

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
( **Н И У « Б е л Г У »** )

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**Кафедра информационно-телекоммуникационных систем и технологий**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО  
ДОСТУПА В Г. МИРНЫЙ РЕСПУБЛИКА САХА(ЯКУТИЯ)**

**Выпускная квалификационная работа студента**

**очной формы обучения  
направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи**

**4 курса группы 07001209  
Старкова Владислава Владимировича**

Научный руководитель  
ст. преп. кафедры  
Информационно-  
телекоммуникационных  
систем и технологий  
НИУ «БелГУ»  
Е.П. Пеньков

Рецензент  
начальник производственно-  
технической лаборатории  
Белгородского ОРТПЦ  
Булавин И.А.

**БЕЛГОРОД 2016**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
(НИУ «БелГУ»)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК  
КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ  
Направление подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи  
Профиль: «Сети связи и системы коммутации»

Утверждаю  
Зав. кафедрой

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ г.

## **ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

Старкова Владислава Владимировича

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема ВКР «Проектирование сети беспроводного широкополосного доступа в г. Мирный Республика Саха (Якутия)»

Утверждена приказом по университету от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_ г. № \_\_\_\_\_

2. Срок сдачи студентом законченной работы \_\_\_\_.

3. Исходные данные:

объект проектирования –г. Мирный Республика Саха (Якутия);

тип проектируемой сети связи – мультисервисная сеть связи;

планируемое количество абонентов – 14500

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

4.1. Анализ существующих технологий построения широкополосной сети абонентского доступа;

4.1. Анализ состояния существующей сети связи г. Мирный Республика Саха (Якутия) ;

4.3. Разработка архитектуры мультисервисной сети связи;

4.4. Выбор и описание сетевого оборудования;

4.5. Расчет нагрузок;

4.6. Расчет энергетического баланса сети;

4.7. Техничко-экономическое обоснование проекта;

4.8. Охрана труда, техника безопасности и экологическая безопасность проекта

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

5.1. Проектируемая схема организации связи (А1, лист 1);

5.2. Проектируемая схема размещения оборудования (А1, лист 1);

5.3. Техничко-экономические показатели.

6. Консультанты по работе с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал	Задание принял
4.1. – 4.8	<i>ст. преп. каф. ИТСиТ Пеньков Е.П.</i>		
4.7	<i>канд. техн. наук старший преподаватель каф. ИТСиТ Болдышев А.В.</i>		

7. Дата выдачи задания \_\_\_\_\_ 25.04.2016г \_\_\_\_\_

**Руководитель**

*ст. преп. кафедры Информационно-телекоммуникационных систем и технологий»*

*НИУ «БелГУ» \_\_\_\_\_ Е. П. Пеньков*

(подпись)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

(подпись)

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОПИСАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	6
1.1.1 Обзор технологии WiMax.....	6
1.1.2 Область использования WiMAX.....	8
1.1.3 Целесообразность использования WiMAX как технологии доступа.....	9
1.1.4 Режим работы WiMAX.....	10
1.2.1 Обзор технологии LTE .....	12
1.2.2 Архитектура базовой сети LTE .....	13
1.2.3 Радиоинтерфейс сети LTE.....	18
1.2.4 Модуляции в LTE.....	23
1.2.5 Физический уровень LTE.....	31
1.2.6 Преимущества LTE с точки зрения операторов и абонентов.....	34
2 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СЕТИ СВЯЗИ В ГОРОДЕ МИРНЫЙ.....	36
2.1 Технология, реализованная в городе Мирный.....	38
3 РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТИ, РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ .....	39
3 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОСТРОЕНИЮ И ФУНКЦИОНИРОВАЮ СЕТИ LTE.....	39
3.1 Выбор оборудования.....	39
3.2 Расчёт энергетического бюджета радиосети LTE.....	43
3.3 Расчёт ёмкости проектируемой сети.....	49
3.4 Расположение базовых станций в городе и архитектура сети.....	52

					<b>1 1070006.11.03.02.126.ПЗВКР</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		<i>Старков В.В.</i>			Проектирование сети беспроводного широкополосного доступа в г. Мирный Республика Саха (Якутия)	Лит.	Лист	Листов
Провер.		<i>Пеньков Е.П.</i>					2	80
Рецензент		<i>Булавин И.А.</i>				<i>НИУ «БелГУ», гр.07001209</i>		
Н. контр.		<i>Пеньков Е.П.</i>						
Утв.		<i>Жуляков Е.Г.</i>						

4	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	55
4.1	Расчет капиталовложений.....	55
4.2	Калькуляция эксплуатационных расходов.....	56
4.3	Калькуляция доходов.....	64
4.4	Определение оценочных показателей проекта.....	66
5	ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ.....	71
5.1	Электромагнитные излучения, их воздействие на организм человека и принципы гигиенического нормирования и защиты.....	71
5.2	Методы защиты здоровья людей от электромагнитного воздействия....	75
5.3	Охрана труда при строительном-монтажных работах оборудования связи.....	76
5.4	Требования безопасности при эксплуатации антенно-мачтовых сооружений.....	77
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	80

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время прогресс не стоит на месте. Стремительно развивается такая технология как микроэлектроника. Она позволяет создавать все более сложноустроенные средства беспроводной связи, но при этом их стоимость гораздо ниже прошлых аналогов. Вследствие чего, повышается эффективность беспроводных цифровых коммуникаций. Количество мобильных устройств, поддерживающих работу в различных диапазонах частот и технологиях, с каждым днем растет, отсюда и абонентов, которые хотят получать различные услуги, становится больше. Для утоления их потребностей существует ряд проблем, с которыми необходимо бороться. Одной из таких проблем является отсутствие широкополосной беспроводной сети, особенно в отдаленных регионах России. В Республике Саха находится город Мирный, где проживает свыше 30 тысяч человек. Однако, в этом городе нет необходимых условий для реализации всех доступных на сегодняшний момент услуг. Рынок услуг развивается очень прогрессивно. Для таких платформ как YouTube, Periscope TV, Twitch и других подобных, необходимы большие скорости передачи данных, но технологии 3G едва ли хватает, особенно страдает качество предоставляемых услуг. Это неприемлемо в условиях высокой конкуренции. Для выполнения таких задач существует высокоскоростная беспроводная связь поколения 4G, следовательно, внедрение таких технологий очень актуально.

Целью данной является проектирование сети беспроводного широкополосного доступа в городе Мирный Республика Саха (Якутия).

Задачами данной выпускной квалификационной работы являются:

- выбор технологии, которая позволит в полной мере реализовать существующие услуги;
- анализ существующих сетей в городе Мирный, а так же способ интеграции в эту сеть;
- расчет параметров проектируемой сети;
- технико-экономическое обоснование выбранной систем;

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		4

- экологичность и безопасность планируемой сети беспроводного доступа

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		5

# 1 ОПИСАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

На сегодняшний момент в проектирование сети беспроводного широкополосного доступа в основном используется две технологии: WiMax и LTE. Для выбора одной из них необходимо проанализировать достоинства и недостатки каждой технологии.

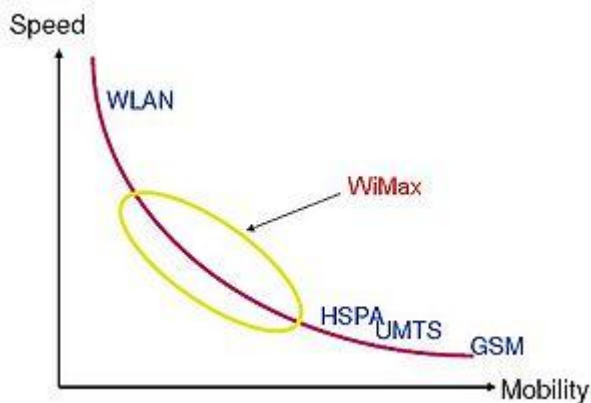
## 1.1.1 Обзор технологии WiMax

WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) — технология в телекоммуникациях. Целью ее разработки является предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для большинства вида устройств (от персональных компьютеров с использованием модемов до мобильных телефонов, в которых имеется специальный чип). Технология WiMAX Основана на стандарте IEEE 802.16., аналогичное название Wireless MAN.

Название «WiMAX» было создано WiMAX Forum. Эта организация была основана в июле 2001 года. Целью данной компании была продвижение и развитие технологии WiMAX. Информационные источники описывают WiMAX как «основанную на стандарте технологию, которая предоставляет высокоскоростной беспроводной доступ к сети, альтернативный выделенным линиям и DSL».[1] Максимальная скорость, которой теоретически можно добиться - до 1 Гбит/сек на ячейку.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		6





**Рисунок. 1.1 - Мобильность и скорость WiMAX по сравнению с другими беспроводными технологиями**

Данная технология имеет следующие преимущества:

1. Если сравнивать с проводными (широкополосным или xDSL), то беспроводные или спутниковые системы сети WiMAX могут позволить сервис-провайдерам и операторам экономически эффективно охватить новых потенциальных абонентов. Также эта технология способна расширить спектр информационных и коммуникационных технологий для пользователей, которые уже имеют фиксированный (стационарный) доступ.

2. Данный стандарт может объединить технологии уровня оператора связи (для объединения многих подсетей и предоставления им доступа к сети Интернет), а также технологии "последней мили" (конечного отрезка от точки входа в сеть провайдера до компьютера абонента). Это позволяет создать универсальность системы, что, несомненно, повышает надежность системы связи.

3. Технологии на базе беспроводного доступа более гибки. Отсюда следует, что их развертывание будет проще, так как по мере необходимости они могут масштабироваться.

4. Простота установки позволяет уменьшить затраты на развертывание сетей в малонаселенных или удаленных районах.

5. Для систем радиосвязи основным показателем является дальность охвата. Многие беспроводные технологии широкополосной передачи данных требуют наличия прямой видимости между объектами сети. WiMAX использует

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

технологии OFDM. Эта технология способна создать зоны покрытия даже в условиях отсутствия прямой видимости от абонентского оборудования до базовой станции. Стоит отметить, что это расстояние способно достигать в несколько километров.

6. WiMAX изначально содержит протокол IP. Это позволяет просто и прозрачно интегрировать ее в существующие локальные сети.

7. Технология WiMAX подходит как для фиксированных, так и подвижных объектов сетей, находящийся на единой инфраструктуре.

### 1.1.2 Область использования WiMAX

Технология WiMAX способна решить следующие задачи:

- Соединение точек доступа Wi-Fi друг с другом, а также с другими сегментами Интернета.
- Обеспечение беспроводного широкополосного доступа. Это альтернатива выделенным линиям и DSL.
- Предоставление высокоскоростных сервисов передачи данных и телекоммуникационных услуг.
- Создание точек доступа, которые могут быть не привязаны к их географическому положению.
- Создание систем удалённого мониторинга системы

WiMAX способен осуществлять доступ в Интернет на высоких скоростях и покрывать большую область, нежели Wi-Fi-сеть. Данная особенность позволяет использовать технологию в качестве «магистральных каналов». Продолжением этих каналов выступают не только традиционные DSL- и выделенные линии, но и локальные сети. Результатом подобного подхода является создание масштабируемых высокоскоростных сетей в рамках какого-либо субъекта.

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.126.ПЗВКР				

### 1.1.3 Целесообразность использования WiMAX как технологии доступа

Проблема последней мили – актуальная задача для специалистов по связи. На сегодняшний момент существует несколько технологий последней мили. Для всех операторов связи имеется задача выбора технологии, которая способна оптимально решить задачу доставки любого вида трафика своим абонентам. Для такой задачи не существует универсального ответа. Для каждой технологии существует своя область применения, а также свои преимущества и недостатки.

Существует ряд факторов, которые влияют на выбор технологического решения:

- стратегия оператора, целевая аудитория, предлагаемые в настоящее время и планируемые к предоставлению услуги;
- размер инвестиций в развитие проектируемой сети, а также срок её окупаемости;
- уже имеющаяся сетевая инфраструктура, ресурсы для её поддержания в работоспособном состоянии;
- время, которое необходимо для запуска сети и начала оказания услуг, предоставляемых оператором или провайдером.

Каждый из представленных факторов есть свой вес, но выбор технологии принимается только с учётом всех их в совокупности.

#### Фиксированный и мобильный вариант WiMAX

Разработчики стандарта приложили огромные усилия, чтобы найти оптимальные решения как для фиксированного, так и для мобильного применения. Однако совместить все требования в рамках данного стандарта не получилось. Хотя ряд базовых требований совпадает, нацеленность технологий на разные рыночные ниши привела к созданию двух отдельных версий стандарта. Каждая из спецификаций WiMAX определяет свои рабочие диапазоны частот, ширину полосы пропускания, мощность излучения, методы

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		9

передачи и доступа, способы кодирования и модуляции сигнала, принципы повторного использования радиочастот и прочие показатели.

Для двух технологий существует некоторое различие. Фиксированный WiMAX способен обслуживать только «статичных» абонентов. Мобильный WiMAX ориентирован на работу с пользователями, передвигающимися со скоростью до 150 км/ч. Мобильность означает наличие функций роуминга и «бесшовного» переключения между базовыми станциями при передвижении абонента, этот процесс можно сравнить с сетями сотовой связи.

Оборудование, которое используется в сетях WiMAX, поставляется несколькими производителями. Оно может быть установлено как в помещении, с помощью устройства размером с обычный DSL-модем, так и вне его. Оборудование, которое рассчитано на размещение внутри помещений, не требует специальных навыков для установки. При этом существует небольшой недостаток, модем способен работать на значительно меньших расстояниях от базовой станции, в сравнении с профессионально установленными внешними устройствами. Оборудование, которое необходимо установить внутри помещений, требует больших инвестиций в развитие инфраструктуры сети, так как подразумевает использование намного большего числа точек доступа.

С появлением на свет мобильного WiMAX, производители делают всё больший акцент на разработку мобильных устройств. В том числе специальных телефонных трубок и компьютерной периферии.

#### **1.1.4 Режим работы WiMAX**

WiMAX сети состоят из основных частей:

- базовые и абонентские станции;
- оборудование, связывающее базовые станции между собой, с поставщиком сервисов и с Интернетом.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		10

Для того, чтобы соединить базовые станции и абонентское оборудование используют высокочастотный диапазон радиоволн от 1,5 до 11 ГГц. При хороших условиях скорость обмена данными способна достигнуть 70 Мбит/с, кроме того обязательно обеспечивать прямую видимость между базовой станцией и приёмником.

При использовании частот от 10 до 66 ГГц при условии прямой видимости между базовыми станциями устанавливается соединение, при котором скорость обмена данными может достигать 140 Мбит/с. Существует прямая связь между количеством базовых станций и скоростью передачи данных, то есть чем больше базовых станций подключено к сети оператора, тем выше скорость передачи данных, а также надёжность сети. [2]

Структура сетей очень похожа на традиционные GSM сети. Базовые станции действуют на большие дистанции вплоть до десятков километров. Для того, чтобы их монтировать нет необходимости строить вышки. Существует вариант установки базовых станций на крышах домов, при условии прямой видимости между станциями.

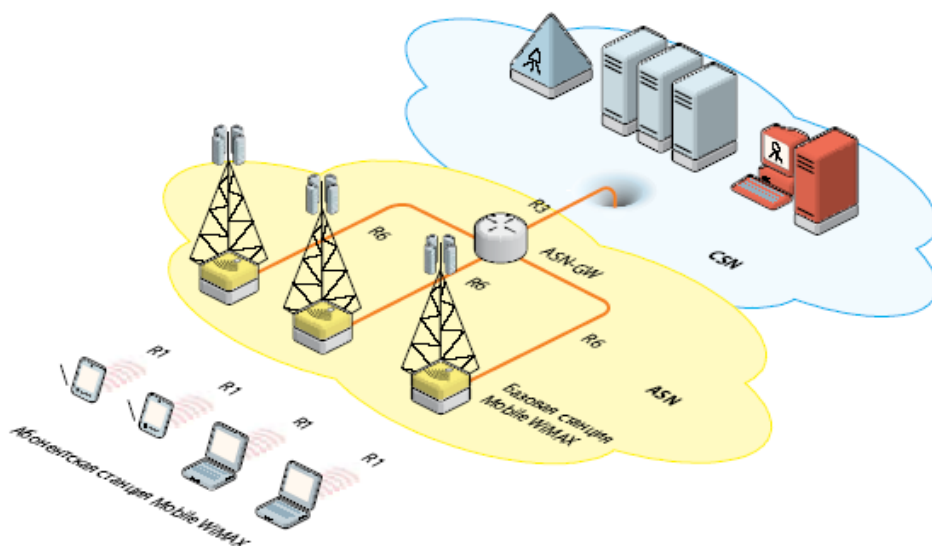


Рисунок 1.2 – Архитектура сети WiMAX с усовершенствованными функциями

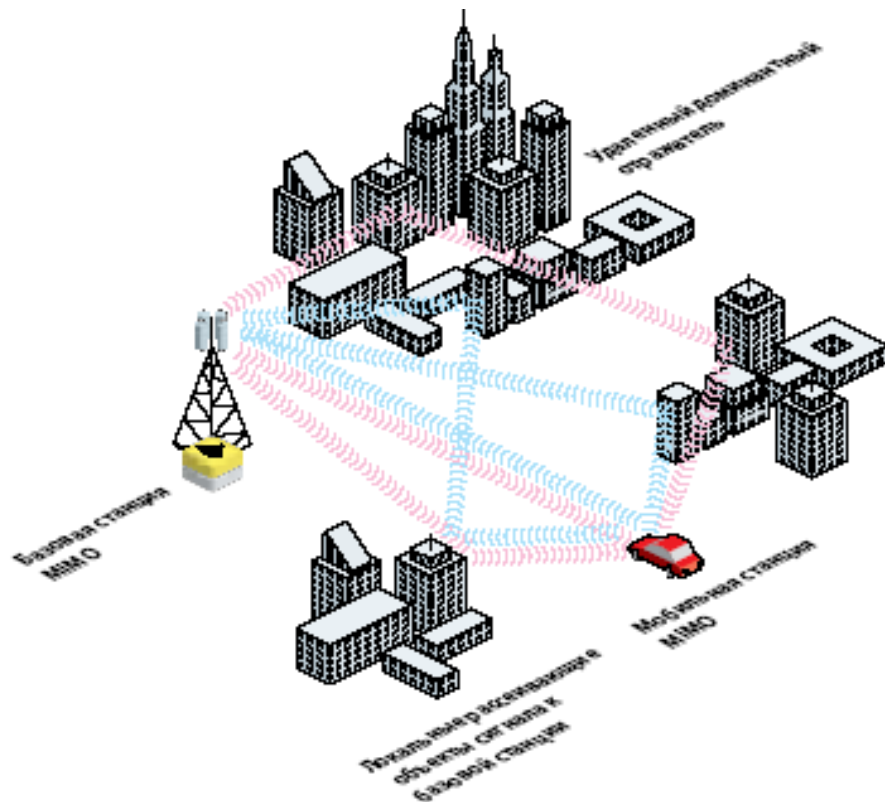


Рисунок 1.3 – Общий вид развертывание технологии WiMAX

### 1.2.1 Обзор технологии LTE

Long Term Evolution (LTE) — технологии мобильной передачи данных. Проект LTE является стандартом по совершенствованию технологий CDMA, UMTS и создан для того, чтобы удовлетворить потребности в скорости передачи данных и качества предоставляемых услуг.

