

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационные системы

«Допущен к защите»  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

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

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проектирование сети стандарта GSM 1800 в г. Алматы

Специальность 5В071900 Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) Алиашева А.А.  
(Фамилия и инициалы) группа \_\_\_\_\_

Научный руководитель Кичкенбаева А.Т., ст. преподаватель  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

проф. АУЭС Асылбеков С.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 10 » июня 2015 г.  
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Абжанбаев М.К., докт. техн. наук, профессор  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 10 » июня 2015 г.  
(подпись)

по применению вычислительной техники:

Бладина Н.Н.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 08 » 06 2015 г.  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
(подпись)

Нормоконтролер: Кендрашова А.Т., ст. преподаватель  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 18 » 06 2015 г.  
(подпись)

Рецензент: Мертбаев К.А., Директор ТОО «Волна»  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
« 11 » 06 2015 г.  
(подпись)

Алматы 2015 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехника телекоммуникация и связь  
Специальность Радиотехника, электроника и телекоммуникации  
Кафедра Телекоммуникационные системы

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Аллашева А.А.  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Проектирование сети стандарта GSM 1800 в 2 диапазонах

утверждена приказом ректора № \_\_\_ от «\_\_\_» сентября 20\_\_ г.

Срок сдачи законченной работы «\_\_\_» 20\_\_ г.

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

GSM-1800 технологии.

GSM-900

Частоты передачи подвижной станции  
приема базовой станции, МГц. 890-915.  
1710-1785.

Радиорелейное оборудование MINI-LINK.

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

1. Основные характеристики стандарта  
и особенности GSM-1800, 900.
2. Сетевые и радиоинтерфейсы.
3. Радиорелейное оборудование.
4. Контроллер BSC и транскодер TC.
5. Беспроводное видн доступа в интернет.
6. Расчет выходных характеристик  
радиорелейного оборудования.  
Расчет пролета.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Структурная схема сети GSM.
2. 1.3. Состав двоичных данных хранящихся в HLR и VLR.
3. 1.4. Состав временных данных, хранящихся в HLR и VLR.
4. 2.1. Мобильная сеть связи.
5. 2.2. Пример мобильной сети, в которой аппаратура MINI-LINK осуществляет связь базовых станций с центрами коммутации.
6. 4.1. графически определяется срок окупаемости средств, вложенных в проект. Без дисконтирования срок окупаемости равен 13 месяцев.

Рекомендуемая основная литература

1. Олифер В.Г. Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы, учебник - Санкт - Петербург, Питер, 2001.
2. Голубицкая Е.А. Жигульская Г.М. Экономика связи - М. Радио и связь 1999.
3. Верховский Е.И. Пожарная безопасность на предприятиях радиоэлектроники - М. Военная школа 1987.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Ввод	Дюсбаев М.К.	10.03-10.06	Дюсбаев
Экономическая	Асеева С.	10.03-10.06	Асеева
тех. часть	Гусев И.И.	04.06.15	Гусев
Основная часть	Луканова Д.Т.	15.01-25.05	Луканова

ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

[illegible]

Дата выдачи задания « 15 » 01 2015 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель \_\_\_\_\_  
(подпись) \_\_\_\_\_  
(Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению  
студент \_\_\_\_\_  
(подпись) \_\_\_\_\_ (Фамилия и инициалы)

## **Аннотация**

В данном дипломном проекте рассматривается проектирование сети стандарта GSM 1800 в городе Алматы. Необходимость этого расчета возникла по причине недостатка частотного диапазона стандарта GSM 900, в связи, с чем возникают множество проблем с планированием сети и вследствие чего происходит ухудшение связи.

В данной работе рассчитан радиус соты, количество абонентов на одну базовую станция, составлен частотный план, рассчитаны пролёты для радиорелейного оборудования, а так же составлен бизнес план, где рассмотрено целесообразность введения нового стандарта, рассчитаны факторы безопасности жизнедеятельности.

## **Abstract**

In this thesis project examines the design GSM network in 1800 in the city of Almaty. The need for this calculation arose due to lack of the frequency band of GSM 900, in connection with which there are many problems with the planning of the network and as a result there is a deterioration of communication.

In this paper calculated the radius of the cell, the number of subscribers per base station is composed frequency plan spans are designed for microwave equipment, a business plan, which examined the feasibility of introducing a new standard designed life safety factors.

## **Андатпа**

Бұл дипломдық жобада Алматы қаласындағы GSM 1800 стандарты желісін жобалау қарастырылған. Мұндай есептеудің қажеттілігі GSM 900 стандартының жиіліктік уақытының жетіспеуі себебі бойынша туды, осыған байланысты желіні жоспарлауда көптеген проблемалар туйындайды және соның салдарынан байланыс нашарлайды. Жаңа стандарттың енгізілуімен тоғыз жүздік стандарттың жиіліктік ауқымы тіптен алты есе ұлғаяды.

Бұл жұмыста ұялының радиусы, бір базалық станцияға абоненттер саны есептелген, жиіліктік жоспар жасалған, радиорелейлік жабдық үшін өткіндеесептелген, бизнес-жоспар жасалған, онда жаңа стандарты енгізудің мақсаттылығы қарастырылған, өміртіршілік қауіпсіздігі факторлары есептелген.

## Содержание

Введение	6-7
1 Основная часть	8
1.1 Основные характеристики и особенности (GSM 900 и GSM 1800)	8
1.2 Структурная схема и состав оборудования сетей связи	9-15
1.3 Сетевые и радиоинтерфейсы	15-17
1.4 Подход к проектированию сотовой сети подвижной связи (ССПС)	17-19
1.5 Разделение сетей на иерархические уровни	19-27
1.6 Управление в сети в процессе установления связи	27-28
1.7 Пути усовершенствования ССПС	28-31
2 Выбор оборудования	32
2.1 Радиорелейное оборудование	32-40
2.2 Контролер BSC и транскодер TC	40-42
2.3 Базовые станции BTS Evolium™	42-46
2.4 MFS Evolium™ предоставление услуг GPRS	46-48
2.5 Беспроводные виды доступа в Интернет	48-49
3 Расчёт основных элементов сети	50-68
4 Бизнес план	70-78
5 Безопасность жизнедеятельность	79-93
Заключение	94
Список литературы	95
Приложение А1	96

## Введение

В начале 1980-х годов началось быстрое развитие аналоговых сетей сотовой подвижной связи Европы, особенно в странах Скандинавии, Великобритании, Франции и Германии. Каждая страна разрабатывала свою собственную систему, несовместимую с другими, как в оборудовании, так и в предоставляемых услугах. Вследствие этого мобильное оборудование каждого государства использовалось только внутри его национальных границ и имело весьма ограниченный рынок сбыта. Таким образом, возникла необходимость в создании общеевропейского стандарта. В 1982 году СЕРТ (Почтовая и телеграфная Европейская конференция) в целях разработки общеевропейской системы сотовой мобильной связи создала рабочую группу, получившую название GSM (Groupe Special Mobile - Специальная мобильная группа). Разрабатываемая система должна была удовлетворять следующим критериям:

- высокое качество передачи речевой информации;
- низкая стоимость оборудования и предоставляемых услуг;
- поддержка портативного пользовательского оборудования;
- поддержка ряда новых услуг и оборудования;
- совместимость с ISDN;
- поддержка международного роуминга, т.е. возможности использования абонентом мобильного телефона при перемещении в другую сеть GSM.

В 1990 году были опубликованы спецификации первой фазы GSM. К середине 1991 года начали поддерживаться коммерческие услуги мобильной связи в этом стандарте, а к 1993 году функционировало уже 36 сетей GSM в 22 странах, и еще 25 стран выбрали направление GSM или поставили вопрос о его принятии.[1]

Несмотря на то, что система GSM была стандартизована в Европе, на самом деле она не является исключительно европейским стандартом. Сети GSM внедрены в более 105 странах Европы, Ближнего и Дальнего Востока, Африки, Южной Америки и в Австралии. В 2010 году число абонентов GSM во всем мире достигло 15,3 миллиона человек. К началу 2015 года их насчитывалось уже более пятидесяти миллионов. На сегодняшний же день число абонентов GSM нарастает на несколько десятков раз. Само название стандарта GSM приобрело новое значение - Global System for Mobile communications (всеобщая система мобильных коммуникаций).

Стандарту GSM отведена одна из главных ролей в процессе эволюции систем связи. Он тесно связан со всеми современными стандартами цифровых сетей, в первую очередь, ISDN (Интегрированная система цифровой сетевой связи) и IN (Intelligent Network). Основные функциональные элементы GSM входят в разрабатываемый сейчас международный стандарт глобальной системы третьего поколения подвижной связи UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Прежде всего, стандарт GSM - это результат фундаментальных исследований

ведущих научных и инженерных центров Европы. До сих пор процесс его создания может считаться образцом решения сложных технических и организационных задач мировым сообществом.

В данном дипломном проекте будет описан стандарт GSM 1800, в данное время этот стандарт в Казахстане уже используется, в 2004 году был объявлен конкурс и продан, полоса частот 1710-1720 МГц и 1805-1815 МГц. Можно с большой долей уверенности предполагать, что объявление о конкурсе стало полной неожиданностью для двух действующих операторов сотовой связи в стандарте GSM-компаний "GSM-Kazakhstan" (бренды K-Cell, Activ) и "Kar-Tel" (Билайн, раньше K-моб.), которые с момента начала функционирования сетей испытывают нехватку частотного ресурса в крупных городах, что, в свою очередь, сказывается на качестве связи. Все последние годы отечественное ведомство связи отказывало в предоставлении операторам недостающих частот, мотивируя это тем, что остальные полосы используются Минобороны и авиадиспетчерами, а для их конверсии требуется \$800 млн. Время показало, что частоты имеются. Более того, в странах СНГ накоплен достаточный опыт организации совместного использования частот, причем затраты на работу по такой организации в сотни раз меньше вышеназванной суммы. Следует отметить, что оба оператора GSM в 1998 году приобрели лицензии на предоставление услуг сотовой связи стандарта GSM-900 по \$67,5 млн за каждую, при этом они получили по полосе частот в 5МГц вместо заявленных в лицензиях 7,5МГц. Глава Минфина надеялся выручить от их реализации \$40-50 млн. Но конкурс так и не состоялся. Поэтому, для расчётов данного проекта было решено взять выше указанную полосу частот.

