

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации  
имени А. Буркитбаева

Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

канд. техн. наук

И. Сыргабаев

“ \_\_\_ ” “ \_\_\_\_\_ ” 20..г

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

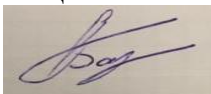
На тему: Построение сети пятого поколения в городе Алматы

по специальности 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникация

Выполнил:

Лоенко Кирилл Евгеньевич.

Рецензент

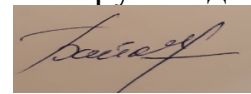


Уч. степень, звание

Байкенов А.С.

“ \_01\_ ” “ \_06\_ ” 2020 г.

Научный руководитель



Уч. степень, звание

Толен Г.Б.

“ \_01\_ ” “ \_\_\_\_\_ ” 06 \_\_\_\_\_ 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет

имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

имени А. Буркитбаева

Кафедра «Электроника, телекоммуникации и космические технологии»

5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникация

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

канд. техн. наук

И. Сыргабаев

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20..г

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся Лоенко Кириллу Евгеньевичу

Тема Построение сети пятого поколения в городе Алматы

Утверждена приказом Ректора Университета № 762-б от “27” января 2020г.

Срок сдачи законченной работы “5” июня 2020г.

Исходные данные к дипломной работе: Выполнить проект организации сети беспроводного доступа к сети Интернет в городе Алматы с применением технологии 5G, Beamforming, Spectrum sharing, Small cells, DAS,

Перечень подлежащих к разработке в дипломной работы вопросов:

а) Обзор технологий систем связи стандарта 5G;

б) Планирование и проектирование сети 5G в городе Алматы:

1 Современные подходы к планированию сети 5G

2 Исследование основных трудностей построения сетей 5G

3 Современные подходы к планированию сети 5G

4 Выбор структуры будущей сетевой архитектуры сети

5 Выбор оборудования будущих станций 5G

6 Влияние 5G на организм человека

в) Произвести расчет максимально допустимых потерь, радиуса соты и скорости передачи данных.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):  
Практические преимущества 5G. Формирование лучей Beamforming. Общая архитектура сети 5G. Модернизация сот1ы и необходимое оборудование.

Рекомендуемая основная литература:

- 1 А.Н. Степутин, А.Д. Николаев. Мобильная связь по маршруту 6G. Инфра-Инженерия. 2017 - стр. 415
- 2 Hussain Sk.S. et al. An overview of massive MIMO system in 5G // International Science Press, I J C T A. 2016. P. 4957-4968.
- 3 И. Степанец, Г. Фокин. особенности реализации Massive MIMO в сетях 5G/ Первая мяля., 2018 – 50

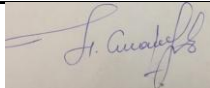
## ГРАФИК

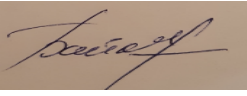
подготовки дипломной работы

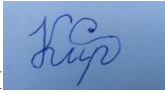
Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Обзор технологии 5G	10.01.2020	Выполнил
Планирование и проектирование сети 5G города Алматы	15.03.2020	Выполнил
Оценка радиопокрытия проектируемой сети 5G для г. Алматы	12.04.2020	выполнил

## Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Доктор PhD Смайлов Н.К.	25.05.2020	

Научный руководитель  Толен Г.Б.  
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающийся  Лоенко К.Е.  
(подпись)

Дата "21" января 2020 г.

## АҢДАПТА

Бұл дипломдық жұмыста 5G желісін құрудың және пайдаланудың негізгі талаптары, технологияның негізгі көрсеткіштері және болашақ желінің ықтимал архитектурасы қарастырылды. Алматы қаласында бесінші буын желісін ұйымдастыру үшін әлемдік жетекші вендорлардан ең заманауи жабдықтар іріктелді

Қазақстан нарығының мүмкіндіктеріне талдау жасай отырып, болашақ желі архитектурасының ең оңтайлы нұсқасы таңдалды. Сонымен қатар, желіні өрістету кезінде операторлар тап болатын мәселелер қарастырылды. Бұл мәселелерді шешу үшін өрістету жылдамдығын арттыра алатын және жобаның құнын айтарлықтай төмендететін билік органдары үшін шешім ұсынылған.

Үшінші тарауда ең жоғары рұқсат етілген шығындар, ұяның радиусы және деректерді беру жылдамдығы есептелді.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе были рассмотрены ключевые требования к построению и эксплуатации сети 5G, основные показатели технологии и возможные архитектуры будущей сети. Подобрано самое современное оборудование от ведущих мировых вендоров, для организации сети пятого поколения в городе Алматы

Проведя анализ возможностей рынка Казахстана был подобран самый оптимальный вариант архитектуры будущей сети. Так же были рассмотрены проблемы, с которыми столкнутся операторы при развёртывании сети. Для решения этих проблем представлены решения для органов власти, которые могут увеличить скорость развёртывания и существенно снизить стоимость проекта.

В третьей главе произведены расчёты максимально допустимых потерь, радиуса соты и скорости передачи данных.

## ANNOTATION

In this thesis, the key requirements for the construction and operation of the 5G network, the main technology indicators and possible architectures of the future network were considered. The most modern equipment from leading world vendors was selected for the organization of the fifth generation network in the city of Almaty

After analyzing the market opportunities in Kazakhstan, the most optimal version of the architecture of the future network was selected. The problems that operators will encounter when deploying the network were also considered. To solve these problems, a solution is presented for authorities that can increase the speed of deployment and significantly reduce the cost of the project.

In the third chapter, the calculations of the maximum allowable losses, cell radius and data transfer rate are made.

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Обзор технологии 5G	10
1.1 Развитие технологий мобильной связи от 3G до 5G	10
1.2 Основные стандартизирующие организации пятого поколения	11
1.3 Принцип работы 5G	12
1.4 Параметры сетей 5G	13
1.5 Частоты используемые для нового стандарта	15
1.6 Технологии используемые в 5G	16
1.7 Сценарии оказания услуг мобильной связи в сетях 5G	19
1.8 Варианты применения новой технологии	20
1.9 Архитектура опорной сети 5G	23
2 Планирование и проектирование сети 5G города Алматы	26
2.1 Ключевые задачи при моделировании сети	26
2.2 Современные подходы к планированию сети 5G	26
2.3 Перспективы модернизации сетей связи от LTE к 5G	28
2.4 Частоты используемые для 5G в Казахстане	31
2.5 Выбор сетевой архитектуры Non-Standalone либо Standalone	32
2.6 Основные трудности, связанные с развёртывание сетей 5G	33
2.7 Модернизация оборудования для базовой станции	34
2.8 Готовые модели сот	36
2.9 Технология покрытия 5G сети внутри помещения	37
2.9.1 Основные достоинства технологий Radio Dot и 5G	39
2.9.2 Оборудование для организации сети внутри помещения	39
2.10 Влияние 5G сетей на здоровье человека	41
3 Оценка радиопокрытия проектируемой сети 5G для г. Алматы	43
3.1 Расчёт максимально допустимых потерь (МДП)	43
3.2 Расчет зоны покрытия БС и МС по модели COST231-Хата	47
3.3 Расчёт скорости передачи данных 5G NR	47
Заключение	49
Список использованной литературы	50



## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время телекоммуникационная сеть Республики Казахстан характеризуется большими возможностями. Стратегическая цель развития национальной телекоммуникационной информационной инфраструктуры – это обеспечить страну качественными средствами и услугами связи в необходимом объеме и по лучшей цене. Это позволит создать высококачественные сети связи, сеть передачи данных, высокоскоростную факсимильную систему, высокоскоростную систему поиска в базах данных, систему обработки сообщений и беспроводной связи, которые обеспечивают обмен как голосовой, так и документный обмен данными.

Проблему развёртывания сетей в некоторых районах страны в основном определяются низкой плотностью населения (большой разброс этого показателя по регионам) и высоким уровнем удельных затрат. Это требует использования таких технических средств и решений, как концентраторы, сопряженные устройства, системы радиосвязи с многократным использованием выбранного частотного диапазона, а также использование систем передачи. Все эти системы должны быть адаптированы к организации мобильной связи.

Наряду с традиционными услугами связи в республике активно внедряются новые виды услуг: мобильная и спутниковая связь. Одним из способов использования мобильной связи является использование систем беспроводного радиодоступа для решения локальных проблем развития связи.

В настоящее время полосы частот Sub-6 в основном используются в новых системах беспроводного широкополосного беспроводного доступа WLL для телефонии, передачи данных и доступа в Интернет. Технология LTE была внедрена во многих городах Казахстана, но она не сильно эффективна для развития технологий, требующих сверхбыстрый интернет с малыми задержками и в местах массового скопления людей. Поэтому организация доступа абонента к мультисервисной сети на базе 5G имеет отношение к предоставлению абонентам новейших высокоскоростных технологий и новых услуг. Главной особенностью современного этапа развития систем сотовой связи является переход на системы пятого поколения. Переход на сети 5G позволяет нам качественно изменить сложившуюся ситуацию в сфере мобильной связи. Это в основном связано с тем, что сети 5G позволяют клиентам предоставлять широкий спектр новых услуг, которые могут значительно увеличить доходность операторов, продажи оборудования для БС и смартфонов.

# 1 Обзор технологии 5G

## 1.1 Развитие технологий мобильной связи от 3G до 5G

5G - это пятое поколение мобильных сетей, которое называют стандартами телекоммуникаций следующего поколения после стандартов 4G. Телекоммуникационные сети 5G должны решать проблемы, возникающие в сетях 4G. Поколения систем мобильной связи перечислены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Поколения систем мобильной связи

Поколение	Наименование стандарта
0G	PTT, MTS, IMTS, AMTS, Mobitex, Autotel/PALM, ARP
1G	NMT, AMPS, Ncap
2G	GSM, iDEN, D-AMPS, IS-95, PDC, CSD, GPRS, HSCSD, WiDEN
2.75G	EDGE/EGPRS, CDMA2000 (1xRTT)
3G	UMTS (W-CDMA, FOMA), CDMA2000, TD-SCDMA, WiMAX
3.5G	UMTS (HSPA, HSDPA, HSUPA), CDMA2000 (EV-DO Rev.A)
3.75G	UMTS (HSPA+), CDMA2000 (EV-DO Rev.B/3xRTT)
4G	WiMAX, LTE
5G	WiMAX, LTE, CDMA

С момента появления сети мобильной связи претерпели длительный путь развития. Появились новые типы устройств – смартфоны, планшеты, устройства дополненной реальности, дроны и т.д. Возможности мобильных технологий уже давно вышли за рамки голосовых услуг и создают новые способы обмена данными. Это привело к увеличению трафика в сетях по всему миру.

Технологии будут продолжать развиваться к большему числу возможностей. С каждым новым поколением появляются новые технологии, которые позволяют нам решать новые проблемы. Интеграция существующих и новых технологий будет способствовать повышению качества существующих пользовательских услуг и появлению новых. Перспектива развития технологии мобильных сетей показана на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Развитие мобильных сетей до 2020 года

Системы второго поколения основаны на методе TDMA (множественного доступа с временным разделением). Уже в 1992-1993 годах, в США был разработан стандарт для системы сотовой связи на основе метода CDMA (множественного доступа с кодовым разделением) - стандарт IS-95 (полоса 800 МГц). Он стал применяться с 1995 по 1996 год. Был наиболее распространенный в Гонконге, Соединенных Штатах, Южной Кореи и Южной Кореи, а также в Соединенных Штатах использовался вариант 1900 МГц этого стандарта.

3.5G - HSDPA (высокоскоростная передача пакетных данных от базовой станции к мобильному телефону) - это стандарт мобильной связи, который эксперты считают одним из переходных этапов перехода к технологиям мобильной связи четвертого поколения (4G). Максимальная скорость передачи теоретических данных по стандарту составляет 14,4 Мбит / с. Практически достижимо в существующих сетях - примерно 8 Мбит / с.

4G - это технология четвертого поколения для мобильных широкополосных сетей, которая заменила 3G. Первая в мире сеть LTE в Стокгольме и Осло была запущена альянсом TeliaSonera / Ericsson - расчетное значение максимальной скорости передачи данных на одного абонента составляет 382 Мбит/с и 86 Мбит/с от абонента. 4G использует высокоскоростную систему загрузки и выгрузки пакетов в качестве метода передачи данных. Сети 4G позволяют пользователям получать доступ к широкополосным скоростям на ходу. Во всех отношениях 4G на самом деле является высокотехнологичной и современной радиосистемой.

## **1.2 Основные стандартизирующие организации пятого поколения**

Стандартизация технологий и решений 5G должна быть завершена к 2021 году, так что термин 5G пока означает только фрагментированные решения. Такие решения уже развернуты в разных странах, но все еще носят локальный и тестовый характер, они пока что не обеспечивают всех запланированных функциональных возможностей стандартных сетей IMT2020.