Стандарт LTE-Advanced является стандартом беспроводной связи 4G. Этот стандарт является десятым релизом, либо более поздним релизом стандарта LTE. Он утвержден Международным Союзом Электросвязи как стандарт беспроводных сетей, который отвечает всем необходимым требованиям беспроводной связи четвертого поколения, он также включен в IMT-Advanced. Сети LTE, относящиеся к релизам 8 и 9, на сегодняшний момент являются всеми имеющимися для внедрения сетями. Изначально 3GPP LTE не

имел ничего общего с сетями 4G, то есть с четвертым поколением беспроводной связи. Это было обусловлено тем, что он не удовлетворял всем необходимым условиям Международного Союза Электросвязи, которые были приняты относительно 4G. В последующее время было разрешено использовать это обозначения, поэтому стандарт 3GPP LTE стали относить к pre-4G. 3GPP LTE стал предварительной версией стандартов поколения 4G. [3]

## 1.2.2 Архитектура базовой сети LTE

SAE (с английского System Architecture Evolution — эволюция системной архитектуры) - это архитектура ядра сети, которая была разработана консорциумом 3GPP для стандарта беспроводной связи LTE.

SAE считается эволюционным продолжением ядра сети GPRS. Но также существуют некоторые отличия:

- упрощенная архитектура это архитектура SAE, которая способна снизить капитальные и эксплуатационные расходы. Совершенно новая модель, означающая то, что необходимо повысить пропускную способность узлов лишь двух типов: это базовые станции и шлюзы. Это необходимо для того, чтобы они смогли справиться с трафиком, если вдруг произойдет его значительный рост.

- данная архитектура полностью построена на IP. Первые концепции третьего поколения были разработаны, с тем, что голос по-прежнему передается по системе с коммутацией каналов. С этих пор происходил переход к IP-сетям. Из этого следует, что архитектура SAE построена на базе IP-сети;

- обеспечивает большую пропускную способность на сети радиодоступа. Считается, что нисходящий канал (от базовой станции к абоненту) будет иметь скорость, которая будет превышать 100 Мбит/с. Так как от сети понадобится поддерживать значительно больше уровней данных, то основное внимание системы будет сосредоточено на мобильности полосы пропускания;

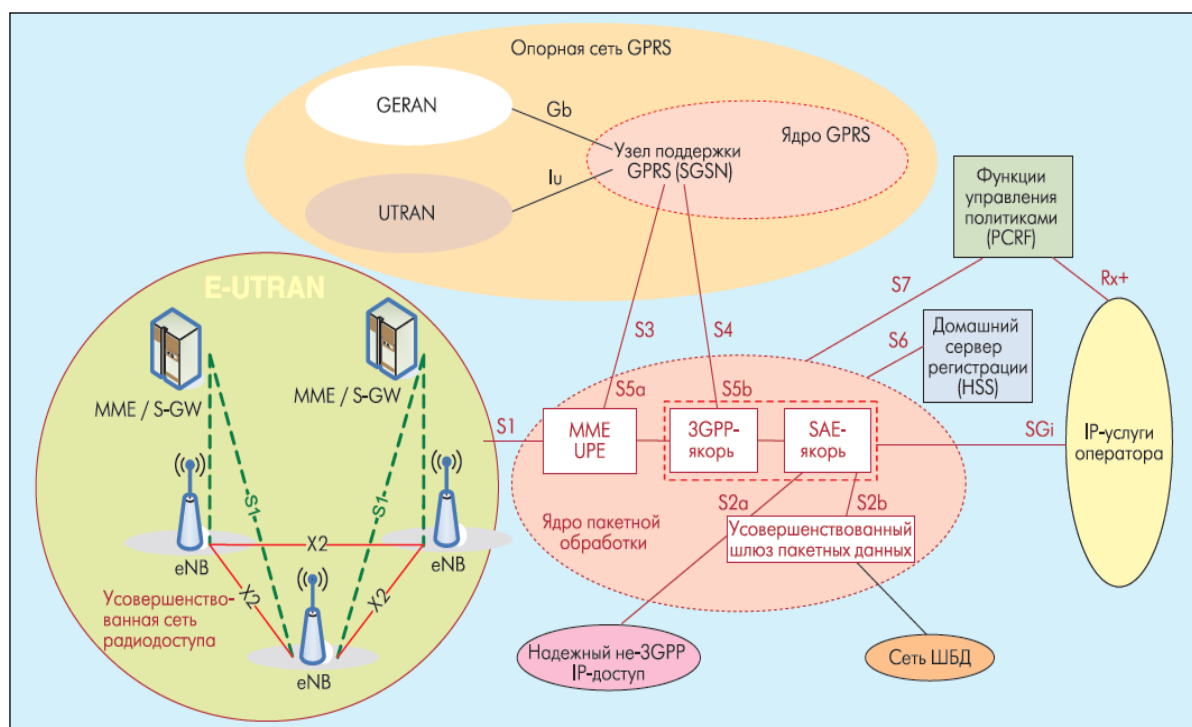
					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		13

- обеспечивает меньшую задержку. Концепция технологии SAE способна обеспечить уровень задержки в районе 10 мс. Это вызвано тем, что увеличено количество требуемых уровней взаимодействия, а также более быстрых ответов.[4]

Когда была создана сеть мобильной связи на основе технологии WiMAX, тогда участники проекта 3GPP были вынуждены разрабатывать технологию на основе OFDM, совершенно нового варианта сети UMTS, который впоследствии получил название LTE.

Сеть LTE в основном состоит из двух важных компонентов:

- сеть радиодоступа E-UTRAN;
- базовая сеть SAE, которая способна интегрироваться в сеть GPRS.



**Рисунок 1.4 - Взаимодействие сети радиодоступа E-UTRAN с базовой сетью SAE.**



Существуют основные требования проекта 3GPP к сети SAE:

- максимально возможное упрощение структуры сети;
- исключение дублирующих функций сетевых протоколов, которые характерны для систем UMTS.

Сеть радиодоступа E-UTRAN была рассмотрена в ряде технических спецификаций, которая состоит только из базовых станций eNB. Базовые станции eNB являются элементами сети E-UTRAN. При помощи интерфейса X2 они соединены между собой по принципу «каждый с каждым». Интерфейс X2 поддерживает хэндовер мобильного терминала в состоянии LTE-ACTIVE. Каждая базовая станция имеет интерфейс S1 с базовой сетью SAE, которая построена по принципу коммутации пакетов.

Evolved Packet Core (EPC) - ядро пакетной обработки, которая является основным компонентом архитектуры SAE. EPC служит эквивалентом сети GPRS. Компонентами EPC являются [5]:

- Mobility Management Entity (MME) это узел управления мобильностью, предназначенный для осуществления «эстафетной передачи» (хэндовера) между базовыми станциями сети LTE. MME способен работать с сетью второго и третьего поколений данного оператора, который предоставляет услуги. MME это ключевой контролирующий модуль для сети доступа LTE, отвечающий за процедуры, которые обеспечивают мобильность, хэндовер, а также слежение и пейджинг.

- UE (Пользовательские устройства - англ. User Equipment). Он участвует в процессах активации/деактивации сетевых ресурсов. UE отвечает за выбор SGW при начальном подключении, а также при хэндовере внутри сети LTE со сменой узла Ядра Сети (англ. Core Network - CN). Аутентификация пользователя еще одна его функция. Сигнализация слоя без доступа (англ. Non-Access Stratum - NAS) оканчивается в MME. Также данный узел способен отвечать за генерацию и распределение временных идентификаторов для UE. Он проверяет авторизацию UE для доступа к сервис-провайдерам мобильных сетей (англ. Public Land Mobile Network — PLMN) и реализует роуминговые

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		15

ограничения для UE. Заключительной точкой сети для шифрования/защиты целостности сигнализации NAS является MME. Он также отвечает за управление безопасностью. MME обеспечивает узаконенный перехват сигнализации. Плоскостью функций контроля для обеспечения мобильности между LTE и сетями доступа 2G/3G является интерфейс S3 установленный к MME от SGSN.[6]

- Serving SAE Gateway или как его называют Serving Gateway (SGW) это обслуживающий шлюз сети LTE, предназначенный для обработки и маршрутизации пакетных данных, которые поступают из/в подсистему базовых станций. Serving Gateway имеет прямое соединение с сетями второго и третьего поколений того же оператора. Это упрощает передачу соединения в /из них по причинам ухудшения зоны покрытия, перегрузок и т.п. SGW умеет маршрутизировать и направлять пакеты с пользовательскими данными. Также он выполняет роль узла, который управляет мобильностью (англ. mobility anchor) для пользовательских данных при хэндовере между базовыми станциями (англ. eNodeB). Serving Gateway управляет мобильностью между сетью LTE и сетями с другими технологиями 3GPP. Когда UE свободен и не занят вызовом, то SGW подключает нисходящий канал данных (англ. Down Link или DL) и производит пейджинг, когда требуется передать данные по DL в направлении UE. Он управляет и хранит состояния UE. Примером может послужить требование по пропускной способности для IP-сервисов, а также внутреннюю информацию по сетевой маршрутизации. Он так же способен предоставить копию пользовательских данных при узаконенном перехвате.

- Public Data Network (PDN) SAE Gateway или просто PDN Gateway (PGW) - (Пакетный шлюз - англ. Packet Data Network Gateway) это шлюз к/от сетей других операторов. Если информация (например, голос или данные) передаются из/в сети данного оператора, то они маршрутизируются именно через PGW. Пакетный шлюз обеспечивает соединение от UE к внешним пакетным сетям данных, которые являются точкой входа и выхода трафика для UE. UE способен иметь одновременно соединение с более чем одним PGW, это необходимо для подключения к нескольким сетям. PGW выполняет функции

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		16

защиты, фильтрации пакетов для каждого пользователя, поддержку биллинга, узаконенного перехвата и сортирование пакетов. Другой важной ролью PGW является узел управления мобильностью между 3GPP и не-3GPP технологиями, такими как WiMAX и 3GPP2.

- Home Subscriber Server (HSS) это сервер абонентских данных. HSS представляет собой объединение VLR, HLR, AUC выполненных в одном устройстве.

- Policy and Charging Rules Function (PCRF) это узел выставления счетов абонентам за оказанные услуги связи. Общее название для устройств в рамках SAE EPC, которое может отслеживать поток предоставляемых услуг, а также обеспечивать тарифную политику. Для приложений, требующих контроль или начисление платы в режиме реального времени, может использоваться дополнительный сетевой элемент под названием Applications Function (AF).

- Логический элемент MME (англ. Mobility Management Entity) отвечает за решение задач, которые управляют мобильностью абонентского терминала и способны взаимодействовать с базовыми станциями eNB сети E-UTRAN при помощи протоколов плоскости управления C-plane. Логический элемент UPE (англ. User Plane Entity) отвечает за способность передачи данных пользователей, согласно протоколам плоскости пользователя U-plane и взаимодействует с eNB посредством интерфейса S1-U. Благодаря интерфейсу S1 базовые станции соединены с несколькими узлами MME/UPE, что позволяет более гибко использовать сетевой ресурс. Такой интерфейс называют S1-flex.

Сеть LTE имеет следующие функциональные отличия от сети UMTS:

1. Базовые станции eNB могут выполнять функции по управлению радиоресурсами (англ. Radio Bearer Control), по управлению доступом (англ. Radio Admission Control), по управлению мобильностью (англ. Connection Mobility Control), по динамическому распределению ресурсов (англ. Dynamic Resource Allocation). Исходя из этого, в сети радиодоступа E-UTRAN базовые станции управляют протоколами радиоинтерфейса, при этом может

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		17

комбинировать выполнение функций базовых станций NodeB и большинство функций контроллера RNC сети UMTS.

2. Сетевой элемент управления мобильностью MME отвечает за распределение сообщений вызова (англ. paging) к базовым станциям eNB. MME управляет протоколами плоскости управления и выполняет следующие функции: назначает идентификаторы абонентских терминалов, обеспечивает безопасность сети, проверяет подлинность сообщений абонентов и управляет роумингом.

Сетевой элемент плоскости пользователя UPE способен выполнять сжатие заголовков IP-протоколов, шифрование потоков данных, терминацию пакетов данных плоскости пользователя. Кроме прочего, UPE управляет протоколами пользовательского уровня. Примером могут быть такие функции как хранение текущего статуса абонентского терминала, прерывание состояния LET-IDLE на уровне абонентских терминалов.

### 1.2.3 Радиоинтерфейс сети LTE

Сеть LTE базируется на трех основных технологиях:

- мультиплексирование посредством ортогональных несущих OFDM (англ. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing);
- многоантенные системы MIMO (англ. Multiple Input Multiple Output);
- эволюционная системная архитектура сети (англ. System Architecture Evolution).

Дуплексное разделение каналов делится на два типа:

- частотный тип дуплексирования (FDD)
- временной тип дуплексирования (TDD).

Несколько способов разделять канал позволяет операторам использовать частотный ресурс, при этом иметь определенные преимущества в зависимости от требований сети. Данное решение позволяет открыть путь на рынок тем

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		18

компаниям, которые могут обладать спаренными частотами. Если посмотреть иначе, то поддержка частотного типа дуплексирования (FDD) весьма удобна для традиционных сотовых операторов, так как у них имеются спаренные частоты. Система частотного разделения существенно более эффективна в плане использования частотного ресурса, чем временное разделение канала. Также в ней меньше накладных расходов (таких как служебные поля, интервалы и т.п.).

Обмен между базовой станцией и мобильной станцией строится по принципу циклически повторяющихся кадров (в терминологии LTE это понятие принято называть радиокадр) [7]. Длительность радиокадра равна 10 мс. Все временные параметры в спецификации LTE привязаны к минимальному временному кванту  $T_s = 1 / (2048 \cdot \Delta f)$ , где  $\Delta f$  – шаг между поднесущими, стандартно – 15 кГц. Таким образом, длительность радиокадра –  $307200T_s$ . Сам же квант времени соответствует тактовой частоте 30,72 МГц, что кратно стандартной в 3G-системах.

Стандарт LTE предусматривает два типа радиокадров.

Тип 1 предназначен для частотного дуплексирования. Он может служить как для полного дуплекса, так и для полудуплекса. Такой кадр состоит из 20 слотов (длительностью 0,5 мс), нумеруемых от 0 до 19.

Два смежных слота образуют субкадр (рисунок 1.5). При полнодуплексном режиме радиокадры в восходящем и нисходящем каналах передаются параллельно, но при этом с оговоренным в стандарте временным сдвигом.

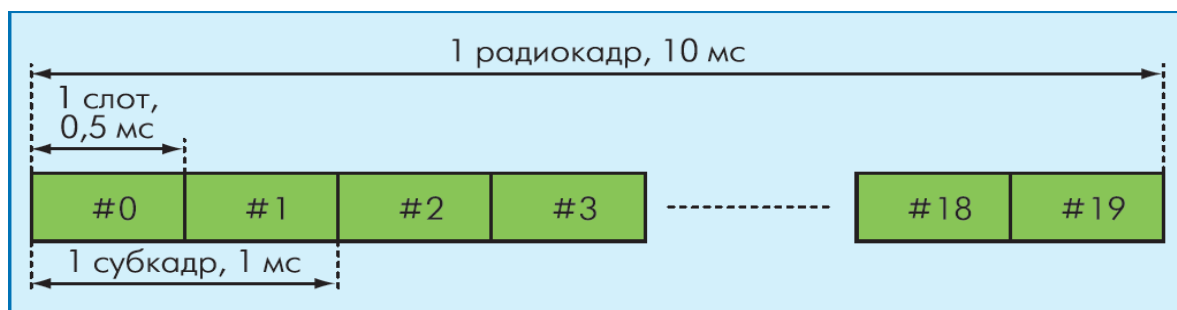
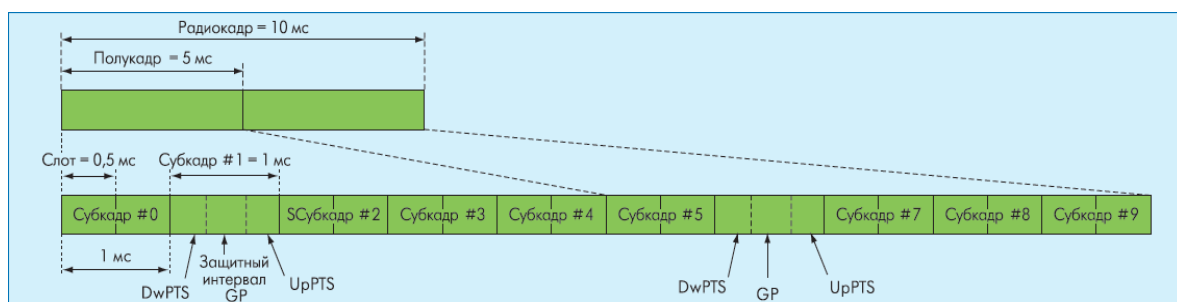


Рисунок 1.5 - Структура кадра LTE при частотном разделении дуплексных каналов

Радиокадр типа 2 (рисунок 1.6) предназначен только для временного дуплексирования. Он состоит из двух полукадров длительностью по 5 мс. Каждый полукадр включает 5 субкадров длительностью 1 мс.



**Рисунок 1.6 - Структура кадра LTE при временном разделении дуплексных каналов**

Стандарт предусматривает два цикла временного дуплексирования. Первый цикл 5 мс, а второй цикл 10 мс. В первом случае 1-й и 6-й субкадры идентичны и содержат служебные поля DwPTS, UpPTS и защитный интервал GP. Во втором случае при 10-мс цикле временного разделения дуплекса 6-й субкадр используется для передачи данных в нисходящем канале. Субкадры 0 и 5, а также поле DwPTS всегда относятся к нисходящему каналу, а субкадр 2 и поле UpPTS – к восходящему.

Существует несколько вариантов длительности полей DwPTS, UpPTS и GP, но при этом их сумма всегда равна 1 мс.

В сети LTE используется модуляция OFDM, хорошо интегрированная в таких системах как: DVB, Wi-Fi и WiMAX. Следует напомнить, что технология OFDM предполагает передачу широкополосного сигнала с помощью независимой модуляции узкополосных поднесущих, которые расположены с определенным шагом по частоте. Один OFDM-символ содержит набор модулированных поднесущих. Во временной области OFDM-символ включает поле данных (полезная информация) и так называемый циклический префикс CP (англ. Cyclic Prefix) это повторно передаваемый фрагмент конца предыдущего символа (рисунок 1.7). Назначение префикса – борьба с межсимвольной интерференцией в приемнике вследствие многолучевого распространения

											Лист
											20
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	11070006.11.03.02.126.ПЗВКР						

сигнала. Отраженный сигнал, приходящий с задержкой, попадает в зону префикса и не накладывается на полезный сигнал.