Также есть и общие аспекты в планировании зон обслуживания радиосетей GSM. В обеих системах как восходящая радиолиния(uplink) так и нисходящая радиолиния(downlink) должны быть проанализированы. При планировании сети GSM и необходимо добиваться баланса, то есть допустимые потери на трассе вверх и вниз должны быть одинаковыми. В беспроводной связи одна из радиолиний может быть нагружена сильнее чем другая, следовательно, эта линия будет ограничивать емкость и зону обслуживания соты. Расчеты, связанные с распространением радиоволн, в основном одинаковы для всех технологий радиодоступа, с той лишь разницей, что используются разные модели распространения. Еще одна общая черта - необходимость оценки уровня помех.[1]

## **1 Основная часть**

### **1.1 Общие характеристики и особенности стандарта GSM 1800**

В соответствии с рекомендацией СЕРТ 1980 г., касающейся использования спектра частот подвижной связи в диапазоне частот 862-960 МГц, стандарт GSM на цифровую общеевропейскую (глобальную) сотовую систему наземной подвижной связи предусматривает работу передатчиков в двух диапазонах частот: 890-915 МГц (для передатчиков подвижных станций - MS), 935-960 МГц (для передатчиков базовых станций - BTS).

В стандарте GSM используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов (NB TDMA). В структуре TDMA кадра содержится 8 временных позиций на каждой из 124 несущих.

Для защиты от ошибок в радиоканалах при передаче информационных сообщений применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением. Повышение эффективности кодирования и перемежения при малой скорости перемещения подвижных станций достигается медленным переключением рабочих частот (SFH) в процессе сеанса связи со скоростью 217 скачков в секунду.

Для борьбы с интерференционными замираниями принимаемых сигналов, вызванными многолучевым распространением радиоволн в условиях города, в аппаратуре связи используются эквалайзеры, обеспечивающие выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратическим отклонением времени задержки до 16 мкс.

Система синхронизации рассчитана на компенсацию абсолютного времени задержки сигналов до 233 мкс, что соответствует максимальной дальности связи или максимальному радиусу ячейки (соты) 35 км.

В стандарте GSM выбрана гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK). Обработка речи осуществляется в рамках принятой системы прерывистой передачи речи (DTX), которая обеспечивает включение передатчика только при наличии речевого сигнала и отключение передатчика в паузах и в конце разговора. В качестве речепреобразующего устройства выбран речевой кодек с регулярным импульсным возбуждением/долговременным предсказанием и линейным предикативным кодированием с предсказанием (RPE/LTR-LTP-кодек). Общая скорость преобразования речевого сигнала - 13 кбит/с.

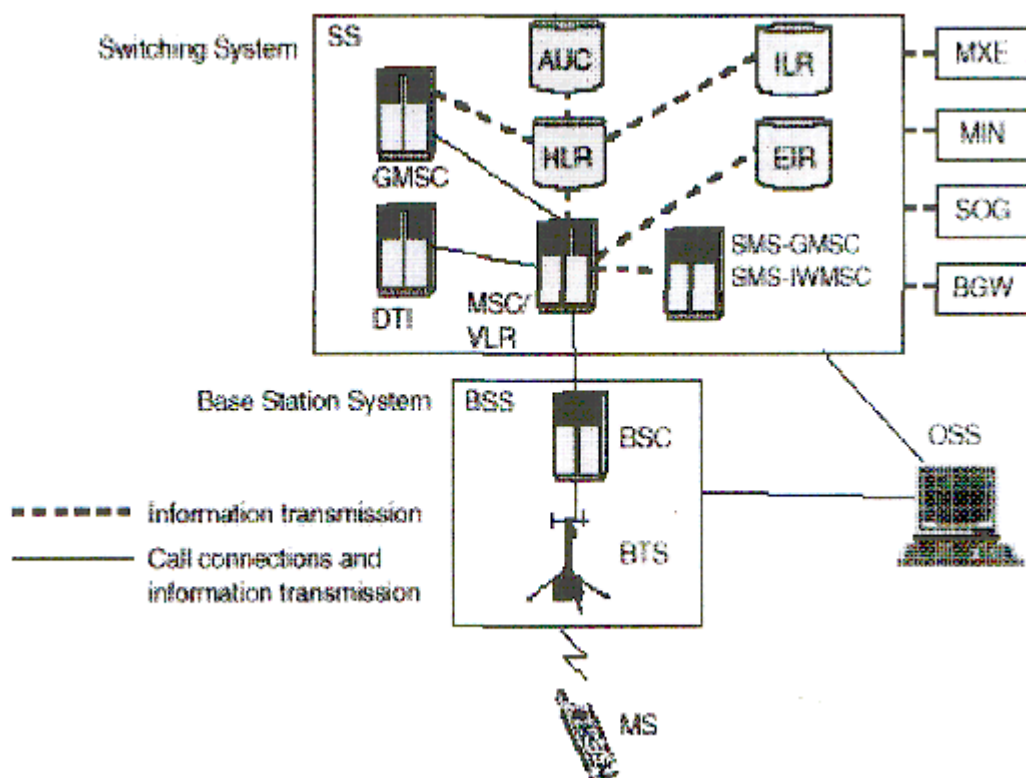


Рисунок 1.1 - Структурная схема сети GSM

Фактически - только рабочими частотами. Предоставляемый сервис зависит больше от оператора, чем от диапазона. Однако тут есть ряд интересных моментов:

- из-за более высокой частоты уменьшается максимально возможный радиус соты, а точнее - максимальное удаление абонента от базовой станции. Для GSM-900 это расстояние равно 35 км. Для GSM-1800 - около 10 км;
- на частотах 1800-2000 МГц радиоволны имеют несколько иные проникающие свойства;
- резкий плюс - куда больший частотный ресурс, так как этот частотный диапазон не успели в свое время захватить "компетентные" органы. Кроме этого в диапазонах 1800 и 1900 частотное планирование выполняется гибче в силу большего числа каналов и меньшего радиуса сот.

Максимальная излучаемая мощность мобильных телефонов стандарта GSM-1800 - 1Вт, для сравнения у GSM-900 - 2Вт. Больше время непрерывной работы без подзарядки аккумулятора и снижение уровня радиоизлучения, хотя если учесть тот факт, что это самая высокая частота, то можно предположить увеличение "эффекта микроволновой печи на ваш организм". [3]

Таблица 1.1-Характеристики отличий стандартов

Частоты передачи подвижной станции приема базовой станции, МГц	890-915	1710-1785
--	---------	-----------

Частоты приема подвижной станции и передачи базовой станции, МГц	935-960	1805-1880
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	45	-
Скорость передачи сообщений в радиоканале, кбит/с	270,833	-
Скорость преобразования речевого кодека, кбит/с	13	-
Ширина полосы канала связи, кГц	200	-
Максимальное количество каналов связи	124	-
Максимальное количество каналов, организуемых в базовой станции	16-20	-
Вид модуляции	GMSK	0,3 GMSK
Индекс модуляции	BT 0,3	-
Ширина полосы предмодуляционного гауссовского фильтра, кГц	81,2	-
Временное разнесение в интервалах TDMA кадра (передача/прием) для подвижной станции	2	-
Количество скачков по частоте в секунду	217	-
Вид речевого кодека	RPE/LTP	-
Максимальный радиус соты, км	до 35	10

Высокая защита от подслушивания и нелегального использования номера. Высокая емкость сети, что важно для крупных городов. Возможность использования телефонных аппаратов, работающих в стандартах GSM-900 и GSM-1800 одновременно. Такой аппарат функционирует в сети GSM-900, но, попадая в зону GSM-1800, переключается - вручную или автоматически. Это позволяет оператору рациональнее использовать частотный ресурс, а клиентам - экономить деньги за счет низких тарифов. В обеих сетях абонент пользуется одним номером. Но использование аппарата в двух сетях возможно только в тех случаях, когда эти сети принадлежат одной компании, или между компаниями, работающими в разных диапазонах, заключено соглашение о роуминге.

Проблема состоит ещё в том, что зона охвата для каждой базовой станции значительно меньше, чем в стандартах GSM-900, AMPS/DAMPS-800, NMT-450. Необходимо большее число базовых станций. Чем выше диапазон частот, тем больше проникающая способность радиоволн и тем меньше способность отражаться и огибать преграды. Что вносит некоторые новые моменты в вопросы планирования и взаимодействия с сетями других стандартов, однако это не отражается на самих принципах планирования, они остаются такими же как и для стандарта GSM-900. А вопросы взаимодействия больше зависят от оператора применяющего данный стандарт для построения своей сети.

Функциональное построение и интерфейсы, принятые в стандарте GSM, иллюстрируются структурной схемой рисунку 1.2, на которой MSC (Mobile Switching Centre) - центр коммутации подвижной связи; BSS (Base Station System) - оборудование базовой станции; OMC (Operations and Maintenance Centre) - центр управления и обслуживания; MS (Mobile Stations) - подвижные станции. Функциональное сопряжение элементов системы осуществляется рядом интерфейсов. Все сетевые функциональные компоненты в стандарте GSM взаимодействуют в соответствии с системой сигнализации МККТТ SS N 7 (CCITT SS. N 7). Центр коммутации подвижной связи обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция. MSC аналогичен ISDN коммутационной станции и представляет собой интерфейс между фиксированными сетями (PSTN, PDN, ISDN и т.д.) и сетью подвижной связи. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами. Кроме выполнения функций обычной ISDN коммутационной станции, на MSC возлагаются функции коммутации радиоканалов. К ним относятся "эстафетная передача", в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении подвижной станции из соты в соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностях.