Основные организации по стандартизации 5G:

3GPP (3rd Generation Partnership Project) - это альянс семи организаций, разрабатывающих различные телекоммуникационные стандарты, которые, в свою очередь, включают других партнеров. Целью 3GPP является разработка спецификаций, оценка проектов и разработка стандартов. Версия общего стандарта Release 15 была принята в середине 2017 г. Впоследствии были объявлены планы подготовки спецификаций. В соответствии с этими планами первый этап спецификаций должен был быть завершен до второй половины 2018 года (как часть выпуска 15 3GPP), а второй этап - к декабрю 2019 года (как часть выпуска 3GPP 16). В настоящее время первый этап завершился с задержкой в один год, а второй переносится на третий квартал 2020 года. Помимо разработки общей архитектуры,

3GPP также разрабатывает стандарты для радиотехнологий 5G NR для новых частотных диапазонов, предназначенных для 5G[1].

ETSI (European Telecommunication Standard Institute), Европейский институт телекоммуникационных стандартов, который является членом 3GPP и наиболее активен в разработке стандартов 5G.

IETF (Internet Engineering Task Force) разрабатывает решение по обновлению IP-протокола для поддержки виртуализации сетевых функций (NFV). Например, IETF разработала технологию Service Function Chaining (SFC), которая объединяет виртуализированные компоненты архитектуры 5G, такие как базовые станции, сервисные шлюзы и пакеты данных, в один маршрут. Это позволяет динамически создавать и интегрировать функции виртуальной сети (VNF). IETF тесно сотрудничает с 3GPP.

ITU (International Telecommunication Union) - это представительство ООН в Женеве, которое стандартизирует широкий спектр телекоммуникационных технологий. В частности, он координирует совместное использование высокочастотного спектра, в том числе для сетей 5G.

5GPPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) считается одним из ведущих партнеров по стандартизации 5G. Организация поставила амбициозные цели по разработке требований к сети 5G, таких как захват емкости сети в 1000 раз, снижение энергопотребления пользовательского оборудования на 90%, значительное сокращение времени, необходимого для создания новых услуг и услуг, полного и безопасного покрытия сети и незначительных задержек при передаче данных и т.д.

NGMN (Next Generation Mobile Networks) Alliance. Альянс мобильных сетей следующего поколения стандартизирует весь спектр решений 5G. В альянс входят руководители ведущих операторов США: AT&T, U.S. Cellular и Verizon.

Кроме того, существуют отраслевые и региональные организации, такие как 5G Americas, Small Cell Forum, которые также вносят значительный вклад в разработку и стандартизацию решений 5G.

Крупные операторы связи, такие как AT & T, Verizon и другие, также вносят вклад в разработку стандартов, координируя свою работу с ETSI и ITU, но иногда опережают эти организации. Поэтому решения этих операторов часто составляют основу стандартов ETSI и ITU.

### **1.3 Принцип работы 5G**

5G - это поколение мобильной связи, которое работает в соответствии со стандартами телекоммуникаций, следующие за существующей технологией LTE. Увеличение скорости будет связано с переходом на более высокую полосу частот - ранее не использованный. Например, частота домашнего WiFi составляет 2,4 или 5 ГГц, частота существующих мобильных сетей - до 2,6 ГГц. Однако когда мы

говорим о 5G, то сразу говорим о десятках гигагерц, соответственно скорость передачи данных увеличивается во много раз. И сеть в целом разгружается.

Частота увеличилась в десятки раз, поэтому в 5G используются миллиметровые волны. Они плохо проходят через препятствия, в связи с этим меняется архитектура сети. Раньше связь обеспечивали большие вышки на большие расстояния, но теперь потребуется повсеместно устанавливать много компактных и маломощных вышек.

В отличие от LTE, 5G работает в трех разных диапазонах спектра. Низкочастотный спектр также может быть описан как спектр ниже 1 ГГц. Низкочастотный спектр обеспечивает большую зону покрытия и проникновения, имеется большой недостаток: пиковая скорость передачи данных не превышает 100 Мбит / с.

Спектр среднего диапазона обеспечивает более быстрое покрытие и меньшую задержку, чем низкочастотный диапазон. Однако он не проникает в здания так как низкочастотный диапазон. Ожидается пиковые скорости до 1 Гбит/с.

Операторы используют Massive MIMO для улучшения проникновения и покрытия. Массивные MIMO объединяют несколько антенн в одном корпусе и создают несколько лучей одновременно для разных пользователей в одной и той же вышке сотовой связи. 5G также будет использовать формирование луча для улучшения обслуживания. Формирование луча отправляет один сфокусированный сигнал каждому пользователю в ячейке, и системы, которые его используют, отслеживают каждого пользователя, чтобы убедиться, что он имеет согласованный сигнал.

Высокочастотный спектр - это то, о чём большинство людей думают, когда слышит о 5G. Высокочастотный спектр может предлагать пиковые скорости до 10 Гбит / с и имеет очень низкую задержку. Основным недостатком высокочастотного диапазона является то, что он имеет низкую зону покрытия и плохое проникновение в здание.

## **1.4 Параметры сетей 5G**

Согласно стандартам и спецификациям разработанными организацией 3GPP были определены следующие ключевые показатели для следующего поколения связи:

- Пиковая скорость передачи данных на линии вниз (Downlink) 20 Гбит/с
- Пиковая скорость передачи данных на линии вверх (Uplink) 10 Гбит/с
- Минимальная задержка в подсистеме радиодоступа для сервисов URLLC — 0,5 мс, для сервисов eMBB — 4 мс;

- Максимальная плотность подключенных к сети в городских условиях устройств из мира IoT – 1'000'000 устройств/кв.км;
- Автономная работа устройств из мира IoT без подзарядки аккумулятора в течение 10 лет;
- Поддержка мобильности при максимальной скорости передвижения объектов 500 км/ч.
- Высокая энергетическая эффективность.
- Безопасность для здоровья человека.

Платформа сети 5G предоставляет операторам значительные преимущества, которые проявляются главным образом в расширении функциональных возможностей и характеристик сети, повышении удовлетворенности пользователей (User Experience). На рисунке ниже показаны основные параметры сети IMT2020 (5G) по сравнению с показателями IMT-Advanced (4G).



Рисунок 1.2 - Практические преимущества 5G.

Пиковая скорость: сеть 5G обеспечивает в 20 раз более высокую скорость по сравнению с 4G, то есть около 20 Гбит/с.

Скорость на пользователя может достигать 100 Мбит/с и более.

Эффективность использования спектра, объем информации, которая может быть передана на единицу частотного диапазона в сети 5G, будет как минимум в три раза выше, чем в сети 4G.

Мобильность пользователя, скорость, с которой пользователь с терминалом 5G может перемещаться в зоне покрытия сети без потери передачи между базовыми станциями, в сети 5G достигает скорости 500 км/ч, что позволяет использовать услуги 5G в высокоскоростных поездах.

Задержка сети 5G уменьшается до 1 мс или менее, тогда как сеть 4G может достигать задержки не менее 10 миллисекунд. Это позволяет использовать технологию 5G для критически важных коммуникаций и видеонаблюдения, тактильных Интернет-услуг, AR / VR и т.д.

Плотность терминалов в сети 5G увеличивается на порядок и может достигать нескольких миллионов устройств на 1 кв. км, то есть на одном квадратном метре поверхности может находиться несколько десятков или даже сотен миниатюрных устройств (таких как датчики IoT).

Энергоэффективность сети 5G на порядок лучше, чем в сети предыдущего поколения.

Рабочая емкость на единицу площади, то есть скорость передачи данных на квадратный метр зоны покрытия сети, в 5G на два порядка выше, чем в сети 4G.

## **1.5 Частоты используемые для нового стандарта**

Использование 5G предполагается в разных спектрах частоты. Но в спектре Sub-6, имеются трудности с доступными свободными частотами. Благодаря использованию низких частот в сетях 5G можно достигнуть более большую площадь сети, так же использование низкой частоты не требуют больших инвестиций. В добавок они обеспечивают хорошее проникновение радиоволн внутрь помещения, что является очень важным фактором для сценария с применения мира Интернета вещей. Частоты 700 МГц является важной для системы связи M2M, умного города, умного дома. Диапазоны 3,4–3,8 ГГц может быть использован для особо надежного соединения таких объектов, как самоуправляемые машины, роботы, промышленная автоматизация. Ожидается, что в стандарте 5G операторами будут выделяться непрерывные полосы частот 300–400 МГц.

Высокочастотный спектр необходим для сетей 5G для достижения скоростей передачи данных до 20 Гбит / с, особенно для предоставления услуг 3D-видео в формате UHD, AR / VR, облачных сервисов для работы, тактильного Интернета и т.д. для этой цели рассматривается возможность использования диапазонов 24,25–27,5 ГГц и 37–43,5 ГГц.

Спецификации, разработанные 3GPP определили новые полосы частот для 5G и поделили их на два блока: FR1 (частота до 6 ГГц) и FR2 (частота выше 6 ГГц или). Использование более высокой частоты поможет решить проблему, вызванную помехами в сети, которых в высоком диапазоне намного меньше. Так при использовании высокой частоты увеличивается и ширина радиоканала, а следовательно, и увеличится и скорость передачи данных. Так предполагается использовать для блока FR1 ширину радиоканала до 100 МГц, а для блока FR2 - от 50 до 400 МГц! Так например, в сетях LTE допускается ширина каналы только 1,4, 3, 5, 10, 15 и 20 МГц.

## 1.6 Технологии, используемые в 5G

Для удовлетворения постоянно растущих потребностей в беспроводной связи были разработан стандарт 5G под общим названием «Новое радио 5G». Разработка 5G NR проходила практически с нуля с учетом требований сетей 5G и с использованием лучших технологий. Поэтому в 5G NR используется новейшая технология модуляции, формирование волн и технологии радиодоступа (RAT), которая, помимо прочего, обеспечивает высокую скорость передачи данных и продлевает срок службы батареи пользовательских устройств 5G.

Основные отличительные особенности радиотехнологии 5G NR:

Оптимизированная технология OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов). Эта технология уже успешно используется в 4G / LTE-A. OFDM представляет собой комбинацию модуляции и мультиплексирования. Как правило, мультиплексирование включает в себя независимые сигналы, поступающие из разных источников. В OFDM задача мультиплексирования применяется к отдельным сигналам, но эти отдельные сигналы представляют собой набор из одного основного сигнала.

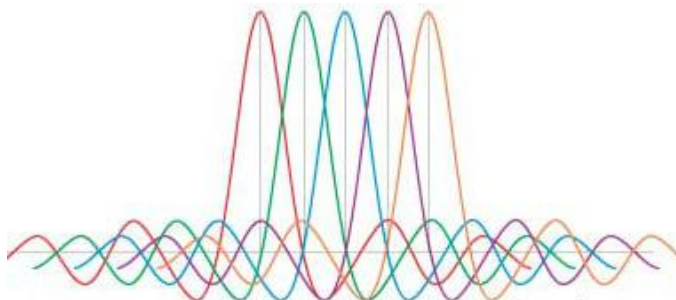


Рисунок 1.3 - Перекрывающиеся частотные каналы с ортогональными несущими

Наиболее важным отличием технологии OFDM от простого разделения радиосигнала по нескольким параллельным частотным каналам является ортогональность поднесущих в групповом спектре сигнала OFDM. Физическое значение ортогональности состоит в том, чтобы смешивать в структуре каждой поднесущей специальную метку уникального числа синусоидальных колебаний сигнала, которые отличаются по фазе на 90 градусов (ортогональные функции), позволяя демультиплексору разделять сигналы поднесущей на основе анализа этих меток, даже в случае частичного перекрытия их частотных спектров. Выбор несущих в общем спектре обычного многоканального сигнала из-за ограниченных технологических возможностей современных полосовых частотных фильтров требует достаточно большого частотного разделения несущих, что ограничивает увеличение их количества в данной полосе частот. Выделение несущей в групповом



спектре сигнала OFDM во время демультимплексирования осуществляется посредством ортогональных преобразований сигнала. Это позволяет перекрывать спектры соседних поднесущих, что может значительно увеличить плотность частот их расположения в спектре сигнала и повысить эффективность использования спектра.

Формирование луча (Beamforming). Для уменьшения потребления энергии и увеличения дальности используется технология формирования луча - динамическая формирование радиолуча для конкретного пользователя. Базовая станция запоминает, откуда поступил сигнал и когда (не только с вашего телефона, но и как отраженный об препятствия), и использует методы триангуляции для расчета вашего приблизительного местоположения, а затем создает оптимальный путь прохождения сигнала. Однако необходимость отслеживать положение приемника приводит к небольшим различиям для фиксированных и мобильных случаев использования, что отражается в разных случаях использования[2].