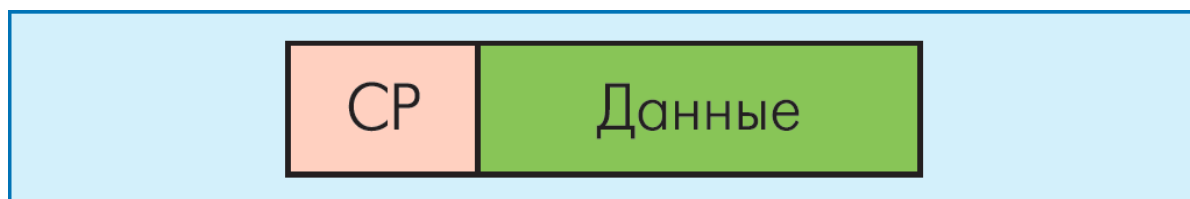


Рисунок 1.7 - OFDM-символ с циклическим префиксом

В сетях LTE принято считать за стандартный шаг между поднесущими в  $\Delta f = 15$  кГц. Это соответствует длительности OFDM-символа 65,7 мкс. Каждому абонентскому устройству в каждом слоте назначается определенный диапазон канальных ресурсов в частотно-временной области, которая называется ресурсная сетка.

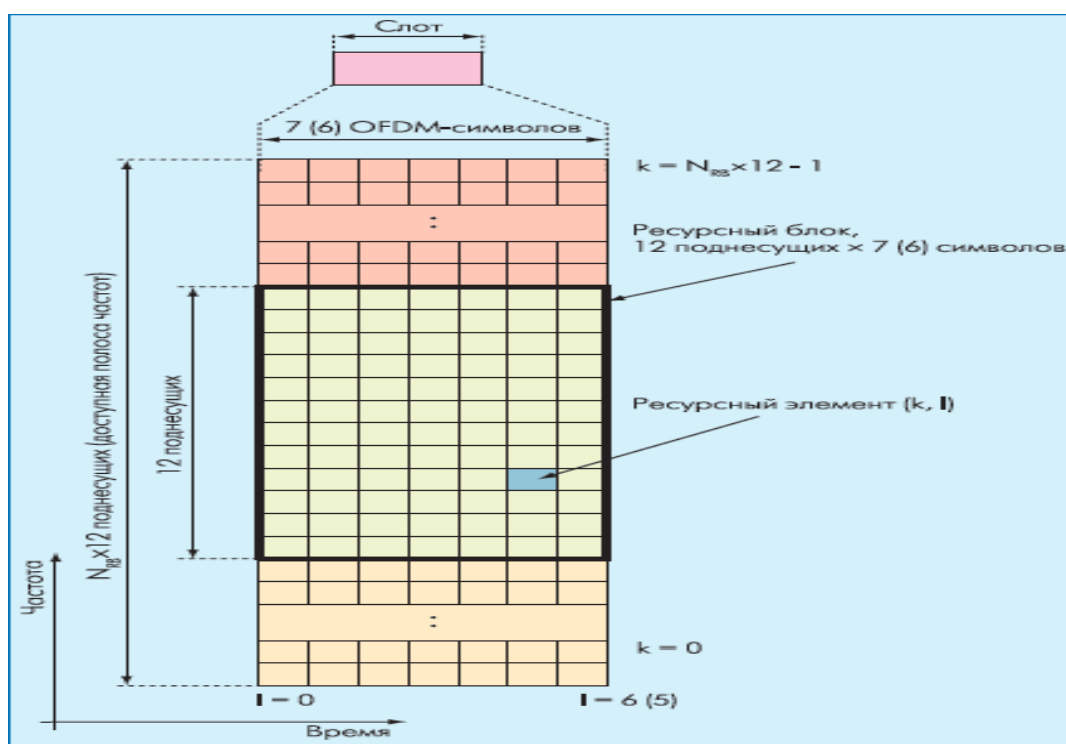


Рисунок 1.8 - Ресурсная сетка LTE при стандартном шаге поднесущих  $\Delta f = 15$  кГц

Ячейка ресурсной сетки - это так называемый ресурсный элемент, которому соответствует одна поднесущая в частотной области и одному OFDM-символу во временной. Ресурсные элементы образуют ресурсный блок, так

называемая минимальная информационная единица в канале. Ресурсный блок занимает 12 поднесущих (т.е. 180 кГц) и 7 или 6 OFDM-символов. В зависимости от типа циклического префикса – так, чтобы общая длительность слота составляла 0,5 мс. Число ресурсных блоков NRB в ресурсной сетке зависит от ширины полосы канала и составляет от 6 до 110 (ширина частотных полос восходящего/нисходящего каналов в LTE – от 1,4 до 20 МГц).

Ресурсный блок – это, так называемый, минимальный ресурсный элемент, выделяемый абонентскому устройству планировщиком базовой станции. О распределении ресурсов в каждом слоте базовая станция сообщает в специальном управляющем канале.

Длительность префикса 4,7 мкс позволяет бороться с задержкой отраженного сигнала, прошедшего путь на 1,5 км больше, чем прямо распространяющийся сигнал. Для систем сотовой связи в условиях города этого обычно вполне достаточно. Если же этого недостаточно, то можно использовать расширенный префикс, который обеспечивает подавление межсимвольной интерференции в ячейках радиусом до 130 км. Такие огромные ячейки полезны для разного рода широковещательных сервисов. К ним можно отнести мобильное ТВ-вещание. Для этих же режимов (только в нисходящем канале) предусмотрена особая структура слота, с шагом между поднесущими 7,5 кГц и циклическим префиксом 33,7 мкс. В слоте при всем этом всего три OFDM-символа. Особый случай широковещательного сервиса может представлять режим MBSFN (мультимедийный широковещательный сервис для одночастотной сети). В этом режиме несколько БС в определенной MBSFN-зоне одновременно и синхронно транслируют общий широковещательный сигнал.

Каждая поднесущая, которая может модулироваться с помощью 4-, 16- и 64-позиционной квадратурной фазово-амплитудной модуляции (QPSK, 16-QAM или 64-QAM). Исходя из вышесказанного, один символ на одной поднесущей содержит 2, 4 или 6 бит. При стандартном префиксе символьная скорость составит 14000 символов/с, что соответствует, при частотном дуплексе, агрегатной скорости от 27 до 85 кбит/с на одну поднесущую. Сигнал с полосой

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		22



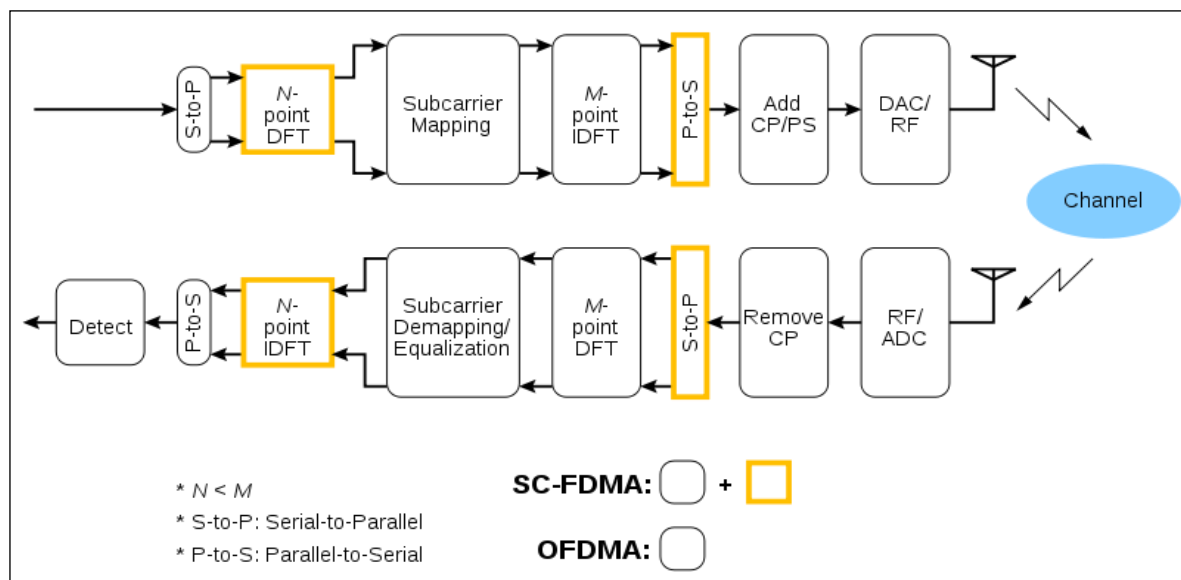
20 МГц, который содержит 100 ресурсных блоков или 1200 поднесущих, в этом варианте дается общая агрегатная скорость в канале от 33,7 до 101,5 Мбит/с.

Спецификации LTE определяется некоторым количеством фиксированных значений для ширины восходящего и нисходящего каналов между базовыми станциями и абонентскими устройствами (в сетях E-UTRA). Поскольку в OFDM используется быстрое преобразование Фурье, то исходя из этого число формальных поднесущих для упрощения процедур цифровой обработки сигнала должно быть кратно  $N = 2n$  (т.е. 128, 256, ..., 2048). При этом частота выборок обязательно должна составлять  $F_s = \Delta f \cdot N$ . При этих заданных в стандарте значениях она оказывается кратной 3,76 МГц. Эта частота является стандартной частоте выборок в технологии WCDMA. Использование данной частоты весьма практично для создания многомодовых устройств, которые поддерживают как WCDMA, так и LTE.

#### 1.2.4 Модуляции в LTE

В сетях LTE используется модуляция по технологии множественного доступа с одной несущей частотой (англ. Single Carrier-Frequency Division Multiple Access – SC-FDMA) для Uplink передачи данных, что означает передача данных от пользователя к базовой станции (рисунок 1.9). А по технологии ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM-модуляция) для Downlink передачи, что означает передача данных от базовой станции к пользователю.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		23



**Рисунок 1.9 - Структура SC-FDMA**

В системах LTE используются два основных метода дуплексной связи:

- дуплекс с частотным разделением (FDD)
- дуплекс с временным разделением (TDD).

Также применимы и другие варианты. К ним относится дуплекс с частотным разделением с половинной скоростью. При этом интеграция режимов частотного разделения и временного разделения в системах LTE значительно ближе к тому, как это было в UMTS.

С середины 1960-х годов технология ортогонального частотного мультиплексирования стала известна широкой массе людей. По настоящее время данная технология применяется во многих беспроводных системах. Применение ортогонального частотного мультиплексирования в беспроводной мобильной связи сдерживалось по двум основным причинам:

- Первая причина заключается в том, что для выполнения необходимых быстрых преобразований Фурье требуется достаточно большая вычислительная мощность. Однако с непрерывным развитием технологий обработки сигнала привело к тому, что эту причину уже нельзя считать препятствием на пути внедрения технологии ортогонального частотного мультиплексирования. Теперь эта технология образует основу нисходящего канала LTE.

- Второй причиной, которая сдерживает применение технологии ортогонального частотного мультиплексирования в мобильных системах, является присущие этой технологии сигналы с высоким отношением пикового значения к среднему. Она порождает параллельную передачу нескольких сотен близко расположенных поднесущих. Для мобильных устройств сигналы с большим отношением пикового значения к среднему создают целый ряд проблем, которые связывают с конструкцией усилителя мощности и потреблением энергии от батарей. Именно поэтому 3GPP выбрало новую схему передачи SC-FDMA.

Множественный доступ в нисходящем канале LTE достигается за счет применения тщательно доработанной версии OFDM, которая получила название множественного доступа с ортогональным разделением частот (OFDMA). Представленный метод позволяет закреплять отдельные поднесущие за разными пользователями. Именно это облегчает обслуживание многих абонентов, которые работают с низкими скоростями. Кроме того данная технология позволяет использовать частотные скачки для смягчения эффектов узкополосного многолучевого распространения.

SC-FDMA - это гибридная схема передачи, считающая низкие значения отношения пикового значения к среднему, которые присущи всем системам с одной несущей. Для примера можно привести такие технологии как GSM и CDMA, которые имеют большую длительность символа, а также гибкое распределение частот OFDM. Принципы генерации сигнала SC-FDMA показаны на рисунке 1.10. Этот принцип является фрагментом одного из рисунков отчета 3GPP TR 25.814 об исследовании физического уровня LTE.

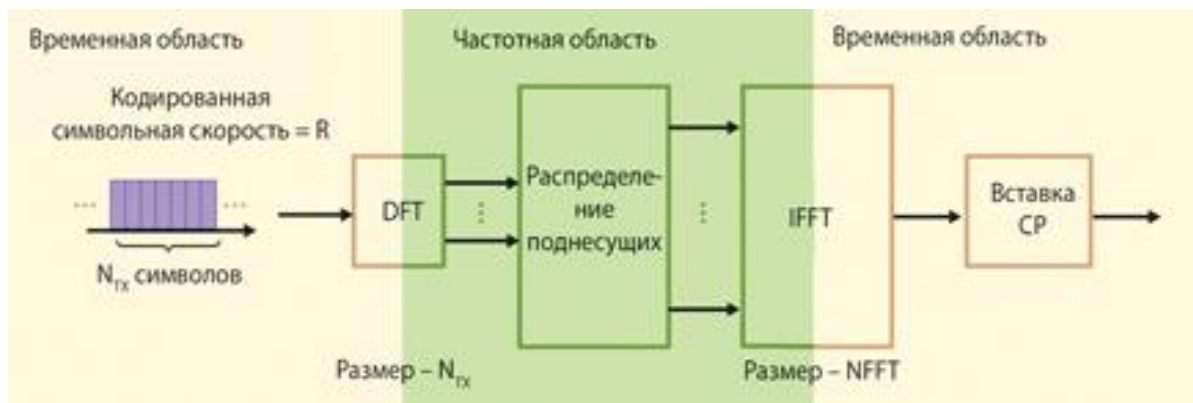


Рисунок 1.10 - Структурная схема генерации сигнала SC-FDMA

В левой части рисунка 1.10 символы данных представлены во временной области. Символы преобразуются в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье, потом в частотной области они распределяются в нужные места общего спектра несущей. После этих манипуляций требуется снова преобразовать во временную область, для того, чтобы перед передачей добавить к ним циклический префикс. Альтернативное название технологии SC-FDMA это распределенная OFDM с дискретным преобразованием Фурье.

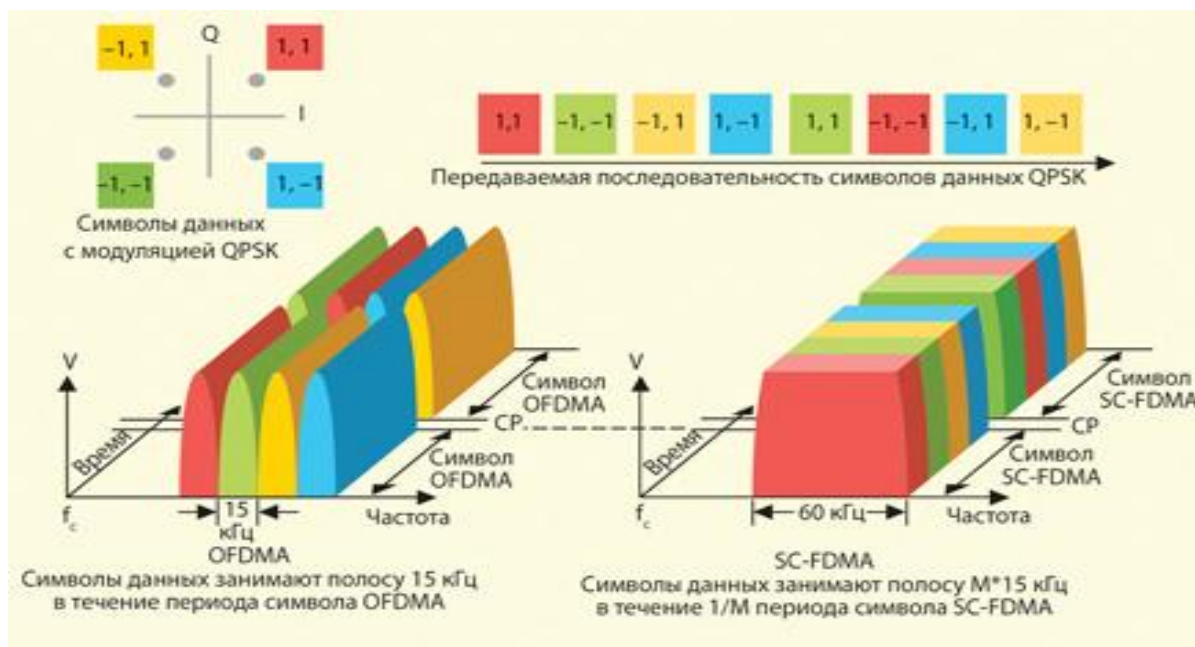
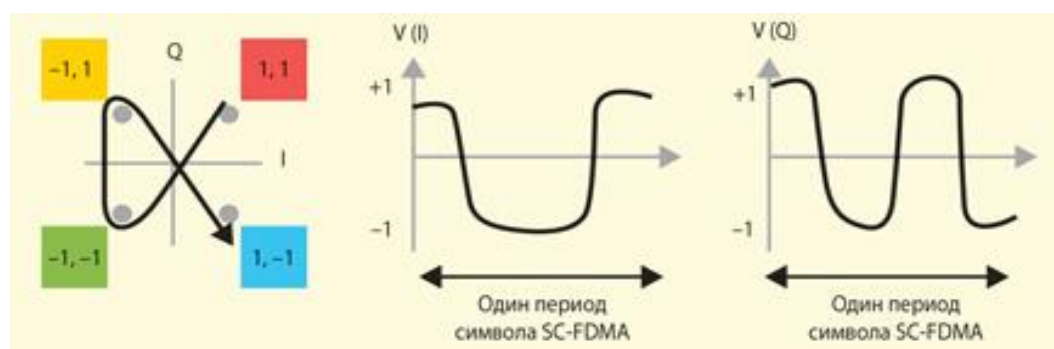


Рисунок 1.11 - Сравнение передачи серии символов данных QPSK в OFDMA и SC-FDMA

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

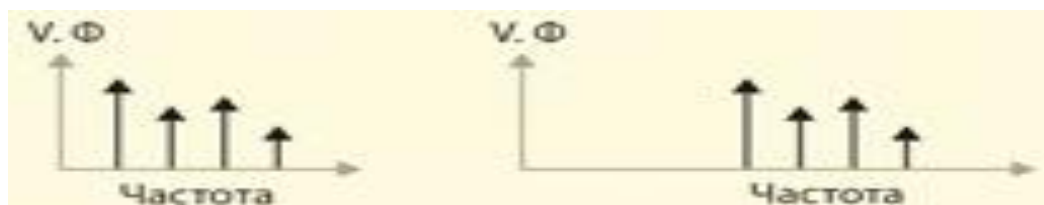
Альтернативное описание данной технологии приведено выше, на рисунке 1.11. В частотной и временной областях показано, как OFDMA и SC-FDMA передают последовательность из восьми символов QPSK. В этом упрощенном примере число поднесущих ( $M$ ) было сокращено до четырех. Для OFDMA четыре ( $M$ ) символа обрабатываются параллельно. Каждый из них модулируется собственной поднесущей в соответствии с фазой QPSK. Каждый символ данных занимает полосу 15 кГц на время передачи одного символа OFDMA, которое имеет значение 66,7 мкс. В начале следующего символа OFDMA вставляется защитный интервал, который содержит циклический префикс (CP). Циклический префикс представляет собой копию конца символа, который добавлен к началу символа. Именно благодаря параллельной передаче, символы данных имеют такую же длину, как и символы OFDMA.