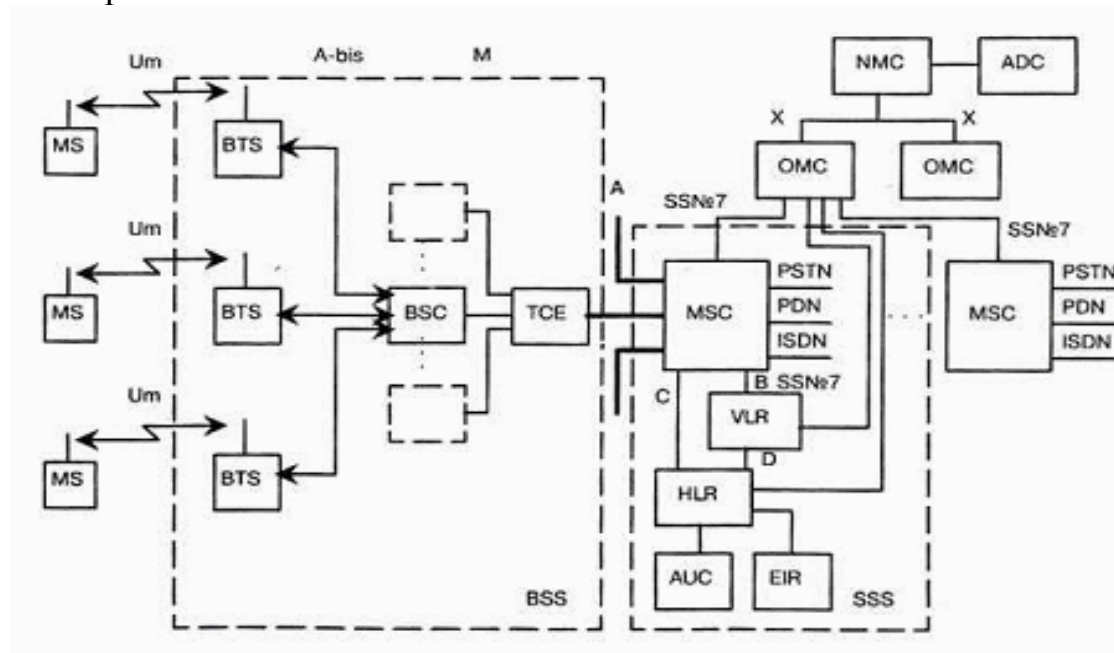


Рисунок 1.2- Структурная схема сети связи

Каждый MSC обеспечивает обслуживание подвижных абонентов, расположенных в пределах определенной географической зоны (например, Москва и область). MSC управляет процедурами установления вызова и маршрутизации. Для телефонной сети общего пользования (PSTN) MSC обеспечивает функции сигнализации по протоколу SS N 7, передачи вызова или другие виды интерфейсов в соответствии с требованиями конкретного проекта. MSC формирует данные, необходимые для выписки счетов за

предоставленные сетью услуги связи, накапливает данные по состоявшимся разговорам и передает их в центр расчетов (биллинг-центр). MSC составляет также статистические данные, необходимые для контроля работы и оптимизации сети. MSC поддерживает также процедуры безопасности, применяемые для управления доступами к радиоканалам.

MSC не только участвует в управлении вызовами, но также управляет процедурами регистрации местоположения и передачи управления, кроме передачи управления в подсистеме базовых станций (BSS). Регистрация местоположения подвижных станций необходима для обеспечения доставки вызова перемещающимся подвижным абонентам от абонентов телефонной сети общего пользования или других подвижных абонентов. Процедура передачи вызова позволяет сохранять соединения и обеспечивать ведение разговора, когда подвижная станция перемещается из одной зоны обслуживания в другую. Передача вызовов в сотах, управляемых одним контроллером базовых станций (BSC), осуществляется этим BSC. Когда передача вызовов осуществляется между двумя сетями, управляемыми разными BSC, то первичное управление осуществляется в MSC. В стандарте GSM также предусмотрены процедуры передачи вызова между сетями (контроллерами), относящимися к разным MSC. Центр коммутации осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, используя регистры положения (HLR) и перемещения (VLR).[3]

Подвижный абонент и станция независимы друг от друга. Как уже отмечалось, каждый абонент имеет свой международный идентификационный номер (IMSI), записанный на его интеллектуальную карточку. Такой подход позволяет устанавливать радиотелефоны, например, в такси и автомобилях, сдаваемых на прокат. Каждой подвижной станции также присваивается свой международный идентификационный номер (IMEI). Этот номер используется для предотвращения доступа к сетям GSM похищенной станции или станции без полномочий.

В HLR хранится та часть информации о местоположении какой-либо подвижной станции, которая позволяет центру коммутации доставить вызов станции. Регистр HLR содержит международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI). Он используется для опознавания подвижной станции в центре аутентификации (AUC).

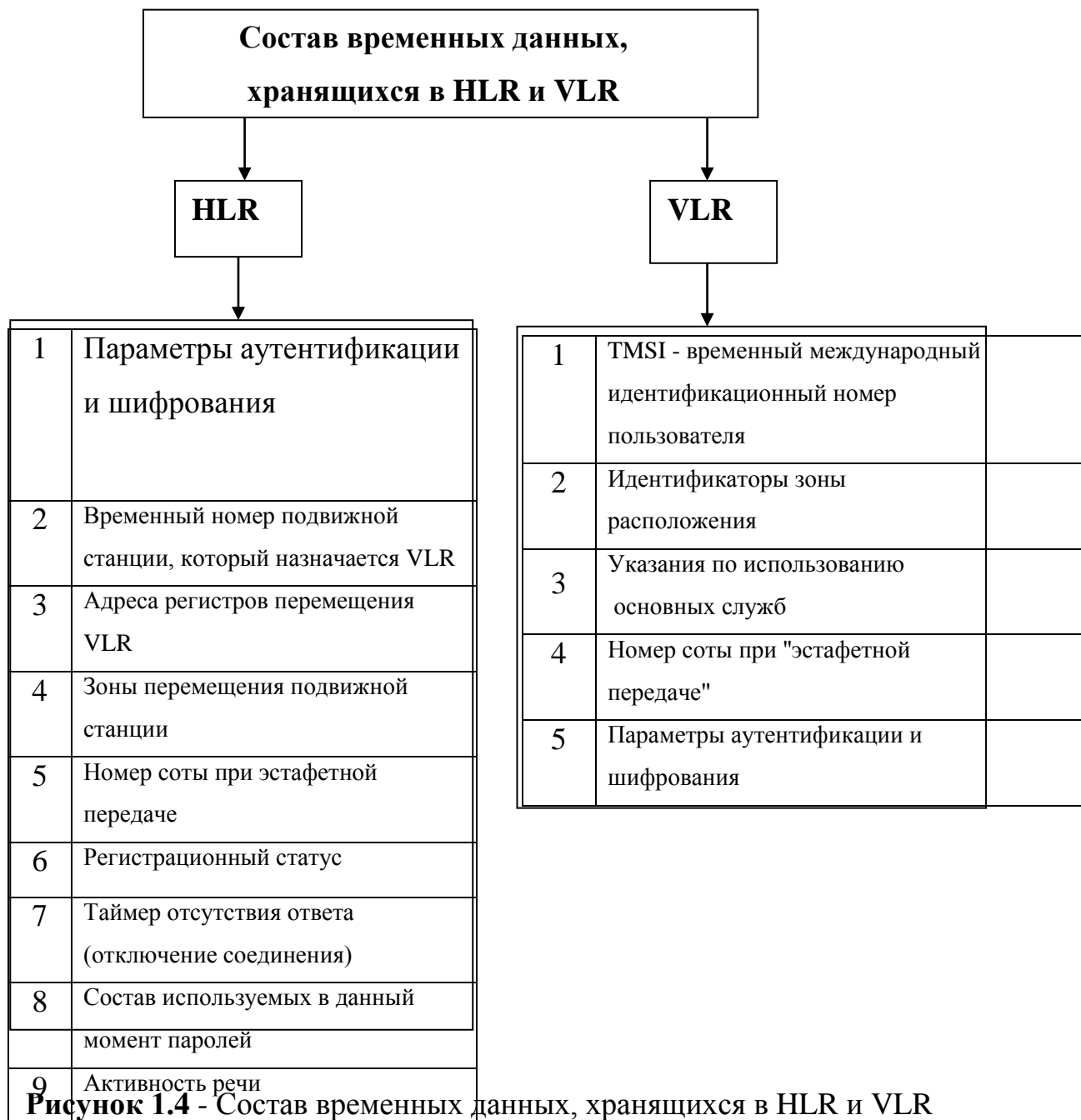
Практически HLR представляет собой справочную базу данных о постоянно прописанных в сети абонентах. В ней содержатся опознавательные номера и адреса, а также параметры подлинности абонентов, состав услуг связи, специальная информация о маршрутизации. Ведется регистрация данных о роуминге (блуждании) абонента, включая данные о временном идентификационном номере подвижного абонента (TMSI) и соответствующем VLR.

В стандарте GSM также предусмотрены процедуры передачи вызова между сетями (контроллерами), относящимися к разным MSC. Центр коммутации осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями,

используя регистры положения (HLR) и перемещения (VLR). В HLR хранится та часть информации о местоположении какой-либо подвижной станции, которая позволяет центру коммутации доставить вызов станции. Регистр HLR содержит международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI). Он используется для опознавания подвижной станции в центре аутентификации (AUC) (рисунок 1.3, 1.4).