Рисунок 1.4 – Формирование лучей Beamforming.

MIMO (Multiple Input Multiple Output). MIMO - метод пространственного кодирования сигнала, который позволяет увеличить ширину полосы канала, который уже применяется в сетях Wi-Fi и 4G, значительно улучшился в 5G, особенно в многопользовательском MU-MIMO (Multi-User-MIMO) в 5G Базовые станции gNB, антенны которых состоят из матрицы излучающих элементов. Это позволяет повысить уровень сигнала для конкретного пользователя, минимизируя влияние сигнала на других пользователей[4].

Генерация луча с использованием антенн MIMO уже давно не новая технология, и уже существует на рынке с такими ячейками, как AAS (Active Antenna System). Установленные на базовой станции антенны AAS MIMO делят зону покрытия на ячейки, за счёт этого увеличивается эффективность использования спектра, как и количество каналов. Однако нынешние перегруженные сети нуждаются в динамической генерации цифровых лучей для ещё более эффективного использования спектра.

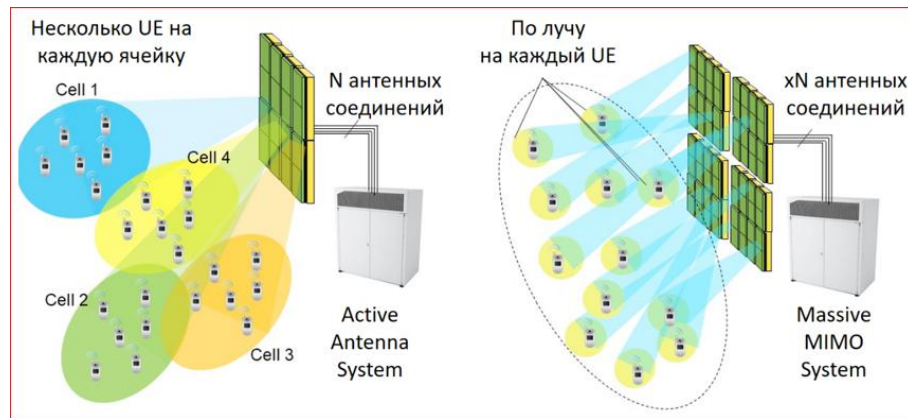


Рисунок 1.5 – 2D MIMO антенна (слева) и Massive MIMO антенна (справа)

Использование антенн MIMO в миллиметровом диапазоне FR2 становится более актуальными, так как миллиметровые радиоволны имеют хорошую направленность, благодаря увеличенному количеству антенных элементов на антенну[5]. Набор таких антенных элементов (256 или более) может быть объединен в одну массивную антенну MIMO. Управляя фазой и амплитудой сигналов, такая антенна может динамически создавать много сильных и острых лучей в направлениях конкретных устройств.

Технологии совместного использования спектра (Spectrum sharing). Многие распределенные спектры радиочастот, часто не используются эффективно. Для решения этой проблемы были разработаны технологии совместного использования спектра.

Унифицированное межчастотное взаимодействие (Unified design across frequencies). Поскольку многие новые частотные диапазоны были добавлены к 5G NR, важно обеспечить интерфейс взаимодействия при переключении каналов с одной частоты на другую при передаче между базовыми станциями. В этом нам помогает технология унифицированного межчастотного взаимодействия.

Маленькие соты (Small cells). Уплотнение покрытия сети приводит к увеличению количества базовых станций. Поэтому было разработано решение для малых ячеек - решение, которое дешево, легко устанавливается и обслуживается при низком энергопотреблении базовых станций. Их можно повесить на столбы уличного освещения, стены дома и другие предметы. Сеть 5G способна эффективно координировать свою работу и перераспределять нагрузку между антеннами. В сочетании с формированием луча маленькие ячейки могут обеспечить очень быстрое покрытие с низкой задержкой. Малые соты - включают в себя множество элементов - макро базовые станции, метросоты, распределенные антенные системы для внешних и внутренних сетей (или DAS), малые соты и многое другое - все они работают вместе в гетерогенной сети.

5G будет работать в более высоких частотных диапазонах, поэтому малые соты будут иметь решающее значение на этих частотах, поскольку сигналы не могут

проникать сквозь стены или здания, а размер сот будет иметь радиус охвата менее 500 метров. В течение многих лет в дополнение к системам, используемым сегодня для небольших ячеек, могут возникать помехи в сетях 5G. В этом случае вы можете использовать распределенную антенную систему (DAS) для «закрытия» одного или нескольких многоэтажных зданий базовой станции. Небольшие антенны с радиоблоками можно установить практически в любой комнате, обеспечивая наилучшее качество связи. Единая инфраструктура базовой станции и DAS могут использоваться несколькими операторами связи одновременно.

Технология SRS (Sounding Reference Signal) является отличным дополнением к формированию луча. Благодаря ей базовая станция может узнавать о качестве канала через специальный пакет, отправленный от устройства. Большинство устройств обычно поддерживают передачу SRS только через свою основную передающую антенну, и базовая станция может принимать информацию канала только для этой антенны. Но при использовании технологии выбора передающей антенны можно получить всю информацию о канале всех антенн устройства. Следовательно, базовая станция может направлять луч в направлении UE в самом наилучшем направлении. В результате скорость передачи UE значительно увеличивается, а в удаленных и средних местах от базовой станции увеличивается до + 40%.

Нарезка сетки или Network Slicing. Это концепция позволяет операторам разделить сеть на слои сети. Каждый слой при этом будет изолирован друг от друга. Это необходимо для того, чтобы сеть 5G можно было строить в зависимости от ключевых параметров необходимых для разных сценариев применения. Но привести это в реализацию можно только при переходе к новому поколению ядра сети.

## **1.7 Сценарии оказания услуг мобильной связи в сетях 5G**

Некоторые из упомянутых показателей, например, пропускная способность и автономность, не могут выполняться одновременно и являются взаимоисключающими. Но эти показатели и не должны выполняться одновременно одним устройством. Идея состоит в том, чтобы различать различные типы сценариев для предоставления мобильных услуг в зависимости от степени важности какого-либо параметра. Так в концепции нарезки сети физическую архитектуру 5G можно будет разделить на множество виртуальных сетей или слоёв, каждая из которых предназначена для определённого варианта применения.

Сеть будет разделяться на три сценария использования:

- eMBB (enhanced Mobile Broadband), сверхширокополосная мобильная связь,
- URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communication), сверхнадежная связь с низкой задержкой,

- mMTC (Massive Machine-Type Communications), массовое машинное взаимодействие.

mMTC - это сценарий межмашинного взаимодействия, когда воздействие человека минимально, а почти все процессы в какой-либо степени автоматизированы. К таким устройствам относятся: счетчик воды, газа, электроэнергии, контроллер уличного освещения, датчик парковочного места и многое другое из мира IoT. Для этого сценария нет необходимости в высоких скоростях и низких задержках, но есть необходимость в автономности и поддержке большого количества подключённых устройств. Это так называемые устройства с низким энергопотреблением (LPWA) - простые и довольно дешёвые устройства с чрезвычайно низким энергопотреблением, батареи которых способны работать до 10 лет. Интерес операторов мобильной связи заключается в том, что не требует больших инвестиций.

5G для URLLC и eMBB. Сценарии URLLC (будет частью 3GPP версии 16) и eMBB (уже определенные в 3GPP версии 15) находятся в зоне ответственности 5G. Сценарий URLLC, по своему названию, означает сверхнадежную связь с низкой задержкой. А eMBB - это сверхширокополосное соединение, что означает высокоскоростную связь.

## **1.8 Варианты применения новой технологии**

Домашний интернет. Беспроводные сети 5G станут альтернативой проводному интернету в наших квартирах. Если раньше кабель заходили в квартиру, то в будущем – сигнал будет передаваться от башни 5G к роутеру, который будет раздавать его, как обычный домашний WiFi. Типичный маршрутизатор 5G обеспечивает скорость загрузки 2-3 Гбит / с. Так операторы решат проблему «последней мили» и снизят стоимость прокладки кабелей.

Места массового скопления людей. Одним из основных недостатков использования сотовой связи предыдущих поколений является проблематичное использование сети в местах, где много людей, сеть становится перегруженной. Но 5G может помочь решить эту проблему, поэтому эта технология важна для таких сценариев. Samsung совместно с японским оператором связи KDDI провели тестирование с использованием 5G на 30-тысячном стадионе. Используя тестовые планшеты 5G, они смогли одновременно транслировать видео 4K на несколько планшетов.

Транспорт. Появилась идея оборудовать железную дорогу 5G соединением для развлечения и комфорта пассажиров. Исследование показало, что для достижения высокоскоростной бесшовной связи необходимо оборудовать железную дорогу точками доступа на расстоянии 800 метров друг от друга. Испытания были успешно проведены на поезде под Токио - они проводились компанией Samsung

совместно с оператором связи KDDI. Во время тестов была достигнута скорость 1,7 Гбит / с, во время теста были загружены 8К- и 4К-видео.

**Connected car.** Основным преимуществом является низкая задержка, которая позволяет транспортным средствам связываться друг с другом на скорости до 500 км / ч. В отличие от людей-водителей, автомобили могут наконец договариваться о маневрах друг с другом или с фиксированной инфраструктурой, что повышает безопасность дорожного движения. Система также будет учитывать погодные условия. Основными задачами при использовании подключенного автомобиля являются всесторонняя безопасность дорожного движения и эффективность вождения. На безопасность также могут рассчитывать велосипедисты и пешеходы со смартфонами 5G. Сервис основан на принципе работы, под контролем встроенного в автомобиль мощного искусственного интеллекта. Автомобиль принимает ситуационное решение на основе визуальной информации и радиолокационных данных (Waymo).

**Индустрия 4.0** Самые высокие требования к задержке и надежности устанавливаются при управлении движением промышленных роботов, где время отклика не может превышать десятки миллисекунд. Сейчас это решается с помощью промышленного Ethernet. Вполне вероятно, что 5G будет бороться за это место. Другие приложения, такие как связь между промышленными контроллерами или с оператором-человеком, сенсорными сетями, менее требовательны. В настоящее время в большинстве этих сетей используется кабель, поэтому беспроводная сеть 5G представляется экономически эффективным решением, позволяющим быстро перенастроить производство.

**Интернет вещей.** Во-первых, 5G решит проблему с многочисленными и плохо поддерживаемыми стандартами связи Интернета вещей, которые в настоящее время ограничивают развитие этой области. Хотя в настоящее время у нас есть датчики, которые могут взаимодействовать друг с другом, они обычно требуют много ресурсов и быстро истощают емкость данных LTE. При скорости 5G и низкой задержке IoT будет питаться от связи между датчиками и интеллектуальными устройствами. По сравнению с современными интеллектуальными устройствами на рынке, для устройств mMTC потребуется меньше ресурсов, поскольку большое количество этих устройств может подключаться к одной базовой станции, что делает их более эффективными.

**Здравоохранение.** Сверхнадежный надежный коммуникационный компонент с малой задержкой (URLLC) в 5G может кардинально изменить здравоохранение. Поскольку URLLC еще больше снижает задержку 5G, как вы можете видеть в расширенной мобильной широкополосной связи, открывается мир новых возможностей. В ближайшие годы вы можете ожидать улучшения в области телемедицины, дистанционного восстановления и физиотерапии с помощью AR, точной хирургии и даже удаленной хирургии. Больницы могут создавать массивные

сенсорные сети для мониторинга пациентов, страховщики могут даже контролировать участников, чтобы определить правильное лечение и процессы.

Видео трансляция. Участники рынка прогнозируют смещение в таком классическом приложении, например «видеостриминг», вправо, в сторону увеличения скорости передачи данных без каких-либо особых требований к задержке. Главной движущей силой будет потребность в высококачественном 8К-видео. С появлением 5G 4К и даже 8К видео станет нормой для всех жителей города и пригорода, и еще больше внимания будет уделено этому качеству в деталях в области кинопроизводства / фотографирования. 5G открывает более высокие скорости и на выгрузку. Это откроет двери для внедрения городских систем видеонаблюдения с интеллектуальным распознаванием лиц на всех континентах. В таких системах где вся вычислительная часть с искусственным интеллектом находится в сети, и все, что требуется от камер видеонаблюдения это суметь передать на сервер видео должного разрешения.