В случае SC-FDMA символы данных передаются последовательно. Так как в данном примере используются четыре поднесущих, то за один период символа SC-FDMA передаются четыре символа данных. Период символа SC-FDMA имеет такую же длину, как и символ OFDMA. Это значение равно 66,8 мкс, однако благодаря последовательной передаче символы данных получаются короче, то есть значение равно  $66,8/M$  мкс. В связи с повышением скорости следования символов для их передачи требуется более широкая полоса. В результате каждый символ занимает в спектре 60 кГц, а не 15 кГц, как это было в случае более медленных символов, которые используются в OFDMA. После передачи четырех символов данных вставляется циклический префикс.



**Рисунок 1.12 - Создание символа SC-FDMA во временной области**

Графическое сравнение OFDMA и SC-FDMA представлено на рисунке 1.12, также здесь показан детальный процесс генерации сигнала SC-FDMA. Изначально создается представление последовательности символа данных во временной области. В данном случае это четыре поднесущие, служащие для генерации одного символа SC-FDMA, для которых требуются четыре символа данных. Используя первые четыре цветных символа QPSK (рисунок 1.12), процесс создает один символ SC-FDMA во временной области, который рассчитывает траекторию, переходящую от одного символа данных QPSK к другому. Этот процесс делается со скоростью в  $M$  раз выше скорости символов SC-FDMA, в результате чего один символ SC-FDMA содержит  $M$  последовательных символов данных QPSK.



**Рисунок 1.13 - Дискретное преобразование Фурье**

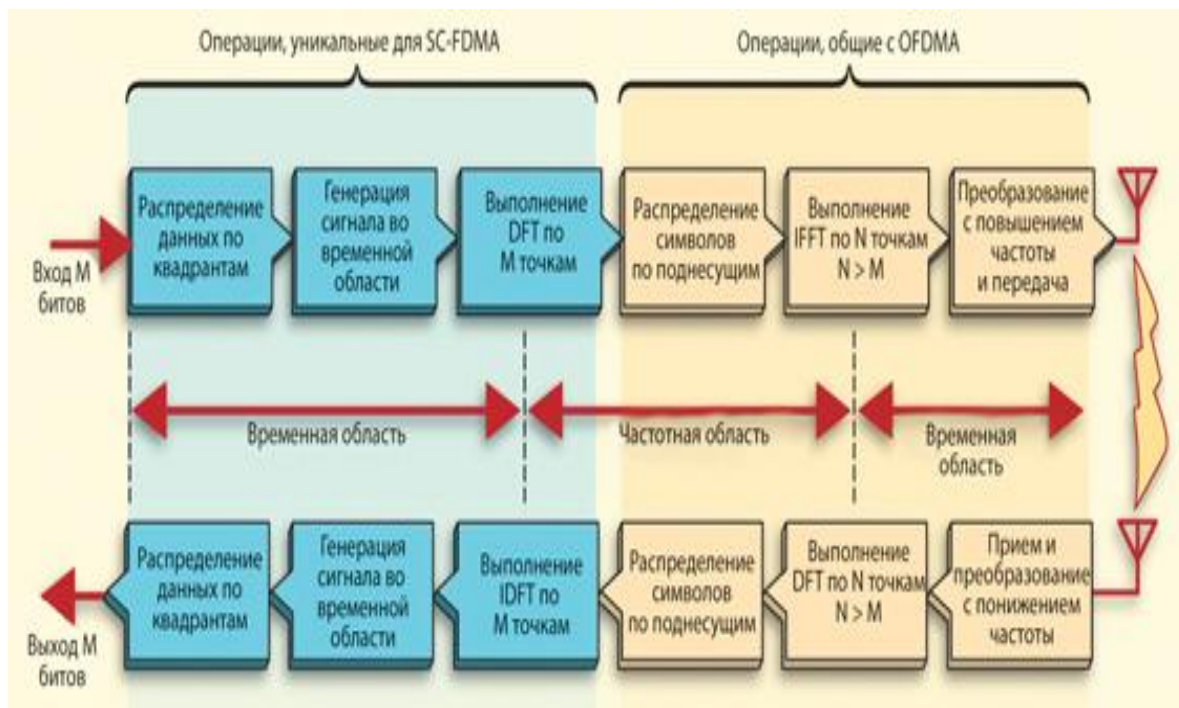
После создания IQ-представления одного символа SC-FDMA во временной области следующим шагом является представление его в частотной области с помощью дискретного преобразования Фурье. Этот процесс представлен на рисунке 1.13. Частота дискретизации ДПФ выбрана таким образом, чтобы форма одного символа SC-FDMA во временной области полностью представлялась  $M$  бинами дискретного преобразования Фурье, которые отстают друг от друга на 15 кГц. При этом каждый бин представляет одну поднесущую с постоянной амплитудой и фазой в течение одного периода символа SC-FDMA равного 66,8 мкс. При всем этом всегда существует однозначное соответствие между числом символов данных, которые передаются за один период символа SC-FDMA, и число создаваемых бинов дискретного преобразования Фурье, которое имеет значение равное числу занимаемых поднесущих. Этот процесс достаточно логичен, так как с ростом числа символов

данных, которые передаются за один период SC-FDMA, сигнал во временной области изменяется быстрее. Этот процесс приводит к расширению полосы и, следовательно, требует большего числа бинов дискретного преобразования Фурье для полного представления сигнала в частотной области.

В OFDMA модулирующие символы данных остаются постоянными в течение периода символа OFDMA, которые имеют значение равное 66,7 мкс. Однако символ SC-FDMA меняется со временем, так как он содержит  $M$  коротких символов данных. Стойкость к многолучевому распространению процесса демодуляции OFDMA обусловлена тем, что большая длина символов данных накладываются непосредственно на отдельные поднесущие. При всем этом стойкость к разбросу задержки обусловлена именно постоянной природой каждой поднесущей, а не постоянством символов данных. Как представлено выше, дискретное преобразование Фурье, изменяющегося во времени символа SC-FDMA, создает набор бинов ДПФ, которые имеют постоянные значения в течение символа SC-FDMA. Однако, стоит обратить внимание на то, что модулирующие символы данных при этом изменяются. В этом и заключается основное свойство процесса ДПФ. Изменяющийся во времени символ SC-FDMA, который состоит из  $M$  последовательных символов данных, представляется в частотной области  $M$  не меняющимися во времени поднесущими. Исходя из этого, даже SC-FDMA с присущими ему короткими символами данных обладает достаточной стойкостью к многолучевому распространению.

Для завершения генерации сигнала SC-FDMA выполняются те же операции, что и для OFDMA. Обратное быстрое преобразование Фурье преобразует смещенный по частоте сигнал во временную область. Затем добавление циклического префикса обеспечивает фундаментальную стойкость к многолучевому распространению, которая свойственна OFDMA

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		29



**Рисунок 1.14 - Упрощенная модель генерации и приема SC-FDMA**

Рисунок 1.14 иллюстрирует близкую взаимосвязь между SC-FDMA и OFDMA. Блоки, находящиеся в правой части рисунка, показывают обработку OFDMA. Блоки, которые находятся слева на рисунке, представляют дополнительную обработку во временной области, которая необходима для SC-FDMA. Важным будет отметить то, что сигнал, который преобразован из частотной области обратно во временную область, представляет собой смещенную по частоте версию последовательности символов QPSK. Этот пример демонстрирует основную причину создания SC-FDMA.

Исходя из сказанного выше, следует то, что для передачи данных в сети LTE каждая поднесущая модулируется посредством 4-, 16- и 64- позиционной квадратурной фазово-амплитудной модуляции (QPSK, 16-QAM или 64-QAM). Соответственно, один символ на одной поднесущей содержит 2, 4 или 6 бит. Сигнал с квадратурной фазовой модуляцией (QPSK) в координатах I/Q приведен на рисунке 1.15.

Сигнал на выходе модулятора:

$$u(t) = I(t) \cos(2\pi f_n t) + Q(t) \sin(2\pi f_n t),$$



где  $I(t)$  и  $Q(t)$  – сигналы, полученные сглаживанием символов  $I$  и  $Q$  с помощью сглаживающего фильтра.

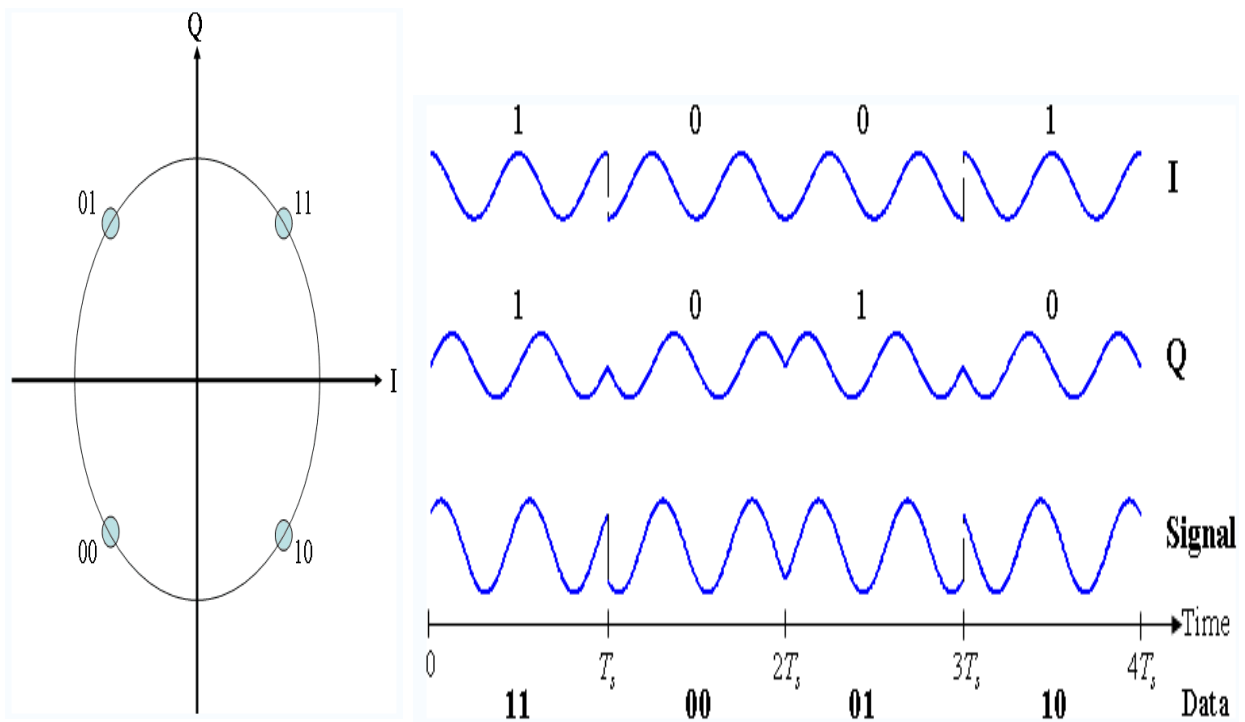


Рисунок 1.15 - Структура сигнала QPSK

### 1.2.5 Физический уровень LTE

Физический уровень LTE состоит из двух типов сигналов:

- физические сигналы
- физические каналы.

Физические сигналы генерируются и используются для синхронизации системы, а также идентификации ячейки и оценки радиоканала. Физические каналы служат для передачи данных, которые поступают с более высоких уровней, включая управление, расписание и полезные данные. В таблице 1.1 показаны физические сигналы и каналы восходящего соединения.

**Таблица 1.1 - Сигналы и каналы восходящего соединения**

Сигналы восходящего соединения	Полное наименование	Назначение
DMRS	Опорный сигнал (демодуляция)	Используется базовой станцией для синхронизации с абонентским оборудованием и для оценки канала восходящего соединения. Связан с PUCCH или PUSCH
SRS	Опорный зондирующий сигнал	Используется для оценки канала при отсутствии PUCCH или PUSCH
Каналы восходящего соединения	Полное наименование	Назначение
PRACH	Физический канал произвольного доступа	Установка соединения
PUCCH	Физический управляющий канал восходящего соединения	Расписание, ACK/NACK
PUSCH	Общий физический канал восходящего соединения	Полезные данные

На рисунке 1.16 показана структура фрейма 1 в частотной и временной областях. Каждый вертикальный столбик представляет одну поднесущую. Передачи сгруппированы в блоки, которые называются блоками ресурсов (RB). Они состоят из 12-ти соседних поднесущих, имеющих длительностью 0,5 мс.

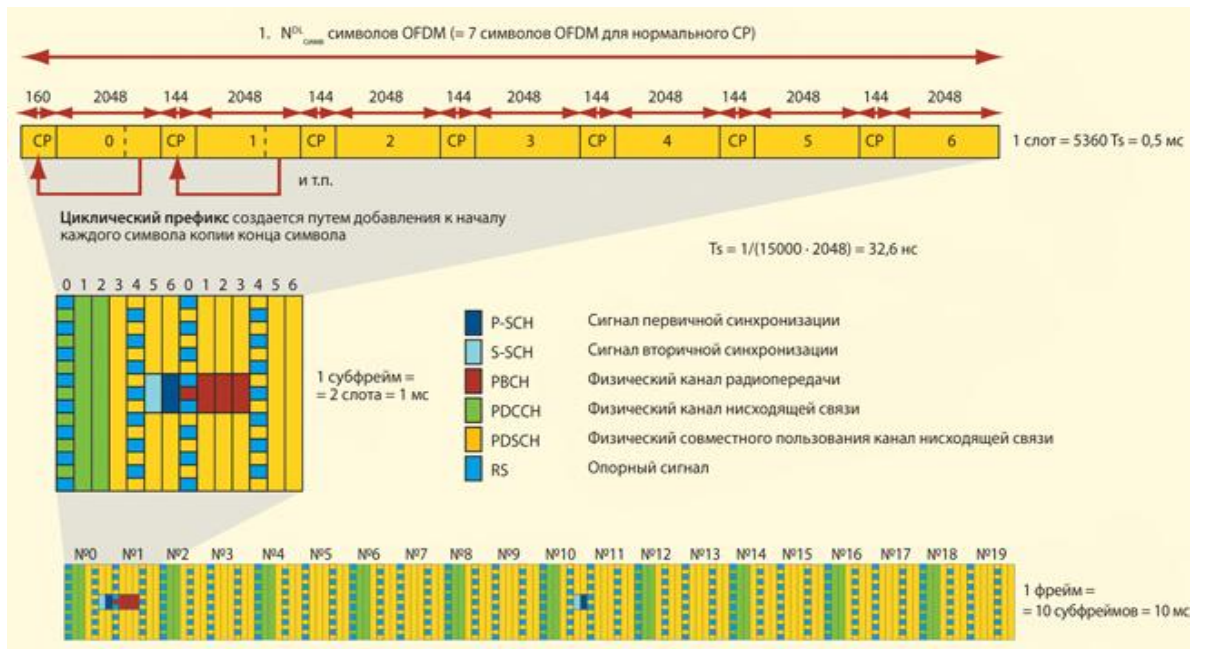


Рисунок 1.16 - Структура фрейма 1 для восходящего соединения, оказывающая распределение DMRS и PUSCH

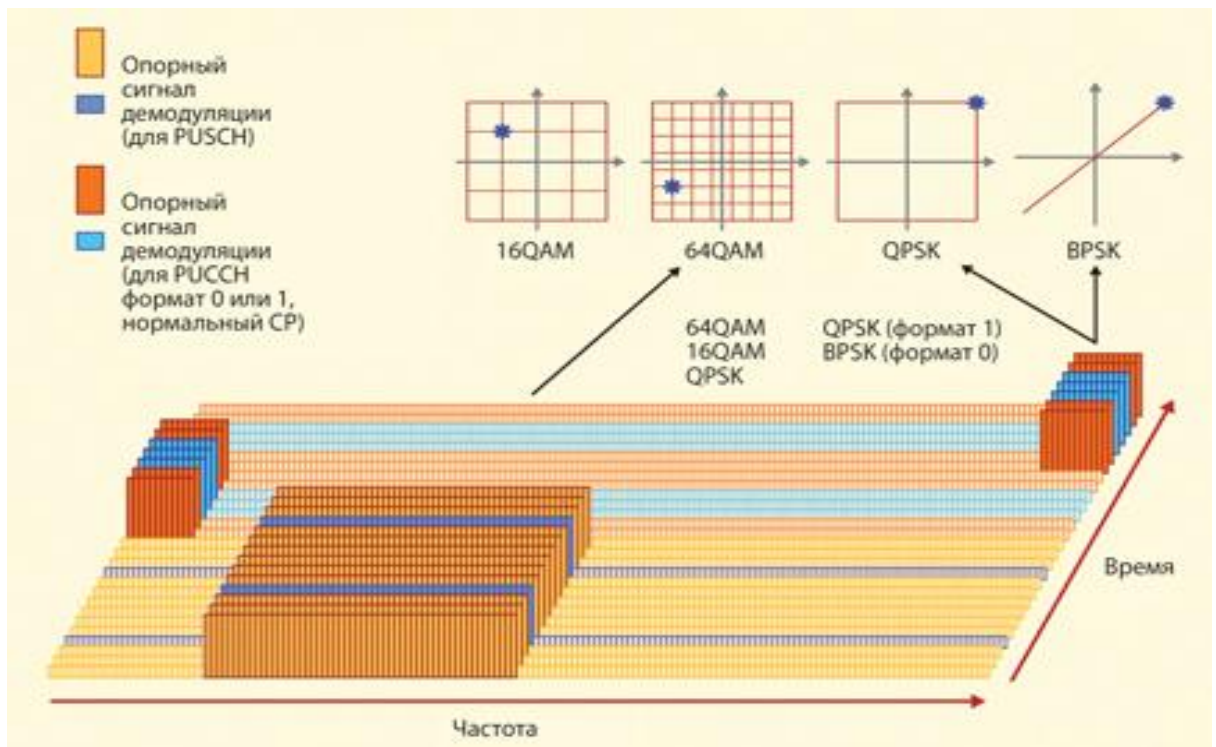


Рисунок 1.17 - Структура фрейма 1 для восходящего соединения, показывающая зависимость одного субфрейма от частоты

Следует обратить внимание на то, что одному абонентскому устройству выделяется определенный диапазон частот. Это можно связать с тем, что число привязанных блоков ресурсов пропорционально скорости передачи, которая не всегда равна максимальному значению.

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

## 1.2.6 Преимущества LTE с точки зрения операторов и абонентов

Интерес операторов связи к технологии LTE вызван неслучайно. Это происходит потому, что развертывание сетей на основе технологии LTE значительно более выгодный проект, в сравнении с сетями третьего поколения. Технология LTE лучше использует частотный спектр, так же следует отметить повышенную емкость сети и меньшие задержки сигнала для небольших пакетов. Этот показатель имеет значение в 5 мс, что практически неощутимо.

С точки зрения оператора связи внедрение технологии LTE позволит:

- уменьшить капитальные;
- снизить операционные затраты;
- уменьшить совокупную стоимость владения сетью;
- расширить спектр услуг, связанных с передачей данных по

высокоскоростным каналам.

С абонентской точки зрения, существенное увеличение скорости передачи данных серьезно улучшит качество предоставляемых услуг. Благодаря повышенной скорости передачи данных возможно распространению новых платных мультимедийных сервисов, таких как:

- многопользовательские игры;
- социальные сети;
- видеоконференции;
- системы мониторинга;
- интерактивные онлайн-приложения.