**Рисунок 1.3** - Состав долговременных данных, хранящихся в HLR и VLR



**Рисунок 1.4 - Состав временных данных, хранящихся в HLR и VLR**

К данным, содержащимся в HLR, имеют дистанционный доступ все MSC и VLR сети и, если в сети имеются несколько HLR, в базе данных содержится только одна запись об абоненте, поэтому каждый HLR представляет собой определенную часть общей базы данных сети об абонентах. Доступ к базе данных об абонентах осуществляется по номеру IMSI или MSISDN (номеру подвижного абонента в сети ISDN). К базе данных могут получить доступ MSC или VLR, относящиеся к другим сетям, в рамках обеспечения межсетевого роуминга абонентов. Второе основное устройство, обеспечивающее контроль за передвижением подвижной станции из зоны в зону, - регистр перемещения VLR. С его помощью достигается функционирование подвижной станции за пределами зоны, контролируемой HLR. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контроллера базовой станции BSC, объединяющего группу базовых станций, в зону действия другого BSC, она регистрируется новым

BSC, и в VLR заносится информация о номере области связи, которая обеспечит доставку вызовов под-Состав временных данных, хранящихся в HLR и VLR. Практически HLR представляет собой справочную базу данных о постоянно прописанных в сети абонентах. В ней содержатся опознавательные номера и адреса, а также параметры подлинности абонентов, состав услуг связи, специальная информация о маршрутизации. Ведется регистрация данных о роуминге (блуждании) абонента, включая данные о временном идентификационном номере подвижного абонента (TMSI) и соответствующем VLR.

К данным, содержащимся в HLR, имеют дистанционный доступ все MSC и VLR сети и, если в сети имеются несколько HLR, в базе данных содержится только одна запись об абоненте, поэтому каждый HLR представляет собой определенную часть общей базы данных сети об абонентах. Доступ к базе данных об абонентах осуществляется по номеру IMSI или MSISDN (номеру подвижного абонента в сети ISDN). К базе данных могут получить доступ MSC или VLR, относящиеся к другим сетям, в рамках обеспечения межсетевого роуминга абонентов.

Второе основное устройство, обеспечивающее контроль за передвижением подвижной станции из зоны в зону, - регистр перемещения VLR. С его помощью достигается функционирование подвижной станции за пределами зоны, контролируемой HLR. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контроллера базовой станции BSC, объединяющего группу базовых станций, в зону действия другого BSC, она регистрируется новым BSC, и в VLR заносится информация о номере области связи, которая обеспечит доставку вызовов подвижной станции. Для сохранности данных, находящихся в HLR и VLR, в случае сбоя предусмотрена защита устройств памяти этих регистров. VLR содержит такие же данные, как и HLR, однако эти данные содержатся в VLR только до тех пор, пока абонент находится в зоне, контролируемой VLR.

В сети подвижной связи GSM соты группируются в географические зоны (LA), которым присваивается свой идентификационный номер (LAC). Каждый VLR содержит данные об абонентах в нескольких LA. Когда подвижный абонент перемещается из одной LA в другую, данные о его местоположении автоматически обновляются в VLR. Если старая и новая LA находятся под управлением различных VLR, то данные на старом VLR стираются после их копирования в новый VLR. Текущий адрес VLR абонента, содержащийся в HLR, также обновляется. VLR обеспечивает также присвоение номера "блуждающей" подвижной станции (MSRN). Когда подвижная станция принимает входящий вызов, VLR выбирает его MSRN и передает его на MSC, который осуществляет маршрутизацию этого вызова к базовым станциям, находящимся рядом с подвижным абонентом.

VLR также распределяет номера передачи управления при передаче соединений от одного MSC к другому. Кроме того, VLR управляет распределением новых TMSI и передает их в HLR. Он также управляет

процедурами установления подлинности во время обработки вызова. По решению оператора TMSI может периодически изменяться для усложнения процедуры идентификации абонентов. Доступ к базе данных VLR может обеспечиваться через IMSI, TMSI или MSRN. В целом VLR представляет собой локальную базу данных о подвижном абоненте для той зоны, где находится абонент, что позволяет исключить постоянные запросы в HLR и сократить время на обслуживание вызовов.

Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы связи вводятся механизмы аутентификации - удостоверения подлинности абонента. Центр аутентификации состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента и осуществляется его доступ к сети связи. AUC принимает решения о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи шифрования абонентских станций на основе базы данных, сосредоточенной в регистре идентификации оборудования (EIR - Equipment Identification Register).[3]

Каждый подвижный абонент на время пользования системой связи получает стандартный модуль подлинности абонента (SIM), который содержит: международный идентификационный номер (IMSI), свой индивидуальный ключ аутентификации (Ki), алгоритм аутентификации (A3). С помощью записанной в SIM информации в результате взаимного обмена данными между подвижной станцией и сетью осуществляется полный цикл аутентификации и разрешается доступ абонента к сети. Процедура проверки сетью подлинности абонента реализуется следующим образом. Сеть передает случайный номер (RAND) на подвижную станцию. На ней с помощью Ki и алгоритма аутентификации A3 определяется значение отклика (SRES), т.е.

$$SRES = Ki [ RAND] \quad (1.1)$$

Подвижная станция посылает вычисленное значение SRES в сеть, которая сверяет значение принятого SRES со значением SRES, вычисленным сетью. Если оба значения совпадают, подвижная станция приступает к передаче сообщений. В противном случае связь прерывается, и индикатор подвижной станции показывает, что опознавание не состоялось. Для обеспечения секретности вычисление SRES происходит в рамках SIM. Несекретная информация (например, Ki) не подвергается обработке в модуле SIM.

EIR - регистр идентификации оборудования, содержит централизованную базу данных для подтверждения подлинности международного идентификационного номера оборудования подвижной станции (IMEI). Эта база данных относится исключительно к оборудованию подвижной станции. База данных EIR состоит из списков номеров IMEI, организованных следующим образом:

Белый список- содержит номера IMEI, о которых есть сведения, что они закреплены за санкционированными подвижными станциями.

Черный список- содержит номера IMEI подвижных станций, которые украдены или которым отказано в обслуживании по другой причине.

Серый список- содержит номера 1ME1 подвижных станций, у которых существуют проблемы, выявленные по данным программного обеспечения, что не является основанием для внесения в "черный список". К базе данных EIR получают дистанционный доступ MSC данной сети, а также MSC других подвижных сетей. Как и в случае с HLR, сеть может иметь более одного EIR, при этом каждый EIR управляет определенными группами 1ME1. В состав MSC входит транслятор, который при получении номера 1ME1 возвращает адрес EIR, управляющий соответствующей частью базы данных об оборудовании.

IWF - междосетевой функциональный стык, является одной из составных частей MSC. Он обеспечивает абонентам доступ к средствам преобразования протокола и скорости передачи данных так, чтобы можно было передавать их между его терминальным оборудованием (DIE) сети GSM и обычным терминальным оборудованием фиксированной сети. Междосетевой функциональный стык также "выделяет" модем из своего банка оборудования для сопряжения с соответствующим модемом фиксированной сети. IWF также обеспечивает интерфейсы типа прямого соединения для оборудования, поставляемого клиентам, например, для пакетной передачи данных PAD по протоколу X.25.

ЕС - эхоподавитель, используется в MSC со стороны PSTN для всех телефонных каналов (независимо от их протяженности) из-за физических задержек в трактах распространения, включая радиоканал, сетей GSM. Типовой эхоподавитель может обеспечивать подавление в интервале 68 миллисекунд на участке между выходом ЕС и телефоном фиксированной телефонной сети. Общая задержка в канале GSM при распространении в прямом и обратном направлениях, вызванная обработкой сигнала, кодированием/декодированием речи, канальным кодированием и т.д., составляет около 180 мс. Эта задержка была бы незаметна подвижному абоненту, если бы в телефонный канал не был включен гибридный трансформатор с преобразованием тракта с двухпроводного на четырехпроводный режим, установка которого необходима в MSC, так как стандартное соединение с PSTN является двухпроводным. При соединении двух абонентов фиксированной сети эхо-сигналы отсутствуют. Без включения ЕС задержка от распространения сигналов в тракте GSM будет вызывать раздражение у абонентов, прерывать речь и отвлекать внимание.

ОМС - центр эксплуатации и технического обслуживания, является центральным элементом сети GSM, который обеспечивает контроль и управление другими компонентами сети и контроль качества ее работы. ОМС соединяется с другими компонентами сети GSM по каналам пакетной передачи протокола X.25. ОМС обеспечивает функции обработки аварийных сигналов, предназначенных для оповещения обслуживающего персонала, и регистрирует сведения об аварийных ситуациях в других компонентах сети. В зависимости от характера неисправности ОМС позволяет обеспечить ее устранение автоматически или при активном вмешательстве персонала. ОМС

может обеспечить проверку состояния оборудования сети и прохождения вызова подвижной станции. ОМС позволяет производить управление нагрузкой в сети. Функция эффективного управления включает сбор статистических данных о нагрузке от компонентов сети GSM, записи их в дисковые файлы и вывод на дисплей для визуального анализа. ОМС обеспечивает управление изменениями программного обеспечения и базами данных о конфигурации элементов сети. Загрузка программного обеспечения в память может производиться из ОМС в другие элементы сети или из них в ОМС.

NMC - центр управления сетью, позволяет обеспечивать рациональное иерархическое управление сетью GSM. Он обеспечивает эксплуатацию и техническое обслуживание на уровне всей сети, поддерживаемой центрами ОМС, которые отвечают за управление региональными сетями. NMC обеспечивает управление трафиком во всей сети и обеспечивает диспетчерское управление сетью при сложных аварийных ситуациях, как например, выход из строя или перегрузка узлов. Кроме того, он контролирует состояние устройств автоматического управления, задействованных в оборудовании сети, и отражает на дисплее состояние сети для операторов NMC. Это позволяет операторам контролировать региональные проблемы и, при необходимости, оказывать помощь ОМС, ответственному за конкретный регион. Таким образом, персонал NMC знает состояние всей сети и может дать указание персоналу ОМС изменить стратегию решения региональной проблемы. NMC концентрирует внимание на маршрутах сигнализации и соединениях между узлами с тем, чтобы не допускать условий для возникновения перегрузки в сети. Контролируются также маршруты соединений между сетью GSM и PSTN во избежание распространений условий перегрузки между сетями. При этом персонал NMC координирует вопросы управления сетью с персоналом других NMC. NMC обеспечивает также возможность управления трафиком для сетевого оборудования подсистемы базовых станций (BSS). Операторы NMC в экстремальных ситуациях могут задействовать такие процедуры управления, как "приоритетный доступ", когда только абоненты с высоким приоритетом (экстренные службы) могут получить доступ к системе. NMC может брать на себя ответственность в каком-либо регионе, когда местный ОМС является необслуживаемым, при этом ОМС действует в качестве транзитного пункта между NMC и оборудованием сети. NMC обеспечивает операторов функциями, аналогичными функциям ОМС.

