

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационные системы

«Допущен к защите»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

к.т.н. Шамаханов Д.Р.  
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проектирование сети мобильной связи с использованием технологии LTE в г. Алматы

Специальность Радиотехника, электротехника и телекоммуникации

Выполнил (а) Миллеров А.М. МТС-10-05  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель ст. преподаватель Арташкин А.В.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Арташкин « 29 » мая 2014 г.  
(подпись)

Консультанты:

по экономической части:

Бермачева А.В., к.т.н., доцент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Бермачева « 13 » мая 2014 г.  
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Дюсобеаев И.Т., д.т.н. проф.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Дюсобеаев « 28 » мая 2014 г.  
(подпись)

по применению вычислительной техники:

ст. преподаватель Арташкин А.В.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Арташкин « 29 » мая 2014 г.  
(подпись)

Нормоконтролер: ст. преподаватель ТКС Кондратович А.Н.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Кондратович « 30 » мая 2014 г.  
(подпись)

Рецензент:

\_\_\_\_\_  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

Алматы 2014 г.

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехники и связи  
Специальность 5В0713 Радиотехника, электроника и телекоммуникации  
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Мамутов Азат Муратович  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Проектирование сети мобильной связи с использованием технологии LTE в г. Манатас

утверждена приказом ректора № 15 от «24» сентября 2013 г.

Срок сдачи законченной работы «25» мая 2014 г.

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

Населенный пункт - г. Манатас, Сырдарьинский район. Численность населения 24500 человек. Количество секторов - 3. Диапазон рабочих частот 791-862 МГц. Коэффициент усиления антенны 8 дБ

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:

Обзор технологии LTE. Архитектура сети. Радиointерфейс и частотный спектр. Моделирование в программе Craft. Планирование сети. Расчет пропускной способности. Выбор оборудования. Анализ радиопокрытия. Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение ТН. Расчет границ санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки. Расчет капитального вложения.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Структура сети LTE. Окна программы Craft. Расположение БС  
Волоконно-оптическая линия связи. Оборудование коммутации  
"Ericsson" - АММ 2рВ, АММ 6рС, АММ 20р, коммутации "Ericsson"  
радиоблок RAN и секторы антенны. Оборудование Switch коммутации  
Huawei". Пример АМС. Ситуационный план для планирования.  
Оценка экономических показателей. Разделение на соты.  
Окно программы Mentumclipse

Рекомендуемая основная литература

Багдасаров К.Б., Амибаева С.А., Бабич А.А. Методические указания для  
экономической части выпускной работы. Алматы, 2009.

Кадринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы - М., 2007.

Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies  
and Performance. - Cambridge University Press, 2009.

Stefania Soria. LTE. The UMTS Long Term Evolution - John Wiley, 2009

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
УБАСА	Джусебаев И.К.	17.03-28.05.14	Джусебаев И.К.
ВТ	Артохин А.В.	12.05-29.05.14	Артохин А.В.
Тех. часть	Артохин А.В.	17.03-29.05.14	Артохин А.В.
Эконом. часть	Бекмурзаев А.У.	17.03-13.05.14	Бекмурзаев А.У.



ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

[illegible]

Дата выдачи задания « 16 » января 2014 г.

Заведующий кафедрой

(подпись)

Мамонтов Д.Р.

(Фамилия и инициалы)

## Руководитель

(подпись)

Артюхин А.В.

(Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент Мед

(подпись)

Мамуров А. М.

(Фамилия и инициалы)

## **Аңдатпа**

Дипломдық проект «Жаңатас қаласында ұйымдастырылған мобильді байланыс желісінің негізінде LTE технологиясын қолдану арқылы мобильді байланыс желісін жобалау» тақырыбына арналған. Жұмыстың мақсаты LTE технологиясының негізіндегі желінің дамуының болашағын анықтау.

Жұмыс барысында жаңа мобильді байланыс желісі жобаланды, ол үшін радио реле арналары мен оптикалық арналар қолданылған. Және де желінің Қазақстандағы басқа желілерімен бірлестік қызмет істеуінің мүмкіндіктері қаралынды.

## **Аннотация**

Данная работа посвящена теме: «Проектирование сети мобильной связи с использованием технологии LTE на основе существующей сети в городе Жанатас». Целью работы является исследование технических возможностей и дальнейшего развития сети.

В ходе работы была спроектирована сеть мобильной связи, используя радиорелейные и опто-волоконные линии. Также были рассмотрены возможности совместной работы данной сети с другими операторами Казахстана.

## **Summary**

This work is devoted to the theme: "Designing a mobile network using LTE technology based on the existing network in Zhanatas." Aim is to study the technical possibilities and further development of the network.

The work was designed by the mobile network using for relay and optical fiber lines. Also discussed the possibility of working together on the network with other operators in Kazakhstan.

## Содержание

Введение	8
1 Технологическая часть	10
1.1 Развитие технологии LTE и основные параметры	10
1.2 Архитектура сети	11
1.3 Радиоинтерфейс и частотный спектр	13
1.4 Взаимодействие стандарта LTE с UMTS/GSM и стандартами не-3GPP и предоставляемые услуги	17
1.5 Моделирование в программе Craft	19
2 Конструкторская часть	22
2.1 Планирование сети LTE в г.Жанатас	22
2.2 Расчет пропускной способности сети и количества потенциальных абонентов	23
2.3 Выбор оборудования транспортной сети	28
2.4 Выбор патч-корда	31
2.5 Выбор мультиплексора	33
3 Радиопрокрытие сети LTE и схема организации	34
3.1 Анализ радиопокрытия	34
3.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение TN	37
3.3 Проектируемая схема организации связи сети LTE	38
4 Безопасность жизнедеятельности	40
4.1 Электромагнитные излучения, их воздействие на организм человека и принципы гигиенического нормирования и защиты	40
4.2 Методы защиты здоровья людей от электромагнитного воздействия и общие положения ЭМС	41
4.3 Расчет границ санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки	43
4.4 Требования безопасности при эксплуатации антенно-мачтовых сооружений	46
5 Экономическая часть	49
5.1 Расчет капитальных вложений	49
5.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат	51
5.3 Расчет тарифных доходов	54
5.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта в первый год эксплуатации	57
Заключение	59
Список сокращений	60
Список литературы	61
Приложение А	62
Приложение Б	63
Приложение В	64

## Введение

Быстрое развитие множества технологий связи, как фиксированной, так и мобильной, вызвано тем, что повысился интерес людей к сети Интернет. Благодаря глобальной сети люди могут работать, учиться, общаться, обмениваться данными, просматривать видеофайлы, прослушивать аудиозаписи, а также пользоваться в режиме онлайн всевозможными услугами коммерческих компаний и государственных учреждений.

В Казахстане свободному доступу к сети Интернет не дает возможность обширность территории. В городских условиях к глобальной сети может подключиться каждый пользователь интернет ресурсов. Причем у городского жителя есть выбор между проводным и беспроводным доступом. Но в сельских условиях обстоятельства намного хуже. Операторы связи не стремятся телефонизировать поселковые районы и обеспечить доступом в Интернет, а та связь, которая предоставляется в основном в разы хуже качеством чем в городах.

Решить эту проблему можно несколькими путями: во-первых, использование для доступа в сеть Интернет спутниковую трансмиссию, организовать доступ используя проводные линии связи или мобильную связь. Спутниковый доступ уступает в скорости и намного дороже. Доступ с помощью проводных линий можно организовать в случае, если на селе имеются цифровые АТС, но по данным государственной статистики за октябрь 2011 года цифровизация сельской местности страны составила 33% и прогрессирует очень медленно. Доступ с помощью мобильных сетей связей стал возможен с момента использования стандарта EDGE/GSM и UMTS/HSPA, однако скорость первой очень низкая для полноценной работы в сети Интернет, а действие второй не используется в сельских местностях по нескольким причинам: во-первых, операторы сотовой связи стараются обеспечить городское население и, во-вторых, длина волн сигналов в диапазоне 1920-2100 МГц небольшая, поэтому, для охвата больших территории придется строить большое количество базовых станций, что для экономики компании не выгодно.

Один из перспективных видов обеспечения сельской местности высокой скоростью доступа в сеть Интернет – построение сетей сотовой подвижной радиосвязи четвертого поколения (4G). Технология беспроводного доступа LTE является самым подходящим стандартом 4G.

LTE (от англ. Long Term Evolution – эволюция в долгосрочной перспективе) – технология построения сетей беспроводной связи, созданная в рамках проекта сотрудничества в создании сетей третьего поколения 3GPP (3G Partnership Project). Основные цели разработки технологии LTE это: низкая стоимость передачи данных, увеличение емкости и скорости каналов передачи данных, повышение гибкости сети и использование уже существующих систем мобильной связи, также возможность предоставления

большого спектра услуг по более низкой цене. Основным отличием стандарта LTE от других технологий мобильной связи является полное построение сети на базе IP-технологий. Радиointерфейс LTE обеспечивает улучшенные технические характеристики, значительно более высокую спектральную эффективность по сравнению с существующими стандартами беспроводного мобильного доступа третьего поколения (3G), а также максимальную скорость передачи данных более 300 Мбит/с, время задержки пересылки пакетов менее 5мс.

В дипломном проекте территориальным объектом, где предполагается строительство сети LTE, был выбран город Жанатас, Сарыуский район. Целью данного дипломного проекта является обеспечение максимального количества населенных пунктов города Жанатас устойчивым радиосигналом сети LTE и предоставление жителям высокоскоростного мобильного доступа в сеть Интернет.



## **1 Технологическая часть**

### **1.1 Развитие технологии LTE и основные параметры**

Технологию LTE начали разрабатывать как стандарт официально в конце 2004 года. Перед инженерами стоял вопрос о выборе технологии физического уровня, которая обеспечит высокую скорость передачи данных. Были предложены два варианта: W-CDMA, которая уже использовалась в сети HSPA, и OFDM, которая была новой технологией радиointерфейса. После проведенных исследований было принято решение об использовании технологии OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing), т.е. мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов. [2]

В мае 2006 года по проекту 3GPP была создана первая спецификация на радиointерфейс E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access). Эта спецификация является основой 3GPP Release7. В декабре 2008 года была ратифицирована версия стандартов 3GPP Release 8, фиксирующая функциональные и архитектурные требования к системам LTE. В середине 2009 года появились первоначальные опытные системы на основе LTE, а в конце того же года шведская телекоммуникационная компания Telia Sonera, совместно с Ericsson огласила о запуске первой коммерческой сети в Стокгольме и Осло.

На сегодня сети с технологией LTE работают в 80 странах мира и их число увеличивается из года в год.

В Казахстане строительство сети стандарта LTE претерпевает небольшие трудности в разделении частотного ресурса между компаниями-операторами мобильной связи.

Стандарт LTE представляет собой обладающий большой гибкостью эфирный интерфейс. Тип сети называется E-UTRAN – Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (развивающаяся универсальная наземная сеть радиодоступа). Ниже приведены основные параметры технологии LTE.[3]

- а) Технология множественного доступа:
  - прямой канал (Downlink – DL) – OFDMA;
  - обратный канал (Uplink – UL) – SC-FDMA.
- б) Рабочий диапазон частот: 450 МГц; 700 МГц; 800 МГц; 1800 МГц; 2,1 ГГц; 2,4 - 2,5 ГГц; 2,6 - 2,7 ГГц.
- в) Битовая скорость:
  - прямой канал (DL) MIMO 2TX×2RX: 100 - 300 Мбит/с;
  - обратный канал (UL): 50 - 172,8 Мбит/с.
- г) Ширина полосы радиоканала: 1,4 - 20 МГц.
- д) Радиус ячейки: 5 – 30 км.
- е) Емкость ячейки (количество обслуживаемых абонентов):
  - более 200 пользователей при полосе 5 МГц;
  - более 400 пользователей при полосе больше 5 МГц.
- ж) Мобильность: скорость перемещения до 250 км/ч.

- з) Параметры MIMO:
  - прямой канал (DL): 2TX×2RX, 4TX×4RX;
  - обратный канал (UL): 2TX×2RX.
- и) Значение задержки (latency): 5мс.
- к) Спектральная эффективность: 5 бит/сек/Гц.
- л) Поддерживаемые типы модуляции:
  - прямой канал (DL): 64 QAM, QPSK, 16 QAM;
  - обратный канал (UL): QPSK, 16 QAM.
- м) Дуплексное разделение каналов: FDD, TDD.

## 1.2 Архитектура сети стандарта LTE

Архитектура сети LTE разработана так, что может обеспечивать поддержку пакетного трафика с «бесшовной» мобильностью, минимальными задержками доставки пакетов и высокими показателями качества обслуживания. Основная цель разработчиков стандарта LTE была максимальное упрощение структуры сети и исключение дублирующих функций сетевых протоколов, которые характерны для системы 3G UMTS.

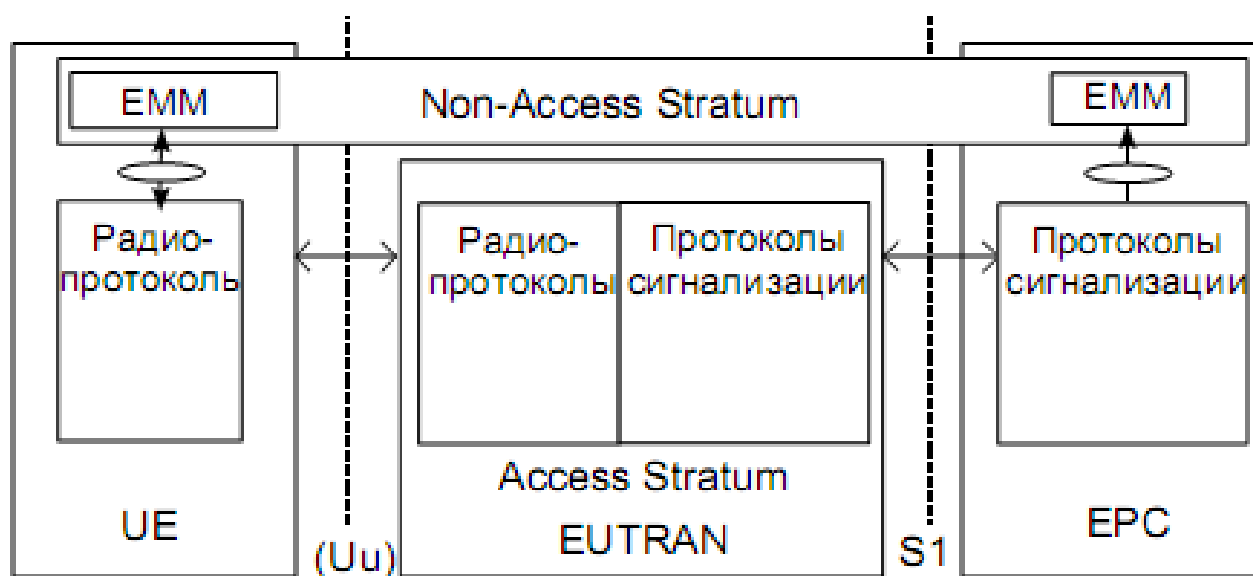


Рисунок 1.1- Обобщенная структура сети LTE

Все сетевое взаимодействие в архитектуре стандарта LTE осуществляется между двумя узлами, это: базовая станция (TN) и блок управления мобильностью (MME), в который включается сетевой шлюз GW (Gateway).

Сеть LTE на физическом уровне состоит из пары компонентов: сеть радиодоступа E-UTRAN и базовая сеть SAE (System Architecture Evolution).

В свою очередь, базовые станции TN входят в структуру сети E-UTRAN. Базовые станции являются элементами полносвязной сети и

объединены между собой по технологии «точка-точка». Каждая TN имеет интерфейс S1 с базовой сетью SAE, которые построены по принципу коммутации пакетов. Все TN в сетях LTE выполняют следующие функции: управляют радиоресурсами, шифруют потоки пользовательских данных, а также маршрутизация в пользовательской плоскости пакетов данных в сторону обслуживающего шлюза, диспетчеризация и передача вызывной и вещательной информации, измерение и составление отчетов для контроля над мобильностью.[3]

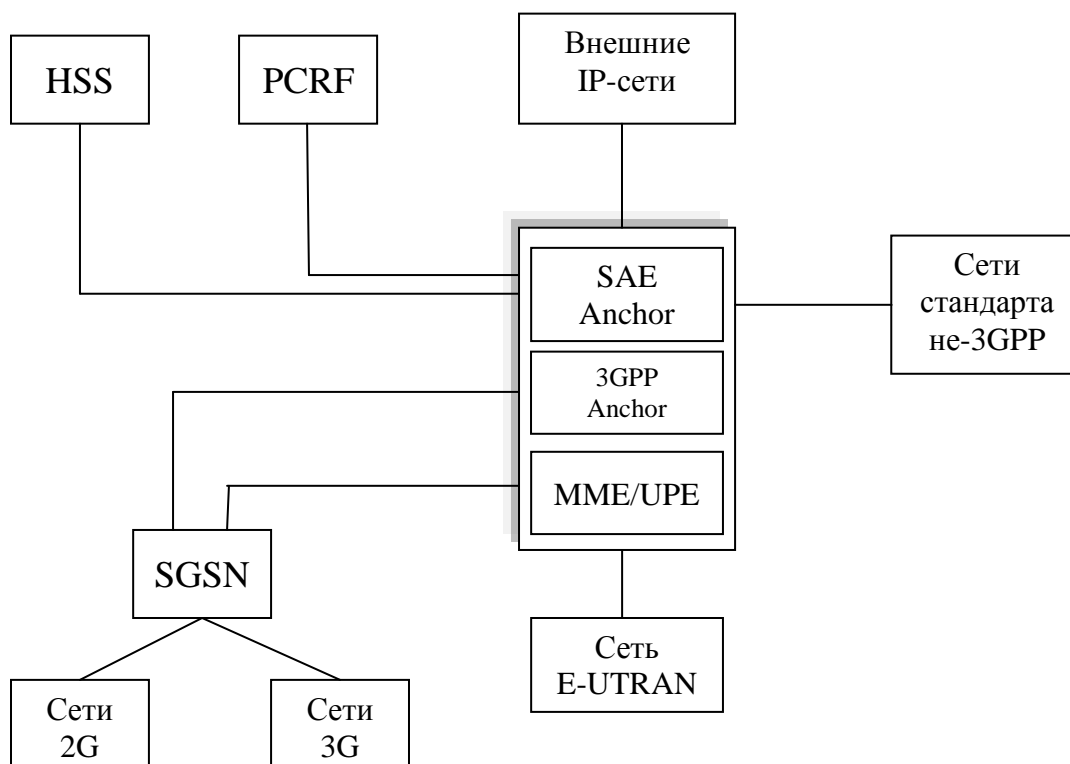


Рисунок 1.2 - Архитектура базовой сети SAE

Основная сеть SAE, которая называется EPC (Evolved Packet Core), содержит узлы MME/UE, состоящие из логических элементов MME и UE. Логический элемент MME (Mobility Management Entity) решает задачи управления мобильностью абонентского терминала и взаимодействует с базовыми станциями через протоколы плоскости управления C-plane. Кроме этого, MME отвечает за распределение сообщения вызова (paging) к TN, за управление протоколами плоскости управления, за назначение идентификаторов абонентским терминалам, за обеспечение безопасности сети, за проверку подлинности сообщений абонентов и управление роумингом.