Возможности использования сетей на основе технологии LTE:

1) В мобильных телефонах возможна реализация видео звонков, а также мобильного телевидения;

2) В смартфонах и коммуникаторах возможна реализация участия в интерактивных играх, очень быстрая загрузка спутниковых карт местности, а также интерактивный просмотр видео контента (от новостей до фильмов) и использование таких платформ как YouTube, Periscope TV и других подобных.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		34

3) В ноутбуках и нетбуках (через встроенный или внешний USB-модем) в полной мере использование скоростного доступа в интернет для скачивания музыки, программ, фильмов в HD-качестве, а также данных больших объемов.

Повсеместное внедрение технологии LTE зависит от наличия абонентских устройств и операторского оборудования, работающих на основе этой технологии.

В настоящее время активность в плане разработки чипсетов и абонентских устройств с поддержкой LTE проявляют LG, Samsung, Motorola, Huawei Technologies, ZTE, Sandbridge Technologies, Altair Semiconductor и другие крупные производители.

На данный момент выпускаются бюджетные варианты модемов с поддержкой стандартов: CDMA, GSM, GPRS, EDGE, 3G, HSDPA, HSUPA, HSPA+. Интерфейс USB от фирм ZTE и Huawei, а также более дорогие модели с внешним размещением.

Множество моделей планшетов, мобильных телефонов и смартфонов с поддержкой LTE представлены более широким кругом производителей. К ним можно отнести небезызвестные фирмы, такие как:

- Motorola;
- Samsung;
- ASUS;
- Apple;
- Huawei;
- Nokia и другие менее известные компании.

В представленном проекте будет реализована сеть на основе технологии LTE. Выбор был сделан не случайно. Именно из-за широкого распространения абонентских устройств со встроенным чипсетом, поддерживающий технологию LTE, была выбрана эта технология. Число устройств, поддерживающих технологию WiMAX, на территории России значительно меньше.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		35

## 2 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СЕТИ СВЯЗИ В ГОРОДЕ МИРНЫЙ

Город Мирный расположен на западе Якутии. Расстояние от столицы республики г. Якутска по автодороге составляет 1072 км, а воздушным путём немного меньше - 820 км. В 1957 году началась добыча алмазов открытым способом. Карьер получил название «Мир». В 1959 году Мирный уже получил статус города. Численность населения города Мирный на 1 января 2016 года составляет 34 836 человека [8]. На данный момент наблюдается рост населения, следовательно актуально предоставление высокоскоростного доступа в сеть Интернет. Город Мирный - это центр акционерной компании «АЛРОСА», занимающейся добычей алмазов на территории Мирнинского района.

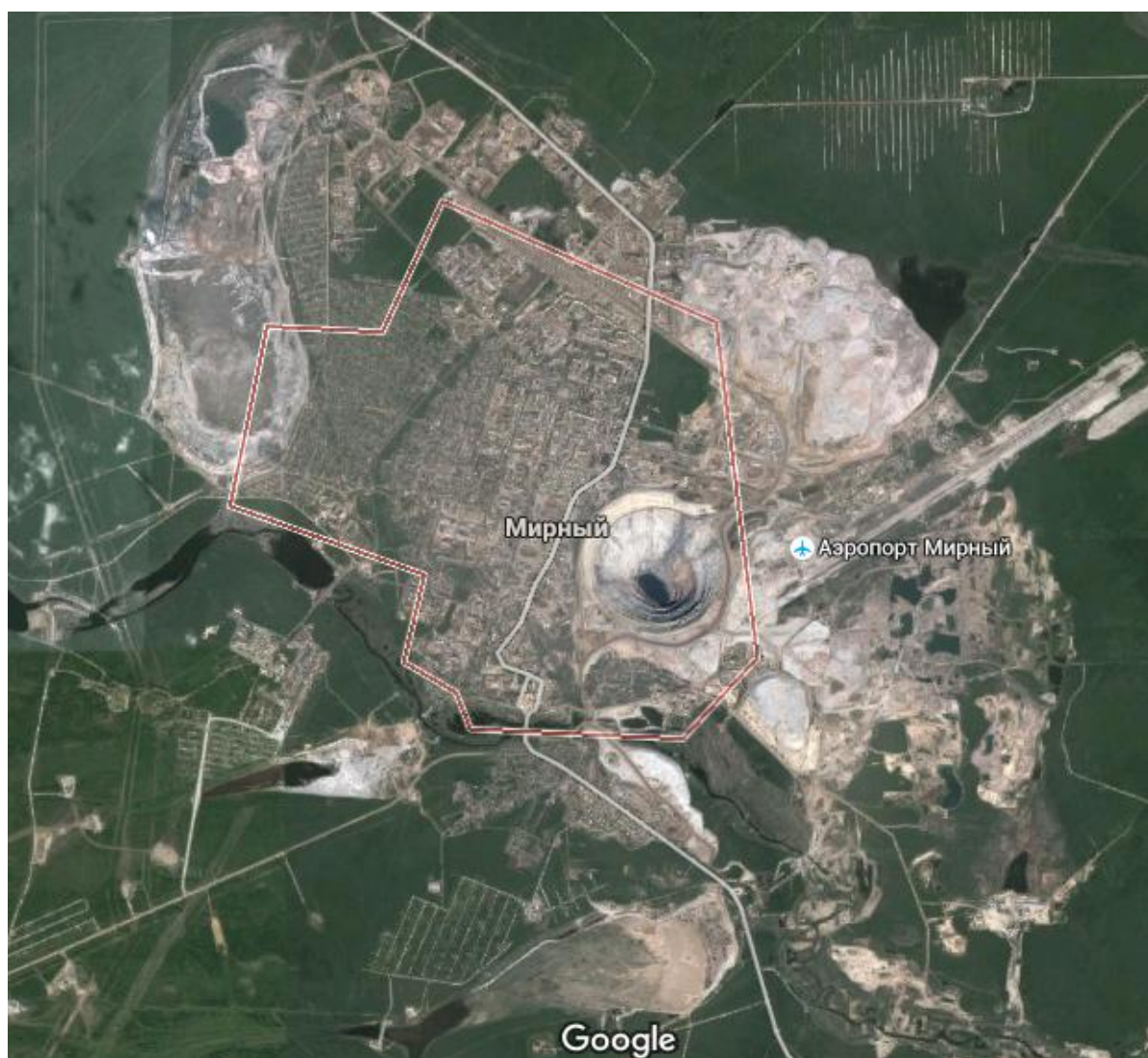


Рисунок 2.1 – город Мирный

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		36

На рисунке 2.1 представлен снимок города Мирный со спутника Google.

После анализа географической высоты, было выяснено, что на территории города наблюдается перепад высот с северо-западной части на юго-восточную в 100 м. На рисунке 2.2 и 2.3 можно наглядно это увидеть.

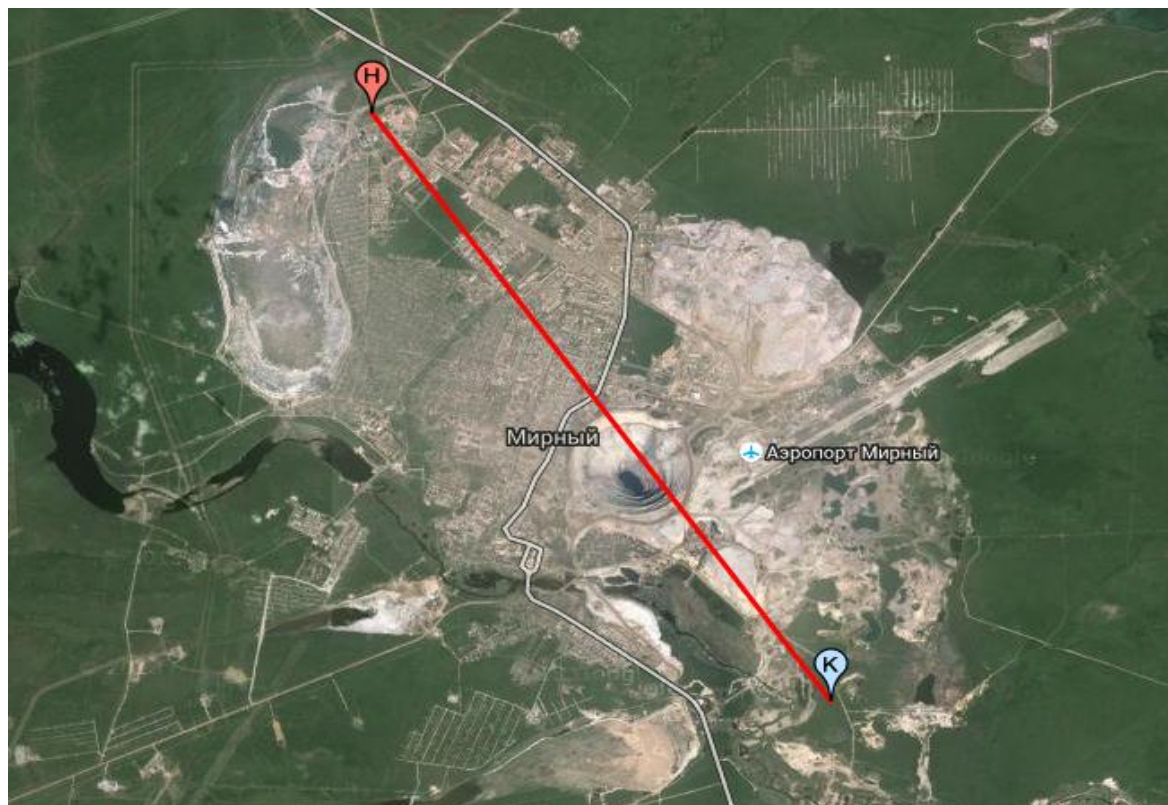


Рисунок 2.2 – перепад высот г. Мирный

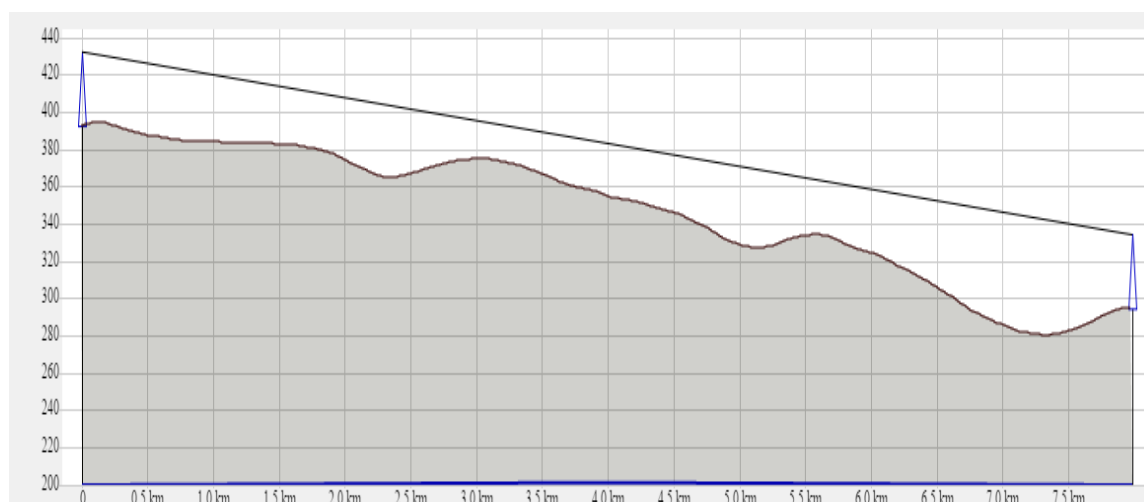


Рисунок 2.3 – перепад высот г. Мирный

## 2.1 Технология, реализованная в городе Мирный

Прежде всего, чтобы предлагаемые услуги в проектируемой сети имели актуальность и были конкурентоспособными, необходимо в начале проектирования проанализировать существующую сеть связи.

Необходимо:

- определить действующих операторов связи;
- узнать набор предоставляемых ими услуг;
- выяснить технологии, на основе которых действующие операторы предоставляют свои услуги абонентам сети.

Оператором, который предоставляет услуги широкополосного доступа в городе Мирный, является компания “Мегафон”.

Открытое акционерное общество «Мегафон» – крупнейший оператор стационарной связи Российской Федерации, оказывающий широкий спектр услуг связи и обеспечивающий доступ к мировым информационным ресурсам частным клиентам, бизнес-структурам и государственным органам.[9]

Оператор связи «Мегафон» весь перечень услуг предоставляет абонентам посредством технологии 3G, которая была полностью реализуема в городе Мирный. Зону покрытия 3G можно увидеть на картинке 2.4.

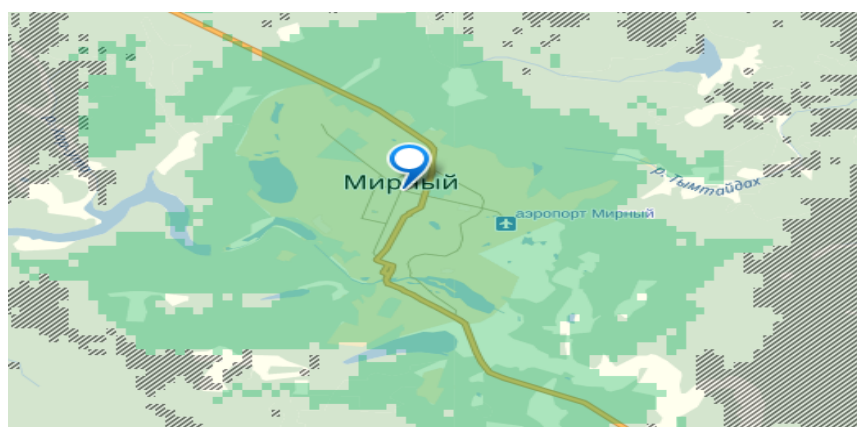


Рисунок 2.4 – зона покрытия 3G в городе Мирный

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		38



### 3 РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТИ, РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АБОНЕНТОВ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

#### 3.1 Выбор оборудования

Увеличение скорости передачи данных – это основная цель проекта, все остальное лишь следствие решения этой задач. Внедрение сети LTE позволит создать высокоскоростные системы связи, оптимизированные для пакетной передачи данных до 75 Мбит/с в восходящем канале и до 300 Мбит/с в нисходящем канале. Передача данных в реализации должна быть более 50 Мбит/с в направлении от пользователя и более 100 Мбит/с в направлении от базовой станции. LTE возможно реализовать в частотных диапазонах от 1.4 МГц до 20 МГц , с помощью двух технологий разделения – FDD (частотное) и TDD (временное).

В проекте будет использоваться технология MIMO 2x2, максимальная скорость которой к абоненту может достигать до 171.7 Мбит/с, предельная скорость от абонента достигает 84.6 Мбит/с на полосу шириной 20 МГц.

Базовая станция LTE имеет различный радиус покрытия. При оптимальных условиях это 4-5 км, но при достаточном поднятии антенны эта цифра может увеличиться до 30-40 км.

Базовая станция состоит из таких основных элементов, как:

- системный модуль для цифровой обработки сигналов
- радиомодуль с тремя приемопередатчиками

Трехсекторная БС выполнена из этих двух модулей (в минимальной конфигурации) (рисунок 3.1)

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		39



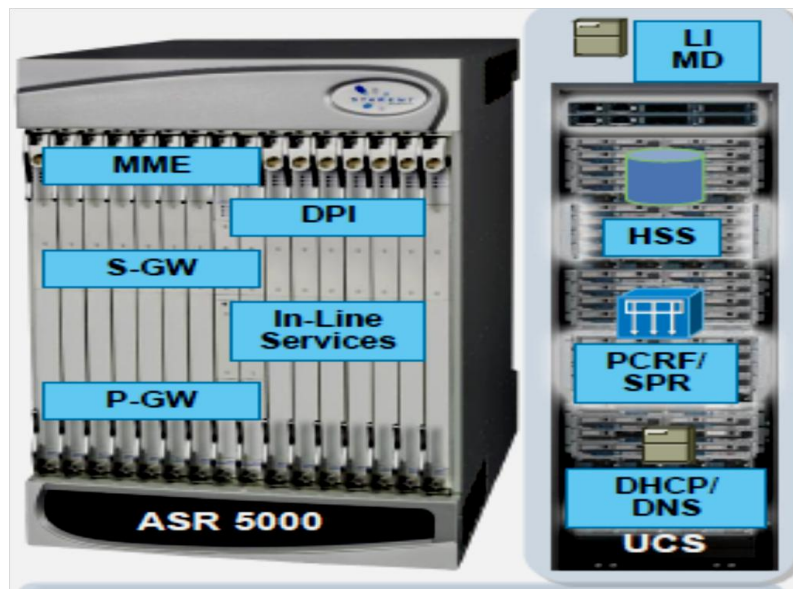
**Рисунок 3.1 - Flexi Multiradio 10 Base Station**

Системный модуль базовой станции поддерживает до 6 радиомодулей. Частотные каналы могут принадлежать различным операторам сети. Базовая станция – это идеальное решение для сетей, которые используют несколько операторов с реализацией технологий GSM/WCDMA/ LTE FDD/ LTE TDD.

В реализуемом проекте будет использована базовая станция Flexi Multiradio 10 Base Station фирмы Nokia. Базовая станция Flexi Multiradio используется в сетях 3G и LTE. Работает с полосами частот от 1.4 МГц до 20 МГц в режиме LTE. Также поддерживает GSM/EDGE и UMTS/HSPA.

Может использоваться внутри и вне помещений, с установкой на полу, на стене, на шесте, на мачте, в распределенных и безфидерных конфигурациях площадки. Частотные диапазоны: спаренные и неспаренные полосы частот в диапазонах 700, 800, 850, 900, 1800, 1900, 1700/2100, 2100, 2300 и 2600 МГц.  
[10]

Интеграция в существующую сеть 3G будет осуществляться путем установки платформы «Cisco ASR 5000 PCS3».



**Рисунок 3.2 - Решение компании "Cisco Systems" по интеграции LTE сети в существующую 3G сеть на базе одной платформы "Cisco ASR 5000 PCS3"**

Достоинства платформы «Cisco ASR 5000 PCS3»:

- интегрированные сетевые функции, встроенные сервисы с высокой пропускной способностью;
- резервирование всех компонент;
- автоматическое восстановление абонентских сессий в рамках одного шасси;
- функция копирования процессов и их состояний;
- доступность платформы 99%;
- восстановление сессий не превышает 2-3 сек.;
- отсутствие специализированных выделенных сервисных плат и модулей;
- процессорные ресурсы автоматически адаптируются к потребностям системы;
- защита памяти для отдельных процессов;
- общее программное обеспечение;
- обновление программного обеспечения осуществляется без прерывания сервисов;
- программные функции распределены по всей платформе.

Главным отличием платформы «Cisco ASR 5000 PCS3» является наличие встроенных сервисов «In-line Services»:

- DPI – глубокая инспекция пакетов – позволяет анализировать трафик и персонализировать услуги, предоставляя абонентам различные качество обслуживания и гибкие правила тарификации в зависимости от типа трафика;
- обнаружение трафика одноранговых протоколов в реальном масштабе времени; определяет различные правила: пропуск или блокировка, специфическая тарификация, контроль потребляемой полосы пропускания;
- фильтрация контента на основе анализа URL в запросах HTTP от мобильных абонентов;
- персональный NAT/Firewall.