NMC является также важным инструментом планирования сети, так как NMC контролирует сеть и ее работу на сетевом уровне, а, следовательно, обеспечивает планировщиков сети данными, определяющими ее оптимальное развитие. BSS - оборудование базовой станции, состоит из контроллера базовой станции (BSC) и приемо-передающих базовых станций (BTS). Контроллер базовой станции может управлять несколькими приемо-передающими блоками. BSS управляет распределением радиоканалов,

контролирует соединения, регулирует их очередность, обеспечивает режим работы с прыгающей частотой, модуляцию и демодуляцию сигналов, кодирование и декодирование сообщений, кодирование речи, адаптацию скорости передачи для речи, данных и вызова, определяет очередность передачи сообщений персонального вызова.

BSS совместно с MSC, HLR, VLR выполняет некоторые функции, например: освобождение канала, главным образом, под контролем MSC, но MSC может запросить базовую станцию обеспечить освобождение канала, если вызов не проходит из-за радиопомех. BSS и MSC совместно осуществляют приоритетную передачу информации для некоторых категорий подвижных станций. TCE- транскодер, обеспечивает преобразование выходных сигналов канала передачи речи и данных MSC (64 кбит/с ИКМ) к виду, соответствующему рекомендациям GSM по радиоинтерфейсу. В соответствии с этими требованиями скорость передачи речи, представленной в цифровой форме, составляет 13 кбит/с. Этот канал передачи цифровых речевых сигналов называется "полноскоростным". Стандартом предусматривается в перспективе использование полускоростного речевого канала (скорость передачи 6,5 кбит/с). Снижение скорости передачи обеспечивается применением специального речепреобразующего устройства, использующего линейное предикативное кодирование (LPC), долговременное предсказание (LTP), остаточное импульсное возбуждение (RPE - иногда называется RELP).

Транскодер обычно располагается вместе с MSC, тогда передача цифровых сообщений в направлении к контроллеру базовых станций - BSC ведется с добавлением к потоку со скоростью передачи 13 кбит/с, дополнительных битов (стаффингование) до скорости передачи данных 16 кбит/с. Затем осуществляется уплотнение с кратностью 4 в стандартный канал 64 кбит/с. Так формируется определенная Рекомендациями GSM 30-канальная ИКМ линия, обеспечивающая передачу 120 речевых каналов. Шестнадцатый канал (64 кбит/с), "временное окно", выделяется отдельно для передачи информации сигнализации и часто содержит трафик SS N7 или LAPD. В другом канале (64 кбит/с) могут передаваться также пакеты данных, согласующиеся с протоколом X.25 МККТТ.

Таким образом, результирующая скорость передачи по указанному интерфейсу составляет  $30 \times 64 \text{ кбит/с} + 64 \text{ кбит/с} + 64 \text{ кбит/с} = 2048 \text{ кбит/с}$ .

MS - подвижная станция, состоит из оборудования, которое служит для организации доступа абонентов сетей GSM к существующим фиксированным сетям электросвязи. В рамках стандарта GSM приняты пять классов подвижных станций от модели 1-го класса с выходной мощностью 20 Вт, устанавливаемой на транспортном средстве, до портативной модели 5-го класса, максимальной мощностью 0,8 Вт (табл. 1). При передаче сообщений предусматривается адаптивная регулировка мощности передатчика, обеспечивающая требуемое качество связи.

Подвижный абонент и станция независимы друг от друга. Как уже отмечалось, каждый абонент имеет свой международный идентификационный номер (IMSI), записанный на его интеллектуальную карточку. Такой подход позволяет устанавливать радиотелефоны, например, в такси и автомобилях, сдаваемых на прокат. Каждой подвижной станции также присваивается свой международный идентификационный номер (IMEI). Этот номер используется для предотвращения доступа к сетям GSM похищенной станции или станции без полномочий.[4]

### **1.3 Сетевые и радиointерфейсы**

При проектировании цифровых сотовых систем подвижной связи стандарта GSM рассматриваются интерфейсы трех видов: для соединения с внешними сетями; между различным оборудованием сетей GSM; между сетью GSM и внешним оборудованием. Все существующие внутренние интерфейсы сетей GSM показаны на структурной схеме рис. 1. Они полностью соответствуют требованиям Рекомендаций ETSI/GSM 03.02.

Интерфейсы с внешними сетями:

Соединение с PSTN

Соединение с телефонной сетью общего пользования осуществляется MSC по линии связи 2 Мбит/с в соответствии с системой сигнализации SS N 7. Электрические характеристики 2 Мбит/с интерфейса соответствуют Рекомендациям МККТТ G.732.

Соединение с ISDN

Для соединения с создаваемыми сетями ISDN предусматриваются четыре линии связи 2 Мбит/с, поддерживаемые системой сигнализации SS N 7 и отвечающие Рекомендациям Голубой книги МККТТ Q.701-Q.710, Q.711-Q.714, Q.716, Q.781, 0.782, 0.791, 0.795, 0.761-0.764, 0.766.

Соединение с существующей сетью NMT-450

Центр коммутации подвижной связи соединяется с сетью NMT-450 через четыре стандартные линии связи 2 Мбит/с и системы сигнализации SS N7. При этом должны обеспечиваться требования Рекомендаций МККТТ по подсистеме пользователей телефонной сетью (TUP - Telephone User Part) и подсистеме передачи сообщений (MTP - Message Transfer Part) Желтой книги. Электрические характеристики линии 2 Мбит/с соответствуют Рекомендациям МККТТ G.732.

Соединения с международными сетями GSM

В настоящее время обеспечивается подключение сети GSM в Москве к общеевропейским сетям GSM. Эти соединения осуществляются на основе протоколов систем сигнализации (SCCP) и межсетевой коммутации подвижной связи (GMSC).

Внутренние GSM – интерфейсы:

Интерфейс между MSC и BSS (A-интерфейс) обеспечивает передачу сообщений для управления BSS, передачи вызова, управления передвижением. A-интерфейс объединяет каналы связи и линии

сигнализации. Последние используют протокол SS N7 MKKTT. Полная спецификация А-интерфейса соответствует требованиям серии 08 Рекомендаций ETSI/GSM.

Интерфейс между MSC и HLR совмещен с VLR (В-интерфейс). Когда MSC необходимо определить местоположение подвижной станции, он обращается к VLR. Если подвижная станция инициирует процедуру местоопределения с MSC, он информирует свой VLR, который заносит всю изменяющуюся информацию в свои регистры. Эта процедура происходит всегда, когда MS переходит из одной области местоопределения в другую. В случае, если абонент запрашивает специальные дополнительные услуги или изменяет некоторые свои данные, MSC также информирует VLR, который регистрирует изменения и при необходимости сообщает о них HLR.

Интерфейс между MSC и HLR (С-интерфейс) используется для обеспечения взаимодействия между MSC и HLR. MSC может послать указание (сообщение) HLR в конце сеанса связи для того, чтобы абонент мог оплатить разговор. Когда сеть фиксированной телефонной связи не способна исполнить процедуру установления вызова подвижного абонента, MSC может запросить HLR с целью определения местоположения абонента для того, чтобы послать вызов MS.

Интерфейс между HLR и VLR (D-интерфейс) используется для расширения обмена данными о положении подвижной станции, управления процессом связи. Основные услуги, предоставляемые подвижному абоненту, заключаются в возможности передавать или принимать сообщения независимо от местоположения. Для этого HLR должен пополнять свои данные. VLR сообщает HLR о положении MS, управляя ею и переприсваивая ей номера в процессе блуждания, посылает все необходимые данные для обеспечения обслуживания подвижной станции.

Интерфейс между MSC (Е-интерфейс) обеспечивает взаимодействие между разными MSC при осуществлении процедуры HANDOVER - "передачи" абонента из зоны в зону при его движении в процессе сеанса связи без ее прерыва.

Интерфейс между BSC и BTS (А-bis интерфейс) служит для связи BSC с BTS и определен Рекомендациями ETSI/GSM для процессов установления соединений и управления оборудованием, передача осуществляется цифровыми потоками со скоростью 2,048 Мбит/с. Возможно использование физического интерфейса 64 кбит/с.

Интерфейс между BSC и OMC (О-интерфейс) предназначен для связи BSC с OMC, используется в сетях с пакетной коммутацией MKKTT X.25.

Внутренний BSC-интерфейс контроллера базовой станции обеспечивает связь между различным оборудованием BSC и оборудованием транскодирования (TCE); использует стандарт ИКМ-передачи 2,048 Мбит/с и позволяет организовать из четырех каналов со скоростью 16 кбит/с один канал на скорости 64 кбит/с.

Интерфейс между MS и BTS (Um-радиоинтерфейс) определен в сериях 04 и 05 Рекомендаций ETSI/GSM.

Сетевой интерфейс между ОМС и сетью, так называемый управляющий интерфейс между ОМС и элементами сети, определен ETSI/GSM Рекомендациями 12.01 и является аналогом интерфейса Q.3, который определен в многоуровневой модели открытых сетей ISO OSI.

Соединение сети с ОМС могут обеспечиваться системой сигнализации МККТТ SS N7 или сетевым протоколом X.25. Сеть X.25 может соединяться с объединенными сетями или с PSDN в открытом или замкнутом режимах.

GSM - протокол управления сетью и обслуживанием также должен удовлетворять требованиям Q.3 интерфейса, который определен в ETSI/GSM Рекомендациях 12.01.

Интерфейсы между сетью GSM и внешним оборудованием

Интерфейс между MSC и сервис-центром (SC) необходим для реализации службы коротких сообщений. Он определен в ETSI/GSM Рекомендациях 03.40.