Sky Office. На ранних этапах коммерческого развертывания 5G, за исключением смартфонов, ключевым продуктом 5G, как ожидается, будет ноутбук, подключенный к Sky Office. Sky Office - это концепция передачи вычислительной мощности ноутбука в облако, когда ноутбук оснащен встроенным модемом 5G. В облачное хранилище могут быть помещены не только пользовательские файлы (Cloud Drive), но и такие программы, как MS Office 365 (Cloud Office) или игровые программные продукты (Cloud Games). В этой концепции ноутбук просто становится экраном с клавиатурой и камерой.

Виртуальная и дополненная реальность. Индустрия развлечений всегда была локомотивом развития бытовой электроники. Самые высокие требования к производительности предъявляются потребителями игровых приставок. Наиболее продвинутыми, но менее распространенными технологиями в игровом мире явля

Тактильный интернет (TI) – это передача тактильных ощущений на любом расстоянии с минимальной, почти незаметной задержкой. Название технологии было предложено в Дрезденском технологическом университете, где в 2012 году началась работа по созданию роботизированных систем, которые могут передавать чувства дистанционно.

БПЛА (беспилотные летательные аппараты) - область, которая требует малые задержки. Сегодня никто не удивит вас легкими беспилотными роботами различного назначения - от развлечений до специализированных военных беспилотников. С их помощью они снимают захватывающие видео, исследуют окрестности, спасают людей, перевозят товары и т.д. Но почти все они контролируются непосредственно человеком, который имеет прямой беспроводной надежный контакт на нелицензионной частоте.

## 1.9 Архитектура опорной сети 5G

Особенностью сетевой архитектуры 5G является то, что традиционная концепция «сетевой архитектуры», основанная на аппаратных решениях в сети 5G, больше не актуальна. Поэтому 5G часто называют не сетью, а системой или «платформой», под которой подразумевается программная платформа, а не аппаратная платформа. Если сети 1/2/3/4G строились на основе аппаратных решений (устройств), то платформа 5G строилась на основе программных решений, в частности программных сетей Defined Network (SDN), а также виртуализации сетевых функций NFV (Network Function). виртуализация).

Функции 5G реализуются в виртуальной сетевой функции (VNF), которые работают в инфраструктуре NFV. Разница между этими похожими по звучанию концепциями заключается в том, что VNF - это функция, а NFV - это технология. NFV, с другой стороны, внедряется в инфраструктуру физического центра обработки данных (DC) на основе стандартного коммерческого оборудования (COTS). Оборудование COTS содержит только три типа относительно недорогих устройств - сервер, коммутатор и система хранения.

Так оборудование традиционных сетей мобильной связи заменяется программными объектами, работающими в центрах обработки данных на стандартных серверах и виртуальных машинах.

В дополнение к виртуальным машинам программные контейнеры (containers), а также программная архитектура микросервисов будут использоваться для реализации программных функций.

Архитектура сети распределенного мобильного доступа (D-RAN) в сетях 4G постепенно превращается в архитектуру централизованной C-RAN (централизованной RAN).

В архитектуре 5G основные сетевые функции реализованы в центральном облаке (Cloud RAN) на виртуальных машинах. Важную роль в развитии сетей 5G будут играть технология Edge Cloud, технология MEC (Mobile Edge Cloud), а также «облачное облако» (Fog Cloud)[3].

Виртуализация сети на основе NFV / SDN также важна для очень полезной сети 5G: сетевой нарезки (Network Slicing).



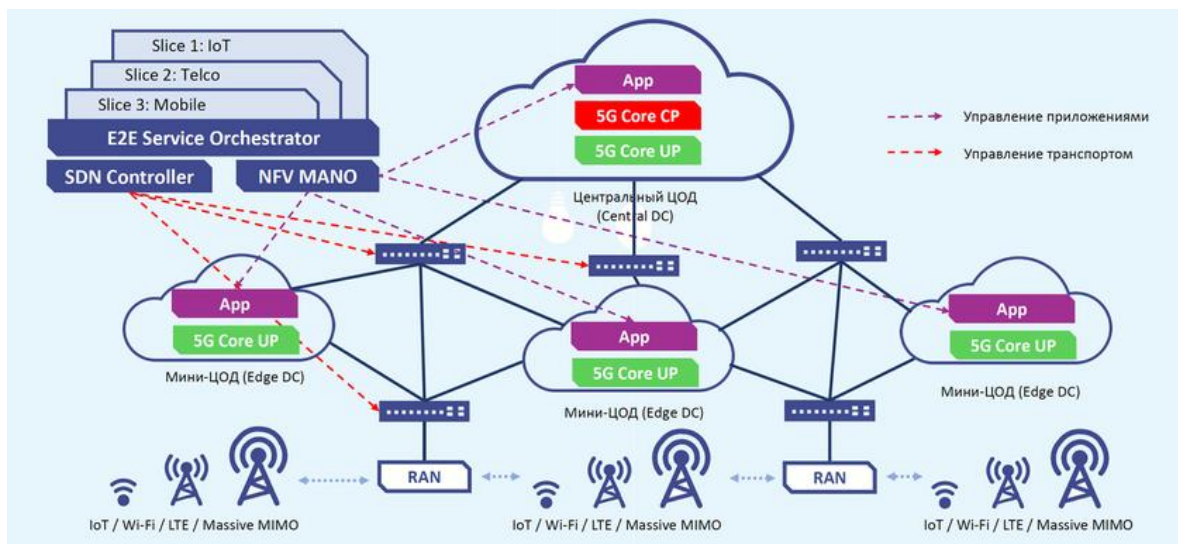


Рисунок 1.6 - Общая архитектура сети 5G.

Технология разделения сети (Network Slicing) позволяет на основе единого интегрированного сетевого ресурса выполнять логическое разделение сети для разных типов услуг 5G, для которых требуются разные технологии радиодоступа RAT с разными свойствами среды передачи данных. Например таких услуг как:

- Высококачественное видео UHD
- Голосовые услуги (5G Voice)
- Интернет вещей с большим количеством датчиков, сенсоров.

Все эти сервисы, основанные на технологии Network Slicing, работают в единой физической инфраструктуре центральных и пограничных облачных центров обработки данных, а также в «туманной» инфраструктуре (Fog Computing), которая необходима для Massive IoT и промышленного интернета вещей [7].

Это позволяет повторно использовать ранее созданную аппаратную и программную инфраструктуру, а также гибко перераспределять имеющиеся у нее ресурсы. Кроме того, такой подход позволяет снизить не только инвестиционные затраты на построение сети, но и эксплуатационные расходы на ее обслуживание.

Ключевые принципы сетевой архитектуры 5G:

Разделение узлов сети на элементы, обеспечивающие работу протоколов «плоскости пользователя» (UP), и элементы, обеспечивающие работу протоколов «плоскости управления» (CP), что значительно повышает гибкость в плане масштабирования и развертывания.

Разделение сети на основе услуг, предоставляемых определенным группам конечных пользователей.

Реализация сетевых элементов в режиме виртуальной сети - VNF (Virtual Network Functions).



Поддержка одновременного доступа к централизованным и локальным сервисам, что позволяет реализовать концепции облачных вычислений (fog computing) и пограничных вычислений (edge computing).

Определение конвергентной архитектуры, которая объединяет различные типы сетей доступа (AN - Access Network) - 3GPP (NR), а не 3GPP (WiFi и т.д.) с единой базовой сетью (CN - Core Network).

Поддержка унифицированных алгоритмов и процедур аутентификации (независимо от типа сети доступа).

Поддержка сетевых функций без сохранения состояния, где вычислительный ресурс отделен от ресурса хранилища.

Поддержка роуминга с маршрутизацией трафика через домашнюю сеть (Home routed), так и с локальным приземлением (Local breakout) в гостевой сети (VPLMN).

## **2 Планирование и проектирование сети 5G города Алматы**

### **2.1 Ключевые задачи при моделировании сети**

Перед началом развертывания коммерческой сети требуется обширное и эффективное моделирование сети. Целью моделирования сети является решение следующих ключевых задач:

- Необходимо решить задачу частотно территориального планирования, чтобы обеспечить минимальное количество межсистемных помех, при максимальной зоне обслуживания, обеспечивая требуемое качество передачи информации и ЭМС с существующим радиооборудованием;

- Проверить характеристики имеющейся сети;

- Оптимизировать методы преобразования и передачи информации по будущей сети;

- Оптимизировать параметры устройств, работающих в этой сети.

Для решения вышеупомянутых проблем моделирования беспроводной сети необходимы следующие исходные данные:

- карта местности, необходимая для адекватного описания условий распространения сигнала в рассматриваемом регионе при использовании модели в автоматизированных компьютерных системах;

- информация о распределении абонентов (трафика) в оцениваемой области и их характеристиках (удельной Эрланговой нагрузке), аналитически определенная или представленная в формате взаимозаменяемых картографических данных;

- технические характеристики будущей сети (технологии передачи и обработки информации, диапазон частот, требуемый уровень ОСШ и т. д.), зависящие от используемого стандарта;

- характеристики будущего оборудования;

- Координаты и технические характеристики радиооборудования, работающего в рассматриваемом регионе, необходимого для расчета показателей ЭМС, спроектированных и эксплуатируемых в этом регионе сетей.

### **2.2 Современные подходы к планированию сетей 5G**

Проектирование сети 5G отличается от процессов проектирования предыдущих стандартов. Дело в том, что оборудование для 5G, а так же и сама архитектура сети значительно меняется. Как говорилось ранее, 5G становится более виртуальной, чем аппаратной. То есть даже сам процес обработки данных в дата центре меняется[6].

Создание максимально возможной зоны покрытия при этом обеспечивая требуемую емкость сети - являются основным подходом к проектированию сети

следующего поколения на ранних стадиях развития. Эти поставлены задачи зачастую являются противоречивыми друг-другу. Так например в городе с плотной застройкой, покрытие сети намного меньше, чем они должны быть, но при этом сохраняется хорошая пропускная способность. А в пригородной зоне всё наоборот, зона покрытия больше и покрывают большие территории, но пропускная способность значительно ниже.

На сегодня существует несколько подходов к планированию сети 5G:

1. Планирование сети "с нуля": сеть разворачивается в новой области, без опоры на существующие сети (4G). Такие сети называются автономными. В Казахстане такой подход нецелесообразен из-за его обширной территории.

2. Сеть 5G строится постепенно с максимальным использованием существующих сетей 4G (посредством модернизации). В этом случае целесообразно установить первые базовые станции 5G, в местах где сеть 4G не справляется с обслуживанием трафика и решать проблему не покрытия, а прежде всего, наращивания емкости сети. Учитывая, что использование этого подхода требует меньших инвестиций, это оптимальный выбор для рынка в Казахстане.

3. Сеть 5G строится с использованием инфраструктуры существующей сети 3G путем замены базовых станций 3G / HSPA (также программного обеспечения в них) на 5G и соответственно, укрепления транспортной инфраструктуры (посредством модернизации). Это дорогое решение, требующее значительных разовых инвестиций. Этот вариант также рассматривается, так как важность сети 3G снижается с каждым годом, и многие страны объявили о своем намерении отказаться сети третьего поколения.

4. Создание единого оператора 5G на всю страну. Его можно создать по подходу 1 или 2, если есть такая возможность и финансирование. Всем действующим операторам предоставляется возможность продавать услуги этого «перевозчика». Здесь есть ряд минусов:

- Не готово законодательство;
- Не задействован механизм конкуренции, а значит, себестоимость проекта и цены на его услуги могут оказаться слишком высокими;
- Нет стимулов к развитию.

5. Совместное строительство сетей 5G несколькими операторами. Этот подход означает, что государство выдает лицензии и частоты при условии, что каждая или несколько таких лицензий предназначены для совместного использования двумя или более операторами. Подобные примеры существуют за рубежом. Этот метод наиболее вероятен, потому что инвестиции в этот проект огромны, и этот метод поможет операторам сократить расходы в три раза.

Проектирование сети включает в себя следующие этапы:

- подготовительный этап, на нём происходит сбор информации о планируемой сети, то есть емкость будущей сети, зона покрытия, подготавливаются необходимые ресурсы и производят моделирование.

- Номинальное и детальное планирование, которое включает выбор и использование различных методов планирования. Он включает в себя настройку модели распределения, определение пороговых значений из запланированного ресурса, создание подробного плана радиосети на основе пороговых значений, проверку скорости передачи с более подробной оценкой трафика, настройки планирования, параметры планирования gNB;

- определение ключевых показателей эффективности и параметров планирования использования параметров и счетчиков gNB, которые определяют эффективность ключевых показателей и целей на основе поставщика оборудования, контроль ключевых показателей эффективности и целей посредством планирования, а также оптимизация до и после запуска сети.