Логический элемент UE (User Plane Entity) осуществляет передачу данных пользователей в соответствии с протоколами плоскости пользователя U-plane. Элемент UE отвечает за: сжатие заголовка IP-протокола, терминацию пакетов данных, шифрует потоки данных.

Архитектура базовой сети SAE это пакетный PS-домен системы LTE, предоставляющие голосовые и всю совокупность IP-услуг на базе технологий пакетной коммутации данных. В основе базовой сети SAE лежит концепция «все через IP» и то, что доступ осуществляется и через сети радиодоступа второго и третьего поколений (UTRAN/GERAN), и через сети не-3GPP (WiMAX, Wi-Fi), а так же через сети, которые используют проводные IP-технологии (ADSL+, FTTH).

### **1.3 Радиointерфейс и частотный спектр сети LTE**

Радиointерфейс сети LTE E-UTRAN поддерживает как частотный FDD, так и временной TDD метод дуплексного разнесения каналов. Функционирование сети LTE осуществляется в частотных диапазонах с разнообразной шириной. Сигналы нисходящего и восходящего направлений могут занимать полосы от 1,4 до 20 МГц, отталкиваясь от количества активных ресурсных блоков. Передача информации в Uplink и Downlink организовывается в кадрах с длительностью 10 мс. Кадры делятся на более мелкие временные структуры, называемые слотами.

В режиме с частотным разнесением FDD кадры делятся на 20 слотов, нумеруемые от 0 до 19-го, имеющие длительность 0,5 мс. В режиме FDD временной ресурс в рамках кадра раздроблен на два, чтобы осуществлять передачу в противоположных направлениях. Физические каналы в режиме FDD в противоположных направлениях имеют обязательный дуплексный разнос. Режим временного разнесения каналов TDD имеет асинхронную природу. Передача данных в режиме TDD происходит одновременно в обоих направлениях в одном диапазоне частот.[5]

Основная особенность радиointерфейса в линии «вниз» сети E-UTRAN это использование технологии множественного доступа OFDMA, т.е. мультиплексирование с ортогональным частотным разделением. Одной из основных целей использования технологии OFDMA является минимизация помех, которые могут быть вызваны многолучевым распространением сигнала, потому что OFDM-сигнал анализируется не как один быстро модулируемый широкополосный сигнал, а как множество медленно модулируемых узкополосных сигналов. Технология OFDM базируется на организации многочастотного сигнала, который состоит из множества поднесущих частот. Во время формирования OFDM-сигнала поток последовательных информационных символов длительностью  $T_{\text{и}}/N$  делится на блоки, которые содержат  $N$  символов;  $T_{\text{и}}$  – длительность символа. Блок последовательных информационных символов преобразуется в блок параллельных символов, где каждый информационный символ соответствует определенной частоте многочастотного сигнала.

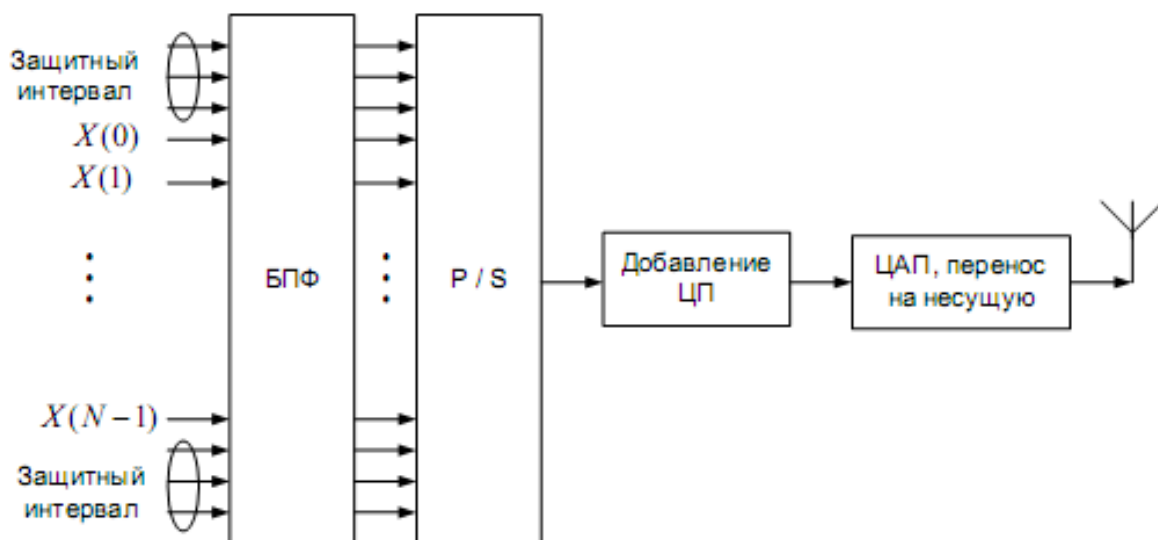


Рисунок 1.3 - Структурная схема формирования OFDM-сигнала

В линии «downlink» сети E-UTRAN применяются модуляции: QPSK, 16QAM, 64QAM. Для формирования OFDM/QAM-сигнала применяется дискретное обратное быстрое преобразование Фурье (ОБПФ). Организация OFDM-сигнала в передатчике базовой станции сети LTE E-UTRAN приведен на рисунке 1.3.

Для предотвращения межсимвольной интерференции применяются циклические префиксы ЦП (CP). Используют короткие и длинные префиксы, длительностью 4,7 мкс и 16,7 мкс.

Для линии «downlink» сети E-UTRAN установлены три физических и четыре транспортных каналов:

- PDCCCH (Physical Downlink Control Channel) – физический канал управления «вниз»;
- PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) – общий транспортный физический канал линии «вниз», который предназначен для передачи данных и мультимедиа с высокой скоростью;
- CCPCCH (Common Control Physical Channels) – физический канал управления, предназначенный для передачи служебной информации;
- BCH (Broadcast Channel) – транспортный вещательный канал;
- PCH (Paging Channel) – транспортный канал вызова (пейджинга);
- DL-SCH (Downlink Shared Channel) – общий транспортный канал линии «вниз»;
- MCH (Multicast Channel) – транспортный канал вещания в группе.

В линии «uplink» радиоинтерфейса сети LTE E-UTRAN применяется технология SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) – множественный доступ с мультиплексированием и частотным разнесением передачи на одной несущей. Схема передачи данных с использованием технологии SC-FDMA приведена на рисунке 1.4.



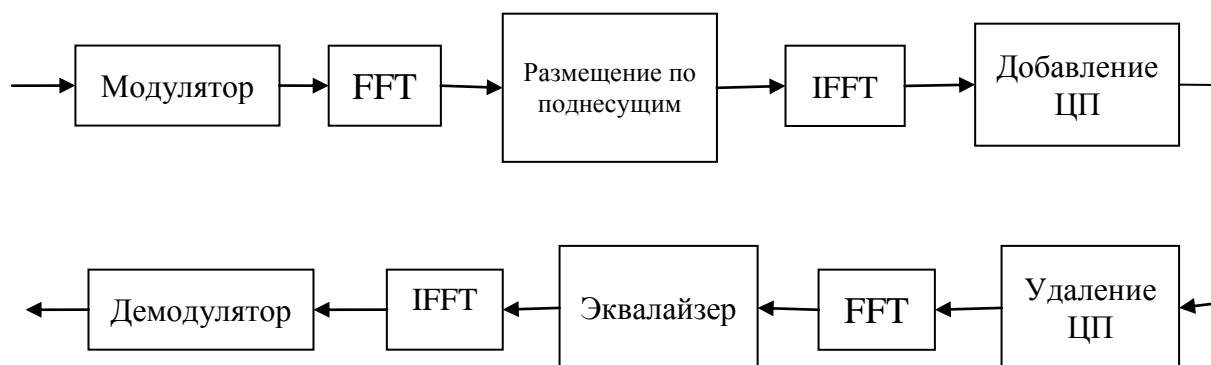


Рисунок 1.4 - Передача данных с помощью технологии SC-FDMA

Для предотвращения взаимного влияния абонентов в линии «вверх» сети E-UTRAN внедряются циклические префиксы, а также применяются эффективные эквалайзеры в приемных терминалах. Распределение частотного ресурса между абонентами осуществляется ресурсными блоками, которые соответствуют полосы частот по 180 кГц, что при разносе между соседними поднесущими частотами в 15 кГц соответствует 12 поднесущим. От выделения системе диапазона частот, значение которого может достигать до 20 МГц, зависит максимальное количество доступных ресурсных блоков. В линии «вверх» сети LTE E-UTRAN применяются три физических и два транспортных каналов:

- PRACH (Physical Random Access Channel) – физический канал произвольного доступа;
- PUCCH (Physical Uplink Control Channel) – физический канал управления «вверх»;
- PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) – физический распределительный транспортный канал линии «вверх»;
- RACH (Random Access Channel) – транспортный канал случайного доступа;
- UL-SCH (Uplink Shared Channel) – совмещенный канал линии «вверх».[4]

Рабочими группами Партнерского проекта 3GPP и ETSI в технических спецификациях для LTE были установлены 17 полос радиочастот для режима частотного дуплекса FDD и 8 полос для режима временного дуплекса TDD, показанные в таблице 1.1.

По таблице видно, что диапазоны, которые предназначены для развития сетей LTE, уже освоены или осваиваются в Казахстане для работы сетей мобильной связи и беспроводного доступа различных технологий. По этой причине созданию в Казахстане LTE-сетей сопутствуют трудности с выбором и получением разрешения на применение частотного диапазона. Будущее введения сетей LTE в Казахстан связано с необходимостью реформирования использования радиочастотного спектра на базе национальных процедур его перепланирования.

Таблица 1.1- Диапазоны частот для сети радиодоступа E-UTRA

Номера рабочих диапазонов	Диапазон частот, МГц		Вид дуплекса
	Линия «вверх» (UL)	Линия «вниз» (DL)	
1	1920 - 1980	2110 - 2170	FDD
2	1850 – 1910	1930 – 1990	FDD
3	1710 – 1785	1805 – 1880	FDD
4	1710 – 1755	2110 – 2155	FDD
5	824 – 849	869 – 894	FDD
6	830 – 840	875 – 885	FDD
7	2500 – 2570	2620 – 2690	FDD
8	880 – 915	925 – 960	FDD
9	1749,9 – 1784,9	1844,9 – 1879,9	FDD
10	1710 – 1770	2110 – 2170	FDD
11	1427,9 – 1452,9	1475 – 1500,9	FDD
12	698 – 716	728 – 746	FDD
13	777 – 787	746 – 756	FDD
14	788 – 798	758 – 768	FDD
17	704 – 716	734 – 746	FDD
18	815 – 830	860 – 875	FDD
19	830 – 845	875 – 890	FDD
33	1900 – 1920		TDD
34	2010 – 2025		TDD
35	1850 – 1910		TDD
36	1930 – 1990		TDD
37	1910 – 1930		TDD
38	2570 – 2620		TDD
39	1880 – 1920		TDD
40	2300 – 2400		TDD

#### 1.4 Взаимодействие стандарта LTE с UMTS/GSM и стандартами не-3GPP и предоставляемые услуги

Поддержка мобильности абонентского терминала во время его перемещения из одной зоны обслуживания сети в другой – важная задача, возникающая при взаимодействии сети LTE с сетями мобильной связи стандартов 3GPP (UMTS/GSM/HSPA+). Взаимодействие сети LTE с сетями 3GPP заключается в обеспечении роуминга и обеспечении постоянной мобильной связью (хэндовера).[9]

Интерфейсы S3, S4 и S12 являются главными интерфейсами взаимодействия сети LTE с сетями 3GPP. Данные интерфейсы отвечают за

обеспечение взаимодействия логического элемента управления мобильностью MME и шлюза S-GW сети LTE с сервисным узлом SGSN сетей 3G с помощью туннельного протокола GTP (GPRS Tunnelling Protocol). Протокол GTP обеспечивает передачу данных плоскости управления (протокол GTP-C) и передачу данных плоскости пользователя (протокол GTP-U). В условиях роуминга шлюз S-GW гостевой сети взаимодействует со шлюзом P-GW (шлюз взаимодействия с пакетными сетями) домашней сети.[8]

Взаимодействие сети LTE с другими 3GPP для предоставления традиционных услуг телефонии реализуется с помощью традиционной технологии коммутации каналов (TDM) и технологии коммутации пакетов на основе сервисной подсистемы IMS.

Хэндовер между сетью LTE и любой другой сетью 3GPP при реализации голосового вызова совершается с помощью взаимодействия логического элемента MME с сервером MSC по интерфейсу Sv в случае вызовов из сети LTE в традиционный домен коммутации каналов (CS-домен); и с помощью взаимодействия логического элемента MME с узлом SGSN по интерфейсу S3 в случае голосового вызова из сети LTE в домен коммутации пакетов (PS-домен).

Взаимодействие сети LTE с сетями не-3GPP разделяется на взаимодействие с сетями с надежной безопасностью и взаимодействие с сетями с негарантированной безопасностью. «Надежными» сетями выступают прибавленные сети других стандартов (cdma2000, WiMAX), в качестве «ненадежных» выступают публичные IP-сети Интернета. Взаимодействие сети LTE с сетями с гарантированной безопасностью стандартов не-3GPP реализуется посредством шлюза P-GW, взаимодействие с «ненадежными» сетями – посредством шлюза ePDG.

С учетом концепции построения базовой сети EPC «все через IP» мобильность абонентского терминала при взаимодействии сети LTE с сетями не-3GPP основана на протоколах управления мобильностью в IP-сетях:

- протоколы управления мобильностью на базе хостов - HBM (Host Based Mobility) – MIPv4, DSMIPv6;
- протоколы управления мобильностью на базе сети – NBM (Network Based Mobility) – PMIPv6.

Идентификация пользовательского терминала по IP-адресу и маршрутизация осуществляется как в IP-сетях.

По сравнению с сетями 2G/3G услуги, которые предоставляются в сетях LTE, обладают более широким спектром. Это связано с высокой пропускной способностью сети, повышенной скоростью передачи данных, а также с переходом на концепцию «все через IP». Основные услуги, предоставляемые сетями LTE следующие:

- пакетная передача речи;
- передача Интернет-файлов;
- доставка электронной почты;

- передача мультимедийных сообщений;
- мультимедийное вещание, включающее в себя потоковые услуги, услуги по загрузке файлов, телевизионные услуги;
- потоковое видео;
- VoIP и высококачественные видеоконференции;
- онлайн-игры через мобильные и фиксированные терминалы различных типов;
- мобильные платежи с высокой передачей реквизитов и идентификационной информации.

Технически, LTE является производным от GSM сетей поколений 2, 2.5, 3G. Поэтому, наиболее подходящими сетями для внедрения данной технологии являются уже существующие сети мобильных операторов. Апгрейд оборудования для работы с поддержкой сетей 3G/LTE, позволяет развить существующую сеть, объединяя все возможности передачи голоса с ip-сетями, создавая, таким образом, единую, мультисервисную среду передачи данных.

На данный момент, в разработке и испытании оборудования для LTE участвуют многие гранды радиоэлектронной промышленности, в частности, Alcatel-Lucent, Motorola, NTT DoCoMo, Ericsson и т.п.

Наилучшим вариантом для тех операторов, которые уже располагают построенными сетями 2G и/или 3G/UMTS (WCDMA или CDMA2000), является построение конвергентной сети 2G/3G/LTE с единым управлением и поддержкой плавных хендверов без прерывания сервисов. Для построения такой сети должны быть доступны в конвергентном варианте все основные составляющие сети:

- конвергентные мультисандартные BTS;
- конвергентная транспортная сеть;
- конвергентные услуги;
- конвергентный O&M.

## **1.5 Моделирование в программе Mini-Link Craft**

Данная программа предназначена для запуска и эксплуатации базовых станций. С помощью этой программы можно попасть на логический интерфейс Traffic Node 1 БС.

Для доступа к TN каждой БС присваивается IP-адрес в подсети, в которой находится его узел. На рисунке 1.5 приведен пример стандартного IP-адреса.

```
ML-SH1005>sh netw
```

```
interface usb0          12 Mbit/s <ENABLED, DOWN>

interface ethernet eth0 100 Mbit/s <ENABLED, DOWN>

interface serial 1/2/1 SC1      <ENABLED, UP> 4x64 kbit/s (ppp2 256000 kbit/s 172.27.32.21-192.168.0.1)
interface serial 1/2/1 SC2      <DISABLED, DOWN>
interface serial 1/3/1 SC1      <ENABLED, UP> 4x64 kbit/s (ppp1 256000 kbit/s 172.27.32.21-172.27.32.81)
interface serial 1/3/1 SC2      <DISABLED, DOWN>
interface serial 1/4/1 SC1      <ENABLED, UP> 4x64 kbit/s (ppp0 256000 kbit/s 172.27.32.21-172.27.32.5)
interface serial 1/4/1 SC2      <DISABLED, DOWN>
interface serial 1/5/1 SC1      <ENABLED, UP> 3x64 kbit/s (ppp3 192000 kbit/s 172.27.32.21-172.27.33.177)
interface serial 1/5/1 SC2      <DISABLED, DOWN>
interface serial 1/7/1          <DISABLED, DOWN>
interface serial 1/7/2          <DISABLED, DOWN>
used resources: 7/128
```

Рисунок 1.5 – Настройки подсети

В программе есть возможность настройки пролета, т.е. изменение частот, емкости канала, тип модуляции и уровней выходных мощностей.