Краткая техническая характеристика платформы «Cisco ASR 5000 PCS3»:

- пропускная способность: 320 Гбит/с;
- количество сессий: 4 млн.;
- сетевые интерфейсы: 10/100/1000 Ethernet, 10 Гбит/с Ethernet, OLC/CLC Line Cards (ATM, POS, Frame Relay);
- входное напряжение: DC 40 – 60 В;
- размеры (в×ш×г): 62,13×45,55×61,85 мм;
- полная масса: 138,15 кг;
- максимальная мощность: 800 Вт;
- допускается установка до трех «Cisco ASR 5000 PCS3» в стойку 42 RU.

В качестве АС рассматриваем USB-модем, класс 3 – ЭИИМ 23 дБм (рисунок 3.3)

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		42



**Рисунок 3.3 USB LTE – модем**

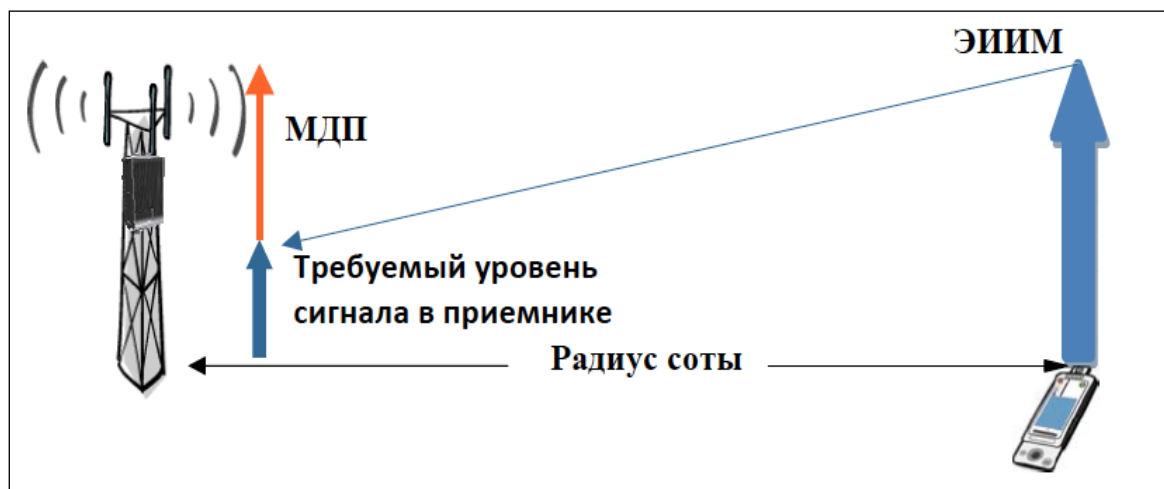
Компании Ericsson и Samsung, заключившие партнерское соглашение о совместном развитии 4G технологий, выпустили USB-модем GT-B3720, работающий в сетях LTE. Устройство появилось в продаже с 2010 года. Модем поддерживает огромную скорость передачи данных до 40-50 Мб/с на передачу и до 140-150 Мб/с на прием.

### **3.2 Расчёт энергетического бюджета радиосети LTE**

Процесс планирования радиосети LTE отличается от аналогичного процесса других технологий. Основные отличия заключаются в многостанционном доступе на базе OFDM и двух типов дуплекса - частотного (FDD) и временного (TDD). Согласно списку частотных диапазонов, выделенных в республике Саха компании ОАО «Мегафон» для LTE, такой частотой является частота в 2600 МГц с шириной канала в 20 МГц и с временным типом дуплекса.[11]

Прежде всего, анализ радиопокрытия начинают с энергетического бюджета, так называемых максимально допустимых потерь на линии (МДП). Принцип этого расчета можно увидеть на рисунке 3.4. МДП рассчитывается как разность между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью (ЭИИМ) передатчика и минимально необходимой мощностью сигнала на входе

приемника сопряженной стороны, при которой с учетом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике.



**Рисунок 3.4 - Принцип расчета энергетического бюджета**

Далее был рассмотрен расчет энергетического бюджета для систем LTE с временным дуплексом, работающих в диапазоне 2600 МГц. Системная полоса для всех систем рассматривается равной 20 МГц. В случае с временным дуплексом вся полоса будет использоваться как на линию «вверх» (от абонета до базовой станции), так и на линию «вниз» (от базовой станции до абонента).

Рассмотрим базовую станцию, радиочастотный блок каждого сектора оснащен двумя приемопередатчиками, выходная мощность передатчиков 20 Вт (44 дБм). Радиочастотный блок устанавливается в непосредственной близости от антенны. Базовая станция работает на линии вниз в режиме MIMO 2x2. Так как энергетический бюджет рассчитывается для абонентской станции на краю соты, т.е. принимающей сигналы от БС с низким отношением сигнал/шум (ОСШ), то БС передает сигналы на эту АС в режиме разнесенной передачи. За счет сложения мощностей сигналов двух передатчиков в пространстве можно получить энергетический выигрыш (3 дБ). В качестве АС рассматриваем USB-модем, класс 3 – ЭИИМ 23 дБм.

Результаты расчета энергетического сведены в таблицу 3.1

**Таблица 3.1 – Энергетический расчет**

TDD 20 МГц		
Линия трафика	DL	UL
Антенная система	2x2	1x2
Соотношение длительности кадров DL/UP	54%	42%
Передатчик		
Выходная мощность передатчика, дБм	43	23
Выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ	3	
Коэффициент усиления антенны, дБи	18	0
Потери в фидерном тракте, дБ	0.4	-
Эквивалентная изотропная излучаемая мощность, дБм	63.6	23
Приемник		
Скорость передачи данных на краю соты, кбит/с	4510	128
Число ресурсных блоков	86	4
Схема модуляции и кодирования	6-QPSK	6-QPSK
Эффективная скорость кодирования	0.46	0.38
Мощность теплового шума, дБм	-101.4	-115.4

**Окончание таблицы 3.1**

Требуемое отношение сигнал/шум, дБ	-0.23	0.01
Коэффициент шума приемника, дБ	7.0	2.5
Чувствительность приемника, дБм	-94.6	-112.8
Коэффициент усиления антенны, дБи	0	18
Потери в фидерном тракте, дБ	-	0.4
<b>Прочие запасы/выигрыши</b>		
Запас на помехи, дБ	8.53	3.8
Запас на проникновение в помещение, дБ	17	
Запас на затенение, дБ	8.7	
Выигрыш от хэндовера, дБ	2.5	
Максимально допустимые потери, дБ	126.5	126.5
<b>Радиус соты в условиях средней городской застройки</b>		
Радиус соты, км	0.45	
Площадь покрытия трехсекторного сайта, кв. км	0.40	

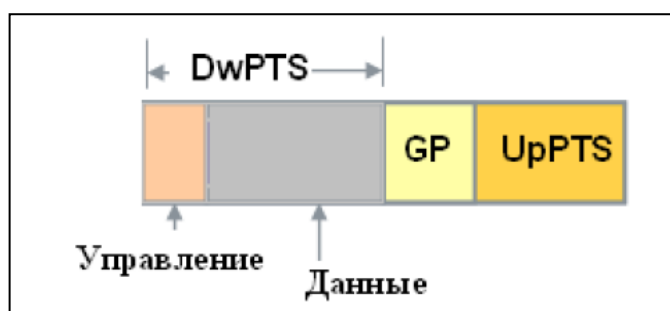
Энергетический бюджет в большей степени зависит от соотношения длительности кадров на UL и DL. В системе TDD используется ассиметричная структура кадра для линий вверх и вниз.



0	DL	S	UL	UL	UL	DL	S	UL	UL	UL
1	DL	S	UL	UL	DL	DL	S	UL	UL	DL
2	DL	S	UL	DL	DL	DL	S	UL	DL	DL
3	DL	S	UL	UL	UL	DL	DL	DL	DL	DL
4	DL	S	UL	UL	DL	DL	DL	DL	DL	DL
5	DL	S	UL	DL	DL	DL	DL	DL	DL	DL
6	DL	S	UL	UL	UL	DL	S	UL	UL	DL
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Рисунок 3.5 - Конфигурации кадров в системе TDD**

На рисунке 3.5 изображено 7 конфигураций кадра в системе TDD. В сети TDD конфигурации кадров всех БС должны совпадать. Кадры на рисунке пронумерованы по вертикали, состоящие также из 10 субкадров по 1 мс (субкадры пронумерованы по горизонтали). Буквой «S» обозначены специальные субкадры, включающие 3 поля, см. рис. 3.6. DwPTS – поле для передачи управляющей информации и пользовательских данных на линии вниз; GP – защитный интервал для переключения с линии вниз на линию вверх; UpPTS – поле для передачи на линии вверх управляющей информации, в основном канала доступа. Необходимо учесть, что специальный субкадр позволяет переносить пользовательскую информацию только на линии вниз.



**Рисунок 3.6 - Структура специального субкадра**

В рассматриваемом примере системы TDD используется специальный субкадр формата 7 с длительностью полей: DwPTS – 10 символов OFDM, GP – 2 символа OFDM, – 2 символа OFDM.

В системах с адаптивными схемами дальность связи зависит от гарантируемой скорости передачи данных для пользователя на краю соты. В

указанных примерах на линии вверх для пользователя на краю соты гарантируется скорость 128 кбит/с. В зависимости от типа дуплекса и соотношения длительностей кадра UL/DL, для переноса этого потока данных, требуется выделить разное количество ресурсных блоков (1 ресурсный блок = 180 кГц x 1 мс). Выбор оптимального числа ресурсных блоков NPRB и схемы MCS осуществляются по результатам моделирования канального уровня, исходя из заданного качества услуг с минимизацией ОСШ.

Запас на помехи определяется по результатам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах. Указанные в таблице 4.1. значения соответствуют нагрузке в соседних сотах 90%.

Для того, чтобы обеспечить связь в помещении, необходимо добавить в энергетический бюджет запас на проникновение радиоволн в помещение. Для диапазона 2600 МГц могут использоваться следующие типовые значения запаса на проникновение:

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

Так как зоны радиопокрытия соседних сот, как правило, перекрываются, то при возникновении глубоких замираний в обслуживающей соте АС может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема. Из двух значений МДП, полученных для UL и DL, выбирают минимальное, по которому производят дальнейший расчет радиуса соты. Ограничивающей линией по дальности связи, как правило, является линия вверх.

Необходимо обратить внимание на то, что в таблице 4.1. максимально допустимые потери на линиях вверх и вниз примерно одинаковые, с разницей меньше 1 дБ. В этих примерах скорости передачи на линии вверх были зафиксированы, а на линии вниз для каждого случая скорость подбиралась так, чтобы сбалансировать максимально допустимые потери для обеих линий.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

В таблице 4.1. указаны радиусы сот для ограничивающей линии с наименьшим МДП, для линии вверх, в условиях средней городской застройки. Для расчета дальности связи в данном случае используется модель распространения радиоволн COST231-Nata, высота подвеса антенн БС принята равной 30 м. В сети LTE с TDD дуплексом с уверенностью можно гарантировать высокую пропускную способность на линии «вниз».

### 3.3 Расчёт ёмкости проектируемой сети

Пропускную способность сети, или емкость, оценивают, основываясь на усредненных показателях спектральной эффективности соты при определенных условиях. В данном проекте будет приведен пример расчета пропускной способности для сетей LTE с временным дуплексом.

Для расчета средней пропускной способности соты на линии вниз использовано выражение:

$$R_{TDD} = S_{TDDaverage} * W * T_{\%} = 1,69 * 20000 * 0,54 = 18,25 \text{ Мбит/с,}$$

где  $S_{TDDaverage}$  - средняя спектральная эффективность;

W - ширина канала;

$T_{\%}$  - доля длительности кадра на линии вверх или вниз.

**Таблица 3.2 - Результаты расчета пропускной способности трехсекторных базовых станций**

Конфигурация системы	TDD 20 МГц	
	DL	UL
Линия		

**Окончание таблицы 3.2**

Соотношение длительности кадров	54%	42%
Спектральная эффективность, бит/с/Гц	1.69	0.735
Средняя пропускная способность соты, Мбит/с	18.25	6.32
Средняя пропускная способность базовой станции, Мбит/с	54.75	18.96

Для рассмотренной конфигурации системы диапазона 2600 МГц рассчитано необходимое количество трехсекторных сайтов для обслуживания города Мирный Республика Саха(Якутия) площадью 15 кв.км.[8]

В таблице 3.3 указаны результаты расчета, а также распределение классов застройки/местности, определяющих условия распространения радиоволн.

**Таблица 3.3 - Расчет числа БС диапазона 2600 МГц**

Класс местности	Плотная застройка	Средняя застройка	Редкая застройка	Открытая местность, парки	Итого:
% местности	20%	45%	15%	20%	100%
Площадь города по классам, кв. Км	3,6	5,1	2,7	3,6	15
Потери на проникновение в помещение	20	17	12	8	
TDD 20 МГц					

**Окончание таблицы 3.3**

МДП, дБ	121.5	126.5	131.5	135.5	
Радиус соты, км	0.27	0.45	1.12	3.41	
<b>Число сайтов</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>27</b>

Число базовых станций получилось очень большим для небольшого города. Для реализации проекта по установке всех БС необходимо огромное количество финансовых затрат. Исходя из этого, было выбрано 15 базовых станций. Площадь города равна 15 кв. км. Базовые станции будут установлены в наиболее заселенных районах города, т.к. именно здесь находятся потенциальные клиенты.

Была оценена емкость сети LTE TDD в городе Мирный при наличии полосы в 20 МГц при использовании 15 базовых станций. Суммарная пропускная способность такой сети в направлении к абоненту составит 75000 Мбит/с. При расчете числа абонентов использовались тарифы сети 3G компании ОАО «Мегафон» в городе Мирный: максимальный объем трафика абонента в месяц – 30 Гбайт.

**Таблица 3.4 - Оценка ёмкости сети LTE**

Трафик абонента. Гбайт/месяц	30
Число часов наибольшей нагрузки в день	17
Число дней в месяце	30

#### Окончание таблицы 3.4

Усредненный трафик абонента в час наибольшей нагрузки, Мбит/с	0.131
Доля трафика на DL	80%
Усредненный трафик абонента на DL в час наибольшей нагрузки, Мбит/с	0.105
Общий трафик в сети, Гбит/с	75
Число абонентов, тысяч	20

Полученная расчетная стоимость в 20 тысяч абонентов. Этой цифры хватает для удовлетворения всех потребностей абонентов, при этом есть запас для будущего развития сети.

#### 3.4 Расположение базовых станций в городе и архитектура сети

На рисунке 3.7 можно увидеть расположение базовых станций в городе Мирный Республика Саха. Место установки выбрано согласно местности, где наблюдается большая плотность проживающих людей. Количество установленных станций равно 15. Этого количества хватает, чтобы полностью покрыть заселенные районы города Мирный.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		52

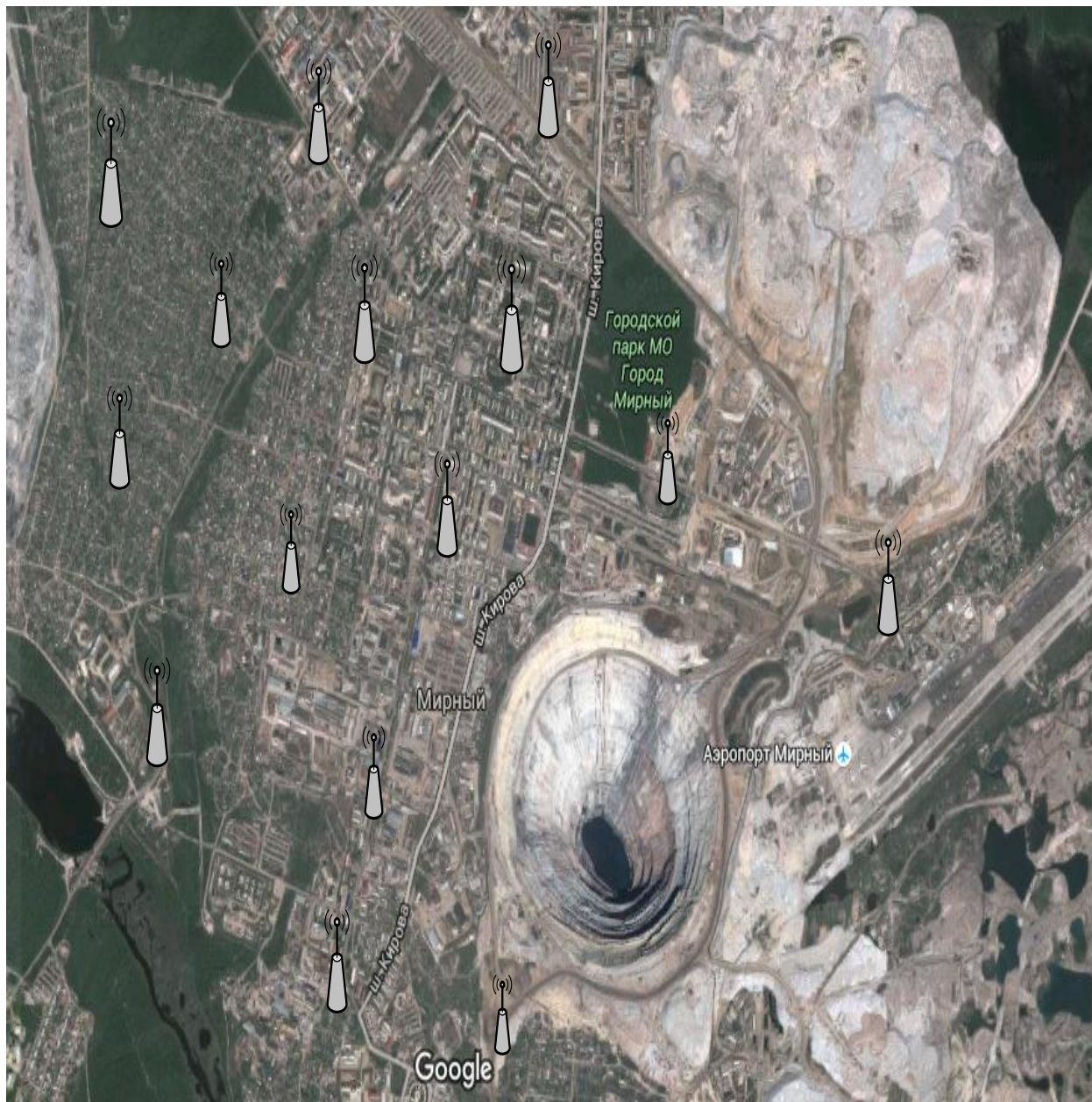


Рисунок 3.7 – расположение БС в городе Мирный

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

11070006.11.03.02.126.ПЗВКР

Лист

53

На рисунке 3.8 представлена архитектура построенной сети LTE.