### **2.3 Перспективы модернизации сетей связи от LTE к 5G**

Как уже упоминалось, современные сети 4G не соответствуют требованиям, изложенные в новых сценариях применения. Помимо плотности соединения, ширины полосы радиосвязи и т.д., задержки в сетях 4G относительно велики. Задержки состоят из задержек в части радиосвязи и в части инфраструктуры, и сегодня достигают десятков миллисекунд. В долгосрочной перспективе для полноценных сетей 5G, включая поддержку Slicing и URLLC, потребуется новая сетевая инфраструктура NGCN (конвергентная сеть следующего поколения) и обновление сети радиодоступа.

Консорциум 3GPP изначально учел сложность развертывания новых сетей и принял на вооружение сценарии перехода от стандартной конфигурации LTE сетей к 5G. Внедрение 5G предлагается сначала проводить поверх существующей инфраструктуры LTE EPC в режиме NSA (Non-Standalone), как это делали операторы сотовой связи весь 2019 год. В такой конфигурации задержки на радиочасти сократятся, но виду ограничений LTE ядра EPC, общий показатель задержки будет далек от требований URLLC. Главный смысл такой конфигурации в другом — в радиочасти мы получим значительное повышение пропускной способности достаточных для большинства существующих приложений eMBB, а также стабильность соединения при большом количестве подключившихся абонентов на одну базовую станцию.

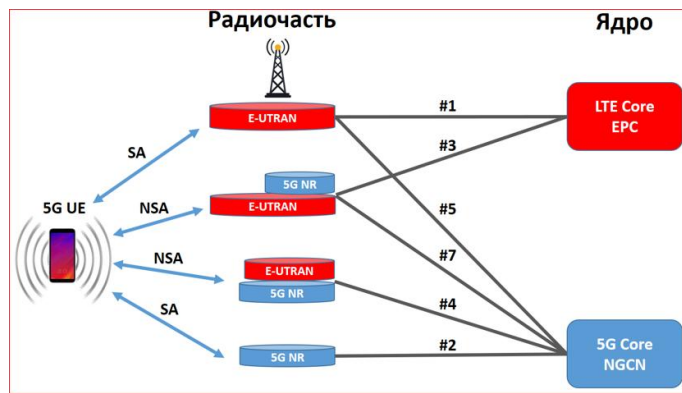


Рисунок 2.1 - Сценарии построения, начального и промежуточного этапов

Начальная модель NSA направлена на улучшение качества мобильного широкополосного интернета для повышения надёжности и объёма передаваемых данных путём использования подключения в режиме EN-DC (E-UTRAN New Radio — Dual Connectivity). Пользовательские терминалы, поддерживающие EN-DC, могут одновременно подключаться к базовым станциям LTE и 5G, при этом базовая станция LTE является якорной (требуется модернизация до ng-eNB, или new generation eNB). Пользовательский терминал (UE) изначально регистрируется в сети через E-UTRAN на низких частотах (<2 ГГц) и начинает транслировать в сеть результаты измерений, выполняемых на сети радиодоступа 5G-NR. При удовлетворительном «качестве радиосигнала» 5G базовая станция LTE ng-eNB инициирует запрос к базовой станции 5G gNB на выделение UE сетевых ресурсов. По завершении процедуры UE подключается одновременно к базовым станциям LTE ng-eNB и 5G gNB. Конечно, зона охвата базовой станции 5G будет значительно уже LTE, т.к. высокочастотный сигнал миллиметрового диапазона имеет больший коэффициент затухания.

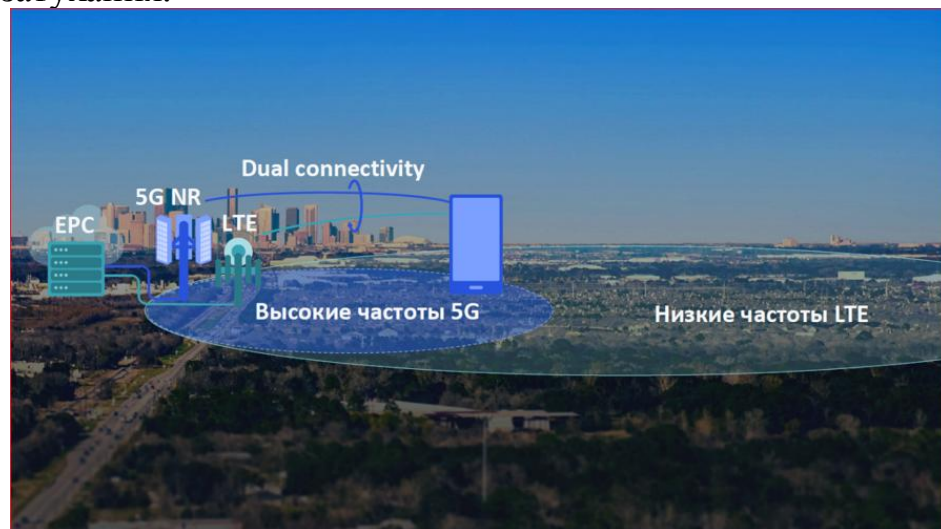


Рисунок 2.2 Подключение UE к LTE ng-eNB и 5G gNB в режиме EN-DC

Далее, посредством комбинированных базовых станций LTE+5G-NR можно осуществить расширение зоны покрытия 5G за счет применения технологии DSS (Dynamic Spectrum Sharing, динамическое разделение спектра), когда нижний диапазон частот E-UTRAN (<2 ГГц) делится динамически с 5G-NR. До внедрения операторами ядра 5G сети смогут работать вот таким образом.



Рисунок 2.3 - Расширение зоны покрытия 5G за счет низких частот LTE

Далее от этапа #3, когда операторы сотовой связи интегрируют ядро 5G NGCN, они могут переходить к целевому и финальному режиму SA (опции #2 и #5), когда используется одна технология радиодоступа – либо E-UTRAN, либо 5G-NR. Ниже представлен финальный вид сети 5G, способной предоставлять услуги URLLC.

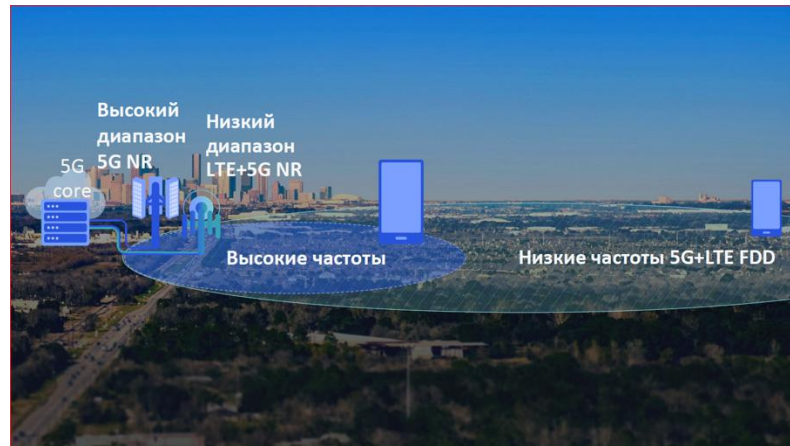


Рисунок 2.4 Финальный вид сети 5G

Для удовлетворения растущей потребности eMBB можно задействовать средние частоты (2 ГГц-7 ГГц), увеличив таким образом скорости передачи данных, в том числе и за счет агрегации частот. Ниже частота – больше покрытие, но и меньше ширина канала. Однако есть способ увеличить покрытие сохраняя высокую скорость выгрузки при помощи дополнительного канала линии вверх (SUL, Supplementary Uplink). Как это работает? На рисунке ниже показано, как «парному»

(UL/DL) радиоресурсу из средних частот для UE назначается дополнительный непарный канал линии «вверх» (SUL) из низких частот. Тогда в одной соте UE получает 1xDL (средние частоты) и 2xUL (низкие и средние частоты) канала, использование которых будет контролироваться сетью. В этом случае, на границе соты в DL-канале используется среднечастотный сигнал с повышенной мощностью из «парного» диапазона, а в UL-канале – низкочастотный сигнал в непарном SUL диапазоне. В итоге базовая станция «видит» UE на более дальних расстояниях, а скорость скачивания сохраняется как с применением средних частот.

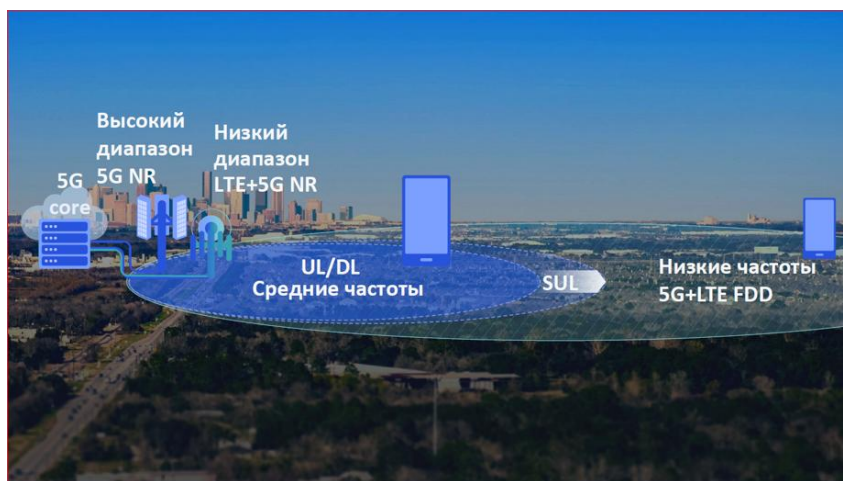


Рисунок 2.5 - Расширение покрытия средних частот за счет непарного канала

## 2.4 Частоты, используемые для 5G в Казахстане

В отличие от предыдущих поколений 3G / 4G, которые почти полностью сосредоточены на модели домашнего потребления, мы ожидаем совершенно новый набор принципиально новых функций из стандарта 5G: высокую скорость передачи данных, высокую плотность устройств на квадратный километр и низкую задержку.

Параметры новой сети очень серьезны и требуют более высоких частот: для первоначального запуска называется частоты 3,6 - 3,7 ГГц и миллиметровые волны - 27,5 - 28,3 ГГц. И здесь, идут разговоры об армии, которая явно не торопится расставаться с этими частотами, есть чисто количественная проблема. Чтобы обеспечить покрытие 5G, которое является общим и характерным для сетей 3G / 4G, необходимо построить в 3-5 раз больше базовых станций, не говоря уже об остальной инфраструктуре, такой как центры обработки данных, нагрузка на которых увеличится в десятки раз.

Зарина Кажмаганбетова, менеджер группы ИТ-консультирования в KPMG Казахстане и Центральной Азии, оценивает, что стоимость первоначального запуска 5G в Алматы составит примерно 35 миллиардов тенге. Таким образом, в случае



построения сети для каждого оператора в отдельности, общая стоимость покрытия Алматы может быть приблизительно оценена в диапазоне от 25 до 40 миллиардов тенге.

## 2.5 Выбор сетевой архитектуры Non-Standalone либо Standalone

В начале развертывания 5G, когда операторы выбирают сетевую архитектуру 5G, они сталкиваются с выбором между архитектурами NSA или SA. В дополнение к изучению самой архитектуры сети, операторы также заинтересованы в том, могут ли NSA и терминал SA иметь доступ к сети 5G одновременно.

С точки зрения сети, сеть радиодоступа определяет полный стандартный интерфейс к базовой сети 3GPP. Базовая станция 5G поддерживает архитектуры NSA и SA. Одна и та же базовая сетевая платформа может поддерживать 4G EPC и 5G Core одновременно. В результате, NSA или SA больше не являются дилеммой для операторов. Одна и та же сеть 5G, две архитектуры гармонично сосуществуют, и базовая станция NSA может быть легко обновлена до базовой станции SA посредством обновлений программного обеспечения.

По словам Зарины Кажмаганбетовой: «Следует отметить, что с точки зрения операционной эффективности мобильные операторы могут считать автономный режим (SA) более приемлемым для реализации, поскольку в этом случае архитектура выглядит проще. С другой стороны, несмотря на недавнюю положительную динамику в пользу выбора режима SA из китайских и глобальных операторов, есть также несколько операторов, которые предпочитают режим NSA. «Для некоторых операторов это решение основано на преимуществе времени выхода на рынок и возможности развертывания 5G как можно скорее. Для других этот вариант также тесно связан со стоимостью, поскольку по определению режим NSA - это радиосвязь 5G с базовыми сетями LTE, которая, по крайней мере на начальном этапе, экономит затраты на построение базовой сети».