При изменении уровня выходной мощности меняется уровень входной мощности на другой стороне. Для каждого типа антенн верхний и нижний предел уровней выходных мощностей разный, а типы антенн выбираются исходя из расстояния между антеннами.

На рисунке 1.6 приведен пример одного из узловых БС.

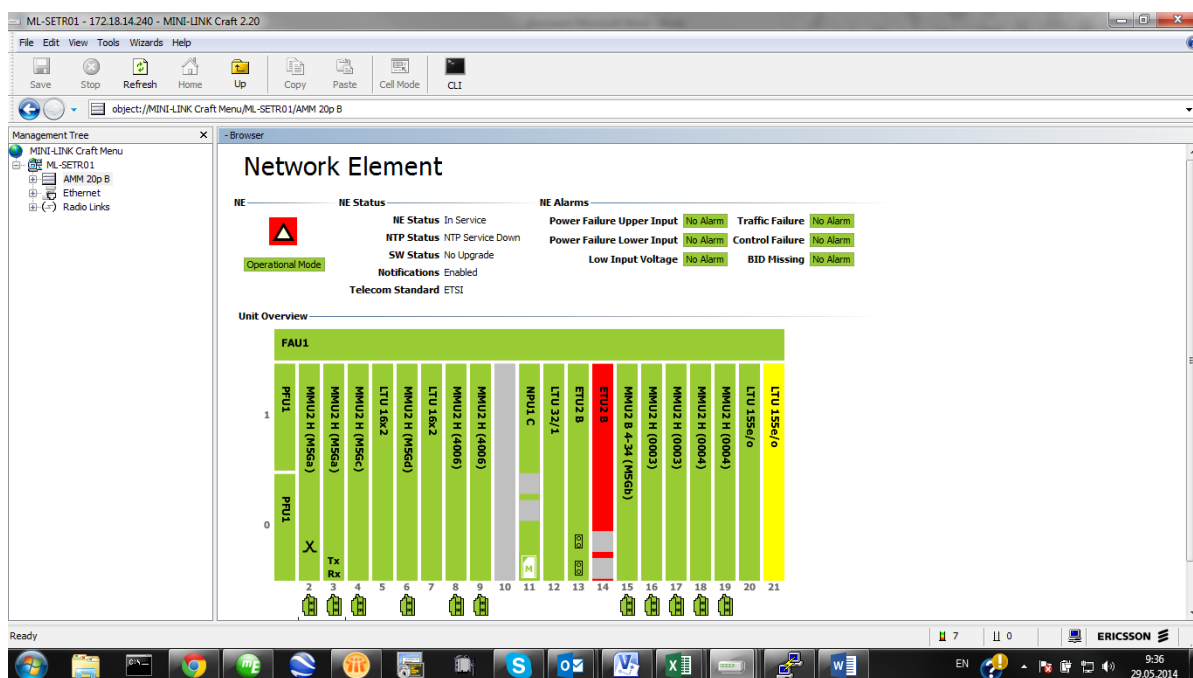


Рисунок 1.6 – AMM 20p

С помощью приведенной функции программы можно просматривать все аварии на определенных пролетах и модемах, которые подключены к TN. Зная на каком слоту установлен модем в направлении нужной нам БС, можно определить уровни входных и выходных мощностей (рисунок 1.7).



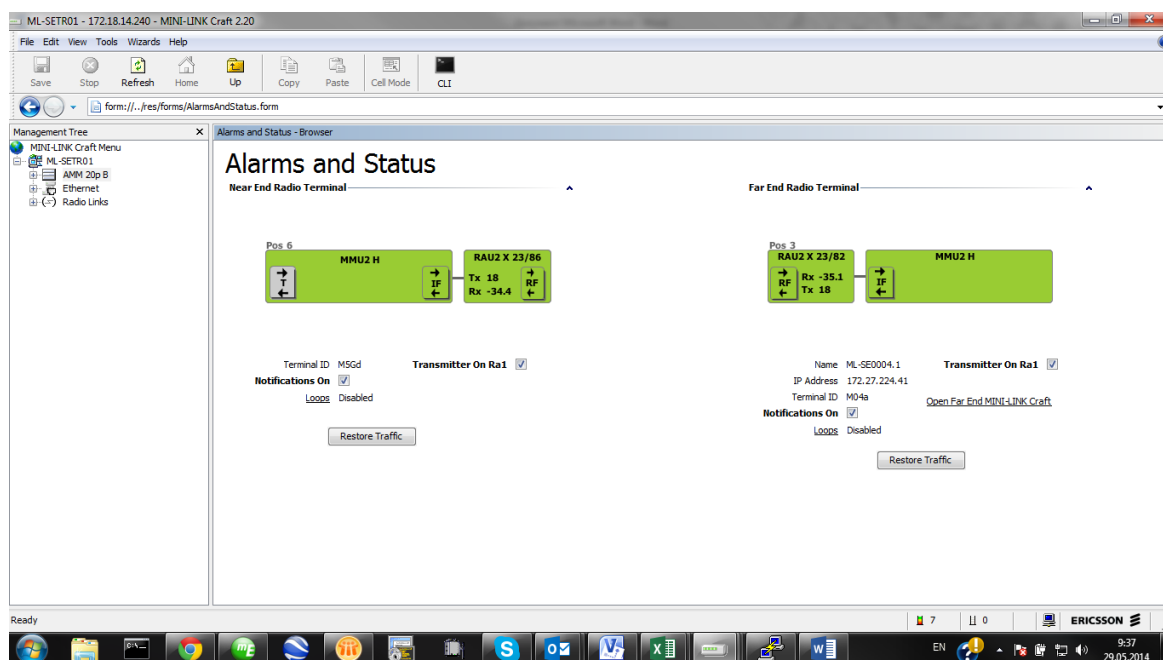


Рисунок 1.7 – Пример пролета

Также в этой программе имеется возможность изменения настроек пролета во время перепланирования и оптимизации сети. Изменение емкости производится после определения утилизации на данном канале и при превышении 70% (рисунок 1.8).

### Configure Radio Link

**Near End Radio Terminal**

Ra1  
MMU2 H 1/2 (Pos 2)  
RAU2 X 23/86 1/2.1

Terminal  
Terminal ID: H95d  
Far End ID: Z4Ka  
Radio ID Check: ☒  
Mode: 1+0

Capacity  
Enable XPIC: ☐ Adaptive Modulation: ☐  
Channel Spacing (MHz): 14  
Capacity — Modulation: 71 Mbit/s (v0) — 128-QAM  
Number of E1s: 0  
Packet Link Capacity (Config): 71.93 Mbit/s

RF  
Ra1  
Tx Freq. (MHz): 22702.00  
Rx Freq. (MHz): 21502.00  
Output Power Mode: Fixed (RTPC)  
Output Power (dBm): 14  
Transmitter On: ☒

**Far End Radio Terminal**

Ra1  
MMU2 H F2/1 (Pos 6)  
RAU2 X 23/82 F2/1.1

Terminal  
Terminal ID: Z4Ka  
Far End ID: H95d  
Radio ID Check: ☒  
Mode: 1+0

Capacity  
Enable XPIC: ☐ Adaptive Modulation: ☐  
Channel Spacing (MHz): 14  
Capacity — Modulation: 71 Mbit/s (v0) — 128-QAM  
Number of E1s: 0  
Packet Link Capacity (Config): 71.93 Mbit/s

RF  
Ra1  
Tx Freq. (MHz): 21502.00  
Rx Freq. (MHz): 22702.00  
Output Power Mode: Fixed (RTPC)  
Output Power (dBm): 14  
Transmitter On: ☒

Рисунок 1.8 – Настройка пролета

Т.к. все БС работают по виртуальной сети VLAN необходимо прописать сайт по всей ветке до BSC на приходящие и уходящие порты на каждом

узлом БС, который находится в ветке. Ниже приведен пример виртуальной сети одной БС.

```
vlan 1222
name SH5159_2G
egressports 1,2
no forbidden-egressports
untagged-ports 2
no forward-unregistered-multicast
end
vlan 2222
name SH5159_3G
egressports 1,3
no forbidden-egressports
no untagged-ports
no forward-unregistered-multicast
end
```

Рисунок 1.9 – Пример VLAN

Также в программе Craft можно следить за траффиком на БС. Данная функция позволяет определять причины отсутствия потока, т.к. каждый пункт (рисунок 1.10) отвечает за свои определенные функции.

**NPU3 B 1/7**

**LAN 1/7/3 - Alarms and Status**

---

**LAN Status**

	Oper Status	Speed (Mbit/s)	Min Speed (Mbit/s)
LAN 1/7/3	Up	100.00	10.00

---

**LAN Alarms**

	Ethernet Down	Ethernet Sync Support
LAN 1/7/3	No Alarm	No Alarm

---

**LAN Interface Notifications**

	Ethernet Down	Ethernet Sync Support
LAN 1/7/3	Disabled	Disabled

---

**Counters**

	Received	Transmitted
<b>Octets</b>	28452249870	280625827168
<b>Unicasts</b>	399723039	3419863455
<b>Multicasts</b>	0	0
<b>Broadcasts</b>	12109	199612
<b>Discarded</b>	0	0
<b>Error</b>	1	0

Clear Counters

Рисунок 1.10 – Основные показатели потока на БС

Received – это пакеты посылаемые базой в сторону BSC. Transmitted – это пакеты посылаемые BSC в сторону базы.

## 2 Конструкторская часть

### 2.1 Планирование сети LTE в г. Жанатас

Оператором связи, осуществляющий проектирование сети LTE, выступает компания, занимающаяся предоставлением услуг связи и которая имеет выработанную транспортную сеть в районе планирования. Такой компанией является ТОО «Мобайл Телеком-Сервис».

Т.к. в данном регионе уже имеется сеть TELE2, то для организации сети 4G необходимо заменить имеющееся оборудование на более новое и подключить сеть к волоконно-оптической линии.

Сеть ТЕЛЕ2, которая работает в городе Жанатас и близлежащих селах необходимо перепланировать так, чтобы все сайты работали от одного узла и подключить данную узловую БС к волоконно-оптической линии.

Опто-волоконная линия связи проложена вдоль трассы от Жанатаса до контроллера, который находится в г.Тараз.Сеть после перепланирования будет выглядеть следующим образом:

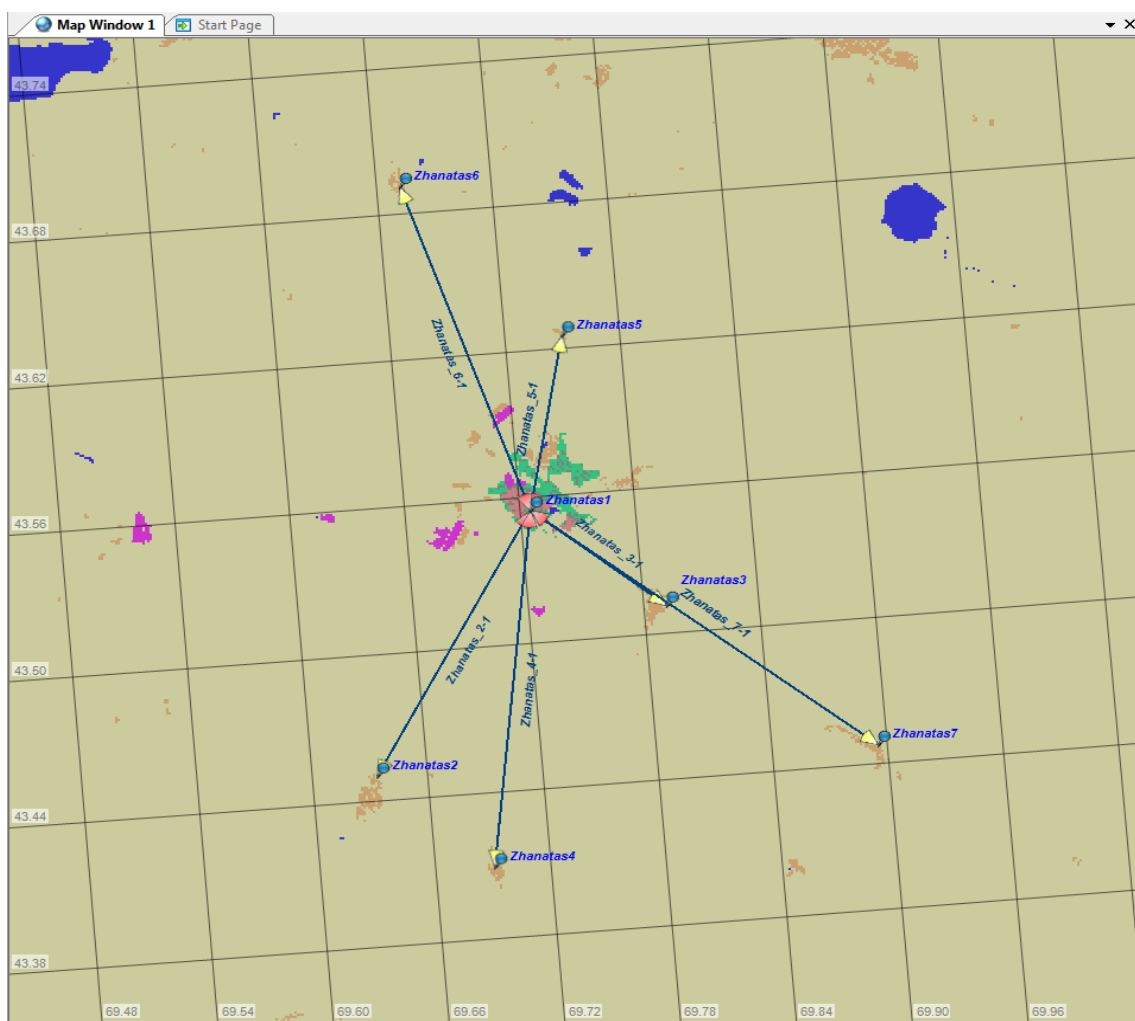


Рисунок 2.1 – Топология сети LTE

Проложенная волоконно-оптическая линия связи показана на рисунке 2.2:

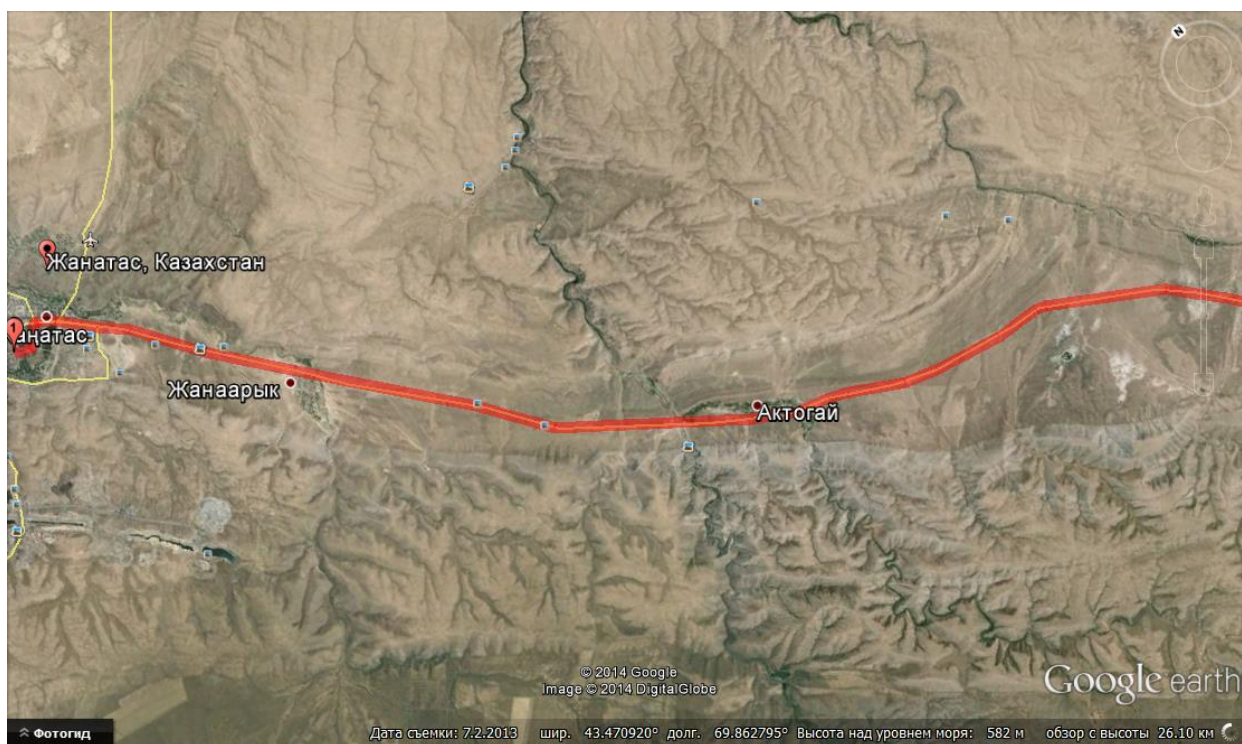


Рисунок 2.2 – Опто-волоконная линия связи

## **2.2 Расчет пропускной способности сети и количества потенциальных абонентов**

Пропускной способности или емкости сети дают оценку, основываясь на средних значениях спектральной эффективности соты в конкретных ситуациях.