Интерфейс к другим ОМС. Каждый центр управления и обслуживания сети должен соединяться с другими ОМС, управляющими сетями в других регионах или другими сетями. Эти соединения обеспечиваются X-интерфейсами в соответствии с Рекомендациями МККТТ М.30. Для взаимодействия ОМС с сетями высших уровней используется Q.3-интерфейс.

[5]

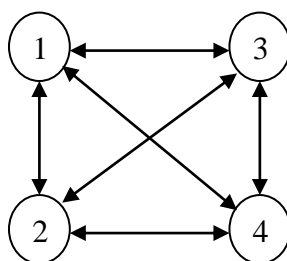
#### 1.4 Подход к проектированию сотовой сети подвижной связи (ССПС)

ССПС – информационная сеть, содержащая как радиоканалы, так и проводные каналы, а также звено управления в виде ЦКПС.

Любая сеть считается нормально функционирующей, если возможен обмен информацией между любой парой абонентов этой сети.

Сети различают по их конфигурации:

##### 1.4.1 Полносвязная сеть



$K = 1/2 Y(Y-1)$ , где

$K$  – количество связей,

$Y$  – количество узлов.

Рисунок 1.3- Полносвязная сеть

При этом в полносвязной сети  $Y-2$  ребра являются избыточными, поэтому по такой схеме ССПС не строится.

#### 1.4.2 Древовидная сеть

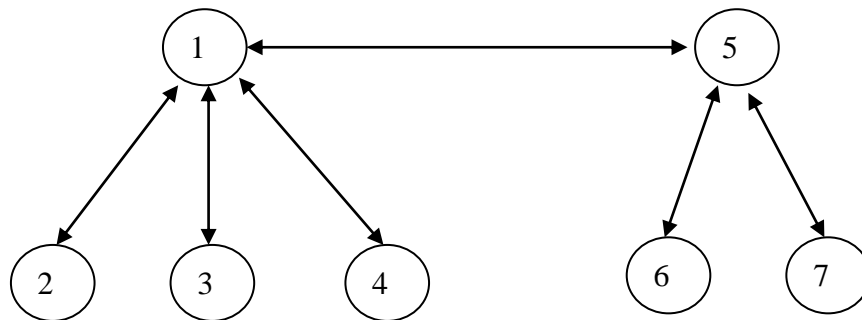


Рисунок 1.4 - Древовидная сеть

Любая пара узлов связана не более чем одним ребром, используется в ССПС.

Специфика работы сети ССПС определяется особенностями радиоканала (равнодоступность, внутрисистемная помеха, внешние помехи).

При характеристике сети в целом вводят понятие матрицы ее показателей качества.

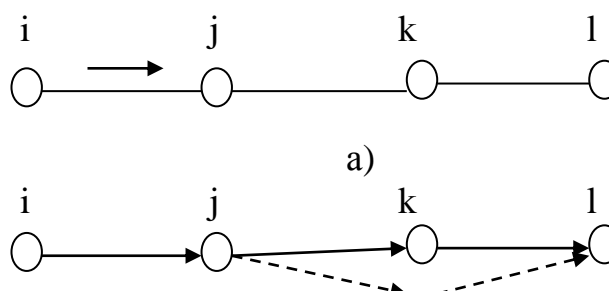
$C = ||C_{ij}||$  - матрица пропускных способностей;

$P_0 = ||P_{0ij}||$  - матрица ошибок.

При этом за конкретный показатель качества сети в целом принимают наихудшее значение этого показателя для одного из участков.

Сеть характеризуется принципом организации сквозного тракта между ее узлами:

- Собственно тракт, выделяемый для передачи между узлами сетей на все время активности этих узлов (метод коммутации каналов) – системы 1-го и 2-го поколения;
- поэтапная передача сообщений с запоминанием на промежуточных узлах.





б)

Рисунок 1.5- Принципы организации сквозного трафика

а. Метод передачи сообщение целиком (метод коммутации сообщений).

б. Метод передачи сообщений по частям (метод коммутации потоков) наиболее перспективный с точки зрения пропускной способности, однако требует более сложного управления сетью.

Пакетная передача позволяет повысить пропускную способность системы за счет использования канала сразу несколькими абонентами (передача сообщений в паузах речи), а также уменьшение среднего времени до получателя при высокой активности абонентов.[6]

## 1.5 Разделение сетей на иерархические уровни

Любая сеть состоит из многих разнородных звеньев, поэтому для удобства ее проектирования ее разбивают на 7 уровней, границы между которыми устанавливают так, чтобы взаимодействие между уровнями было минимальным.

Правило взаимодействия называется межуровневым интерфейсом, а правило взаимодействия элементов одного уровня – протоколом.

Уровни:

- физический;
- канальный;
- сетевой;
- транспортный;
- сеансовый;
- представительный;
- прикладной.

Первые три уровня практически полностью характеризуют ССПС. Четвертый и пятый отвечают за роуминг и т.п. Последние уровни характеризуют абонентов (представление информации).

### 1.5.1 Физический уровень

Задача – обеспечение возможностей передачи сообщения по каналу связи с заданным качеством. Наиболее важное звено – радиоканал.

Этапы:

Разбиение территории на соты.

Здесь важно правильно выбрать значение  $R_0$  и  $D$  с учетом требований высокой пропускной способности и ограничений по быстродействию системы управления сетью и по энергетическим возможностям аппаратуры, предназначенной для передачи по радиоканалу.

Оптимальный вариант – поэтапное введение системы с постепенным расщеплением больших сот на малые.

Пример: ССПС с частотным разделением каналов (FDMA).

Каждая сота должна обслуживать  $I_{\max}$  абонентов. Для этого требуется  $F_{\text{соты}} = I_{\max} F_a$ . Для всей системы –  $F = k I_{\max} F_a$ , где  $k$  – коэффициент повторного использования частот  $k \approx 1/3(D/R_0)^2$ ; общее число абонентов  $N = I_{\max} L$ , где  $L$  – число сот на территории обслуживания,  $L \approx 1,21(R/R_0)^2$ ; частотная эффективность сотовой системы  $\gamma = N/F \approx 3,6(R/R_0)^2/(F_a(D/R_0)^2)$ .

Таким образом  $\gamma$  увеличивается в случаях:

а)  $(D/R_0)$  уменьшается – уменьшение размера кластера, т.е. увеличение перекрестных помех; снижение  $P_c/P_{\text{ш}}$  – достигается помехоустойчивым кодированием;

б)  $F_a$  уменьшается – использование 4ФМ, использование ММС – модуляции с минимальным сдвигом – концентрация энергии в узком участке спектра + Гауссовское сглаживание.

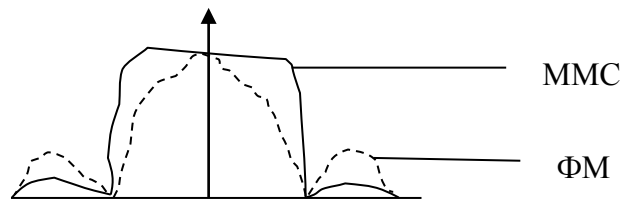
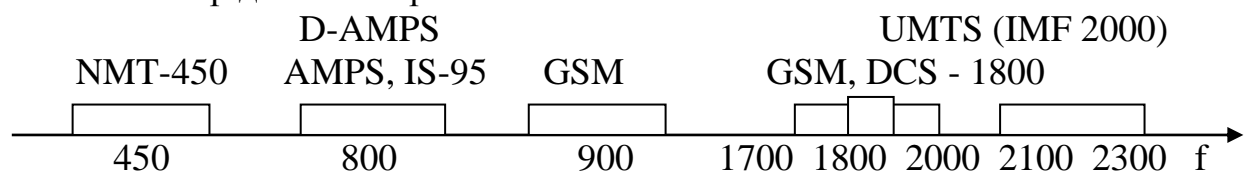


Рисунок 1.6- Спектр сигнала

в)  $R/R_0$  повышается – снижение размеров соты (сейчас  $R_{0 \text{ opt}} \approx 1,6$  км) – пока нет.

В реальности приходится учитывать рельеф местности и характер застройки территории, т.к. эти факторы являются причинами зон затемнения или участков с глубокими интерференционными замираниями. Поэтому при энергетическом расчете системы сначала рассчитывают радиус сот для некоторого усредненного рельефа по формулам, соответствующим распространению УКВ радиоволн над шероховатой поверхностью, которые позволяют получить среднестатистический результат. Затем для участков с усложненным рельефом производят специальный усложненный расчет (детерминированный расчет). После этого с помощью подвижной измерительной аппаратуры для зон со сложным рельефом определяют реальные границы сот и указывают точки, где должны стоять дополнительные станции.

#### 1.5.1. Выбор диапазона рабочих частот



Диапазон → характеристики радиоканала → модуляция

→ вид кодирования.

Рисунок 1.7– Диапазоны

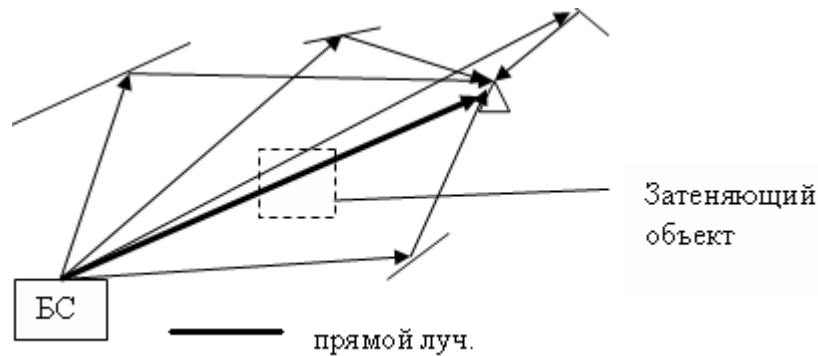


Рисунок 1.8- Радиоканал

Кроме прямого луча, проходящего через затеняющие объекты, существует две группы отраженных лучей:

- от близлежащих объектов;
- от больших удаленных объектов.