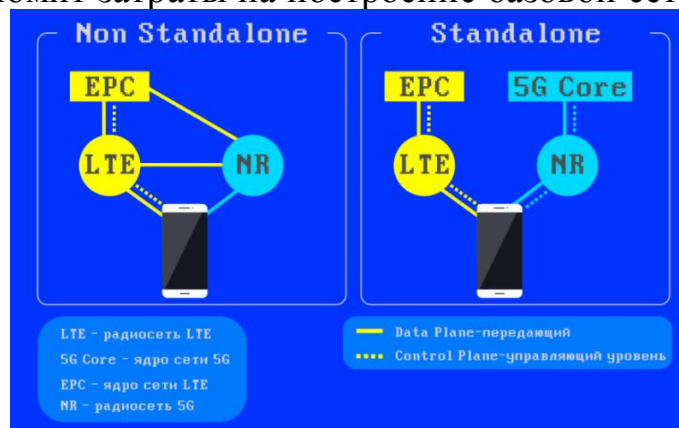


Рисунок 2.6 Сетевые архитектуры



Таким образом, наиболее реалистичным сценарием в Казахстане является Non-Standalone 5G, когда компании используют существующие базовые станции LTE, чтобы начать развертывание сетей пятого поколения.

Тестирование 5G в Казахстане началось на Международной выставке Mobile World Congress 2019 (Барселона), в ходе которой Казахтелеком и Эрикссон достигли соглашения о тестировании и подписали меморандум о взаимопонимании. Первая демонстрация прошла в Нур-Султане в рамках Астанинского экономического форума. Тестирование проводилось в диапазоне частот 3,6 - 3,8 ГГц. Демонстрация также продемонстрировала работу линейного оборудования Ericsson Radio Systems в диапазоне радиочастот 27,5–28,3 ГГц с шириной канала 800 МГц. По результатам теста были достигнуты максимальные скорости до 15 Гбит / с на устройство.

## **2.6 Основные трудности, связанные с развертыванием сетей 5G**

В этом разделе рассматриваются основные трудности, с которыми сталкиваются операторы связи при развертывании сетей 5G. Особое внимание уделяется тому, как правильное регулирование и государственная политика могут помочь операторам мобильных сетей развернуть небольшие соты и оптоволоконные транзитные соединения, а также наилучшим образом использовать спектр.

Основные проблемы:

Проблемы с развертывания малых сот. Политика регулирующих органов и местных властей препятствует развертыванию малых сот и накладывает несоразмерные административные и финансовые обязательства на операторов, что затрудняет инвестиции. Эти ограничения включают длительные процедуры разрешений, длительные процедуры закупок, чрезмерные сборы и устаревшие правила, которые ограничивают доступ. Эти проблемы подробно описаны ниже:

- Процедуры выдачи разрешений и планирования на местах.
- Длительные процедуры переговоров и организации закупок.
- Высокие сборы и плата за доступ к уличному оборудованию.
- Доступ и права в соответствии с кодексом.

Многие из этих местных норм и правил препятствуют быстрому и экономически эффективному развертыванию small cells в центральной части города, где, как ожидается, услуги 5G будут пользоваться наибольшим спросом.

Волоконные транзитные линии. Развертывание транзитных оптических сетей для small cells, поддерживающих высокие скорости передачи данных и короткие задержки, является одной из основных проблем, с которыми операторы столкнутся из-за отсутствия таких сетей во многих городах.

Основное решение: Для облегчения развертывания сетей 5G государственные органы могут рассмотреть возможность снижения налоговой нагрузки с целью

снижения инвестиционных затрат, связанных с развёртыванием волоконно-оптических линий связи.

Спектр. Координация усилий мирового сообщества, региональных организаций электросвязи и НРО необходима для выявления и распределения спектра, согласованного на глобальном уровне. Для НРО это представляет собой одну из самых серьезных проблем для успешного развёртывания сетей 5G. Гармонизированное распределение имеет много преимуществ, поскольку сводит к минимуму радиопомехи вдоль границ, облегчает международный роуминг и снижает стоимость оборудования. Такая общая координация является важной ролью МСЭ-R во время Всемирных конференций радиосвязи (ВКР).

Также следует рассмотреть возможность более эффективного совместного использования существующего спектра. Национальные регуляторы традиционно предоставляют спектр операторам мобильной связи в исключительных случаях. Однако, учитывая растущий спрос на частоты, одним из способов повышения эффективности использования доступного спектра может быть его совместное использование.

Ключевое решение: чтобы максимизировать использование доступного спектра, политикам следует рассмотреть возможность использования спектра, согласованного на глобальном уровне.

## **2.7 Модернизация оборудования для базовой станции**

Традиционный подход требует добавления новых антенных и радиочастотных модулей всякий раз, когда появляются новые полосы. Такой режим часто приводит к большим нагрузкам на вышки, высокой арендной плате и сложному техническому обслуживанию, не оставляя места для добавления полосы, либо развёртывание 4T4R и Massive MIMO. Альтернативное решение разработано, чтобы помочь удовлетворить требования построения сети 5G[8].

Решение этой проблемы представила компания Huawei, под названием универсальная пассивная антенна. Одна антенна может поддержать все частотные диапазоны менее 3 ГГц и высокочастотный диапазон 4T4R. Сайт станет проще, башни будут свободны от тяжелых оборудования, и больше места может быть зарезервировано для будущего дополнения. Когда дело доходит до развёртывания 5G, всем операторам для этого нужно просто добавить антенны 5G в зарезервированное пространство на монтажных опорах.



Рисунок 2.7 Модернизация антенны

После включения передовых решений, таких как 4T4R, 8T8R или Massive MIMO, антенны, радиочастота (RF) модули и другое оборудование 4G готовы к 5G-ориентированной эволюции. С помощью нескольких простых дополнительных шагов, соты будут полностью 5G совместимыми. Этот плавный процесс эволюции характеризуется низкой потребностью в оборудовании, сниженными затратами и сокращением площадок операционных расходов (OPEX).

Новейшие многомодовые базовые станции Huawei BTS5900 / DBS5900 поддерживают 5G NR, 4T4R и Massive MIMO. Когда речь идет о развертывания 5G, операторам нужно просто добавить новые платы 5G NR и модернизировать программное обеспечение, делая «one plug-in, all 5G» реальностью.



Рисунок 2.8 Модернизация сайта и необходимое оборудование

Ведущие в отрасли радиочастотные модули серии 5000 оснащены инновационной радиоплатформой и многоантенными технологиями, которые отличаются высокой производительностью и низким энергопотреблением. Один из модулей низкочастотного диапазона поддерживает частоту ниже 1 ГГц (от 700 до 900 МГц) и имеет 2T4R в качестве базовой конфигурации. Другой поддерживает от 1 до 3 ГГц и поддерживает 4T4R конфигурация (несколько блейд-блоков RRU или

многоканальные модули). Новая платформа серии 5000 может быть легко развернута без каких либо трудностей.

## 2.8 Готовые модели сот

С быстрым развитием услуг подвижной широкополосной связи и непрерывным развитием сети, больше частотных полос и сайтов обязаны предоставлять услуги и отвечать требованиям повсеместного охвата и интенсивного трафика. Однако традиционный подход к развертыванию дополнительного макросайта сталкивается со сложностями, а именно сложными процедурами утверждения и высоким OPEX. Это влияет на скорость развертывания сайта, в следствии чего не может удовлетворить требования растущего сервиса. Например, приобретение участка в некоторых районах обычно может занять от двух до шести месяцев, при этом продолжительность строительства сайта составляет 12 месяцев. Общие затраты на строительство, энергию и аренду площадки могут составлять до 55% от общей стоимости владение.

TubeStar, PoleStar и RuralStar реконструируют совокупную стоимость владения соты и обеспечивают экономичное развертывание сайта в различных сценариях. Эти новые решения для сайта помогают операторам снизить сложность приобретения, снизить затраты на строительство и аренду и решить проблему энергоснабжения. Эти решения эффективно обеспечивают базовое покрытие и отличный пользовательский опыт для увеличения емкости сети и количества пользователей[11].

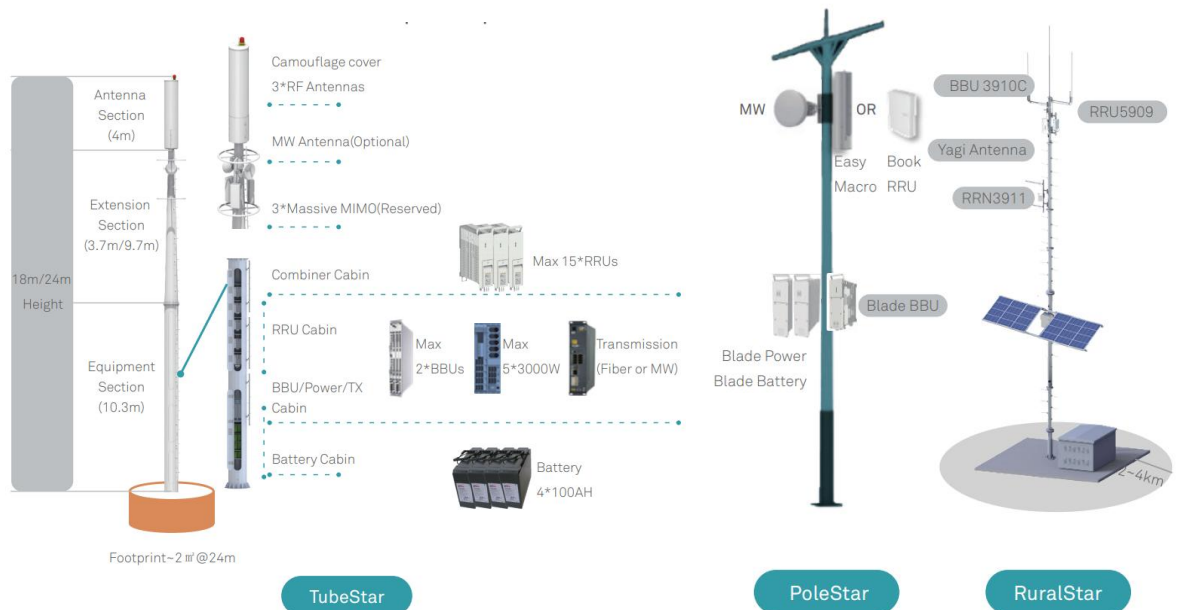


Рисунок 2.9 – TubeStar, PoleStar и RuralStar

TubeStar – это решение позволяет интегрировать трубу со шкафом с диаметром дна 800 мм и встроенное основное оборудование. Шкаф большой емкости может поддерживать от пяти до семи полос частот. Площадь постройки уменьшается с 30–100 м<sup>2</sup> до 2 м<sup>2</sup>, а срок приобретения участка сокращается с шести до двух месяцев. 5-летняя совокупная стоимость владения может быть уменьшена на 30%. Кроме того, порты Massive MIMO evolution и кабины расширения 8T8R зарезервированы для дальнейшей поддержки 5G сети.

PoleStar – это решение для монтажа на полюсах применимо к повторно используемым полюсам, новым полюсам и площадкам агрегации. Это решение разделяет трафик, улучшает глубокое покрытие, увеличивает покрытие в горячих точках и заполняет дыры в покрытии (совокупная стоимость владения снижена на 40%).

RuralStar – это решение отвечает требованиям для низких затрат и точного покрытия в отдаленных сельских районах. Использует холостые LTE Спектр в сельской местности и передача ретранслятора без прямой видимости (NLOS) для преобразования установленных на башне участков в площадки на столбах, обеспечивающие широкий и точный охват отдаленных деревень. TCO может быть уменьшена на 30%, ROI получены в течение трех лет в деревне с около 2000 человек.

## **2.9 Технология покрытия 5G сети внутри помещения**

Согласно исследованиям, проведенные компанией Ericsson, более 70 процентов глобального трафика мобильной широкополосной связи (MBB) происходит внутри помещений. Поэтому автоматизация промышленного производства сделала замену проводных соединений беспроводными технологиями приоритетом. В связи с этим создание цифровой мобильные сети внутри помещений становится все более важным с приходом 5G[10].

При построении 5G сети появляется проблема с проникновением наружных макро-радиосигналов внутрь здания, поэтому была придумана концепция построения 5G сети на основе распределенных антенных систем(DAS), то есть получения маленьких сот внутри здания. По мере развития сетей до 5G небольшие ячейки будут играть большую роль в удовлетворении спроса на передачу голоса и данных внутри помещений. Технология DAS не является новой. Она была успешно применена в 4G, но с прогрессом и увеличением трафика данная сеть уже не справляется с обеспечением нужной емкости скорости сети.

На рынке имеется уже очень большое количество устройств способных организовать данную сеть. Лидерами в организации сетей 5G сетей внутри здания является компании Ericsson и Huawei со своими технологиями Radio Dot и 5G LampSite соответственно. Они позволяют повторно использовать существующую

инфраструктуру внутренней сети при переходе с 4G на 5G. Эти технологии можно использовать в различных сферах, таких как интеллектуальное производство, интеллектуальные больницы, интеллектуальные транспортные средства и интеллектуальные склады. Это поможет предприятиям ускорить интеллектуальное развитие и содействовать цифровой трансформации.