Спектральной эффективностью систем мобильной связи является показатель, который вычисляется отношением скорости передачи данных на 1 Гц используемой полосы частот (бит/с/Гц). Спектральная эффективность – показатель эффективности использования частотного ресурса, характеризующая скорость передачи данных в заданных полосах частот.

Спектральную эффективность рассчитывают отношением скорости передачи данных всех абонентов сети в определенной географической зоне на 1 Гц полосы частот (бит/с/Гц/сота), а также отношением максимальной пропускной способности сети к ширине полосы одного частотного канала.

Средняя спектральная эффективность для сети LTE с шириной полос частот равной 20 МГц, для частотного типа дуплекса FDD на базе 3GPP Release 9 для разных конфигураций MIMO, представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Средняя спектральная эффективность для сети LTE

Линия	Схема MIMO	Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц)
UL	1×2	1,254
	1×4	1,829
DL	2×2	2,93
	4×2	3,43
	4×4	4,48

Для систем FDD пропускную способность одного сектора TN можно получить через прямое умножение ширины канала на спектральную эффективность канала:

$$R = S \cdot W, \quad (1.1)$$

где  $S$  – средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц);

$W$  – ширина канала (МГц);  $W = 10$  МГц.

Для линии DL:

$$R_{DL} = 3,43 \cdot 10 = 34,3 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL:

$$R_{UL} = 1,829 \cdot 10 = 18,29 \text{ Мбит/с.}$$

Средняя пропускная способность БС  $R_{TN}$  считается как умножение пропускной способности одного сектора на количество секторов базовой станции, которую примем равной 3, тогда:

$$R_{TN} = R_{DL/UL} \cdot 3 \quad (1.2)$$

Для линии DL:

$$R_{TN.DL} = 34,3 \cdot 3 = 102,9 \text{ Мбит/с.}$$

Для линии UL:

$$R_{TN.UL} = 18,29 \cdot 3 = 54,87 \text{ Мбит/с.}$$

Следующим этапом будет определение количества сот в планируемой сети LTE.

Для расчета числа сот в сети необходимо определить общее число каналов, выделяемых для развертывания проектируемой сети LTE. Общее число каналов  $N_k$  рассчитывается по формуле:



$$N_k = \left\lfloor \frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_k} \right\rfloor \quad (1.3)$$

где  $\Delta f_{\Sigma}$  - полоса частот, выделенная для работы сети и равная 71 МГц;  
 $\Delta f_k$  - полоса частот одного радиоканала; радиоканал в сетях LTE это ресурсный блок РБ, имеющий ширину 180 кГц,  $\Delta f_k = 180$  кГц.

$$N_k = \frac{71000}{180} \approx 395 \text{ (каналов)}$$

Далее определяем количество каналов  $N_{k.сек}$ , которое нужно применить для сервиса абонентов в 1 секторе 1 соты:

$$N_{k.сек} = \left\lfloor \frac{N_k}{(N_{кл} \cdot M_{сек})} \right\rfloor, \quad (1.4)$$

где  $N_k$  – общее число каналов;  
 $N_{кл}$  – размерность кластера, которое выбирается с учетом количества секторов ТН, которое равно 3;  
 $M_{сек}$  – количество секторов ТН, принятое 3.

$$N_{k.сек} = \left\lfloor \frac{395}{(3 \cdot 3)} \right\rfloor \approx 43 \text{ (канала)}.$$

Далее определяется число каналов трафика в 1 секторе 1 соты  $N_{кт.сек}$ . Число каналов трафика вычисляется по формуле:

$$N_{кт.сек} = N_{кт1} \cdot N_{k.сек}, \quad (1.5)$$

где  $N_{кт1}$  – число каналов трафика одного радиоканала, которое определяется стандартом радиодоступа (для OFDMAN  $N_{кт1} = 1...3$ ) и для сети LTE выбираем  $N_{кт1} = 1$

$$N_{кт.сек} = 1 \cdot 43 \approx 43 \text{ (канала)}.$$

Согласно модели Эрланга, которая представлена как график на рисунке 2.1, можно определить допустимую нагрузку в секторе одной соты  $A_{сек}$  при допустимой величине вероятности блокировки равной 1% и рассчитанным выше значением  $N_{кт.сек}$ . Определим, что  $A_{сек} = 50$  Эрл.

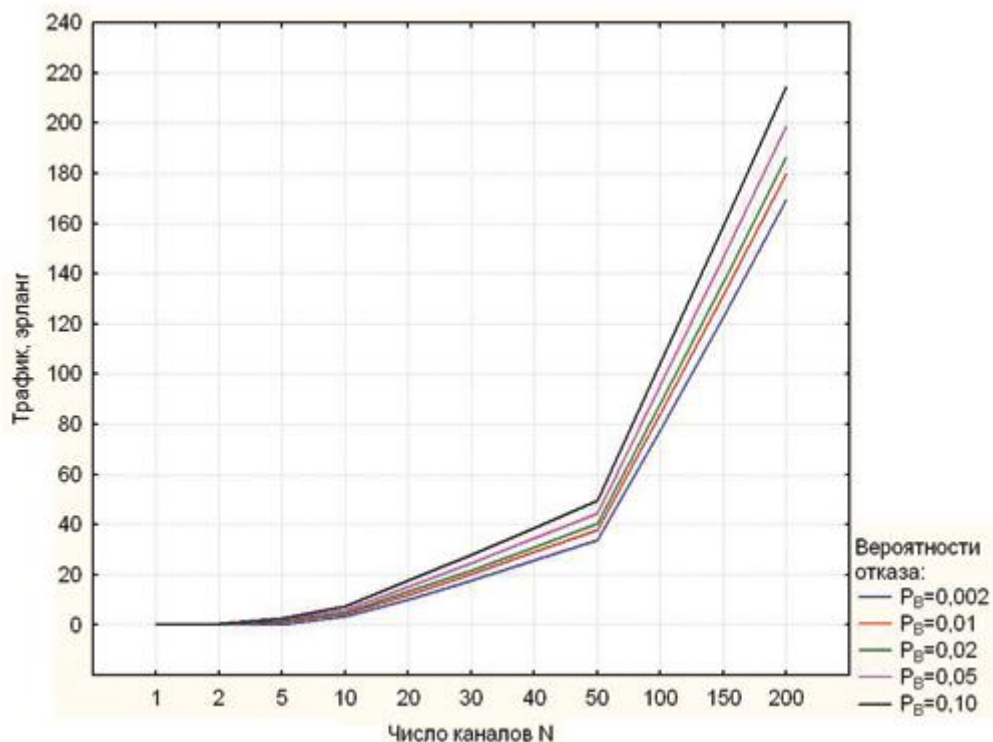


Рисунок 2.3 – Зависимость допустимой нагрузки в секторе от числа каналов трафика и вероятности блокировки

Число абонентов, которое будет обслуживаться одной ТН, определяется по формуле:

$$N_{аб.ТН} = M_{сек} \cdot \left[ \frac{A_{сек}}{A_1} \right], \quad (1.6)$$

где  $A_1$  – средняя нагрузка одного абонента по всем видам трафика; значение  $A_1$  может составлять (0,04...0,2) Эрл. Сеть планируется для использования высокоскоростного обмена информацией и, соответственно, значение  $A_1$  принимаем равным 0,2 Эрл. Таким образом:

$$N_{аб.ТН} = 3 \cdot \left[ \frac{50}{0,2} \right] \approx 750 \text{ (абонентов)}.$$

Количество базовых станций ТН в проектируемой сети LTE можно найти по формуле:

$$N_{ТН} = \left[ \frac{N_{аб}}{N_{аб.ТН}} \right] + 1 \quad (1.7)$$

где  $N_{аб}$  – количество потенциальных абонентов. Количество потенциальных абонентов определяется как 20% от общего числа всех

жителей. Общее число жителей города Жанатас составляет 24500 человек. Соответственно, число потенциальных абонентов составляет 4900 человек, тогда:

$$N_{TN} = \left\lceil \frac{4900}{750} \right\rceil + 1 \approx 7 (TN).$$

Среднюю планируемую пропускную способность  $R_N$  проектируемой сети можно определить умножением количества TN на среднюю пропускную способность TN. Формула примет вид:

$$R_N = (R_{TN.DL} + R_{TN.UL}) \cdot N_{TN}, \quad (1.8)$$

$$R_N = (102.9 + 54.87) \cdot 7 \approx 1104.39 \text{ (Мбит/с)}.$$

Затем даем проверочную оценку емкости проектируемой сети и сравниваем с рассчитанной. Определяем усредненный трафик одного абонента в ЧНН:

$$R_{\text{т.чнн}} = \frac{T_{\text{т}} \cdot q}{N_{\text{чнн}} \cdot N_{\text{д}}}, \quad (1.9)$$

где  $T_m$  - средний трафик одного абонента в месяц,  $T_m = 30$  Гбайт/мес;

$q$  – коэффициент для сельской местности,  $q = 2$ ;

$N_{\text{чнн}}$  – число ЧНН в день,  $N_{\text{чнн}} = 7$ ;

$N_{\text{д}}$  – число дней в месяце,  $N_{\text{д}} = 30$ .

$$R_{\text{т.чнн}} = \frac{30 \cdot 2}{7 \cdot 30} = 0,28 \text{ (Мбит/с)}$$

Определяем общий трафик проектируемой сети в ЧНН  $R_{\text{общ./чнн}}$  по формуле:

$$R_{\text{общ./чнн}} = R_{\text{т.чнн}} \cdot N_{\text{акт.аб}}, \quad (1.10)$$

где  $N_{\text{акт.аб}}$  – количество активных абонентов в сети; можно определить число активных абонентов в сети как 80% от общего числа потенциальных абонентов  $N_{\text{аб}}$ , то есть  $N_{\text{акт.аб}} = 3920$  абонентов.

$$R_{\text{общ./чнн}} = 0,28 \cdot 3920 = 1097,6 \text{ (Мбит/с)}.$$

И мы получаем неравенство  $R_N > R_{\text{общ./чнн}}$ . По этому условию можно сделать вывод, что проектируемая сеть не будет подвергнута перегрузкам в ЧНН.[8]

## 2.3 Выбор оборудования транспортной сети

Главными отличиями технологии LTE от предыдущих технологий мобильной связи 2G и 3G являются:

- организация голосовой связи и передачи данных по IP-протоколу;
- большие скорости передачи данных;
- упрощенная топология сети.

Оборудование транспортной сети необходимо выбирать, опираясь на особенности технологии LTE, и нужно чтобы данные оборудования отвечали требованиям надежности, отличались эффективностью, гибкостью, компактностью, обладали широким набором функций и удовлетворяли понятию «цена – качество».

Надежная передача данных пользователей согласно рассчитанной пропускной способности сети LTE тоже является основным условием при выборе оборудования транспортной сети.

Транспортная сеть проектируемой сети LTE будет осуществлена с использованием оптоволоконных линий передач по технологии Ethernet. В этой технологии (стандарт IEEE 802.3) определяются следующие скорости: Ethernet на скорости 10Мбит/с, Fast Ethernet на скорости 100Мбит/с, Gigabit Ethernet на скорости 1Гбит/с и 10 Gigabit Ethernet на скорости 10Гбит/с. Скорости в 1 и 10 Гбит/с годятся для транспортной сети. Широкая масштабируемость и максимальная приближенность к стеку протоколов IP дает существенное преимущество системам Ethernet.

В проектировании мобильных сетей имеются всяческие решения выбора оборудования сети радиодоступа и транспортной сети. Компании-производители оборудования для сетей мобильной связи дают операторам пакеты готовых решений, которые состоят из собранного по различным показателям стека аппаратуры.

Рабочие станции, коммутаторы, маршрутизаторы, мультисервисные станции, а также специализированное оборудование для управления сетью могут входить в пакеты готовых решений для реализации транспортной сети мобильного оператора.

В данном дипломном проекте будет производиться замена оборудования в существующих БС. Т.к. многие базовые станции построены и введены в эксплуатацию до внедрения IP-траффика, многие TN используют TDM и оборудование Quidway S2300 Series компании Huawei.

Для организации LTE необходимо убрать с эксплуатации данные Switch-модемы. На рисунках 2.4. и 2.5. приведены полный набор оборудования и отдельный Switch-модем.



Рисунок 2.4 – Оборудование TN AMM 6p, Switch, BBU-box

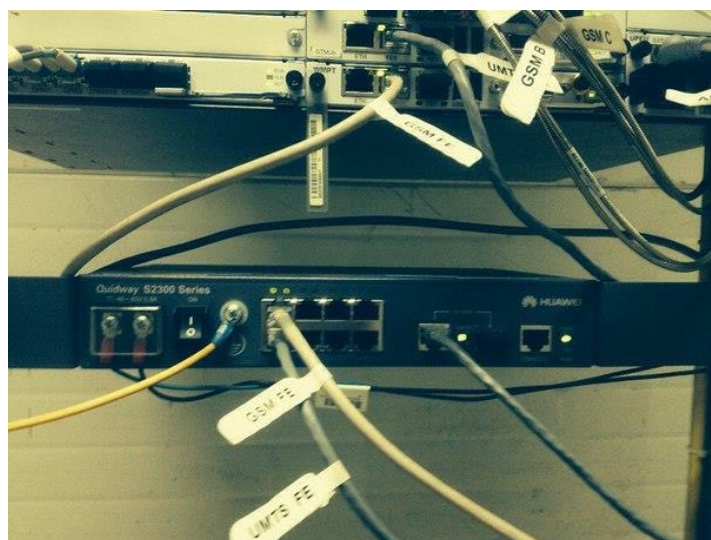


Рисунок 2.5 – Quidway S2300 Series компании Huawei

Во многих станциях имеются устаревшие TN, которые не поддерживают многих новых функций и не отвечает требованиям сети LTE, т.е. используются АММ 2р или АММ 6р.

АММ 2р подходит для конечного сайта. Он имеет два слота полной емкости и два слота половинной емкости и в нем находится один NPU2, один или два устройства MMU, и дополнительный LTU 12x2 и FAU4.



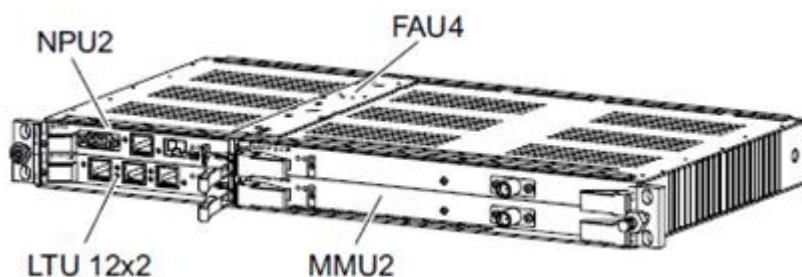


Рисунок 2.6 – Схема АММ 2р

АММ 6р подходит для узловых сайтов и имеет шесть слотов полной емкости и два слота половинной емкости и в нем находится один NPU1 В или NPU 8x2, один PFU2 и один FAU2. Остальные слоты оснащены чипы MMU, Smus и модулями LTU.

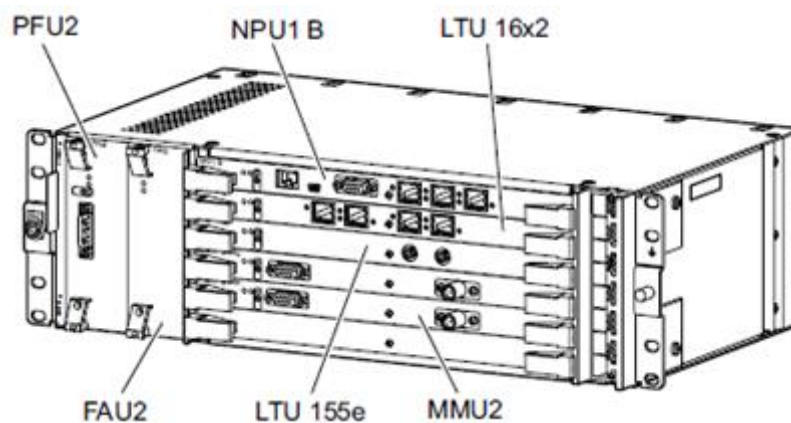


Рисунок 2.7 – Схема АММ 6р

Учитывая данные оборудования, то нам необходимо будет заменить АММ 2р на 2рВ, а АММ 6р на 6р В или 6р С на конечных БС, и замена радиоблоков RAU.



Рисунок 2.8 – TN АММ 6р В и RAU+ANT

Для подключения БС к волоконно-оптической линии потребуется SFP-модуль. Для нашей сети подходит модуль SFP WDM.



Рисунок 2.9 – SFP-модуль WDM

Основные характеристики:

- рабочая длина волны TX 1510/RX 1570нм;
- поддерживает скорости до 1.25Gb/s;
- поддержка Digital Diagnostic Monitoring (DDM);
- поддержка «горячей» замены;
- максимальная дальность связи 140 км;
- DFB-лазер, не требующий дополнительного охлаждения;
- высокочувствительный APD приемник;
- Simplex SC - connector;
- напряжение питания 3.3В;
- рабочая температура -5... 70 °С;
- мощность излучения 2.. 4dBm;
- чувствительность приемника -32dBm;
- соответствие рекомендациям SFF-8472 Multisource Agreement (MSA).

## 2.4 Выбор патч-корда

Оптические кабели являются средой передачи, которая близка к совершенной. Оптические кабели по объему и скорости передачи информации, надежности и дальности ее доставки существенно обходят иные технологические решения, и на данный момент альтернативы им нет.

Главным элементом оптического кабеля является оптическое волокно (световод), которое выполнено как тонкое стеклянное волокно цилиндрической формы, доставляющие световые сигналы с длинами волны 0,85...1,6 мкм. Световод состоит из двухслойной конструкции, сердцевины и

оболочки с неодинаковыми показателями преломления. Сердцевина выполняет роль передатчика электромагнитной энергии.

Задачей оболочки является создание оптимальных условий отражения на границе «сердцевина – оболочка» и защита от помех окружающей среды. В уже имеющихся конструкциях оптических кабелей используются световоды двух типов: многомодовые (ступенчатые и градиентные) и одномодовые. По частотно-пропускной способности и дальности передачи оптимальными считаются одномодовые световоды.