Считается, что интенсивность лучей меняется по *exp* закону и импульсная характеристика канала имеет вид:

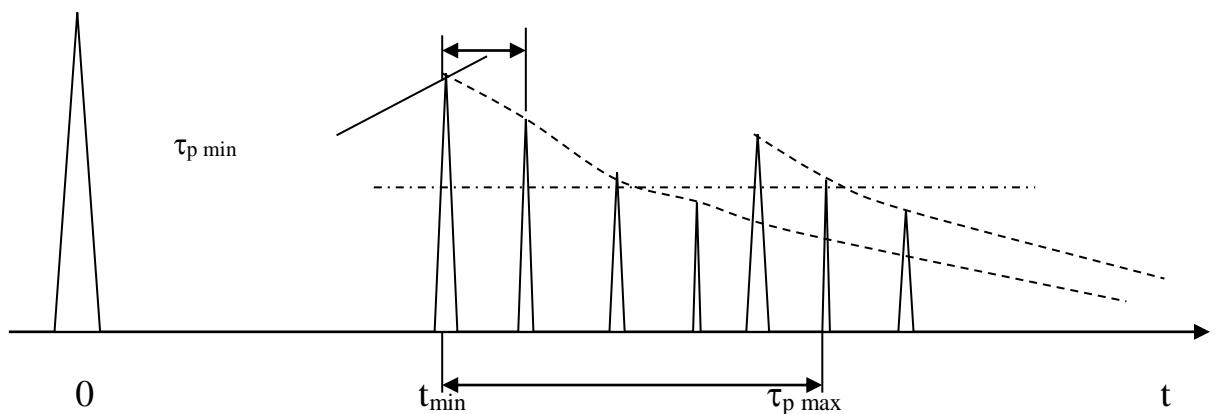


Рисунок 1.9- Интенсивность лучей

$\tau_{p \max}$  ограничивает скорость передачи дискретных сообщений по радиоканалу. В диапазоне 800 – 900 МГц предельная скорость  $R=100...150$  бит/сек. Величины задержек лучей друг относительно друга характеризует следующая таблица.

Таблица 1.3- Величины задержек

Задержки	Город	Пригород	Здание
$\tau_{p \max}$ , мкс	5...12	1...7	0,1...0,3
$\tau_{p \text{ ср}}$ , мкс	1,5	0,5	<0,1
$B$ , МГц	0,083	0,4	>1,25

$B$  – интервал корреляции замираний по частоте:

$$B \approx \frac{1}{8\tau_{p.cp}} \quad (1.2)$$

При использовании простых (УСП – узкополосных) сигналов  $FT \approx 1$ , эффективным средством борьбы с многолучевостью является перемежение передаваемых символов (наряду с корректирующим кодированием). Однако из-за относительно большого интервала корреляции замираний по времени и низкой скорости замираний интервал перемежения оказывается очень большим.

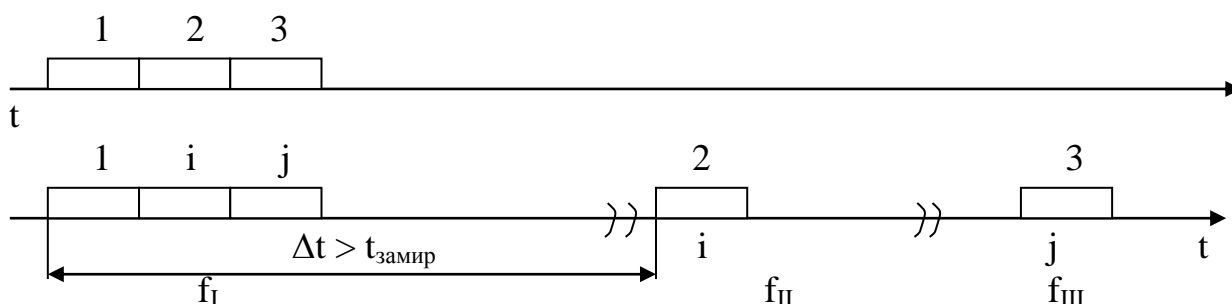


Рисунок 1.10- Использование узкополосных сигналов

$R_z = \varphi(V, Q)$  - скорость замираний.

В ситуации, когда  $\Delta t$  велико, наряду с перемежением используют прыганье по частоте

$$|f_I - f_{II}| = |f_{II} - f_{III}| = (6 \dots 9)B \quad (1.3)$$

Наличие многолучевости, т.о., приводит к необходимости применять наряду с перемежением прыганье по частоте с соответствующим шагом или использовать ШПС, полоса которых  $F = (6 \dots 9)B$ . [8]

В зависимости от того, где проходит трасса распространения сигнала, замирания в канале характеризуются законами Релея или Райса. Райсовский закон характерен для связи внутри здания, релеевский – для города. При райсовском распределении и использовании CDMA (ШПС) можно ограничиться одним-двумя каналами обработки в приемнике, т.к. всегда присутствует прямой луч или же добавочно один мощный отраженный луч. В релеевском канале приходится увеличивать число каналов обработки до 3-х – 4-х, т.к. ориентируются на отсутствие прямого луча и наличие нескольких одинаковых отраженных лучей.

### 1.5.1.2 Кодирование

Выбор методов кодирования определяется характером группирования ошибок в канале. При независимых ошибках достаточно использовать мощный корректирующий код (блочный код или чаще сверточный код). При коррелированных ошибках необходимо применять коды, корректирующие

пакеты ошибок, однако эти коды имеют большую избыточность, поэтому применяют сочетание блочных и сверточных кодов, используя сверточный код для исправления одиночных ошибок, а блочный – для обнаружения неисправленных ошибок.

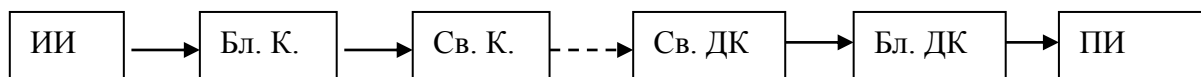


Рисунок 1.11- Кодирование

Для согласования кода с каналом используют операцию повторения наиболее важных символов кода, т.е. этот символ передается подряд несколько раз и решение о его знаке принимается на основе сравнения. Кроме того, для согласования кода с каналом используют методы многофазной манипуляции (4ОФМ).

Выбор метода доступа к каналу (МДЧР, МДВР, МДКР – соответственно FDMA, TDMA, CDMA).

Критерием выбора является, с одной стороны, сложность управления доступом и сложность аппаратуры, с другой стороны, пропускная способность системы.

МДЧР (FDMA) – самая простая.

МДВР (TDMA) – используется комбинация МДВР-МДЧР (TDMA-FDMA), сложное управление доступом, высокая пропускная способность.

МДКР (CDMA) – простое управление доступом, сложная аппаратура, потенциально наибольшая пропускная способность, не требуется планирование частотно-временного ресурса.

#### 1.5.1.3 Канальный уровень

Задача – довести информацию от заданного количества пользователей с заданным качеством.

Управление распределения ресурса. Самоуправляемый доступ хорош тем, что не требует выделения специального служебного канала управления доступом. Применяется в МДЧР и имеет следующий принцип:

Базовая станция на частоте свободного канала передает маркер. АС, выходя на связь, просматривает все частотные каналы и фиксирует сигнал маркера, затем на дуплексной частоте этого канала АС передает сигнал занятия канала. БС, приняв этот сигнал, снимает маркер и передает на АС сигнал разрешения занятия канала. Затем идет служебная информация по соединению с корреспондентом.

Если связь устанавливается по инициативе БС, то используют специальный однонаправленный канал, по которому БС передает вызов и номер свободного рабочего канала, по которому АС подтверждает, что вызов принят.

При предоставлении каналов по требованию выделяется отдельный случайный канал, называемый канал сигнализации. У всех БС, входящих в кластер, эти каналы разные.

АС передает по каналу сигнализации запрос в виде пакета, содержащего служебную информацию. Пакет посылается в режиме случайного доступа к каналу.

БС передает по каналу сигнализации последовательность кадров с необходимыми сообщениями (ответ на вызов с номером РК), либо сама вызывает АС.

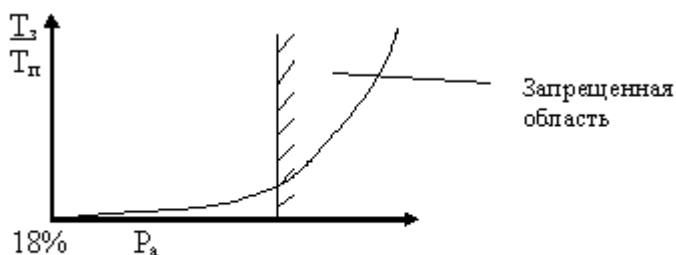


Рисунок 1.12 - Вызов базовой станции

Случайный доступ к каналу имеет отрицательную сторону. При большой активности абонентов, когда вероятность столкновения пакетов  $P_a$  превышает 18%, время задержки передачи пакета по отношению к длине пакета начинает недопустимо расти. Требования по достоверности передачи для канала сигнализации более высокие, чем для рабочего канала. Поэтому здесь применяют помехоустойчивые виды модуляции (при более низкой скорости передачи), кодирование с исправлением ошибок и многократную передачу сообщений в пакете.

#### 1.5.1.4 Управление мощностью передатчиков БС и АС.

Позволяет уменьшить средний уровень перекрестных помех в системе и уменьшить размерность кластера и величину защитных частотных интервалов.

Управление мощностью передатчиков АС обеспечивает выравнивание сигналов от ближних и дальних АС на входе приемника БС.

Управление мощностью передатчика БС позволяет за счет снижения среднего уровня помех в дальней зоне уменьшить размерность кластера.

Основная сложность при регулировке мощности связана с тем, что прямой и обратный каналы ССПС разнесены по частоте на 15...45 МГц, поэтому замирания сигналов в этих каналах не коррелированы.

В результате для точной регулировки мощности приходится использовать два уровня управления мощностью — низший и более высокий.

Низший уровень базируется на АРУ приемника.