Например, если сетевые соединения требуют надежности 99,999% и сверхнизкой задержки. Огромное количество устройств в ограниченном пространстве требует одновременного доступа и определения местоположения в реальном времени. Приложения предназначены для промышленных терминалов, работающих в основном в помещениях предприятий. Обеспечение покрытия внутренней сети 5G при одновременном удовлетворении разнообразных промышленных требований уже стало насущным требованием.

Данные технологии обеспечивает пять основных функций 5G: сверхширокополосная связь внутри помещений, точное определение местоположения внутри помещений, сверхнизкая задержка промышленного уровня, сверхнадежность внутри помещений и плотный параллелизм промышленного уровня. В связи с чем они позволят предприятиям сократить расходы, связанные с развертыванием отраслевых приложений, направленных на повышение эффективности производства и управления.

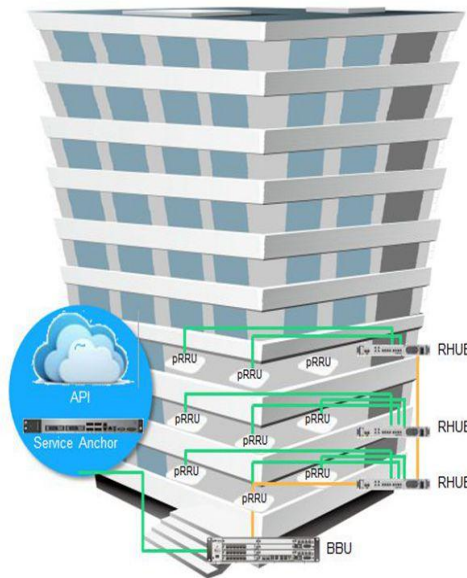


Рисунок 2.10 Схема соединения сети Indoor

Данная сеть была уже успешно протестированная в Китае. Система была развернута в одном из зданий Пекина и поддерживает совместное использование сетей между China Unicom Beijing и China Telecom Beijing, обеспечивая скорость нисходящей линии связи 3,4 Гбит/с на одну станцию. Модуль 5G LampSite обеспечивает сверхширокополосность 300 МГц между 3,3 и 3,6 ГГц спектром С-диапазона и многоантенной технологией 4T4R, которая, как утверждается,

увеличивает пропускную способность мобильной сети в три раза. Так же продукт поддерживает совместное использование сети между операторами, что позволит быстро построить сеть 5G в сценариях с интенсивным трафиком

### **2.9.1 Основные достоинства технологий Radio Dot и 5G LampSite**

Высокая производительность и огромная емкость. LampSite позволяет нескольким pRRU обслуживать одну соту, причем каждая сота индивидуально обслуживается каждым pRRU, имеющим одинаковый физический идентификатор соты, что увеличивает RSRP и SINR нисходящей линии связи. LampSite отдельно демодулирует сигналы от нескольких pRRU, а затем объединяет сигналы в BBU без увеличения фонового шума, чтобы обеспечить лучшую производительность и прием по восходящей линии связи через DAS.

E2E O & M – LampSite поддерживает управление сетью уровня pRRU, что позволяет пользователям получать точную статистику передачи обслуживания в режиме реального времени, потери вызовов и показания рабочего состояния NE в сети. LampSite может совместно использовать NMS с макросетями для снижения затрат на эксплуатацию и обслуживание.

Большая емкость и простое расширение емкости. Внутренний цифровой LampSite поддерживает сверхбольшую емкость и способствует расширению емкости ячейки с помощью программного обеспечения.

Простота развертывания и обслуживания. Простая и понятная архитектура цифровой системы E2E поддерживает сетевые кабели, а также оптические и электрические композитные кабели. Он может быть быстро развернут и поддерживает визуализацию.

Легкая Эволюция. Цифровое решение LampSite поддерживает головку с несколькими RAT и может быть обновлено до 5G C-Band посредством обновления программного обеспечения.

### **2.9.2 Оборудование для организации сети внутри помещения**

Для построения сети внутри здания имеются два сценария. Первый сценарий – это решение для одного оператора, предназначенное для крупномасштабных сетевых сценариев с интенсивным движением внутри и снаружи помещений. Второй сценарий ориентирован на совместное построение и совместное использование несколькими операторами для эффективного решения проблем доступа и улучшения инвестиций. LampSite Sharing также предоставляет возможности оцифровки в помещениях для визуализации O & M и потребностей



большой емкости различных бизнес-моделей операторов / владельцев. Оба сценария очень похожи, но отличаются лишь наличием во втором случае блока DCU и hRRU.

Базовая станция на основе технологий LampSite и Radio Dot состоит из блока обработки основной полосы частот (BBU), удаленной радиоголовки Pico RRU (pRRU), блок конвергенции больших данных RRU HUB (RHUB), мультиоператорского блока доступа DCU, мощного удалённого радиоблока hRRU. Все блоки соединяются между собой при помощи Ethernet CAT6A и оптического кабеля[9].

Блок обработки основной полосы частот (BBU) – обеспечивает централизованное управление эксплуатацией и обслуживанием, а также обработку сигнализации всей системы базовой станции и обеспечивает опорный сигнал синхронизации.

Удаленный радиоголовка Pico (pRRU) – обрабатывает радиочастотные сигналы. Он обеспечивает следующие функции:

- Модулирует сигналы основной полосы частот в полосе частот передачи, фильтрует и усиливает эти сигналы и отправляет их на антенну для передачи.
- Принимает радиочастотные сигналы от антенн, фильтрует и усиливает эти сигналы, преобразует сигналы с понижением частоты, преобразует их в цифровые и отправляет их в BBU для обработки.
- Передает данные CPRI через кабели Ethernet или оптоволокно.
- Использует внутренние антенны.
- Поддержка PoE и DC питания.
- Поддерживает гибкую настройку для многорежимной многополосной работы.

Блок конвергенции больших данных RRU HUB (RHUB) – объединяет данные CPRI от удаленных радиочастотных модулей и обеспечивает следующие функции:

- Работает с DCU и pRRU для обеспечения покрытия внутри помещений.
- Получает данные нисходящей линии связи от BBU / DCU и перенаправляет данные в pRRU, а также передает данные восходящей линии связи pRRU в BBU / DCU.
- Обеспечивает питание для pRRU с использованием PoE.



Рисунок 2.11 Оборудования для БС одного оператора



Мощный удалённый радиоблок hRRU – объединяет данные CPRI от удаленных радиочастотных модулей и обеспечивает следующие функции:

- Работает с DCU и pRRU для обеспечения покрытия внутри помещений.
- Получает данные нисходящей линии связи от BBU / DCU и перенаправляет данные в pRRU, а также передает данные восходящей линии связи pRRU в BBU / DCU.
- Обеспечивает питание для pRRU через встроенные цепи постоянного тока и кабели постоянного тока.
- Поддерживает оптоволоконные соединения с pRRU.

Мультиоператорский блок доступа DCU - обеспечивает доступ к радиочастотам и доступ к BBU. Имеет следующие функции:

- Предоставляет порты для ввода РЧ сигнала.
- Преобразует радиочастотные сигналы в цифровые сигналы.
- Предоставляет доступ к нескольким BBU.
- Агрегирует данные и предоставляет порты для подключения оптических волокон к RHUB и hRRU.



Рисунок 2.12 Оборудования для БС нескольких операторов

## 2.10 Влияние 5G сетей на здоровье человека

С развитием технологий меняются модели бизнеса, он начинает адаптироваться к новому стандарту. Но технологии не всегда идут в пользу, и зачастую они могут принести не только пользу, но и вред для здоровья пользователя. С появлением технологии 5G вопрос влияние технологий на здоровье становится всё более актуальным.

Технология 4G существует на нашем рынке уже почти 10 лет. Запуск этой технологии дал возможность к качественному допуску к интернету. Большинство людей уже не может проводить время без своего гаджета с подключением к 4G сети. Наносит ли он вред здоровью человека? Если посмотреть с другой стороны,

беспроводные технологии наносит не такой большой вред, как другие факторы окружающей среды, а именно химические загрязнения воздуха, воды, продуктов питания.

Если рассмотреть электромагнитные волны, видно, что она состоит из двух существенных частей из неионизирующей радиации и ионизирующей. Неионизирующая радиация имеет не большое влияние на здоровье человека. Но с другой стороны у ЭМВ помимо частоты есть ещё и мощность. Она угасает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника излучения. Частота 5G сетей находятся в спектре частот между радио и микроволновкой. Поэтому они менее опасные чем такие повседневные вещи как загар в спа-салоне или той же самой солнечной ионизирующей радиации, которую получает человек при полёте на высоте 10000 км в самолёте, при этом корпус самолёта не защищает организм от этой радиации.

При воздействии новых технологий следует учитывать прямое воздействие 5G и комбинированное воздействие 5G с другими технологиями предыдущего поколения. Как уже упоминалось, количество базовых станций будет увеличиваться, а расстояние между ними уменьшаться. Таким образом, даже люди, которые не используют смартфоны, будут подвергаться воздействию миллиметрового излучения. Как показывают эксперименты, миллиметровое излучение не проникает дальше поверхностного слоя кожи. Поэтому даже теоретически будет сложно воздействовать на организм человека. Следовательно, влияние самой технологии 5G, несмотря на суммарное воздействие от всех базовых станций и оборудования, излучение будет меньше чем уже имеющее влияние частоты от стандарта 4G (и предыдущих поколений). Совместное воздействие всех технологий представляет большую опасность, поскольку все поколения будут работать вместе. В результате общее воздействие частотного излучения будет увеличиваться до тех пор, пока диапазоны предыдущих поколений не будут отключены. После чего общий частотный фон не превысит то, что мы имеем сегодня. Другое преимущество отключение предыдущих поколений, состоит в том, что в самом гаджете будет установлено меньше антенн для разных диапазонов. Допустимая мощность воздействия радиочастотного излучения в соответствии с международно признанными стандартами не может превышать 1,6 Вт / кг. И все производители телефонов пишут по своим характеристикам, что влияние их устройства меньше, чем эта цифра. Однако измерения проводятся в условиях отличных сигналов и на расстоянии от 10 до 15 миллиметров от поверхности кожи. Однако, если сигнал нестабилен (в лифте, в подвале, в зоне с плохим покрытием), излучение может возрасти в 6-7 раз. И люди, которые разговаривают по телефону возле уха подвержены большему влиянию чем те, кто разговаривает по громкой связи, положив телефон на стол. Как бы то ни было, любые технологические инновации действительно требуют повышенного внимания и осторожности при внедрении.

### 3 Оценка проектируемой сети 5G для г.Алматы

#### 3.1 Расчёт максимально допустимых потерь (МДП)

При построении сети, необходимо провести анализ сети, он начинается с расчёта максимально допустимых потерь на линии (МДП). МДП рассчитывается, как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) передатчика и минимальной мощностью сигнала на входе в приёмника, при этом учитываются все потери в канале связи, для обеспечения оптимальной демодуляции сигнала в приёмнике.



Рисунок 3.1 – Принцип расчета энергетического бюджета

Давайте возьмем БС, которая оснащена приемопередатчиком, выходная мощность передатчика составляет 100 Вт (50 дБм). Радиочастотный блок устанавливается в непосредственной близости от антенны. Рассчитаем энергетический бюджет для пользователя на краю ячейки, т.е. принимает сигналы от БС с низким отношением сигнал / шум (SNR) и в этом отношении передает сигналы в UE в режиме разнесенной передачи. В качестве пользовательского устройства считаем модем CPE с мощностью передатчика 23 дБм.

Расчет максимально допустимых потерь производится по формуле:

$$L_{MAPL} = P_{EIRP} - S_{RX} + G_{RXA} - L_{RXF} - M_{BUILD} - M_{INT} - M_{SHADE} + G_{HO} \quad (3.1)$$

Где:

- $P_{EIRP}$  – ЭИИМ передатчика, дБм;
- $S_{RX}$  – чувствительность приемника, дБм;
- $G_{RXA}$  – коэффициент усиления антенны приемника, дБм;
- $L_{RXF}$  – потери в фидерном тракте приемника, дБ;
- $M_{BUILD}$  – запас на проникновение сигнала в помещение, дБ;
- $M_{INT}$  – запас на внутрисистемные помехи, дБ;
- $M_{SHADE}$  – запас на затенение, дБ;
- $G_{HO}$  – выигрыш от хэндовера, дБ.