Существующие типы кабелей делятся на три группы:

- кабели с повивной концентрической скруткой;
- кабели с фигурным сердечником;
- плоские кабели ленточного типа.

В оптических кабелях наряду с оптическим волокном имеются следующие элементы:

- силовые упрочняющие стержни, воспринимающие на себя продольную нагрузку на разрыв;
- армирующие элементы, которые повышают стойкость кабеля при механических воздействиях;
- заполнители в виде сплошных пластмассовых нитей;
- внешние защитные оболочки, которые предохраняют кабель от проникновения влаги, паров вредных веществ и наружных механических влияний.

В данном дипломном проекте патч-корды будут использоваться для соединения магазина TN и мультиплексора. Для этого нам потребуется 3-метровый патч-корд Hyperline FC-50-LC-SC-PC-3M

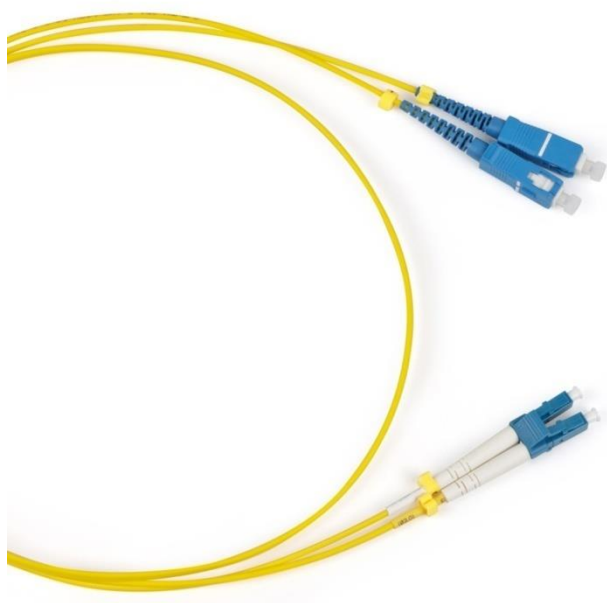


Рисунок 2.10 – Патч-корд LC-SC

Описание данного патч-корда:

- оптический соединительный переходной шнур
- тип разъемов: LC, SC
- тип волокна: Singlemode (Одномод)
- тип шнура: Simplex
- буфер: 0,9/3мм.
- длина: 3 метра.

## 2.5 Выбор мультиплексора

В синхронных цифровых сетях передачи данных важнейшую роль играют мультиплексоры. Оптический мультиплексор или просто мультиплексор (OADM, Optical Add) – это устройство, на входе и выходе которого – по  $n$  волокон, и каждое из них передает по  $m$  оптически мультиплексированных каналов. В состав современных OADM входят: электронный мультиплексор ввода-вывода (ADM), оптические демультиплексор (divider) и мультиплексор (или комбайнер – combiner). Для увеличения мощности в устройство включают оптический предусилитель на входе и мощный оптический усилитель – на выходе.

Электронный мультиплексор выполняет функции ввода/вывода трибов (SDH, PDH, SONET), компонентных сигналов (ATM) и потоков. Оптический демультиплексор:

- выделяет транзитный поток из нескольких несущих и передает его непосредственно на оптический мультиплексор;
- выделяет оптические несущие (обычно по одной с каждого волокна) для передачи зарезервировавшим их пользователям, имеющим оптические интерфейсы к оптоволоконным каналам;
- выделяет оптические несущие и передает их на электронный мультиплексор для оптоэлектронного преобразования и электронного демультиплексирования каналов (трибов или компонентных сигналов), зарезервированных пользователями.

Оптический мультиплексор формирует выходной поток, объединяя транзитный поток от демультиплексора (оптические несущие) с оптическими потоками от электронного демультиплексора и с прямыми оптическими каналами от пользователей.

Для организации 4G необходимо осуществить соединение между волоконно-оптической линией связи с TN через SFP-модули. Это соединение осуществляется с помощью мультиплексора, на который с одной стороны подключается оптический кабель и с портов подключается патч-корд, который идет на SFP-модуль.



Рисунок 2.11 – Мультиплексор ODF R-24

Стоечные оптические кроссы предназначены для обеспечения коммутации магистрального кабеля с оконечным оборудованием. Они подходят для сварки оптоволокна, хранения запаса оптоволокна и кабельного соединения. Относительно большое рабочее пространство позволяет подключать и управлять пигтейлами, кабелями и адаптерами. Устройства подходят для пучковых и ленточных кабелей. Оптические кроссы изготавливаются из холоднокатаного листа и оснащаются металлической передней дверью. Оптические кроссы могут быть установлены в распределительной стойке.

Основные характеристики:

- доступные адаптеры: FC, SC, LC или ST
- количество портов: 24
- стандартная рабочая длина волны: 850нм, 1,310нм, 1,550нм
- рабочая температура: -5°C, +40°C

### 3 Радиопокрытие сети LTE и схема организации

#### 3.1 Анализ радиопокрытия

Анализ радиопокрытия начинается с вычисления максимального объема допустимой потери на линии (МДП). МДП вычисляется разностью между эквивалентной изотропной излучаемой мощностью передатчика (ЭИИМ) и минимально необходимой мощности сигнала на входе приемника сопряженной стороны, при которой в канале связи производится нормальная демодуляция сигнала в приемнике.

При расчете используются такие параметры как:

- системная полоса: 20 МГц; для FDD = 10/10 (DL/UL);
- TN – на каждом секторе один TRX, выходная мощность TRX = 40 Вт (46 дБм); работает на линии DL в режиме MIMO 2×2;
- UE – абонентский терминал – USB-модем, класс 4 – ЭИИМ 33 дБм;
- соотношение длительности кадров DL/UL: 100%/100%.

Максимально допустимые потери рассчитываются по формуле:

$$L_{\text{МДП}} = P_{\text{эиим.прд}} - S_{\text{ч.пр}} + G_{\text{А.пр}} - L_{\text{Ф.пр}} - M_{\text{прон}} - M_{\text{ном}} - M_{\text{затен}} + G_{\text{хо}}, \quad (3.1)$$

где  $P_{\text{эиим.прд}}$  – эквивалентная излучаемая мощность передатчика;

$S_{\text{ч.пр}}$  – чувствительность приемника;

$G_{\text{А.прд}}$  – коэффициент усиления антенны передатчика,  $G_{\text{А.прд}}$ : DL = 18 дБи, UL = 0 дБи;

$L_{\text{Ф.прд}}$  – потери в фидерном тракте передатчика,  $L_{\text{Ф.прд}}$ : DL = 0,3 дБ;

$M_{\text{прон}}$  – запас на проникновение сигнала в помещение для сельской местности,  $M_{\text{прон}} = 12$  дБ;

$M_{\text{ном}}$  – запас на помехи.  $M_{\text{ном}}$  определяется по результатам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах; значение  $M_{\text{ном}}$  соответствует нагрузке в соседних сотах 70%.  $M_{\text{ном}}$ : DL = 6,4 дБ; UL = 2,8 дБ;

$G_{\text{хо}}$  – выигрыш от хэндовера. Выигрыш от хэндовера – результат того, что при возникновении глубоких замираний в обслуживаемой соте, абонентский терминал может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема.  $G_{\text{хо}} = 1,7$  дБ.[8]

$P_{\text{эиим.прд}}$  рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{эиим.прд}} = P_{\text{вых.прд}} + G_{\text{А.прд}} - L_{\text{ф.прд}}, \quad (3.2)$$

где  $P_{\text{вых.прд}}$  – выходная мощность передатчика  $P_{\text{вых.прд}}$  в линии «вниз» (DL), которая в сетях LTE зависит от ширины полосы частот сайта, которая находится в пределах от 1,4 до 20 МГц. В пределах до 5 МГц рационально

выбрать передатчики TRX мощностью 20 Вт (43 дБм), а свыше 5 МГц – 40 Вт (46 дБм).  $P_{вых.нр\delta}$ : DL = 46 дБм, UL = 33 дБм.

Для линии DL:

$$P_{эишм.нр\delta} = 46 + 18 - 0,3 = 63,7 \text{ (дБм)}.$$

Для линии UL:

$$P_{эишм.нр\delta} = 33 \text{ (дБм)}.$$

$S_{ч.пр}$  рассчитывается по формуле:

$$S_{ч.пр} = P_{тш.пр} + M_{осш.пр} + L_{пр}, \quad (3.3)$$

где  $P_{тш.пр}$  - мощность теплового шума приемника,  $P_{тш.пр}$ : DL = -174,4 дБм, UL = -104,4 дБм;

$M_{осш.пр}$  - требуемое отношение сигнал/шум приемника. Значение  $M_{осш.пр}$  принимаем для модели канала «EnhancedPedestrianA5».

$M_{осш.пр}$ : DL = -0,24 дБ; UL = 0,61 дБ;

$L_{пр}$  - коэффициент шума приемника,  $L_{пр}$ : DL = 7 дБ, UL = 2,5 дБ;

Для линии DL:

$$S_{ч.пр} = -174,4 + (-0,24) + 7 = -167,64 \text{ (дБм)},$$

Для линии UL:

$$S_{ч.пр} = -104,4 + 0,61 + 2,5 = -101,29 \text{ (дБм)}.$$

Учитывая полученные результаты по формулам (3.2) и (3.3), рассчитываем значение МДП:

Для линии DL:

$$L_{МДП} = 63,7 - (-167,64) - 12 - 6,4 - 8,7 - 1,7 = 205,94 \text{ (дБ)},$$

Для линии UL:

$$L_{МДП} = 33 - (-101,29) + 18 - 0,4 - 12 - 6,4 - 8,7 + 1,7 = 126,5 \text{ (дБ)}.$$

Из этих значений МДП, которые получены для линий DL и UL выбирается меньшее для ввода последующих расчетов дальности связи и радиуса соты. На практике линия вверх является ограничивающей линией по дальности связи.



Чтобы рассчитать дальность связи, используем эмпирическую модель распространения радиоволн Okumura – Hata. Эта модель является обобщением опытных фактов, где учтены немало условий и видов сред. В модели Okumura – Hata чтобы определить среднее затухание радиосигнала в городских условиях предлагается следующее выражение:

$$L_r = 69,5 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg h_t) \cdot \lg d \quad (3.4)$$

Для сельской местности выражение примет вид с коррективом:

$$L_c = L_r - 4,78(\lg f_c)^2 + 17,33 \cdot \lg f_c - 40,94, \quad (3.5)$$

где  $f_c$  – частота от 150 до 1500 МГц;

$h_t$  – высота передающей антенны (подвеса TN) от 30 до 300 метров;

$h_r$  – высота принимающей антенны (антенны мобильного устройства) от 1 до 10 метров;

$d$  – радиус соты от 1 до 20 км;

$A(h_r)$  – поправочный коэффициент для высоты антенны подвижного объекта, зависящий от типа местности.

Выбираем параметры для расчетов:

–  $f_c = 800$  МГц;

–  $h_t = 30$  метров;

–  $h_r = 3$  метра.

Поправочный коэффициент  $A(h_r)$  для сельской местности рассчитывается по формуле:

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg f_c - 0,7) \cdot h_r - (1,56 \cdot \lg f_c - 0,8), \quad (3.6)$$

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \lg 800 - 0,7) \cdot 3 - (1,56 \cdot \lg 800 - 0,8) = 3,751$$

По формулам (5.4) и (5.5) вычисляем радиус соты, и получим  $d \approx 6$  км.

Площадь  $S_{TN}$  покрытия трехсекторного сайта считается по формуле:

$$S_{TN} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot d^2, \quad (3.7)$$

$$S_{TN} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 6^2 \approx 70,15 \text{ (км}^2\text{)}.$$

### **3.2 Частотно-территориальное деление и ситуационное расположение TN**

Важнейший этап проектирования сети подвижной радиосвязи абонентского доступа – этап частотно-территориального планирования, где выбираем структуру сети, место размещения каждой базовой станции, разрабатываем план распределения радиоканалов для базовых станций, выполняется адаптация планов к условиям территориальных и частотных ограничений планируемой зоны обслуживания.

Необходимо составить ситуационный план размещения базовых станций TN в районе запланированной сети. Главная цель данного проекта – обеспечение устойчивым радиосигналом густонаселенных сельских районов, а не полный радиоохват территории района. Учитывая это условие и особенности рельефа местности, можно размещать базовые станции. Ситуационный план размещения TN представлен в приложении А.

Планируется построить 1 базовую станцию и установить 3 БС на правах аренды, которые нужны для обеспечения постоянным радиосигналом густонаселенных районов на территории планирования. Планируется строительство сети, где TN обладают следующими характеристиками:

- мощность одного передатчика – 40 Вт;
- высота подвеса антенны – 30 метров;
- число приемопередатчиков TRX – 3 (один на каждый сектор);
- системная полоса для каждого сектора – 20 МГц (10 МГц для линии «вверх» и 10 МГц для линии «вниз»);
- пропускная способность: линия «вниз» - 102,9 Мбит/с, линия «вверх» - 54,87 Мбит/с.

Для запланированной сети выделяется следующая полоса частот 791-862 МГц, где ширина частотного спектра 71 МГц. Каждому сектору TN необходимо определить 20 МГц. Следовательно, ширина спектра поделится на 3 части по 20 МГц, так же учитываем защитные частотные полосы избежания перекрытия сигналов разных секторов. Присваиваем каждой из трех частей спектра условный номер и результаты составления частотного плана, которые сведены в таблицу 3.1.

После ввода сети LTE в эксплуатацию необходимо оптимизировать сеть, где будет корректировка осуществленного планирования, т.е. нужно выполнить следующее: увеличить пропускную способность сети, изменить высоты подвеса радиомодулей, понизить или повысить излучаемую мощность радиомодулей.

Ситуационный план и разделение на соты представлены в приложениях А и Б. В приложении В приведен пример планирования сети и организации канала в программе Mentum Ellipse.

Таблица 3.1 - Частотный план сети LTE в г. Жанатас

Номер TN	Сектор	Азимут	Радиус зоны обслуживания, км	Условный номер части частотного спектра
1	1.1	0	6	1
	1.2	120	6	2
	1.3	240	6	3
2	2.1	0	6	1
	2.2	120	6	2
	2.3	240	6	3
3	3.1	0	6	1
	3.2	120	6	2
	3.3	240	6	3
4	4.1	0	6	1
	4.2	120	6	2
	4.3	240	6	3
5	5.1	0	6	1
	5.2	120	6	2
	5.3	240	6	3
6	6.1	0	6	1
	6.2	120	6	2
	6.3	240	6	3
7	7.1	0	6	1
	7.2	120	6	2
	7.3	240	6	3

### 3.3 Проектируемая схема организации связи сети LTE

Учитывая рассчитанную емкость сети, информационную нагрузку по определению зон радиопокрытия, для создания широкополосного доступа по технологии LTE выяснили, что в городе Жанатас потребуется 7 базовых станций. Пропускная способность одной TN на первых этапах функционирования сети будет составлять 154 Мбит/с, а вся сеть LTE в г.Жанатас 1 Гбит/с. После того, как запускается сеть, выполняется оптимизация сети, где пропускную способность базовой станции можно увеличить размещая дополнительные радиомодули «Mini Link» от производителя «Ericsson». Трафик от базовой станции передается мультиплексору

Описание стандартов Ethernet, которые используются в организации связи проектируемой сети:

- 1000 BASE-LX – стандарт, который использует одномодовое оптическое волокно; дальность прохождения сигнала без повторителя зависит от типа применяемых приемопередатчиков и находится в пределах от 5 до 70 км. Обладает скоростью передачи данных до 1 Гбит/с;

– 10 GBASE-ER – стандарт, которые использует одномодовое оптическое волокно; дальность излучения сигнала до 50 км. Обладает скоростью передачи данных до 10 Гбит/с.

Сетевой трафик передается по IP-протоколу. Схема организации связи проектируемой сети LTE в г.Жанатас показана на рисунке 3.1.

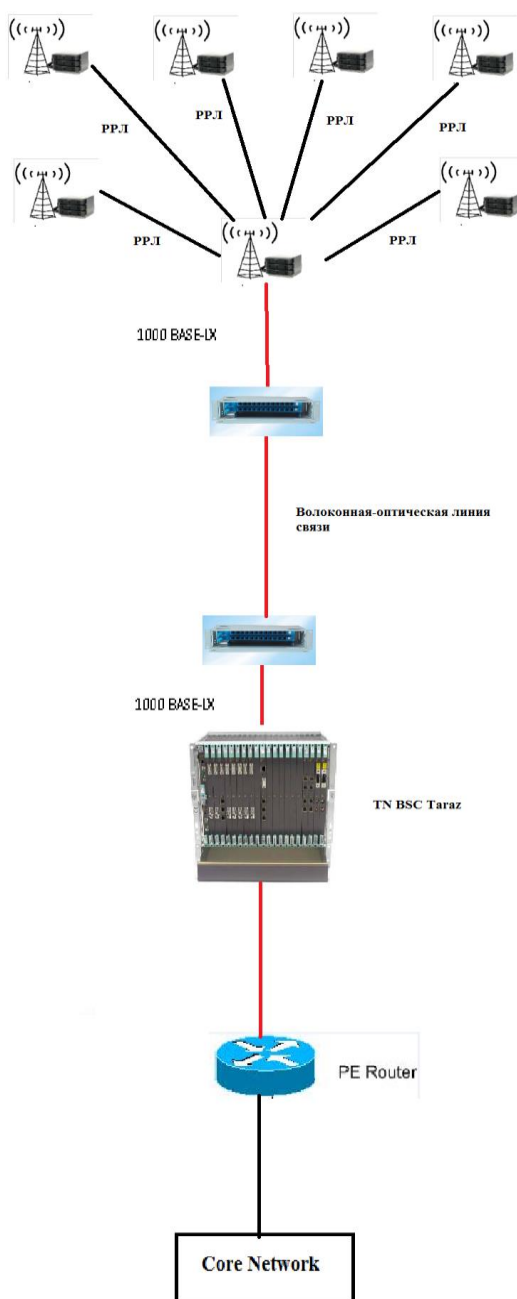


Рисунок 3.1 – Схема организации связи

## 4 Безопасность жизнедеятельности

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

Среди всевозможных физических факторов окружающей среды, оказывающие неблагоприятное влияние на человека и биологические объекты, значительную сложность доставляют электромагнитные поля неионизирующей природы, в частности, которые относятся к радиочастотному излучению.

