 0.08$

$d := 300$

$b = 25$

Рисунок А1 – Расчет $\delta h1$

$$\delta hu := 10^{-\log\left(\sqrt{\frac{b}{\lambda}}, 10\right) - \frac{\log(d, 10)}{9} + \frac{10}{9} \cdot \log\left(\frac{b}{2.35}, 10\right)} = 0.415$$

$$\theta := \operatorname{atan}\left(\frac{\Delta h1}{b}\right) = 0.197$$

$$Qm := 2.35\left(\frac{\Delta h1}{d} \cdot \sqrt{\frac{b}{\lambda}}\right)^{0.9} = 0.782$$

$$L2msd := -10\log\left(Qm^2, 10\right) = 2.132$$

Рисунок А2 – Расчет L2msd

Расчет L1 для случая $l < ds$

$Kf := -8$

$Kd := 18$

$Ka := 71.4$

$\Delta h1 := 5$

$Lbsh := -18\log[(1 + \Delta h1), 10] = -14.007$

$$L1msd := Lbsh + Ka + Kd\cdot\log\left(\frac{d}{1000}, 10\right) + Kf\cdot\log(f, 10) - 9\cdot\log(b, 10) = 6.854$$

Рисунок А3 – Расчет L1msd

$x := 0.1$

$\upsilon := 0.00417$

$$dbp := |\Delta h1|\cdot\sqrt{\frac{1}{\lambda}} = 17.678$$

$Llow := L2msd\cdot dbp = 37.684$

$Lupp := L1msd\cdot dbp = 121.17$

$$Lmid := \frac{Lupp + Llow}{2} = 79.427$$

$\zeta := (Lupp - Llow)\cdot\upsilon = 0.348$

$dhbp := Lupp - Llow = 83.486$

$$Lmsd := -\tanh\left(\frac{\log(d) - \log(dbp)}{x}\right)\cdot(L1msd - Lmid) + Lmid = 151.999$$

Рисунок А4 – Расчет Lmsd

Определяем Lori

$\Delta h2 := 22$

$\phi := 30$

$Lori := -10 + 0.354 \cdot \phi = 0.62$

$w := 10$

Расчитываем Lrts и Llos

$Lrts := -8.2 - 10 \cdot \log(w, 10) + 10 \cdot \log(f, 10) + 20 \cdot \log(\Delta h2, 10) + Lori = 44.95$

$Lbf := 32.45 + 20 \cdot \log(f, 10) + 20 \cdot \log(d, 10) = 153.356$

$Llos := Lbf = 153.356$

Рисунок А5 – Расчет Lrts и Llos

Расчет мощности в точке приема

$Рпер := 16.5$

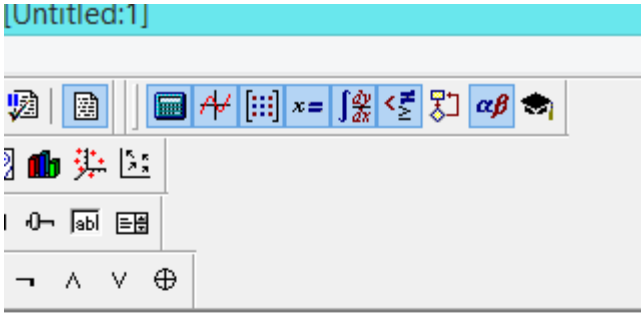
$Ga1 := 18$

$Ga2 := 10$

$\zeta 1 := 1.5$

$Рпрм := Рпер - Llos + Ga1 + Ga2 - \zeta 1 = -110.356$

Рисунок А6 – Расчет мощности в точке приема



$$Llos1 := 143.814 \qquad d1 := 100$$
$$Llos2 := 149.835 \qquad d2 := 200$$
$$Llos3 := 153.356 \qquad d3 := 300$$
$$Llos4 := 155.855 \qquad d4 := 400$$
$$Llos5 := 157.793 \qquad d5 := 500$$

$$LLos := \begin{pmatrix} 143.814 \\ 149.835 \\ 153.356 \\ 155.855 \\ 157.793 \end{pmatrix} \qquad D := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \\ 300 \\ 400 \\ 500 \end{pmatrix}$$

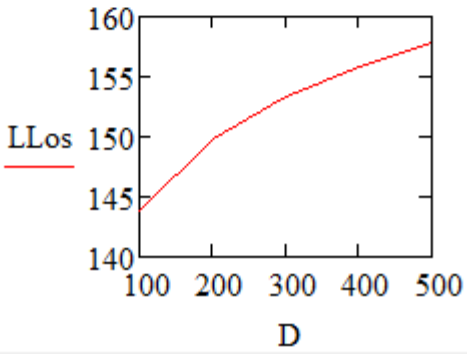


Рисунок А7 – График зависимости потерь от расстояния