Запас на проникновение сигнала в помещение  $M_{BUILD}$ :

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

$M_{SHADE}$  – запас на затенение, дБ принимаем равным 8,7 дБ (для требуемой вероятности покрытия равной 95% и среднеквадратичного отклонения потерь на затенение 8дБ)

Размер запаса, для внутрисистемных помех  $M_{INT}$  характеризует увеличение мощности шума на входе приемника. Расчет предполагает, что запас для внутрисистемных помех в системе равен:

$$M_{INT} = -10 \lg(1 - \eta) \quad (3.2)$$

$$M_{INT} = -10 \lg(1 - 0.84) = 7.96$$

$$M_{INT} = -10 \lg(1 - 0.65) = 4.56$$

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

Запас на внутрисистемные помехи зависит от нагрузки на ячейку: чем больше допустимая нагрузка на ячейку, тем больше запас должен быть принят во внимание при расчете. Когда нагрузка увеличивается до 100%, диапазон помех стремится к бесконечности, а зона покрытия соты падает до нуля. Из двух значений TIR, полученных для UL и DL, выбирается минимум, в соответствии с которым выполняется дальнейший расчет радиуса действия базовой станции. Ограничительной линией для диапазона связи обычно является сборка (UL).

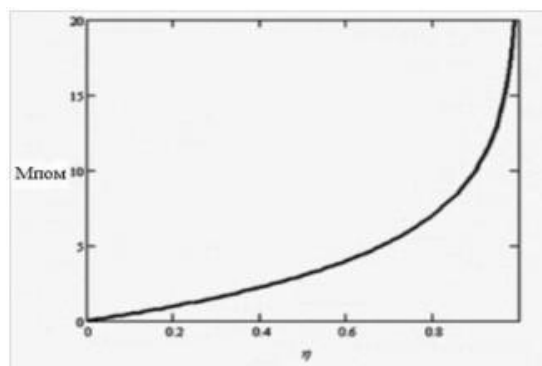


Рисунок 3.2. Зависимость запаса на внутрисистемные помехи от загрузки соты

Находим шумовую полосу приёмника по формуле:

$$B = N_{RB} \cdot \Delta f_k, \quad (3.3)$$

Где:

$N_{RB}$  – число выделенных ресурсных блоков;

$\Delta f_k$  – (радиоканал в сетях 5G определяется как ресурсный блок RB)

Подставляем значения:

$$B = 273 \cdot 30 \cdot 10^3 = 8.19 \cdot 10^6$$

$$B = 133 \cdot 30 \cdot 10^3 = 3.99 \cdot 10^6$$

Таблица 3.1 Максимальная полоса частот в зависимости от разноса между поднесущими

SCS (кГц)	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц	25 МГц	30 МГц	40 МГц	50 МГц	60 МГц	80 МГц	90 МГц	100 МГц
	$N_{RB}$											
15	25	52	79	106	133	160	216	270	-	-	-	-
30	11	24	38	51	65	78	106	133	162	217	245	273
60	-	11	18	24	31	38	51	65	79	107	121	135

Находим  $P_N$  (мощность теплового шума приемника, дБм)

$$P_N = 10 \lg(100kTB) \quad (3.4)$$

$$P_N = 10 \lg(100 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 8.19 \cdot 10^6) = -114.79,$$

$$P_N = 10 \lg(100 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 3.99 \cdot 10^6) = -117.92.$$

Чувствительность приемника  $S_{RX}$  определяется по формуле:

$$S_{RX} = P_N + M_{SNR} + L_N \quad (3.5)$$

Где:

$M_{SNR}$  - требуемое отношение сигнал/шум приемника, дБ;

$L_N$  – коэффициент шума приемника, дБ.

Подставляем наше значение:

$$S_{RX} = -114.79 + 7 + 7 = -100.79,$$

$$S_{RX} = -117.92 + 2 + 11.5 = -104.42,$$

Далее находим эффективную изотропно излучаемую мощность  $P_{TX}$ , дБм;

$$P_{EIRP} = P_{TX} + G_{TX.DIV} + G_{TXA} - L_{TXF} \quad (3.6)$$

Где:

$P_{TX}$  – выходная мощность передатчика, дБм;

$G_{TX.DIV}$  – выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ;

$G_{TXA}$  – коэффициент усиления антенны передатчика, дБи;

$L_{TXF}$  – потери в фидерном тракте передатчика, дБ.

Подставляем наше значение:

$$P_{EIRP}=50+3+18-0.4=70.6$$

$$P_{EIRP}=23+0+0-0=23$$

Рассчитываем максимально допустимые потери для линии DL и UL:

$$L_{MAPL}=70.6+100.79+0-0-22-7.96-8.7+0=132.73$$

$$L_{MAPL}=23+104.42+18-0.4-22-4.56-8.7+0=109.76$$

Таблица 3.2 Таблица данных

Обозначение	Параметр	TDD 100 МГц	
		3	4
1	2	DL	UL
<i>Линия</i>			
	Схема модуляции и кодирования	64QAM 1/2	32QAM 1/2
$P_{TX}$	Выходная мощность передатчика, дБм	50	23
$G_{TXDIV}$	Выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ	3	0
$G_{TXA}$	Коэффициент усиления передающей антенны, дБи	18	0
$L_{TXF}$	Потери в фидерном тракте передатчика, дБ	0,4	0
$P_{EIRP}$	ЭИИМ передатчика, дБм	70,6	23
$N_{RB}$	Число выделенных ресурсных блоков	273	133
$\Delta f_k$	Ширина РБ, кГц	30	
$P_N$	Мощность теплового шума приемника, дБм	-114,79	-117,92
$L_N$	Коэффициент шума приемника, дБ	7	2
$M_{SNR}$	Требуемое отношение сигнал/шум, дБ	7	11,5
$S_{RX}$	Чувствительность приемника, дБм	-100,79	-104,42
$G_{RXA}$	Коэффициент усиления приёмной антенны, дБи	0	18
$L_{RXF}$	Потери в фидерном тракте приёмника, дБ	0	0,4
$\eta$	Относительная загрузка соты	84%	65%
$M_{INT}$	Запас на внутрисистемные помехи, дБ	7,96	4,56
$M_{BUILD}$	Запас на проникновение сигнала в помещение/автомобиль, дБ	2 2	
$M_{SHADE}$	Запас на затенение, дБ	8.7	
$L_{MAPL}$	МДП на линии, дБ	132,73	109,76

Из двух значений МДП, полученных для линий DL и UL выбираем минимальное, чтобы вести последующие расчеты дальности связи и радиуса соты. Ограничивающей линией по дальности связи, как правило, является линия вверх.

### 3.2 Расчёт зоны покрытия БС по модели COST 231

Нам известны допустимые потери, из них мы можем найти какой будет радиус покрытия нашей соты. Возьмём высоту подъёма антенны абонентских станций 1.5 м, а высоту базовой станции 30м в городской зоне соответственно.

Из формулы допустимых потерь выведем формулу для определения радиуса соты:

$$L = 45.5 - 13,82 \lg H_{\text{БС}} + 35,4 \lg F + (1,1 \lg F - 0,7) H_{\text{МС}} + (44,9 - 6,55 \lg H_{\text{БС}}) \lg R \quad (3.7)$$

Радиус соты находится по формуле:

$$R = 10^{\frac{L - 45,5 + 13,82 \lg H_{\text{БС}} - 35,4 \lg F + (1,1 \lg F - 0,7) H_{\text{МС}}}{(44,9 - 6,55 \lg H_{\text{БС}})}} \quad (3.8)$$

Рассчитываем зону покрытия соты:

$$R = 10^{\frac{109,76 - 45,5 + 13,82 \lg 30 - 35,4 \lg 1710 + (1,1 \lg 1710 - 0,7) 1,5}{(44,9 - 6,55 \lg 30)}} = 374 \text{ м}$$

### 3.3 Расчёт скорости передачи данных 5G NR

Рассчитаем скорость передачи данных 5G NR в соответствии с 3GPP TS 38.306, 38.101-1,2 документами. Рассчитаем скорость передачи для линии UL, по формуле:

$$R_{5\text{GNR}} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^J (V_{\text{слоев}} \cdot Q_m \cdot f \cdot R_{\text{max}} \cdot \frac{N_{\text{PRB}}^{BW(j)\mu} \cdot 12}{T_S^\mu} \cdot (1 - OH)) \quad (3.9)$$

Где:

J – количество агрегированных компонентных несущих в полосе или комбинации полос,

Q<sub>m</sub> – порядок модуляции

V<sub>слоев</sub> – количество слоев

f – коэффициент масштабирования

$\mu$  - нумерология 5G NR

ОН – накладные расходы

$T_s$  (мкс) = средняя продолжительность символа OFDM в подкадре.

Таблица 3.3 Входные данные

Параметры	Входные данные
J	1
$V_{\text{слоев}}$	4
f	1
$\mu$	1
ОН	0.08
$T_s$	$3.57 \cdot 10^{-5}$
$N_{\text{PRB}}$	133
Qm	6(QAM 32)
$R_{\text{max}}$	948/1024

Рассчитаем  $T_S^\mu$  – среднюю продолжительность символа OFDM в подкадре для нумерологии  $\mu$

$$T_S^\mu = \frac{10^{-3}}{14 \cdot 2^\mu} \quad (3.10)$$

$$T_S^\mu = \frac{10^{-3}}{14 \cdot 2^1} = 3.57 \cdot 10^{-5}$$

ОН накладные расходы и принимает следующие значения:

[0,14] → Диапазон частот FR1 для DL

[0,18] → Диапазон частот FR2 для DL

[0,08] → Диапазон частот FR1 для UL

[0,10] → Диапазон частот FR2 для UL

Подставляем наши данные в формулу:

$$R_{5G NR} = 10^{-6} \cdot \sum_{j=1}^j (4 \cdot 6 \cdot 1 \cdot \left(\frac{948}{1024}\right) \cdot \frac{133 \cdot 12}{3.57 \cdot 10^{-5}} \cdot (1 - 0.08)) = 913.49 \text{ Мбит / с}$$



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Новый стандарт беспроводной связи имеет большое количество преимуществ, перед другими телекоммуникационными стандартами прошлых поколений. Новая технология открой новые направления развития бизнеса. Так же она поможет решить проблемы, с которыми на сегодняшний день не справляются предыдущие стандарты. С внедрением 5G в Казахстане качество связи возрастёт в разы. Ожидается увеличение спроса на видеостриминг, видео высокого разрешения и конечно развитие мира интернет вещей в нашей стране. Это будет большой скачок к цифровизации нашей Республики. В данной работе были рассмотрены основные способы реализации этого проекта на примере города Алматы. Было подобрано оборудование, которое поможет снизить инвестиционные затраты проекта. На основании данных, которые были описаны в проекте, самым оптимальным вариантом, для развития сетей 5G в Казахстане, является совместное построение сети несколькими операторами для более быстрого развёртывания и конечно экономии денег. На основании расчётной части видно, что новый стандарт, даже при очень плотной городской застройке показывает очень высокие скорости. Скорейшее внедрения стандарта критически необходимо для решения проблем связи с которыми сегодня не может справиться стандарт LTE.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Jonathan Rodriguez. Fundamentals of 5G Mobile Networks 1<sup>st</sup> Edition/ Wiley., 2015 – 334 стр.
- 2 Christofer Larsson. 5G Networks Planning, Design and Optimization 1<sup>st</sup> Edition/ Academic Press. 2018 – 418 стр.
- 3 А.Н. Степутин, А.Д. Николаев. Мобильная связь по маршруту 6G. Инфра-Инженерия. 2017 – стр. 415
- 4 Hussain Sk.S. et al. An overview of massive MIMO system in 5G // International Science Press, I J C T A. 2016. P. 4957-4968.
- 5 И.Степанец, Г.Фокин. особенности реализации Massive MIMO в сетях 5G/ Первая миля., 2018 – 50
- 6 Тихвинский В.О. Возможности технологии 5G для создания сетей широкополосного беспроводного доступа в малых и средних населенных пунктах
- 7 Mahesh K Choudhary. Building Fully Connected Intelligent LATAM with 5G. 2019-20 стр.
- 8 Pat Hindle, Randy Oltman, Bror Peterson. 5G Semiconductor Solutions – Infrastructure and Fixed Wireless Access/ 2018 – 35стр
- 9 Huawei lambsite, Digital Indoor Solution/ Huawei products, 2020 – электронная версия статья на сайте <https://e.huawei.com/se/products/wireless/lambsite>
- 10 Ericsson radio dot system/ Ericsson products, 2020 – электронная версия статьи на сайте <https://www.ericsson.com/en/portfolio/networks/ericsson-radio-system/radio/indoor/radio-dot-system>
- 11 Huawei's Intelligent Operation Center Solution – электронная версия статьи на сайте <https://e.huawei.com/en/solutions/industries/government/smart-city/ioc>