Электромагнитным полем называется особая форма существования материи, которая характеризуется совокупностью магнитных и электрических свойств. К важнейшим параметрам, которые характеризуют электромагнитное поле, можно отнести частоту, длину волны, скорость распространения.

Естественные источники электромагнитных полей делятся на два типа: поле Земли, который относится к первому и состоит из постоянного электрического и постоянного магнитного поля, и второй тип – радиоволны, которые генерируются космическими источниками, а также атмосферные процессы, т.е. разряды молний и т.д.

Таблица 4.1. – ПДУ ЭМИ РЧ и длительность воздействия [15]

Продолжительность воздействия Т, мин	ППЭ <sub>пду</sub> , мкВт/см <sup>2</sup>
480 и более	25
450	27
420	29
390	31
360	33
330	36
300	40
270	44
240	50
210	57
180	67
150	80
120	100
90	133
60	200
30	400
15	800
12 и менее	1000

Природное электрическое поле Земли формируется избыточным отрицательным зарядом на поверхности, напряженность которой колеблется

от 100 до 500 В/м. Грозовые облака увеличивают напряженность поля до десятков и сотен кВ/м.

Предельно допустимые уровни плотности потока энергии в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц в зависимости от продолжительности воздействия представлены в таблице 4.1.

Первичное проявление действия электромагнитной энергии это – нагрев, приводящий к изменениям и повреждениям тканей и органов. Механизм впитывания энергии довольно сложен. Наиболее уязвимыми к воздействию электромагнитных полей являются центральная нервная система и нейроэндокринная система.

В следствии нахождения продолжительного времени в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость и нарушение сна, возникают частые головные боли, наступает расстройство нервной системы и др.

Неоднократные повторные облучения небольшой интенсивности приводят к стойкому нервно-психическому заболеванию и функциональному расстройству центральной нервной системы, изменению кровяного давления, замедлению пульса, трофическим явлениям.

Учитывая диапазон частот, в ядро гигиенического нормирования электромагнитных излучений положены различные принципы. Критерий безопасности для того, кто находится в электрическом поле промышленной частоты, это напряжённость данного поля. ГОСТ 12.3.002-75 определяет гигиеническую норму для персонала, регулярно находящегося в данной зоне.

Предельно-допустимый уровень для постоянного магнитного поля на рабочем месте это напряжённость, не превышающая 8 кА/м.

#### **4.2 Методы защиты здоровья людей от электромагнитного воздействия и общие положения оценки ЭМС**

Есть несколько методов защиты людей от электромагнитного влияния:

1. Защита временем – она применяется там, где отсутствует возможность снижения интенсивности излучения в данной точке до максимально дозванного уровня. В данном методе ограничивается время пребывания людей в зоне выраженного влияния электромагнитного поля. В функционирующих нормативных актах предусмотрена зависимость между интенсивностью плотности потока энергии и временем облучения.

2. Защита расстоянием – применяется, когда невыполнимо ослабление воздействия прочими мерами, и даже защитой временем. Метод образован на снижении интенсивности излучения, пропорциональном квадрату расстояния до источника. Этот вид защиты положена в костяк нормирования санитарно-защитных зон –нужного расстояния от источника поля до жилых домов, служебных помещений.

3. Инженерные мероприятия для защиты людей от электромагнитного влияния. Инженерные защитные мероприятия применяют

процесс экранирования электромагнитных полей и снижение интенсивности излучения. Второе мероприятие используется преимущественно на этапе проектирования излучающего объекта.

В некоторых случаях в целях защиты населения от электромагнитного излучения используют специальные строительные конструкции: металлическая сетка, металлический лист или прочее проводящее покрытие, специально разработанные строительные материалы.

Персональные средства защиты применяются, дабы предотвратить воздействие на организм человека ЭМИ с уровнями, которые превышают предельно допустимые, и когда использование других средств неосуществимо или нецелесообразно.

Таблица 4.2. – Предельно допустимые уровни ЭМП диапазона частот 30 кГц-300 ГГц на рабочих местах персонала [15]

Параметр	Диапазонах частот (МГц)				
	0,03-3,0	3,0-30,0	30,0-50,0	50,0-300,0	300,0-300000
Предельно допустимое значение $\dot{E}_E$ , (В/м) <sup>2</sup> ·ч	20000	7000	800	800	-
Предельно допустимое значение $\dot{E}_H$ , (А/м) <sup>2</sup> ·ч	200	-	0,72	-	-
Предельно допустимое значение $\dot{E}_{ППЭ}$ , (мкВт/см <sup>2</sup> )·ч	-	-	-	-	200
Максимальный ПДУ E, В/м	500	296	80	80	-
Максимальный ПДУ H, А/м	50	-	3,0	-	-
Максимальный ПДУ ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>	-	-	-	-	1000

Таблица 4.3. – Предельно допустимые уровни ЭМП диапазона частот 30 кГц-300 ГГц для населения [15]

Диапазон частот	30-300 кГц	0,3-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	0,3-300 ГГц
Нормируемый параметр	Напряженность электрического поля, E (В/м)				Плотность потока энергии, ППЭ (мкВт/см <sup>2</sup> )
Предельно допустимые уровни	25	15	10	3 В/м	10

Для защиты жителей от влияния электромагнитных излучений радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ), которые создаются ПРТО, определяются санитарно-защитные зоны и зоны ограничения застройки. Санитарно-защитной зоной (СЗЗ) считается территория, прилегающая к территории ПРТО. Внешняя граница санитарно-защитной зоны определяется на высоте 2м от поверхности земли по предельно допустимому уровню (ПДУ)



ЭМИ РЧ, составляющая  $10\text{мкВт/см}^2$  (согласно таблице 3.4 СанПиН 12.2.4/2.1.8.055-96) для всех групп жителей на площади жилой застройки и мест общего пользования.

При определении санитарно-защитной зоны учитывается перспективное развитие объекта и населенного пункта, и отсчет от антенны.

Зона ограничения застройки (ЗОЗ) - это территория, где выше двух метров от поверхности земли интенсивность ЭМИ РЧ превышает ПДУ, составляющая  $10\text{мкВт/см}^2$  (согласно таблице 3.4 СанПиН 2.2.4/2.1. 8.055-96) для жителей. Внешняя граница зоны ограничения застройки устанавливается по предельной высоте зданий перспективной застройки, на высоте верхнего этажа которых интенсивность ЭМИ РЧ не превышает ПДУ.

Санитарно-защитная зона и зона ограничения застройки определяются расчетами и уточняются через измерения плотности потока мощности электромагнитного поля.

Территорию ЗОЗ разрешено использовать для размещения застройки функционального разного назначения при условии, что будет соблюдена предельно-допустимый уровень в местах нахождения людей.

Расчеты осуществлялись основываясь на исходных данных и технических характеристик оборудования мультистандартной базовой станции «Mini Link» компании «Ericsson».

#### **4.3 Расчет границ санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки**

Исходные данные для расчета СЗЗ и ЗОЗ для оснащения мультистандартной базовой станции «Mini Link TN» (рисунок 4.1) компании «Ericsson» представлены в таблице 4.1.



Рисунок 4.1 – Mini Link Ericsson

Таблица 4.1 – Исходные данные для TN «Mini Link»

Тип передающей антенны	секторная
Диапазон рабочих частот	791 – 862 МГц
Эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ)	63,7 дБм
Коэффициент усиления антенны	18дБм
Азимуты ориентации антенны диаграммы направленности	секторная
Высота подвеса антенны от уровня земли	30 м
Ширина диаграммы направленности: – в горизонтальной плоскости – в вертикальной плоскости	60° 2,5°

Границы СЗЗ и ЗОЗ находятся, основываясь на санитарных нормах по известному распределению ЭМП.

Пересчет электрической составляющей ЭМП в плотность потока мощности (ППМ) совершается по формуле 4.1:

$$ППМ = \frac{E^2}{3,77(\text{мкВм/см}^2)} \quad , \quad (4.1)$$

Где  $E(\text{В/м.})$  - электрическая составляющая напряженности ЭМП, которая определяется по формуле 4.2:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G \cdot \Pi_{a\phi m}}}{R} \cdot K_{\phi} \cdot F(\alpha) \cdot F(\varphi) \quad (4.2)$$

$P$  - мощность на входе антенно-фидерного тракта, Вт;

$G$  - коэффициент усиления антенны относительно изотропного излучателя, определяемый в направлении максимального излучения;

$\Pi_{a\phi m}$ - коэффициент потерь в антенно-фидерном тракте  $\Pi_{a\phi m} = \frac{l}{\alpha \cdot l}$ ;

$R$  - расстояние от геометрического центра антенны до точки наблюдения в м;

$F(\alpha)$  - нормированная ДН в горизонтальной плоскости;

$F(\varphi)$  - нормированная ДН в вертикальной плоскости;

$K_{\phi}$ - множитель ослабления, учитывающий влияние отражающих поверхностей в условиях городской застройки ( $K_{\phi}=0,15...0,4$ ; т.к. радиомодули расположены на высотной башне  $K_{\phi} = 0,3$ ).

В соответствии с исходными данными параметры  $P$  и  $P_{a\phi m}$  устанавливаются эквивалентной изотропно-излучаемой мощностью (ЭИИМ). Таким образом, формула 4.2 примет вид 4.3:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot G \cdot \text{ЭИИМ}}}{R} \cdot K_{\phi} \cdot F(\alpha) \cdot F(\varphi) \quad (4.3)$$

Подставляя формулу для электрической составляющей ЭМП БС в формулу для ППМ ЭМП можно получить выражение 4.4:

$$\text{ППМ} = \frac{30 \cdot G \cdot \text{ЭИИМ}}{3,77 \cdot R^2} \cdot [K_{\phi} \cdot F(\alpha) \cdot F(\varphi)]^2 \quad (4.4)$$

При  $F(\alpha) = 1$ , рассматривается распределение ППМ в горизонтальной плоскости ДН.

При  $F(\varphi) = 1$ , рассматривается распределение ППМ в вертикальной плоскости ДН.

Максимально допустимый уровень (ПДУ) ППМ ЭМП для предоставленного диапазона составляет  $10 \text{ мкВт/см}^2$ , таким образом, из формулы (4.5) определяем расстояние в максимуме ДН, где данный уровень превышает:

$$R = \sqrt{\frac{30 \cdot G \cdot \text{ЭИИМ}}{3,77 \cdot \text{ПДУ}}} \cdot K_{\phi} \cdot F(\alpha) \cdot F(\varphi) \quad (4.5)$$

где ПДУ - предельно допустимый уровень ППМ ЭМП для данного диапазона ( $10 \text{ мкВт/см}^2$ ).

Подставив свои значения, получим расстояние в максимуме ДН для кластера точек доступа:

$$R = \sqrt{\frac{80 \cdot 18 \cdot 63,7}{3,77 \cdot 10 \frac{10^{-2}}{10^{-1}}}} \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 1 = 25,3 \text{ м}$$

В результате подсчетов граница зоны ограничения застройки для кластера базовой станции «Mini Link» по предельно допустимому уровню ( $10 \text{ мкВт/см}^2$ ) в направлении максимума ДН составит  $R = 25,3 \text{ м}$ .

Также наряду с электрическим полем, незначительное вредное воздействие имеет и магнитное поле. Его можно рассчитать по формуле (4.6):

$$H = \text{ППМ} - E \quad (4.6)$$

Подставив свои значения, получим  $H = 2,08 \text{ мкА/см}^2$

Исходя из результатов расчетов и построений, делаем вывод:

- внешняя граница ЗОЗ по высоте 30 м от земли для приемо-передающих антенн составит 25,3 м;
- СЗЗ от работы приемо-передающих антенн отсутствует.

Результаты расчетов интенсивности ЭМИ РЧ на прилегающей к приемо-передающим радиомодулям показывают, что:

- максимальная протяженность зон ограничения застройки составляет: 25,3 м;
- вновь устанавливаемые конструкции на башне не должны попадать в зоны ограничения застройки;
- работа проектируемой системы не создает опасности для здоровья жителей и обслуживающего персонала на примыкающей к ПРТО территории;
- проведение ремонтных и настроечных работ антенн разрешается только при отключенных передатчиках базовой станций.

Вредные выбросы от технологического оборудования отсутствуют. Это позволяет сделать вывод о безопасности проектируемого оборудования.

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

Дипломный проект предусматривает установку антенн на мачтах с высотой 30м. На рисунке 4.2 приведен пример АМС, который в плане на строительство.



Рисунок 4.2. – Пример АМС

На рисунке 4.3 приведен ситуационный план с расстоянием до близлежащих жилых и административных зданий.

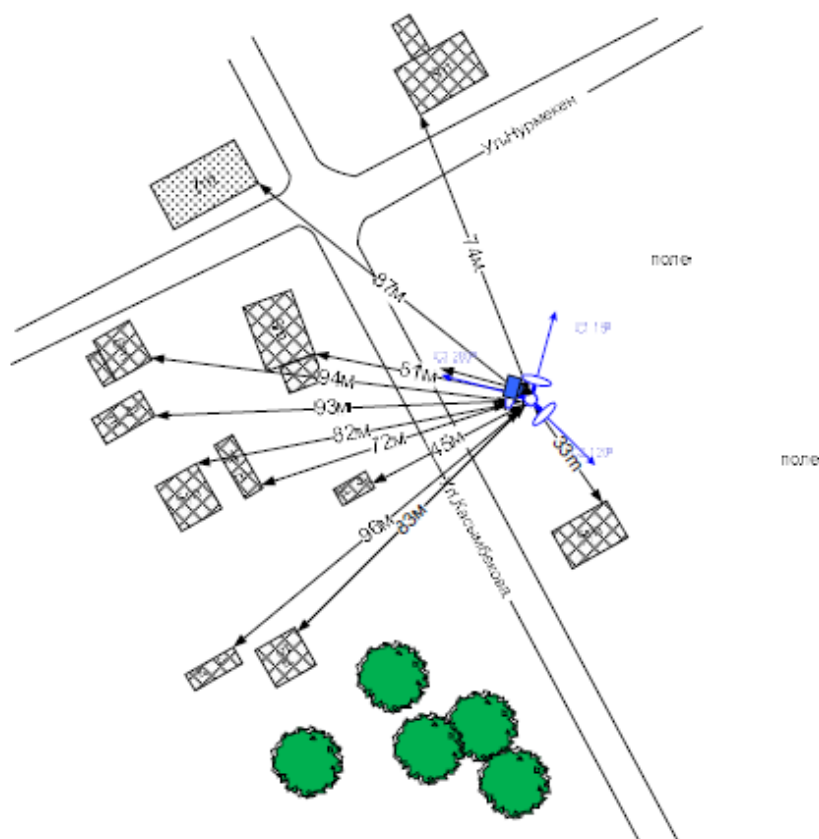


Рисунок 4.3. – Ситуационный план

К монтажу допускаются сотрудники имеющие разрешение к работам на высоте. Работы на конструкциях, где нет ограждений, и работы, которые связаны с выходом за границы ограждений, осуществляются верхолазами. К самостоятельным верхолазным работам допускаются рабочие и инженерно-технические работники не моложе 18 лет, которые прошли медицинский осмотр и признаны годными и имеющие стаж верхолазных работ более одного года и тарифный разряд не ниже третьего.

К верхолазным работам относятся процессы, которые выполняются на высоте более 5 м от поверхности земли, перекрытия и рабочего настила, где совершаются работы непосредственно с конструкций при монтаже или наладке, в этот момент основное средство, которое предохраняет рабочих от падения с высоты – это предохранительный пояс.[7]

При проведении работ на опоре в опасную зону разрешен вход лицам, которые прямо связаны с работами, при условии применения защитной каски. Опасная зона вокруг конструкции устанавливается при эксплуатации и ремонте расстоянием от центра опоры, равным  $\frac{1}{3}$  ее высоты.

Подъем людей на антенно-мачтовые сооружения воспрещается:

- при неснятом напряжении свыше 42 В;
- во время грозы или при ее приближении;
- при гололеде, снегопаде или тумане, сильном дожде;
- при не пристегнутом к люльке карабине предохранительного пояса;
- при скорости ветра выше 12 м/с, в темное время суток;
- на подъемном устройстве, у которого истек срок очередного испытания;
- на бракованных канатах, при неисправной лебедке;
- без защитной каски и предохранительного пояса.

Антенщику - мачтовику разрешается производить ремонтные работы на опоре после прикрепления к ее конструкциям предохранительным поясом.

Антенщики-мачтовики обязаны работать в защитных касках и специальной обуви.

Работы на АМС выполняются не менее чем двумя мачтовиками, один из которых является наблюдающим. Наблюдающий обязан находиться от центра основания опоры на расстоянии не ближе  $1/3$  ее высоты и иметь при себе монтерский пояс.

Сварочные работы разрешено производить с инвентарной люльки подъемного устройства подвесив люльку к грузовому канату.

## 5 Экономическая часть

В данной главе дипломного проекта проводится экономическое обоснование организации беспроводного доступа в г.Жанатас с применением технологии LTE.

Для построения сети LTE в г.Жанатас потребуется вклад существенных денежных средств.

При расчете экономических и финансовых показателей развития связи рассчитываются следующие главные технико-экономические показатели:

- капитальные вложения;
- эксплуатационные расходы;
- тарифные доходы;
- прибыль и срок окупаемости проекта.

Перед расчетом экономических и финансовых показателей развития сети необходимо оценить существующую инфраструктуру связи ТОО «Мобайл Телеком-Сервис» в г.Жанатас, где часть можно будет использовать в процессе реализации данной сети. В распоряжении ТОО «Мобайл Телеком-Сервис» в г.Жанатас имеются проложенные оптоволоконные линии связи на участках: Тараз – Жанатас. Планируется реализовать следующие мероприятия:

- строительство радиобашни, установка БС, установка контейнера для размещения оборудования БС, ввод в эксплуатацию БС;
- Замена оборудования в существующих БС;
- аренда мест подвеса на радиобашнях Казахтелеком и Казтелерадио в населенных пунктах.