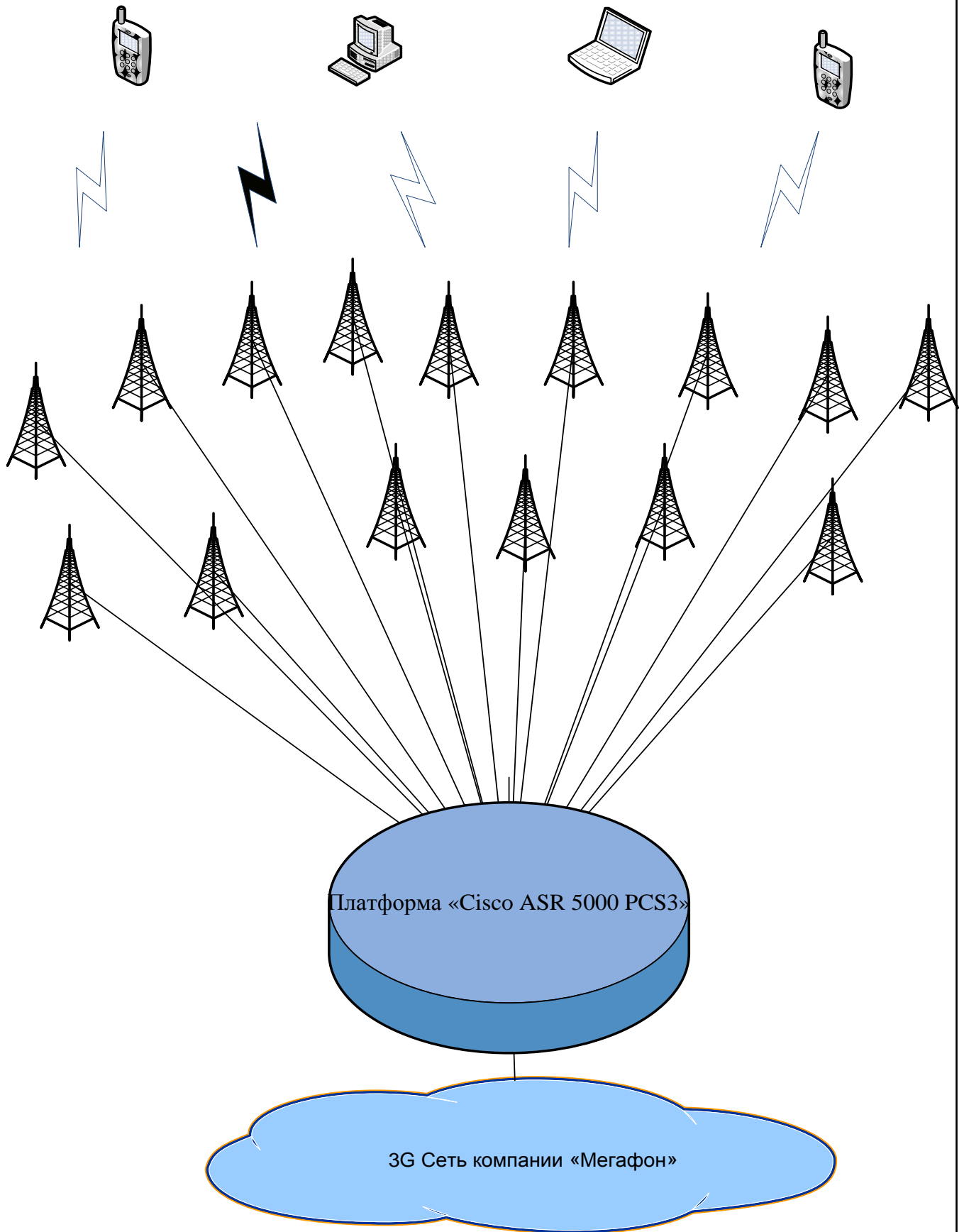


Рисунок 3.8 - Проектируемая схема организации связи сети LTE в городе Мирный

Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата

11070006.11.03.02.126.ПЗВКР

Лист

54



## 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1 Расчет капиталовложений

Капитальные вложения представляют собой смету затрат на реализацию проекта и включают в себя все необходимое коммуникационное оборудование линию связи, стоимость лицензионного программного обеспечения и т.д.

Таблица 4.1– Смета затрат на оборудование

Наименование	Кол-во единиц	Стоимость (руб)	
		за единицу	всего
Базовая станция Flexi Multiradio 10 Base Station	15	260000	3900000
Радиомодуль RRU 3368	45	195 000	8 775 000
Панель распределения питания DDCU-03	15	30 000	450 000
Антенны 80300674 «Kathrein»	45	150 000	6 750000
Платформа «Cisco ASR 5000 PCS3».	1	2 300 000	2 300 000
Статив под оборудование Cisco ASR 5000 PCS3	1	50000	50000
Монтажные и пуско-наладочные работы			4 100 000
Оплата разработки проекта			1 400 000
Разовая плата за использование радиочастотного спектра		56000	56000
<b>ИТОГО</b>			<b>27781000</b>

При приобретении оборудования обычно предусматриваются следующие расходы:  $K_{пр}$  – Затраты на приобретение оборудования;  $K_{тр}$  – транспортные расходы в т.ч. таможенные расходы (4% от  $K_{пр}$ );  $K_{смп}$  – строительно-монтажные расходы (20% от  $K_{пр}$ );  $K_{т/у}$  – расходы на тару и упаковку (0,5% от  $K_{пр}$ );  $K_{зср}$  – заготовительно-складские расходы (1,2% от  $K_{пр}$ );  $K_{пнр}$  – прочие непредвиденные расходы (3% от  $K_{пр}$ ).

Таким образом, общие капитальные вложения рассчитываются как:

$$KB = K_{об} + (K_{пр} + K_{тр} + K_{смп} + K_{т/у} + K_{зср} + K_{пнр})K_{об}, \text{руб} \quad (4.1)$$

$$KB = 27781000 + 27781000 \cdot (0,04 + 0,2 + 0,03 + 0,012 + 0,005) = 35754147, \text{руб}$$

#### 4.2. Калькуляция эксплуатационных расходов

Эксплуатационными расходами называются текущие расходы предприятия на производство или предоставление услуг. В состав эксплуатационных расходов входят все расходы на содержание и обслуживание сети. Эти расходы имеют текущий характер. Эксплуатационные расходы по своей экономической сущности выражают себестоимость услуг связи в денежном выражении.

Для определения эксплуатационных расходов по проекту используются следующие статьи:

1. затраты на оплату труда;
2. страховые взносы;
3. амортизация основных фондов;
4. материальные затраты;
5. прочие производственные расходы.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		56

В связи с тем, что проект предполагает модернизацию существующей сети, то будет произведено увеличение персонала.

**Таблица 4.2 – Состав персонала по обслуживанию оборудования**

Наименование должности	Оклад	Количество, чел.	Сумма з/п, руб.
Ведущий инженер	45 000	1	45 000
Инженер 1 кат.	30 000	2	60 000
Инженер-программист.	25 000	2	50 000
Монтажник	15 000	4	60 000
<b>ИТОГО</b>		<b>9</b>	<b>210 000</b>

Годовой фонд оплаты труда для персонала рассчитывается как:

$$\text{ФОТ} = \sum_{i=1}^K (T * P_i * I_i) * 12, \text{ руб} \quad (4.2)$$

$$\text{ФОТ} = 2\,820\,000, \text{ руб}$$

где:  $I_i$  – количество работников каждой категории;  $P_i$  – заработная плата работника каждой категории, руб; 12 – количество месяцев;  $T$  – коэффициент премии (если премии не предусмотрены, то  $T=1$ ).

Далее рассчитываются страховые взносы, которые составляют 30% от заработной платы сотрудника.

$$\text{СВ} = \text{ФОТ} * 0,3, \text{ руб} \quad (4.3)$$

$$\text{СВ} = 2\,820\,000 * 0,3 = 846\,000, \text{ руб}$$

Под амортизацией понимается процесс постепенного возмещения стоимости основных фондов, в целях накопления средств для реконструкции и приобретения основных средств. Самым распространенным способом оценки амортизации является учет амортизации, составленный исходя из общего срока службы основных фондов, в этом случае:

$$AO = T / F, \text{ руб} \quad (4.4)$$

где Т – стоимость оборудования,  
F – срок службы этого оборудования.

$$AO = 24\,757\,550 / 10 = 2\,465\,765, \text{ руб}$$

Величина материальных затрат включает в себя оплату электроэнергии для производственных нужд, затраты на материалы и запасные части и др. Эти составляющие материальных затрат определяются следующим образом:

а) затраты на оплату электроэнергии определяются в зависимости от мощности стационарного оборудования:

$$Z_{эн} = T * 24 * 365 * P \quad (4.5)$$

где Т – тариф на электроэнергию (руб./кВт · час),  
P – мощность установок (кВт).

$$Z_{эн} = 0.92 * 24 * 365 * 21 = 169243, \text{ руб.}$$

б) затраты на материалы и запасные части составляют 3,5% от основных производственных фондов и определяются по формуле:

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		58

$$Z_{мз} = KB * 0,035 \quad (4.6)$$

где KB – капитальные вложения, затраты на оборудование.

$$Z_{мз} = 35754147 * 0,035 = 1251395 \text{ , руб}$$

Общие материальные затраты равны:

$$Z_{общ} = Z_{эн} + Z_{мз} \quad (4.7)$$

где  $Z_{эн}$  – затраты на оплату электроэнергии;

$Z_{м}$  – материальные затраты.

Прочие расходы предусматривают общие производственные ( $Z_{пр.}$ ) и эксплуатационно-хозяйственные затраты ( $Z_{эк.}$ ):

$$Z_{пр} = ФОТ * 0,15 \quad (4.8)$$

$$Z_{эк} = ФОТ * 0,25 \quad (4.9)$$

где ФОТ – годовой фонд оплаты труда.

$$Z_{пр} = 2820000 * 0,15 = 423000, \text{ руб}$$

$$Z_{эк} = 2820000 * 0,25 = 705000 \text{ , руб}$$

Расчет стоимости аренды радиочастот

Размеры разовой платы за использование радиочастотного спектра для радиотехнологий сотовой связи устанавливаются применительно к каждой полосе радиочастот, выделенной решением ГКРЧ и (или) указанной в лицензии по каждому субъекту (части субъекта) Российской Федерации, указанному в решении ГКРЧ или лицензии, для иных технологий - применительно к каждому выдаваемому разрешению, и рассчитываются по следующей формуле:

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		59

$$Pr = Cr * K_{\text{диап}} * K_{\text{рч}} * K_{\text{тех}}, \quad (4.10)$$

$$Pr = 70000 * 2 * 20 * 0.02 = 56000 \text{ руб.},$$

где:

$P_r$  - размер разовой платы, руб.;

$C_r$  - ставка разовой платы, руб.;

$K_{\text{диап}}$  - коэффициент, учитывающий используемый диапазон радиочастот;

$K_{\text{рч}}$  - коэффициент, учитывающий количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов);

$K_{\text{тех}}$  - коэффициент, учитывающий технологию, применяемую при использовании радиочастотного спектра.

Расчет размера ежегодной платы

Размеры ежегодной платы для радиотехнологий сотовой связи устанавливаются применительно к каждой полосе радиочастот, выделенной решением ГКРЧ и (или) указанной в лицензии по каждому субъекту (части субъекта) Российской Федерации, указанному в решении ГКРЧ или лицензии, для иных технологий - применительно к каждому разрешению, и рассчитываются по следующей формуле:

$$Pg = \frac{Cr}{K_{\text{диап}} * K_{\text{рч}} * K_{\text{тех}} * 365}, \quad (4.11)$$

$$Pg = \frac{264000}{2 * 20 * 0.02} = 330000 \text{ руб.},$$

где:

$P_g$  - размер ежегодной платы, руб.;

$P_{g(\text{кв})}$  - размер ежегодной платы за квартал, руб.;

$C_r$  - ставка ежегодной платы, руб.;

$K_{\text{диап}}$  - коэффициент, учитывающий используемый диапазон радиочастот;

$K_{\text{рч}}$  - коэффициент, учитывающий количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов);

$K_{\text{тех}}$  - коэффициент, учитывающий технологию, применяемую при

						Лист
					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	60
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

использовании радиочастотного спектра;

Коэффициент, учитывающий количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов) для РЭС, в том числе РЭС радиотехнологий сотовой связи и технологий, для которых в разрешении указана полоса радиочастот, кроме РЭС системы MMDS, земных станций спутниковой связи (далее - ЗССС) и узловых (центральных) станций VSAT, рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{рч} = \Sigma N, \quad (4.12)$$

$$K_{рч} = 20,$$

$K_{рч}$  - коэффициент, дифференцируемый от количества используемых радиочастот (радиочастотных каналов);

$N$  - количество используемых радиочастот (радиочастотных каналов).

Расчет количества  $N$  для радиотехнологий сотовой связи и иных технологий, для которых полоса радиочастот указана в разрешении, проводится по формуле:

$$N = \Delta F(\text{МГц})/1\text{МГц}, \quad (4.13)$$

$$N = \frac{20\text{МГц}}{1\text{МГц}} = 20,$$

где:

$\Delta F$  - полоса радиочастот, выделенная пользователю радиочастотным спектром (суммарная ширина полосы неповторяющихся радиочастотных каналов), или полоса радиочастот, указанная в разрешении.

Коэффициент, учитывающий технологию, применяемую при использовании радиочастотного спектра, для радиотехнологий сотовой связи рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{тех} = K_{нерсп} * K_{рег} * K_{соц}, \quad (4.14)$$

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		61

$$K_{\text{тех}} = 0.1 * 0.2 * 1 = 0.02,$$

где:

$K_{\text{персп}}$  - коэффициент, учитывающий перспективность технологии, применяемой при использовании радиочастотного спектра, применение коэффициента  $K_{\text{персп}}$  для радиотехнологий, в отношении которых принято соответствующее решение ГКРЧ о прекращении их дальнейшего использования и (или) выводе РЭС данных технологий в другие полосы частот, осуществляется с даты принятия данного решения ГКРЧ для РЭС гражданского назначения;

$K_{\text{рег}}$  - коэффициент, учитывающий интенсивность использования соответствующих выделенных полос радиочастот в субъекте (части субъекта) Российской Федерации и сформированный на основании плотности населения на территории субъекта (части субъекта) Российской Федерации, степени развития сетей подвижной радиотелефонной связи и степени экономического развития субъекта (части субъекта) Российской Федерации;

$K_{\text{соц}}$  - коэффициент, учитывающий степень социальной направленности внедрения технологии.

Размеры ставок и коэффициентов для расчета аренды радиочастот

**Таблица 4.3 - ставки и коэффициенты для расчета аренды радиочастот**

Плата	Ставка, руб.
Разовая для радиотехнологий сотовой связи	70 000
Разовая для иных технологий	300
Ежегодная для радиотехнологий сотовой связи	264 000
Ежегодная для иных технологий	1400

Значения коэффициента, учитывающих диапазон радиочастот  $K_{\text{диап}}=2$

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		62



Значения коэффициента, учитывающего перспективность технологии  $K_{персп}=0.1$

Значения коэффициента, учитывающего необходимую ширину полосы излучения радиосигнала для передачи информации с заданным качеством в используемом радиочастотном канале  $K_{шиппи}=3$

Значения коэффициента, учитывающего численность населения в месте установки РЭС с учетом административных границ населенного пункта  $K_{нас}=1.2$

Значения коэффициента, учитывающего степень социальной направленности внедрения технологии  $K_{соц}=1$

Значения коэффициента, учитывающего интенсивность использования соответствующих полос радиочастот в субъекте (части субъекта) Российской Федерации  $K_{рег}=0.2$

Все значения приняты согласно выбранной технологии проекта и субъекта, где она будет реализована.

Результаты расчетов годовых эксплуатационных расходов приведены в таблице 4.4

**Таблица 4.4 – Годовые эксплуатационные расходы**

Наименование затрат	Сумма затрат, руб.	Удельный вес статей, %
1. ФОТ	2 820 000	24
2. Страховые взносы	846 000	10
3. Амортизационные отчисления	2 465 765	23
4. Материальные затраты	1 251 395	11
5. Прочие расходы	1 128 000	10
6. Ежегодная плата за аренду частот	330 000	16
7. Аренда виртуальных каналов	56 000	6
<b>ИТОГО</b>	<b>8 907 150</b>	<b>100</b>

### 4.3. Калькуляция доходов

Внедрение в сеть технологии LTE обеспечит пользователям высокоскоростной доступ в интернет. Основной доход будет складываться именно из доходов от предоставления этой услуги. Услуга безлимитного высокоскоростного доступа в интернет будет предоставляться в рамках нескольких тарифных планов, представленных в таблице 5.4.

**Таблица 4.5 – Тарифные планы**

Интернет XS	190	1 ГБ	40
Интернет S	360	4 ГБ	30
Интернет M	460	10 ГБ	20
Интернет L	860	30 ГБ	8
Интернет XL	1290	Без ограничений	2

В таблице 4.5 представлено предполагаемое количество подключаемых абонентов в определенный период времени (год).

**Таблица 4.6 – Предполагаемое количество подключаемых абонентов в определенный период времени (год)**

Год	Количество подключаемых абонентов
1	4869 (30% от общего-16564)
2	4869 (42,5% от оставшихся-11595)
3	2341 (37% от оставшихся-6626)
4	1142 (30% от оставшихся-4174)
5	887 (30 от оставшихся-2922)
6	623 (30% от оставшихся-2045)
7	432 (30% от оставшихся-1432)
8	320 (30% от оставшихся-1002)
9	710 (100% от оставшихся 710)

Годовой доход за предоставление абонентам доступа к различным услугам рассчитывается как:

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		64

$$D_{\text{год}} = \sum_{i=1}^J N_i * B_i * 12, \quad (4.15)$$

В таблице 4.6 представлены доходы от абонентской платы по годам

**Таблица 4.6 – Доходы за предоставление услуг**

Год	Количество абонентов	Доход, руб
1	4869	21385426
2	4869	21484426
3	2341	10654026
4	1142	5380611
5	887	3786021
6	623	2629343
7	432	1841338
8	320	1281670
9	710	3021521

#### 4.4 Определение оценочных показателей проекта

Среди основных показателей проекта можно выделить срок окупаемости, т.е. временной период, когда реализованный проект начинает приносить прибыль превосходящую ежегодные затраты.

Для оценки срока окупаемости можно воспользоваться принципом расчета чистого денежного дохода (NPV), который показывает величину дохода на конец  $i$ -го периода времени. Данный метод основан на сопоставлении величины исходных инвестиций (IC) с общей суммой дисконтированных чистых денежных поступлений (PV) за весь расчетный период. Иными словами этот показатель представляет собой разность дисконтированных показателей доходов и инвестиций, рассчитывается по формуле (4.16):

$$NPV = PV - IC \quad (4.16)$$

где PV – денежный доход, рассчитываемый по формуле (4.15); IC – отток денежных средств в начале  $n$ -го периода, рассчитываемый по формуле (4.16).

$$PV = \sum_{n=0}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} \quad (4.17)$$

где  $P_n$  – доход, полученный в  $n$ -ом году,  $i$  – норма дисконта,  $T$  – количество лет, для которых производится расчет.

$$IC = \sum_{n=0}^m \frac{I_n}{(1+i)^n} \quad (4.18)$$

где  $I_n$  – инвестиции в  $n$ -ом году,  $i$  – норма дисконта равная 10%,  $m$  – количество лет, в которых производятся выплаты.