### 5.1 Расчет капитальных вложений

Капитальные вложения и ввод в эксплуатацию нового оборудования определяются из таких составляющих, как:

- стоимость оборудования;
- установка и монтаж оборудования;
- стоимость строительно-монтажных работ (СМР);
- транспортные расходы.

В дипломном проекте будем считать, что все затраты по финансированию ввода в эксплуатацию сети LTE предусматривается за счет собственных средств ТОО «Мобайл Телеком-Сервис».

Определяем затраты на прокладку кабеля.

Затраты на прокладку кабеля ( $C_{\Sigma}$ ) рассчитаем по формуле:

$$C_{\Sigma} = (C_{ок} + C_{смп}) \cdot L_{ок}, \quad (5.1)$$

где  $C_{ок}$  – цена 1 км оптического кабеля,  $C_{ок} = 150000$  тг;

$C_{смп}$  – стоимость прокладки кабеля в грунт за 1 км,  $C_{смп} = 300000$  тг;  
 $L_{ок}$  – длина прокладываемого оптического кабеля,  $L_{ок} = 70$  км.

$$C_{\Sigma} = (150000 + 300000) \cdot 70 = 31500000 \text{ (тг)}$$

Расчет капитальных вложений приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Расчет капитальных вложений

Наименование и техническая характеристика оборудования, типы выполняемых работ	Количество, шт	Цена единицы, тг	Стоимость, тг
<b>Оборудование</b>			
Базовая станция «Mini Link TN», производитель «Ericsson» АММ 2p B	3	108000	324000
Базовая станция «Mini Link TN», производитель «Ericsson» АММ 6p B	3	200000	600000
Базовая станция «Mini Link TN», производитель «Ericsson» АММ 20p	1	240000	240000
Маршрутизатор	2	325000	650000
Итого			1814000
Тара и упаковка	-	0,5%	9070
Транспортные расходы	-	4%	72560
Заготовительно-складские расходы	-	1%	18140
Установка и настройка	-	18%	326520
Сумма			2240290
<b>Дополнительное оборудование</b>			
Радиобашня для установки TN	1	3000000	3000000
Контейнер цельнометаллический для размещения оборудования TN	1	515000	515000
Комплект SFP-модуль и патч-корд	2	20000	40000
Итого			3555000
Тара и упаковка	-	0,5%	17775
Транспортные расходы	-	4%	142200
Заготовительно-складские расходы	-	1%	35550
СМР	-	15%	533250
Сумма			4283775
Неучтенное оборудование	-	10%	428377,5
$C_{\Sigma}$	-	-	31500000
Покупка «Sony Ericsson PC300»	2500	1500	3750000
Всего			42202442,5

Стоимость установки и настройки оснащения рассчитывается в процентах от итоговой стоимости сетевого оборудования. Стоимость СМР



дополнительного оборудования определяется в процентах от итоговой стоимости дополнительного оборудования. Общие капитальные вложения на создание сети связи составляют  $K = 42202443$  тг.

## 5.2 Расчет годовых эксплуатационных расходов

Эксплуатационные расходы ( $P_{эк}$ ) – текущие расходы предприятия на производство услуг связи. К эксплуатационным расходам относятся все расходы на содержание и обслуживание сети. Другими словами, эксплуатационные расходы выражают себестоимость услуг связи в денежном выражении и рассчитываются на основе группировки затрат по экономическим элементам, которая принята для всех отраслей экономики:

- затраты на оплату труда работников;
- социальный налог;
- амортизационные отчисления;
- материальные затраты;
- прочие расходы;

### Затраты на оплату труда

Чтобы рассчитать годовой фонд заработной платы нужно определить количество сотрудников производственного персонала. Выбранное в дипломном проекте оборудование не нуждается в постоянном присутствии обслуживающего персонала. Исходя из этого, вся группа по обслуживанию оборудования будет состоять из ниже перечисленных специалистов для аварийно-профилактических работ. Рекомендуемый состав обслуживающего персонала приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Состав обслуживающего персонала

Наименование должностей	Оклад, тг.	Количество, чел.	Сумма з/п, тг.	Пенсионные отчисления, 10% от з/п, тг.
Ведущий инженер	125000	1	125000	12500
Инженер по обслуживанию сети	100000	1	100000	10000
Электромеханик	75000	1	75000	7500
Антенщик-мачтовик	65000	2	130000	13000
Итого (ФЗП)		5	430000	43000

Величина общего годового фонда оплаты труда ( $\Phi OT_z$ ) рассчитывается по формуле:

$$\Phi OT_z = \Phi ЗП \cdot N_m \cdot Пр \cdot K_p \cdot K_{вр}, \quad (5.2)$$

где  $\Phi ЗП$  – основной фонд заработной платы,  $\Phi ЗП = 430000$  тг.;  
 $N_m$  – количество месяцев в году,  $N_m = 12$ ;  
 $Пр$  – размер премии,  $Пр = 1,25$  (25%);  
 $K_p$  – районный коэффициент,  $K_p = 1,15$ ;  
 $K_{вр}$  – коэффициент, который учитывает доплату за работу с вредными условиями труда,  $K_{вр} = 1,04$ .

$$\Phi OT_2 = 430000 \cdot 12 \cdot 1,25 \cdot 1,15 \cdot 1,04 = 7714200 \text{ (тг.)}.$$

Социальный налог (СН) составляют 11% от  $\Phi OT$ , где не учитываются ПО:

$$СН = \Phi OT_2 \cdot 0,9 \cdot 0,11 \quad (5.3)$$

$$СВ = 7714200 \cdot 0,9 \cdot 0,11 = 763706 \text{ (тг.)}$$

### **Амортизационные отчисления**

Амортизационные отчисления (А) на полное восстановление производственных фондов определяются по формуле:

$$A = K_{осн.i} \cdot H_{a.i}, \quad (5.4)$$

где  $K_{осн.i}$  – первоначальная стоимость основных фондов ( $K_{осн.i}$  приравнивается к капитальным вложениям);

$H_{a.i}$  – норма амортизационных отчислений основных фондов,  $H_{a.i} = 20\%$ .

$$A = 42202443 \cdot 0,20 = 8440489 \text{ (тг.)}.$$

### **Материальные затраты**

Материальные затраты ( $M_3$ ) включает в себя оплату электроэнергии для производственных потребностей, затраты на материалы и запасные части. Составляющие материальных затрат устанавливаются по формуле:

$$M_3 = З_{эн} + З_m, \quad (5.5)$$

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

$З_m$  – затраты на материалы и запасные части.

Затраты на оплату электроэнергии определяются с учетом мощности оборудования по формуле:

$$З_{эн} = T \cdot 24 \cdot 365 \cdot P, \quad (5.6)$$

Где  $T$  – тариф на электроэнергию,  $T = 15,85$  тг./кВт/час;  
 $P$  – мощность оборудования, для ТН  $P = 1,075$  кВт.

$$Z_{э\text{н}} = 15,85 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1,075 = 149259,45 \text{ (тг.)}.$$

Затраты на материалы и запасные части составляют 3,5% от капитальных вложений  $K$  и определяется по формуле:

$$Z_{\text{м}} = K \cdot 0,035 \quad (5.7)$$

$$Z_{\text{м}} = 42202443 \cdot 0,035 = 1477085,505 \text{ (тг.)}.$$

Величина общих материальных затрат составит:

$$M_z = 149259,45 + 1477085,505 = 1626344,955 \text{ (тг.)}.$$

Аренда места подвеса для базовой станции на радиобашне у КЗТ, КТР или других арендодателей. Общая стоимость аренды мест подвеса рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{общ. ар.}} = Z_{\text{ар}} \cdot N_{\text{ар}}, \quad (5.8)$$

где  $Z_{\text{ар}}$  – стоимость одного места подвеса в год,  $Z_{\text{ар}} = 600000$  тг.  
 $N_{\text{ар}}$  – количество арендуемых мест подвеса,  $N_{\text{ар}} = 3$ .

$$Z_{\text{общ. ар.}} = 600000 \cdot 3 = 1800000 \text{ (тг.)}.$$

### Прочие расходы

К прочим расходам относят общие производственные и эксплуатационно-хозяйственные расходы, ремонт и обслуживание зданий, страхование имущества, некоторые виды налогов, расходы на рекламу, аудит и представительские расходы.

Прочие расходы рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 \cdot \Phi OT \quad (5.9)$$

$$Z_{\text{пр}} = 0,4 \cdot 7714200 = 3085680 \text{ (тг.)}.$$

Отчисления на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) составляют 1,5% от всей суммы расходов. Результаты годовых эксплуатационных расходов собраны в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Виды расходов	Сумма расходов, тг.
Фонд оплаты труда годовой ( $\Phi OT_c$ )	7714200
Социальный налог ( $CH$ )	763706
Амортизационные отчисления ( $A$ )	8440489
Материальные затраты ( $M_3$ )	1626345
Аренда мест подвеса БС ( $З_{общ.ар}$ )	3600000
Прочие расходы ( $З_{пр}$ )	3085680
Итого	25230420
НАОКР	378457
Всего	25608877

Таким образом, общие эксплуатационные расходы равны 25608877 тг.

### 5.3 Расчет тарифных доходов

Данная сеть LTE проектируется с расчетом на то, что подключится максимальное количество абонентов. Проектируемая сеть LTE будет предоставлять абонентам услуги голосовой связи, передачу SMS, MMS, видеосвязи, услуги доступа в сеть Интернет.

По статистическим данным проникновение сети Интернет в сельской местности Казахстана с каждым годом растет. В зимний период 2012 – 2013 гг. суточная аудитория пользователей сети Интернет в сельской местности составила 38% от числа населения. На рисунке 5.1 показана диаграмма проникновения сети Интернет в сельской местности Казахстана в период с 2010 г. по 2013 г.

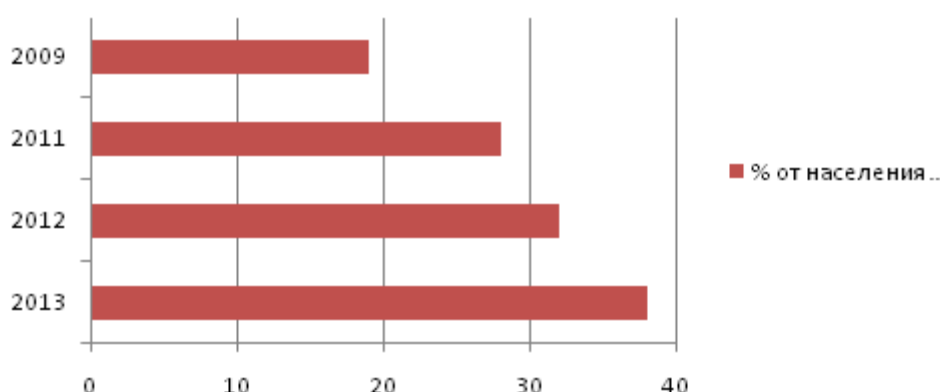


Рисунок 5.1 - Проникновение сети Интернет в сельскую местность

Согласно диаграмме, показанной на рисунке 5.1, прирост пользователей сети Интернет в сельской местности составляет в среднем значении около 6% в год.

В идеале предположим, что в первый год работы к проектируемой сети LTE в г. Жанатас для получения доступа к сети Интернет подключатся 38% от общего числа населения района, а прирост пользователей будет около 5% в год, однако на первом этапе строительства сети две ТН в эксплуатацию не вводятся, соответственно, прирост пользователей учитывать не будем.

Население г.Жанатас составляет 24500 человек. Рассчитаем количество подключившихся абонентов к проектируемой сети для доступа к сети Интернет через USB-LTE модем ( $N_{аб.инт}$ ):

$$N_{аб.инт} = 24500 \cdot 0,38 = 9310 \text{ (человек)}. \quad (5.10)$$

Так как USB-LTE модем приобретается на семью, если принять, что в семье состоят в среднем четыре человека, то  $N_{аб.инт}$  примет следующее значение:

$$N_{аб.инт} = 9310/4 = 2330 \text{ (человек)}.$$

Ниже указаны предполагаемые тарифные планы по предоставлению доступа в сеть Интернет с помощью USB-LTE модемов.

Таблица 5.4 – Предполагаемые тарифные планы и их стоимость

Тарифный план	Скорость подключения	Стоимость тарифа, тг./мес.	Порог	Доля абонентов от $N_{аб.инт}$ , %	Примерное число подключающихся пользователей
T1	до 500 кбит/с	1500	-	25	582
T2	до 1 Мбит/с	1750	-	25	582
T3	до 2 Мбит/с	2000	-	20	466
T4	до 4 Мбит/с	2500	50 Гб	15	350
T5	до 6 Мбит/с	2750	70 Гб	15	350
Итого	-	-	-	100	2330

Суммарный тарифный доход от предоставления услуги доступа в сеть Интернет с помощью USB-LTE модема ( $D_1$ ) определяется по формуле:

$$D_1 = \sum_i T_i \cdot N_i \cdot 12, \quad (5.11)$$

где  $T_i$  – стоимость тарифного плана;

$N_i$  – предполагаемое количество абонентов, подключенных к данному тарифному плану.

$$D_1 = [1500 \cdot 582 + 1750 \cdot 582 + 2000 \cdot 466 + 2500 \cdot 350 + 1750 \cdot 350] \cdot 12 = 51732000 \text{ (тг.)}$$

Доход от продажи USB-LTE модемов ( $D_2$ ) находится по формуле:

$$D_2 = N_{аб.инт} \cdot (Z_n - Z_3), \quad (5.12)$$

где  $Z_n$  – стоимость продажи одного USB-LTE модема,  $Z_n = 14950$  тг.;  
 $Z_3$  – закупочная цена одного USB-LTE модема,  $Z_3 = 7500$  тг.

$$D_2 = 2330 \cdot (14950 - 7500) = 17343600 \text{ (тг.)}.$$

Дальше рассчитываем доход от предоставления услуг голосовой связи, передачи SMS, MMS и доступа к сети Интернет с использованием мобильного терминала.

По данным Министерства транспорта и коммуникаций, сотовой связью в сельской местности Казахстана на начало 2013 г. пользуются 48% населения. В соответствии с этими данными, в г.Жанатас число абонентов составляет 11760 человек. Основываясь на проделанном анализе предоставления услуг связи можно сказать, что в районе работают две компании-оператора мобильной связи. Следовательно, третьей компанией-оператором мобильной связи, осуществляющей работу в г.Жанатас будет ТОО «Мобайл Телеком-Сервис». Условно поделим абонентов сотовой связи в г.Жанатас между компаниями операторами поровну. Тогда количество абонентов мобильной связи проектируемой сети LTE составит:

$$N_{аб.моб} = 11760 / 3 = 3920 \text{ человека.}$$

Предполагаемые цены на предоставление услуг мобильной связи представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Предполагаемые цены на предоставление услуг связи

Услуга	Размер оплаты, тг.
1 минута входящего звонка	0
1 минута исходящего звонка на номера других операторов мобильной связи	$K_1 = 3$
1 минута исходящего звонка на мобильные номера «Мобайл Телеком-Сервис»	$K_2 = 1,5$
1 минута исходящего звонка на телефонные номера фиксированной связи	$K_3 = 1,5$
1 SMS, MMS	$K_4 = 10$
1МБ трафика	$K_5 = 15$

По данным Министерства транспорта и коммуникаций, в среднем абонент мобильной связи использует 20 SMS/MMS, 10 МБ трафика и 200 минут разговора в месяц. Предположим, что соотношение исходящего разговорного времени одного абонента в процентах составляет: 45% (90 минут) на номера других мобильных операторов, 45% (90 минут) на мобильные номера «Мобайл Телеком-Сервис», 10% на телефонные номера фиксированной связи.

Суммарный тарифный доход от предоставления услуг мобильной связи ( $D_3$ ) определим по формуле:

$$D_3 = [K_1 \cdot 90 + K_2 \cdot 90 + K_3 \cdot 20 + K_4 \cdot 20 + K_5 \cdot 10] \cdot N_{аб.моб} \cdot 12 \quad (5.13)$$

$$D_3 = [3 \cdot 90 + 1,5 \cdot 90 + 1,5 \cdot 20 + 10 \cdot 20 + 15 \cdot 10] \cdot 3920 \cdot 12 = 36926400 \text{ (тг.)}$$

Общий тарифный доход от услуг связи сети LTE в г. Жанатас рассчитывается по формуле:

$$D_{общ} = D_1 + D_2 + D_3 \quad (5.14)$$

$$D_{общ} = 51732000 + 17343600 + 36926400 = 106002000 \text{ (тг.)}$$

## 5.4 Оценка показателей экономической эффективности проекта

### Прибыль и срок окупаемости

Прибыль от основной деятельности является разницей между тарифными доходами и эксплуатационными расходами и рассчитывается по формуле:

$$Pr = D_{общ} - P_{эк}, \quad (5.15)$$

$$Pr = 106002000 - 25608877 = 80393123 \text{ (тг.)}$$

Чистая прибыль определяет прибыль, которая осталась в распоряжении предприятия, т.е. ее можно определить путем исключения из прибыли от основной деятельности суммы налога на прибыль. Размер налога на прибыль равен 20%. Чистую прибыль ( $\Pi_q$ ) определяем по формуле:

$$\Pi_q = Pr - 0,2 \cdot Pr \quad (5.16)$$

$$\Pi_q = 80393123 - 0,2 \cdot 80393123 = 64314499 \text{ (тг.)}$$

Срок окупаемости капитальных вложений рассчитывается по формуле:

$$T = K / П_{\text{ч}}, \quad (5.17)$$

$$T = 42202443 / 64314499 = 0,7 \text{ года}$$

Капитальные вложения в создание сети на первом этапе окупятся через 8,5 месяцев.

Для лучшего восприятия основные данные представлены в виде диаграммы, показанной на рисунке 5.2.