В формулах (5.15) и (5.16)  $n=0$ , т.к. 0 год это год на ввод сети в эксплуатацию. В этот год доходы отсутствуют, а присутствуют только затраты на закупку оборудования и оплату годовых расходов. Оценка экономических показателей проекта представлена в таблице 4.8.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		66

**Таблица 4.8– Оценка экономических показателей проекта с учетом дисконта**

Год	<b>P</b>	<b>PV</b>	<b>I</b>	<b>IC</b>	<b>NPV</b>
<b>0</b>	0	0	44 661 297	44 661 297	-44 661 297
<b>1</b>	21 394 526	18 933 209	8 907 150	52 543 731	-33 610 522
<b>2</b>	42 789 052	52 443 313	8 907 150	59 519 336	-7 076 023
<b>3</b>	53 342 078	72 740 351	8 907 150	65 692 437	7 047 914
<b>4</b>	58 732 689	88 934 702	8 907 150	68 148 404	20 786 298
<b>5</b>	62 508 700	122 861 920	8 907 150	72 982 848	49 879 072
<b>6</b>	65 148 033	154 153 727	8 907 150	77 261 117	76 892 610
<b>7</b>	66 999 441	182 632 553	8 907 150	81 047 196	101 585 357
<b>8</b>	68 291 121	208 320 931	8 907 150	84 397 708	123 923 223
<b>9</b>	71 313 652	232 060 165	8 907 150	89 986 706	144 697 401

Как видно из приведенных в таблице 4.8 рассчитанных значений, проект окупиться на 3 году эксплуатации, так как в конце 3 года мы имеет положительный NPV.

Срок окупаемости (PP) – показатель, наиболее часто принимаемый в аналитике, под которым понимается период времени от момента начала реализации проекта до того момента эксплуатации объекта, в который доходы от эксплуатации становятся равными первоначальным инвестициям и может приниматься как с учетом фактора времени, так и без его участия. Точный срок окупаемости можно рассчитать по формуле:

$$PP = T + \frac{|NPV_{n-1}|}{(|NPV_{n-1}| + NPV_n)} \quad (4.19)$$

где  $T$  – значение периода, когда чистый денежный доход меняет знак с «-» на «+»;  $NPV_n$  – положительный чистый денежный доход в  $n$  году;  $NPV_{n-1}$  – отрицательный чистый денежный доход по модулю в  $n-1$  году.

$$PP=3+7\,076\,023/(7\,076\,023+7\,047\,914)=3,5 \text{ года}$$

Исходя из этого, срок окупаемости, отсчитанный от начала операционной деятельности (конец нулевого года), составляет 3,45 года.

Индекс рентабельности представляет собой относительный показатель, характеризующий отношение приведенных доходов приведенным на ту же дату инвестиционным расходам и рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{n=1}^T \frac{P_n}{(1+i)^n} / \sum_{n=1}^m \frac{I_n}{(1+i)^{n-1}} \quad (4.20)$$

$$PI=72\,740\,351/65\,692\,437=1,11$$

Так как  $PI > 1$ , то проект следует принять.

Далее вычислим внутреннюю норму доходности (IRR). Внутренняя норма доходности – норма прибыли, порожденная инвестицией. Это та норма прибыли, при которой чистая текущая стоимость инвестиции равна нулю, или это та ставка дисконта, при которой дисконтированные доходы от проекта равны инвестиционным затратам. Внутренняя норма доходности определяет максимально приемлемую ставку дисконта, при которой можно инвестировать средства без каких-либо потерь для собственника. IRR должен быть выше средневзвешенной цены инвестиционных ресурсов:

$$IRR > i \quad (4.21)$$

где  $i$  – ставка дисконтирования

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		68

Расчет показателя IRR осуществляется путем последовательных итераций. В этом случае выбираются такие значения нормы дисконта  $i_1$  и  $i_2$ , чтобы в их интервале функция NPV меняла свое значение с «+» на «-», или наоборот. Далее по формуле делается расчет внутренней нормы доходности:

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (4.22)$$

где  $i_1$  – значение табулированного коэффициента дисконтирования, при котором  $NPV > 0$ ;  $i_2$  – значение табулированного коэффициента дисконтирования, при котором  $NPV < 0$ .

Для описанного выше проекта будем иметь:

$i_1 = 12$ , при котором  $NPV_1 = 7\,047\,914$  руб.;  $i_2 = 36$  при котором  $NPV_2 = -2\,128\,237$  руб.

Следовательно, расчет внутренней нормы доходности будет иметь вид:

$$IRR = 13 + \frac{7\,047\,914}{7\,047\,914 + 2\,128\,237} * (36 - 13) = 30,66$$

Таким образом, внутренняя норма доходности проекта составляет 30,66 %, что больше цены капитала, которая рассматривается в качестве 13%, таким образом, проект следует принять.

Таким образом, был осуществлена оценка капитальных вложений в предлагаемый проект и калькуляция эксплуатационных расходов. Был определен общий дохода от реализации проекта, рассчитаны основные оценочные показатели проекта, которые характеризуют финансовый уровень решения задач. Рассчитанные технико-экономические показатели на конец расчетного периода сведены в таблицу 4.9.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		69

**Таблица 4.9 – Основные технико-экономические показатели проекта**

<b>Показатели</b>	<b>Численные значения</b>
<b>Количество абонентов, чел</b>	<b>16500</b>
<b>Капитальные затраты, руб</b>	35 754 147
<b>Ежегодные эксплуатационные расходы, руб,</b> в том числе:	8 907 150
Фонд оплаты труда	2 820 000
Страховые взносы	846 000
Амортизационные отчисления	2 465 765
Материальные затраты	1 251 395
Прочие расходы	1 128 000
Ежегодная плата за аренду частот	330 000
Аренда виртуальных каналов	56 000
<b>Доходы (NPV), руб</b>	7 047 914
<b>Внутренняя норма доходности (IRR)</b>	30,66
<b>Индекс рентабельности (PI)</b>	11%
<b>Срок окупаемости, год</b>	3 года и 6 месяцев

Подведем итог. Проектирование сети на основе технологии LTE в городе Мирный является экономически целесообразным. С точки зрения вложения инвестиций в сектор передовых информационных технологий построение широкополосной беспроводной сети по технологии LTE на данный момент является актуальным.



## 5 ЭКОЛОГИЯ, ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

### 5.1 Электромагнитные излучения, их воздействие на организм человека и принципы гигиенического нормирования и защиты

Среди различных физических факторов окружающей среды, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на человека и биологические объекты, большую сложность представляют электромагнитные поля неионизирующей природы, особенно относящиеся к радиочастотному излучению.

Электромагнитные поля - это особая форма существования материи, характеризующаяся совокупностью электрических и магнитных свойств. Основными параметрами, характеризующими электромагнитное поле, являются: частота, длина волны и скорость распространения.

Природные источники электромагнитных полей делят на две группы. Первая - поле Земли - постоянное электрическое и постоянное магнитное поле. Вторая группа - радиоволны, генерируемые космическими источниками (Солнце, звезды и т.д.), атмосферные процессы - разряды молний и т.д.

Естественное электрическое поле Земли создается избыточным отрицательным зарядом на поверхности; его напряженность обычно от 100 до 500 В/м. Грозовые облака могут увеличивать напряженность поля до десятков, а то и сотен кВ/м.

Антропогенные источники делятся на 2 группы:

1. Источники низкочастотных излучений (0 - 3 кГц). Эта группа включает в себя все системы производства, передачи и распределения электроэнергии (линии электропередачи, трансформаторные подстанции, электростанции, различные кабельные системы), домашнюю и офисную электро- и электронную технику, в том числе и мониторы ПК, транспорт на электроприводе, ж/д

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		71

транспорт и его инфраструктуру, а также метро, троллейбусный и трамвайный транспорт.

2. Источники высокочастотных излучений (от 3 кГц до 300 ГГц). К этой группе относятся функциональные передатчики - источники электромагнитного поля в целях передачи или получения информации. Это коммерческие передатчики (радио, телевидение), радиотелефоны (авто-, радиотелефоны, радио СВ, любительские радиопередатчики, производственные радиотелефоны), направленная радиосвязь (спутниковая радиосвязь, наземные релейные станции), навигация (воздушное сообщение, судоходство, радиоточка), локаторы (воздушное сообщение, судоходство, транспортные локаторы, контроль за воздушным транспортом). Сюда же относится различное технологическое оборудование, использующее СВЧ-излучение, переменные (50 Гц - 1 МГц) и импульсные поля, бытовое оборудование (СВЧ-печи), средства визуального отображения информации на электронно-лучевых трубках (мониторы ПК, телевизоры и пр.).

Степень биологического воздействия электромагнитных полей на организм человека зависит от частоты колебаний, напряженности и интенсивности поля, режима его генерации (импульсное, непрерывное), длительности воздействия.

Биологическое воздействие полей разных диапазонов неодинаково. Чем короче длина волны, тем большей энергией она обладает. Высокочастотные излучения могут ионизировать атомы или молекулы в соматических клетках - и т.о. нарушать идущие в них процессы. А электромагнитные колебания длинноволнового спектра хоть и не выбивают электроны из внешних оболочек атомов и молекул, но способны нагревать органику, приводить молекулы в тепловое движение. Причем тепло это внутреннее - находящиеся на коже чувствительные датчики его не регистрируют. Чем меньше тело, тем лучше оно воспринимает коротковолновое излучение, чем больше - тем лучше воспринимает длинноволновое.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		72

Особенно чувствительны к неблагоприятному воздействию электромагнетизма эмбрионы и дети.

Первичным проявлением действия электромагнитной энергии является нагрев, который может привести к изменениям и даже к повреждениям тканей и органов. Механизм поглощения энергии достаточно сложен. Наиболее чувствительными к действию электромагнитных полей являются центральная нервная система (субъективные ощущения при этом - повышенная утомляемость, головные боли и т. п) и нейроэндокринная система.

С нарушением нейроэндокринной регуляции связывают эффект со стороны сердечно-сосудистой системы, системы крови, иммунитета, обменных процессов, воспроизводительной функции и др. Влияние на иммунную систему выражается в снижении фагоцитарной активности нейтрофилов, изменениях комплиментарной активности сыворотки крови, нарушении белкового обмена, угнетении Т-лимфоцитов. Возможны также изменение частоты пульса, сосудистых реакций. Описаны изменения кроветворения, нарушения со стороны эндокринной системы, метаболических процессов, заболевания органов зрения. Было установлено, что клинические проявления воздействия радиоволн наиболее часто характеризуются астеническими, астеновегетативными и гипоталамическими синдромами :

1. Астенический синдром. Этот синдром, как правило, наблюдается в начальных стадиях заболевания и проявляется жалобами на головную боль, повышенную утомляемость, раздражительность, нарушение сна, периодически возникающие боли в области сердца.

2. Астеновегетативный или синдром нейроциркулярной дистонии. Этот синдром характеризуется ваготонической направленностью реакций (гипотония, брадикардия и др.).

3. Гипоталамический синдром. Больные повышенно возбудимы, эмоционально лабильны, в отдельных случаях обнаруживаются признаки раннего атеросклероза, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		73

Поля сверхвысоких частот могут оказывать воздействие на глаза, приводящее к возникновению катаракты (помутнению хрусталика), а умеренных - к изменению сетчатки глаза по типу ангиопатии.

В результате длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли, наступает расстройство нервной системы и др.

Многократные повторные облучения малой интенсивности могут приводить к стойким функциональным расстройствам центральной нервной системы, стойким нервно-психическим заболеваниям, изменению кровяного давления, замедлению пульса, трофическим явлениям (выпадению волос, ломкости ногтей и т. п.).

В зависимости от диапазона частот в основу гигиенического нормирования электромагнитных излучений положены разные принципы. Критерием безопасности для человека, находящегося в электрическом поле промышленной частоты, принята напряжённость этого поля. Гигиенические нормы для персонала, который систематически находится в этой зоне, установлены ГОСТ 12.3.002-75 («ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности»).

Для постоянного магнитного поля предельно-допустимым уровнем на рабочем месте является напряжённость, которая не должна превышать 8 кА/м.

Защита организма человека от действия электромагнитных излучений предполагает снижение их интенсивности до уровней, не превышающих предельно допустимые. Защита обеспечивается выбором конкретных методов и средств, учетом их экономических показателей, простотой и надежностью эксплуатации.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		74

## 5.2 Методы защиты здоровья людей от электромагнитного воздействия

Существуют следующие методы защиты людей от электромагнитного воздействия:

**Защита временем.** Применяется, когда нет возможности снизить интенсивность излучения в данной точке до предельно допустимого уровня. Путем обозначения, оповещения и т.п. ограничивается время нахождения людей в зоне выраженного воздействия электромагнитного поля. В действующих нормативных документах предусмотрена зависимость между интенсивностью плотности потока энергии и временем облучения.

**Защита расстоянием.** Применяется, если невозможно ослабить воздействие другими мерами, в том числе и защитой временем. Метод основан на падении интенсивности излучения, пропорциональном квадрату расстояния до источника.

Защита расстоянием положена в основу нормирования санитарно-защитных зон - необходимого разрыва между источниками поля и жилыми домами, служебными помещениями и т.п. Границы зон определяются расчетами для каждого конкретного случая размещения излучающей установки при работе её на максимальную мощность излучения.

**Инженерные мероприятия по защите людей от электромагнитного воздействия.** Инженерные защитные мероприятия строятся на использовании явления экранирования электромагнитных полей, либо на ограничении эмиссионных параметров источника поля (снижении интенсивности излучения). При этом второй метод применяется в основном на этапе проектирования излучающего объекта.

Для защиты населения от воздействия электромагнитных излучений могут применяться специальные строительные конструкции: металлическая сетка, металлический лист или любое другое проводящее покрытие, а также специально разработанные строительные материалы.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		75

Индивидуальные средства защиты предназначены для предотвращения воздействия на организм человека ЭМИ с уровнями, превышающими предельно допустимые, когда применение иных средств невозможно или нецелесообразно. Они могут обеспечить общую защиту, либо защиту отдельных частей тела (локальная защита).

### **5.3 Охрана труда при строительномонтажных работах оборудования связи**

Радиомодули «Flaxi Multiradio» компании «Nokia Siemens Network», а также оборудование компании «Cisco Systems», используемое в дипломном проекте имеет сертификат соответствия, содержащий требования безопасности.

Согласно СН и П 12-03-01 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» запрещается размещать оборудование и производить его монтаж и настройку в помещениях, где не закончены ремонтно-строительные работы.

В производственных помещениях распаковка оборудования запрещается. Распаковка должна производиться в помещении, расположенном смежном или поблизости от производственных помещений. Для распаковки может быть использован коридор или другое помещение.

В соответствии с требованиями ПУЭ, ГОСТ 12.2.007.0-75 («ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности») металлические части оборудования, которые вследствие повреждения изоляции могут оказаться под электрическим напряжением выше 42 В переменного тока и выше 110 В постоянного тока, должны быть заземлены.

При проведении строительномонтажных работ должен использоваться электроинструмент с напряжением 42 В. При работах на высоте используются стремянки. При обслуживании и ремонте электроустановок запрещается применение металлических стремянок.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		76

Все работы должны производиться согласно документу «Правила по охране труда при работах на телефонных станциях и телеграфах» ПОТ РО-45-007-96.

#### **5.4 Требования безопасности при эксплуатации антенно-мачтовых сооружений**

В данном проекте предусматривается установка антенн на радиобашни, высота которых находится в диапазоне 80-90 м.

К работам на высоте допускаются лица, которым разрешена работа на высоте. Работы на конструкциях, не имеющих ограждения, а также работы, связанные с выходом за пределы ограждений, должны выполняться верхолазами. К самостоятельным верхолазным работам допускаются, лица (рабочие и инженерно-технические работники) не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр и признанные годными, имеющие стаж верхолазных работ не менее одного года и тарифный разряд не ниже третьего.

Верхолазными считаются работы, выполняемые на высоте более 5 м от поверхности земли, перекрытия или рабочего настила, над которыми производятся работы непосредственно с конструкций при монтаже или ремонте, при этом основным средством, предохраняющим работающих от падения с высоты, является предохранительный пояс.

При работах на опоре в опасную зону разрешается входить только лицам, непосредственно связанным с работой, при условии использования защитных касок. Опасная зона вокруг мачт и башен определяется при эксплуатации и ремонте расстоянием от центра опоры (мачты, башни), равным 1/3 ее высоты.

Подъем людей на антенно-мачтовые сооружения запрещается:

- при неснятом напряжении свыше 42 В;
- во время грозы и при ее приближении;

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

- при гололеде, сильном дожде, снегопаде или тумане;
- при не пристегнутом к люльке карабине предохранительного пояса;
- при скорости ветра выше 12 м/с, в темное время;
- на подъемном устройстве, срок очередного испытания которого

истек;

- на бракованных канатах; при неисправной лебедке;
- без защитной каски и предохранительного пояса.

Антенщику - мачтовику разрешается выполнять ремонтные работы на опоре лишь после того, как он прикрепится к ее конструкциям предохранительным поясом. Красить опоры следует с лестниц, подмостей или с люльки.

Антенщики-мачтовики должны работать в защитных касках и специальной обуви (сапоги, ботинки без металлических гвоздей и подковок и с нескользящими подошвами).

Работы на АМС должны выполняться не менее чем двумя мачтовиками, один из которых является наблюдающим. Наблюдающий должен находиться от центра основания опоры на расстоянии не ближе одной трети ее высоты и иметь при себе монтерский пояс, а в случае работ на деревянных опорах - и когти.

Сварочные работы разрешается производить с инвентарной люльки подъемного устройства при условии подвески люльки к грузовому канату.

Во время грозы и при ее приближении запрещается находиться около заземлителей. Работы на антенном поле необходимо прекратить, а людей перевести в помещение. На местах установки заземлителей должны быть установлены предупредительные плакаты «Стой! Напряжение».

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		78



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной дипломной работе была организована сеть беспроводного доступа в городе Мирный Республика Саха (Якутия) с использованием технологии LTE. Был проведен анализ между двумя инновационными технологиями беспроводного доступа WiMAX и LTE. Дана общая характеристика города Мирный, а так же проанализирована существующая сеть беспроводного доступа. Получены расчеты проектируемой сети. Выбранная система была полностью технико-экономически обоснована. Проект является экологически безопасным и не представляет угрозу для жизни и здоровья населения. Были представлены основы охраны труда и техника безопасности при монтаже и использовании оборудования.

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Статья Wimax [Электронный ресурс] Википедия свободная энциклопедия. URL:[https://ru.wikipedia.org/wiki/WiMAX#WiMAX\\_Forum](https://ru.wikipedia.org/wiki/WiMAX#WiMAX_Forum) (Дата обращения 01.06.2016г.)
2. Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009, стр. 58.
3. Э.Дальман, А.Фурускар, И.Ядинг. Радиоинтерфейс LTE в деталях, стр. 162.
4. Сети и Системы связи, 2008 Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с.
5. Скрынников В. Г. - Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика. . – М.: Техносфера, 2009, стр. 120.
6. Статья MME [Электронный ресурс] Википедия свободная энциклопедия URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/MME> (Дата обращения 01.06.2016г.)
7. Long Term Evolution (LTE): an introduction. White Paper. – Ericsson, October 2007
8. Город Мирный [Электронный ресурс] Википедия свободная энциклопедия URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Мирный\\_\(Якутия\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Мирный_(Якутия)) (Дата обращения 01.06.2016)
9. Данные радиопокрытия [Электронный ресурс] URL: <https://www.megafon.ru/> (Дата обращения 01.06.2016г.)
10. Образовательная статья [Электронный ресурс] URL: <http://www.orgtorg.webdirect.ru/ru/catalog/.view/good/spbundle19/> (Дата обращения 01.06.2016)

					11070006.11.03.02.126.ПЗВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата		80