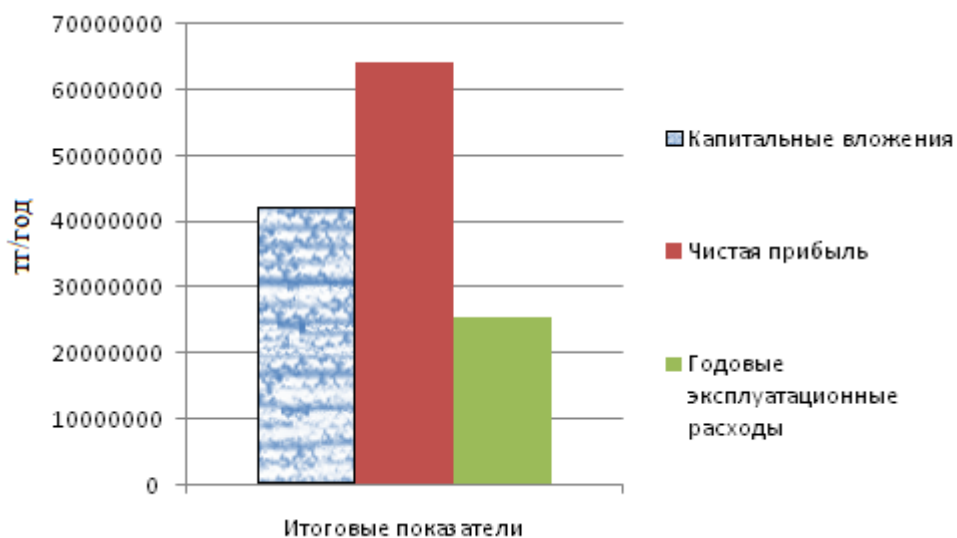


Рисунок 5.2 - Структура основных экономических показателей

Полученные экономические показатели свидетельствуют о том, что данная работа по предоставлению беспроводного доступа по технологии LTE в г.Жанатас является экономически эффективным и его реализация целесообразна.



## **Заключение**

В дипломном проекте была затронута тема организации беспроводного доступа в г.Жанатас с использованием технологии LTE. Отмечалась важность развития инновационных технологий беспроводной связи и доступ к сети Интернет в сельской местности.

Основу транспортной сети проектируемой сети LTE составляет IP-протокол, служащий для транспортировки трафика сети и для этого использовались новейшие .оборудования от компании «Ericsson».

Пропускная способность сети будет составлять 1 Гбит/с на узловом сайте и 154 Мбит/с на конечном. Был проведен расчет количества абонентов, обслуживаемых планируемой сетью. Транспортная сеть проектируемой сети LTE реализована с помощью оптоволоконных линий передач по технологии Ethernet.

Для организации радиодоступа по технологии LTE в городе Жанатас в дипломном проекте проведен расчет зон покрытия радиосвязью. Радиус соты составил примерно 6 км, а площадь покрытия трехсекторного сайта составила примерно 70 км<sup>2</sup>. Проведено частотно-территориальное деление и показано ситуационное расположение базовых станций на территории Сарысуского района.

В целях защиты населения от воздействия электромагнитных излучений радиочастотного диапазона в дипломном проекте были рассчитаны границы зон ограничения застройки, которая составляет 25,3 м. Санитарно-защитные зоны отсутствуют.

В экономической части дипломного проекта проведен расчет капитальных вложений, чистая прибыль, эксплуатационные расходы. Срок окупаемости капитальных затрат составила 8,5 месяцев.

В дипломном проекте рассмотрены вопросы экологии, охраны труда и техники безопасности персонала, обслуживающего оборудование беспроводного доступа.

Развитие беспроводных технологий связи за последние десять лет сделало огромный шаг вперед. Скорость предоставления беспроводного доступа возросла в десятки раз. Основным отличием современных беспроводных сетей связи являются широкий спектр услуг, высокое качество обслуживания, достаточно высокая мобильность. Разработка технологии LTE, сделала первый шаг на пути к полному отказу от фиксированной связи в сельской местности.

Строительство сети LTE в г.Жанатас позволит ТОО «Мобайл Телеком-Сервис» стать крупнейшим оператором, предоставляющим услуги беспроводного доступа в районе, а также сэкономить значительные денежные средства, так как в будущем отпадет необходимость в модернизации сети фиксированной связи.

## Список сокращений

3GPP – объединение по разработке стандартов мобильной связи 3-го поколения

Cdma 2000 – стандарт мобильной связи 3-го поколения в эволюционном развитии сетей IS – 95

E-UTRAN – сеть радиодоступа стандарта LTE

ETSI – европейский институт телекоммуникационных технологий

FDD – дуплекс с частотным разделением направлений

GERAN – сеть радиодоступа стандарта GSM/EDGE

GSM – глобальная система мобильной связи

HSPA – технология беспроводной широкополосной радиосвязи, использующая пакетную передачу данных в сетях WCDMA/UMTS

IMS – мультимедийная система передачи данных на основе протокола IP

MIMO – технология передачи данных с помощью N антенн и их приема M антеннами

OFDM – технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов

SAE – архитектура ядра сети, разработанная для стандарта LTE

SC-FDMA – множественный доступ с мультиплексированием с частотным разнесением передачи на одной несущей

TDD – дуплекс с временным разделением направлений

TN – базовая станция стандарта

UMTS – универсальная мобильная телекоммуникационная система

WCDMA – широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов

СМР – строительно-монтажные работы

ЧНН – час наибольшей нагрузки

ЦП – циклический префикс

## Список литературы

1. Абдул Базит. Расчет сетей LTE. – Хельсинский технологический университет, 2009.
2. Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич Ф.Ф. Методические указания для экономической части выпускной работы. Алматы, 2009.
3. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика, теория и практика. – М.: Кудиц – Пресс, 2008.
4. Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009.
5. ГОСТ 464-79, «Заземления для стационарных установок проводной связи, радиорелейных станций, радиотрансляционных узлов и антенн систем коллективного приема телевидения».
6. Кааринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы. – М.: Техносфера, 2007.
7. Печаткин А. В. Системы мобильной связи. Часть 1. – РГАТА, Рыбинск, 2008.
8. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010.
9. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Perfomance. – Cambridge University Press, 2009.
10. HarriHolma, AnttiToskala. LTE for UMTS. OFDMA and CS-FDMA Based Radio Access. – John Wiley Ltd, 2009.
11. StefaniaSesia. LTE. The UMTS Long Term Evilution. From Theory to Practice. – John Wiley Ltd, 2009.
12. 3GPP TS 36 104: «E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception» (Release 9). April 2011.
13. [www.cisco.com](http://www.cisco.com) – прайс-лист на оборудования «CiscoSystems».
14. [www.ericsson.com](http://www.ericsson.com) – прайс-лист на оборудования компании «Ericsson».

## Приложение А

## План установки БС

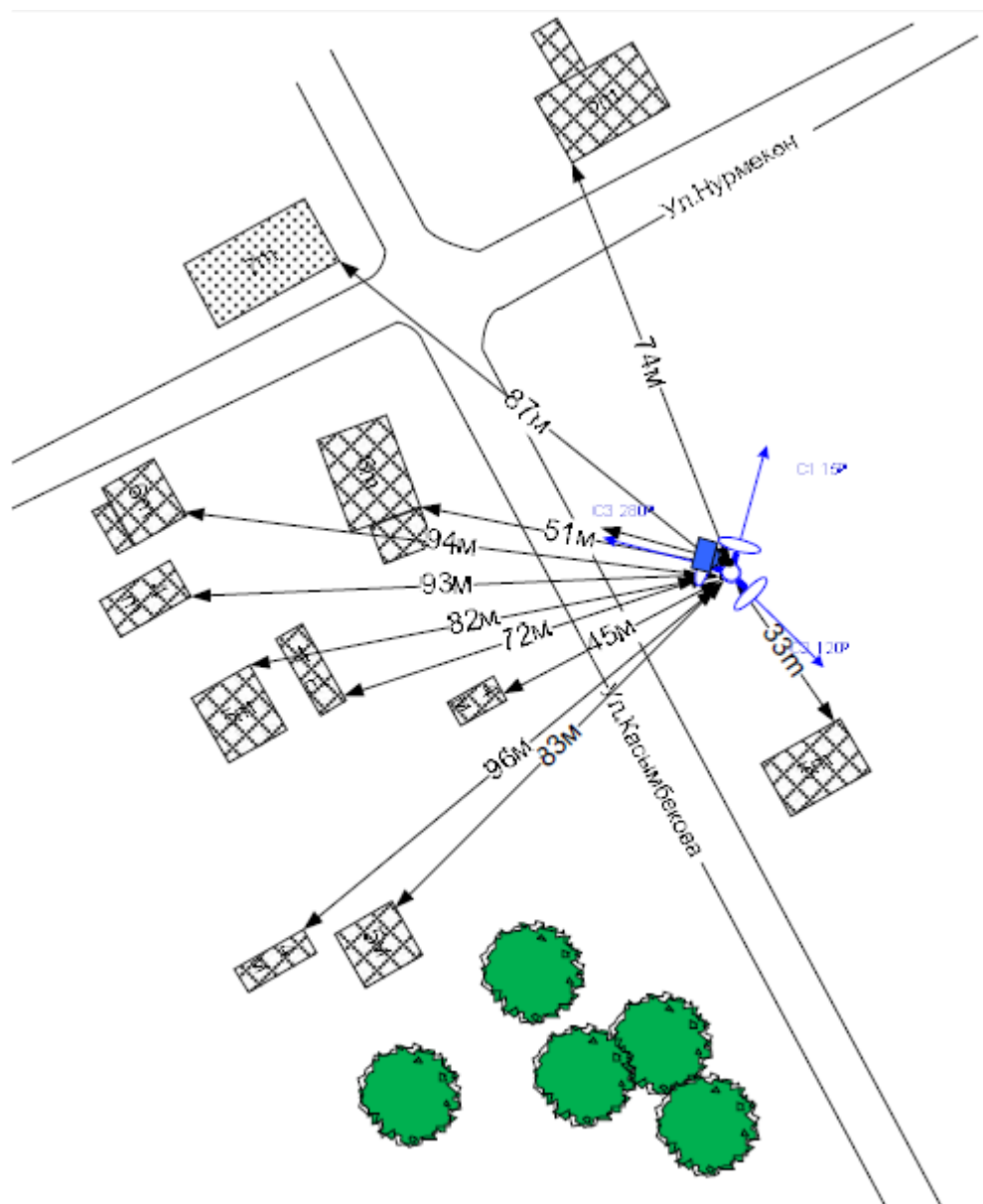


Рисунок А.1 – Ситуационный план для планируемой БС

## Приложение Б

## Разделение на соты

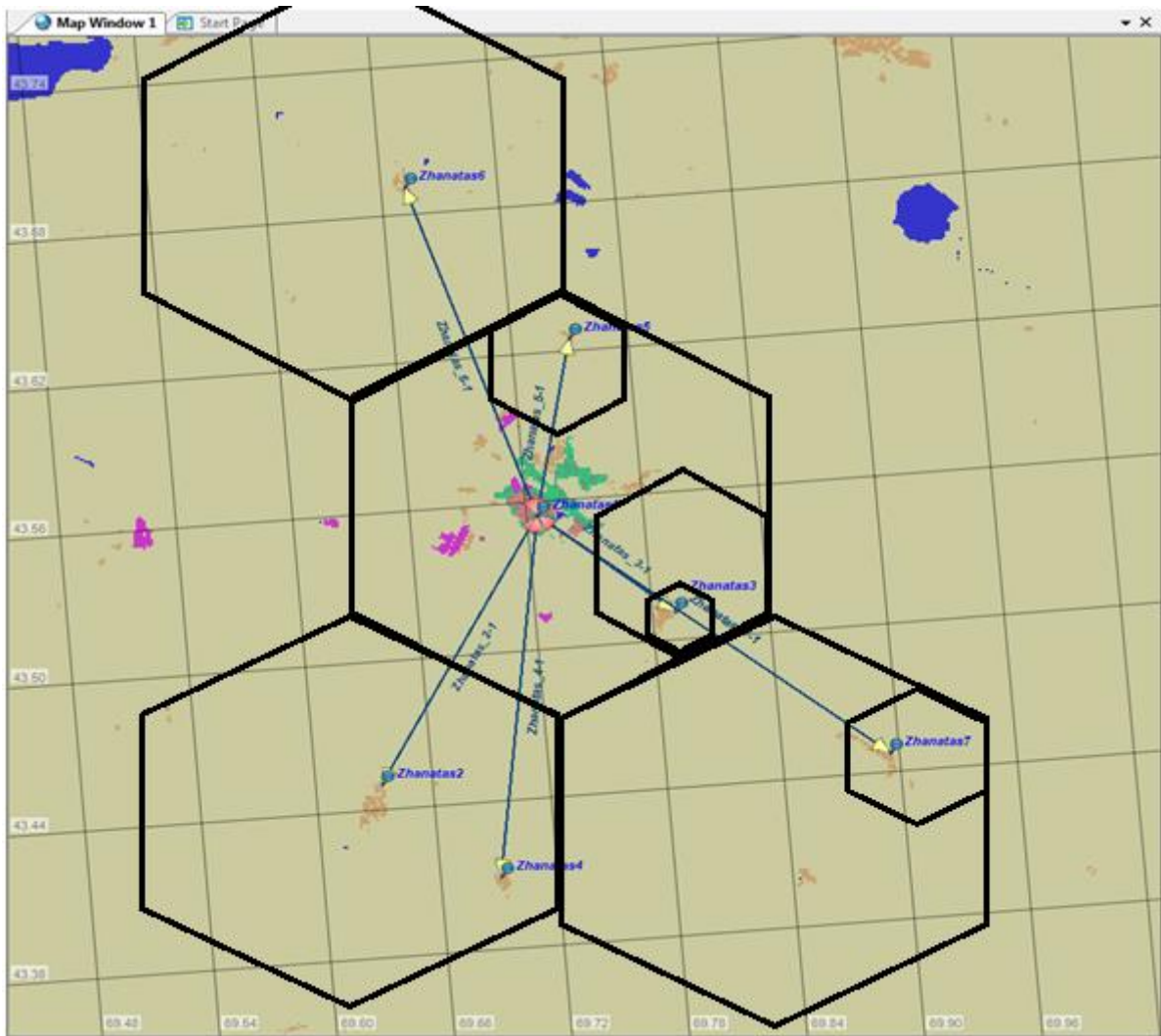


Рисунок Б.1 – Разделение на соты

## Приложение В

## Окно программы Mentum Ellipse

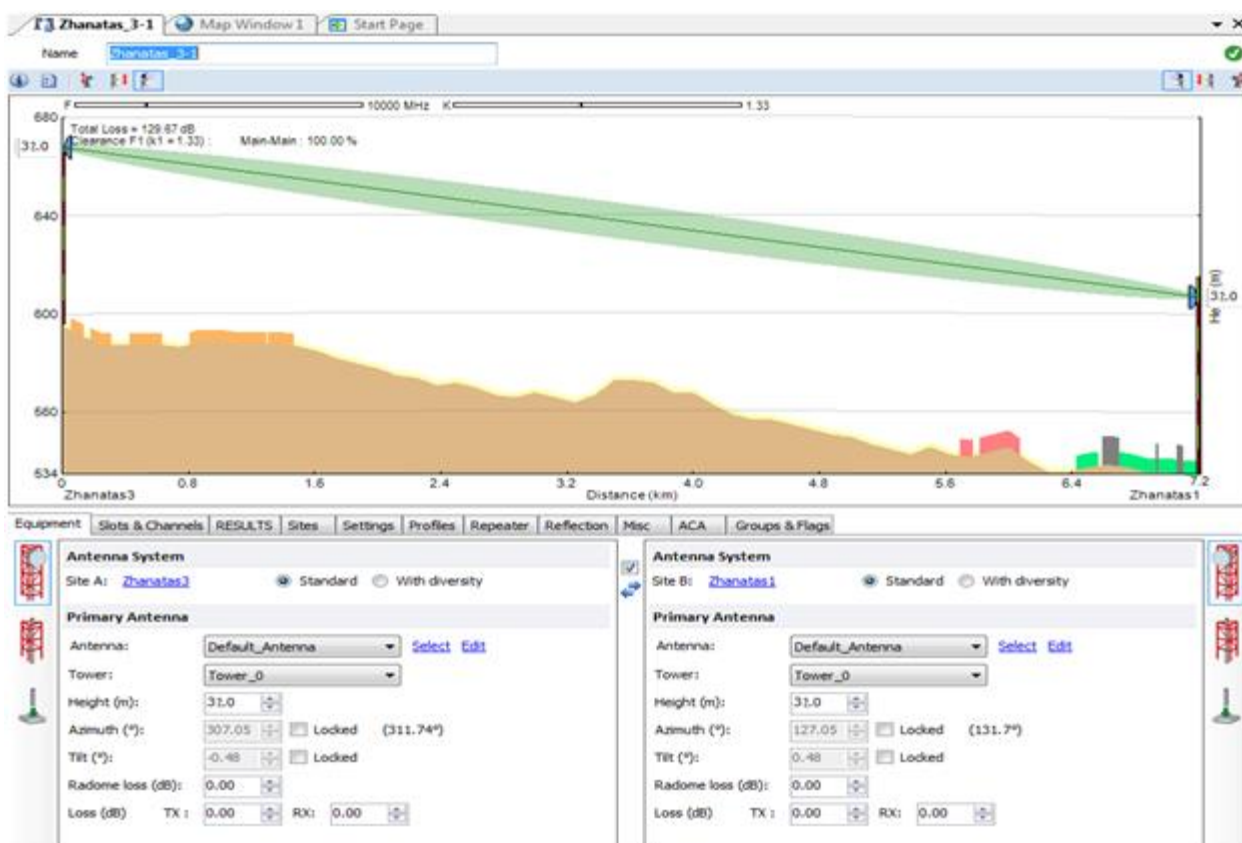


Рисунок В.1 – Окно программы Mentum Ellipse для пролета между двумя сайтами