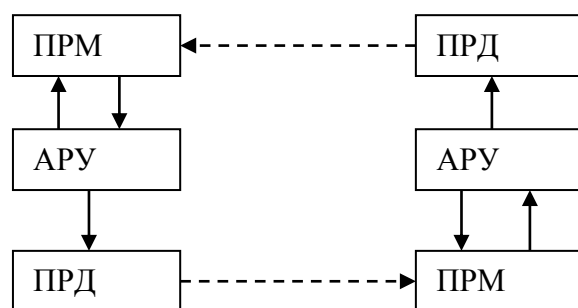


Рисунок 1.13 - Регулировка мощности

На более высоком уровне для получения более точного результата БС передает пилот-сигнал, ретранслируемый АС. Оценка уровня пилот-сигнала, принятого на БС после ретрансляции, позволяет уточнить значение мощности передатчика как БС, так и АС. Пилот-сигнал формируется либо в виде синусоидального колебания, передаваемого вне полосы основного сообщения, либо в виде тестовой кодовой комбинации.

Еще более точный результат можно получить, если осуществить промежуточный прием и оценку тестовой комбинации на АС. При этом сама АС также будет формировать собственную тестовую комбинация для БС.

Главная сложность при точной регулировке мощности – задержка при принятии решения о регулировке.

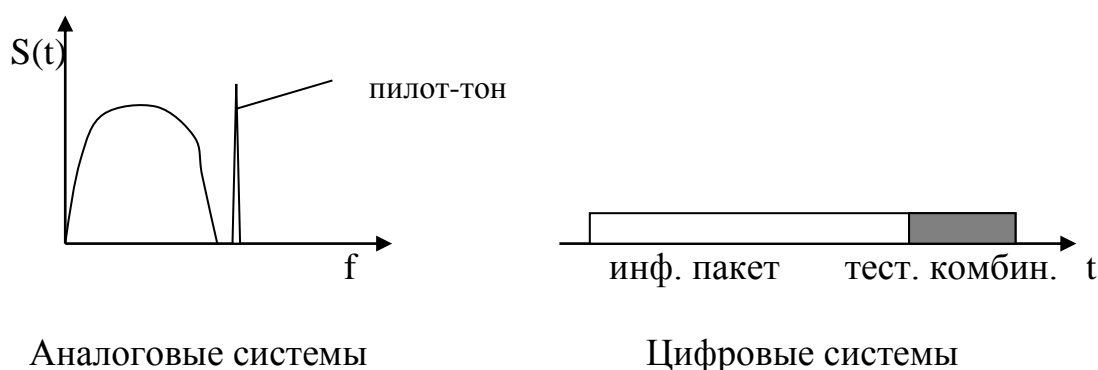


Рисунок 1.14 - Пилот сигнал

### 1.5.2 Сетевой уровень

## Взаимодействие между АС и сетью в целом

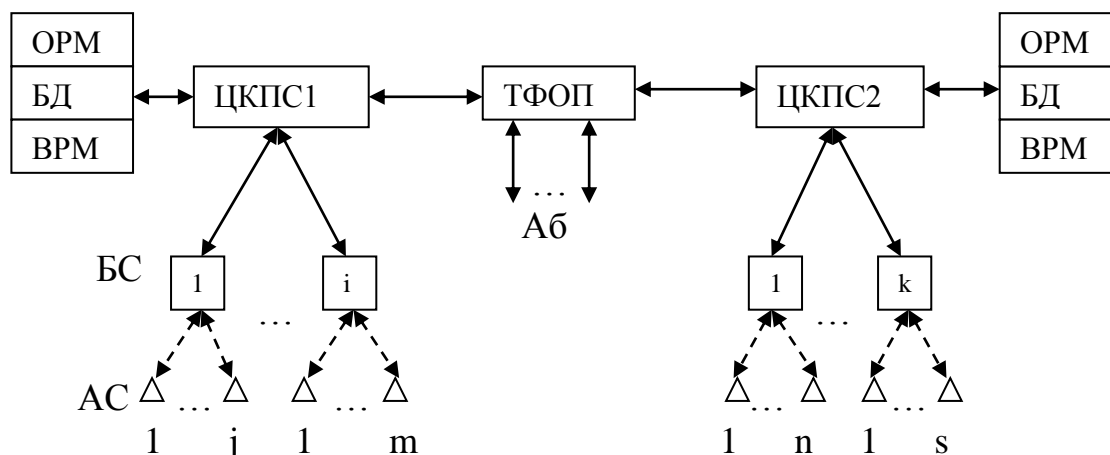


Рисунок 1.15 - Взаимодействие между АС и сетью

Управление в сети может быть:

- централизованным;
- децентрализованным.

При централизованном (квазицентрализованном) управлении все операции по взаимодействию с АС выполняет ЦКПС. При децентрализованном управлении часть функций возлагается на БС и ЦКПС используется только для взаимодействия с другим ЦКПС или с коммутационными станциями СТОП. В настоящее время в ССПС используется в основном централизованное управление. Децентрализованный вариант более характерен для WLL (RLL) систем – систем беспроводного абонентского доступа. На вышеприведенном рисунке изображен централизованный вариант. Важнейшей функцией ЦКПС является идентификация АС и ее обнаружение в режиме роуминга. Кроме того ЦКПС выполняет все операции, необходимые для взаиморасчетов между оператором и пользователем.[9]

Данная схема обеспечивает идентификацию АС следующим образом: АС передает свой номер на ЦКПС. ЦКПС проверяет этот номер в ОПМ (опорном регистре местоположения). Если номера нет, ЦКПС1 запрашивает ЦКПС2 о наличии этого номера в его ОПМ. Получив положительный ответ ЦКПС1 заносит номер в свой ВРМ (визитный регистр местоположения). Дальнейшее обслуживание ЦКПС1 будет выполнять самостоятельно, не обращаясь к ЦКПС2. При вызове АС абонентом СТОП запрос поступает на ЦКПС2, а затем переадресовывается на ЦКПС1, который далее взаимодействует с АС – роуминг. Все взаиморасчеты с АС выполняет ЦКПС2 по данным, получаемым от ЦКПС1. Если АС уходит с территории обслуживания ЦКПС1, то ее номер убирается из ВРМ. При децентрализованном управлении в WLL (RLL) каждая БС имеет свою базу данных (БД), содержащую информацию об абонентах, обслуживаемых на данной

территории. ЦКПС здесь выполняет только операции, управляющие соединением с центром коммутации СТОП или с БС других ЦКПС.

## 1.6 Управление в сети в процессе установления связи

### 1.6.1 Установление связи по инициативе ЦКПС

Основная сложность связана с тем, что неизвестно, в какой именно из сот находится АС. Число различных КС в системе определяется размером кластера. Приемник АС проходит по КС и выбирает КС с наибольшим уровнем сигнала, затем на дуплексной частоте выбранного КС (т.е. через выбранную БС) передается квитанция. ЦКПС определяет отношение сигнал-шум в этом КС (в этом случае уже начинает работать система управления мощностью передатчиков). Если отношение сигнал-шум при связи с выбранной БС хорошее, то ЦКПС передает на АС номер РК, а БС и АС переходят на этот РК. После проверки связи включается разговор, затем отбой, после которого приемник АС переходит в дежурный режим, т.е. в режим просмотра КС. Данный алгоритм не оптимален с точки зрения момента включения управления мощностью. Лучше производить управление мощностью в РК в процессе проверки связи. То же самое касается и проверки отношения сигнал-шум. Эти изменения позволяют уменьшить время занятости КС и, следовательно, уменьшить вероятность столкновения пакетов в КС.

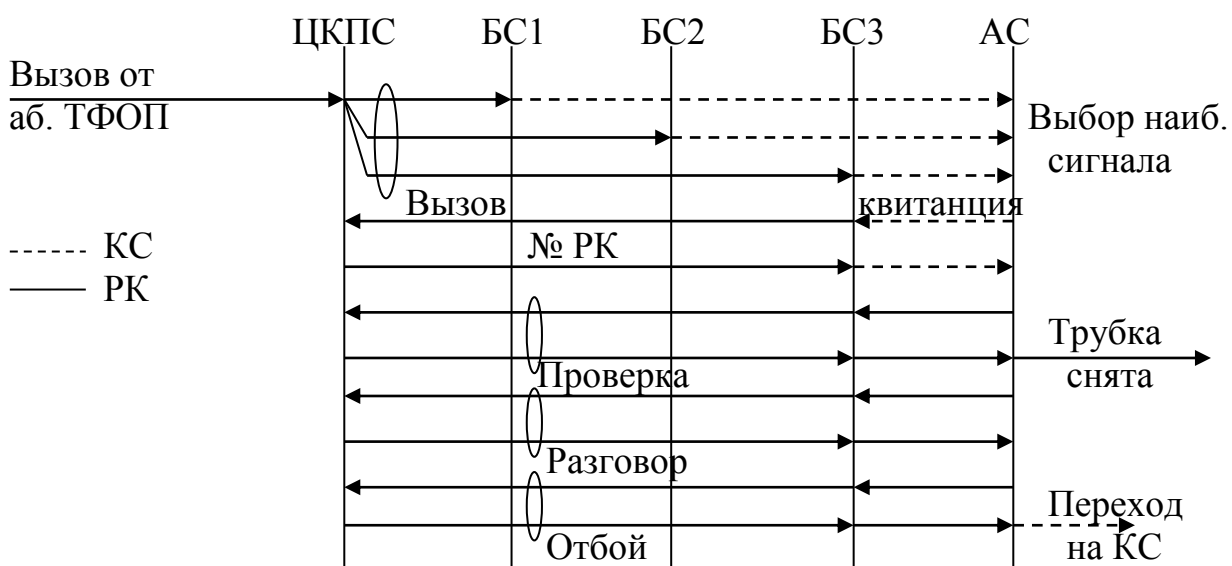


Рисунок 1.16- Установление связи по инициативе ЦКПС (КС – канал сигнализации, РК – рабочий канал)

### 1.5.2 Установление связи по инициативе АС

АС в дежурном режиме просматривает КС всех БС и при необходимости выхода на связь выбирает канал с наибольшим уровнем сигнала. По этому КС и передается запрос от АС.

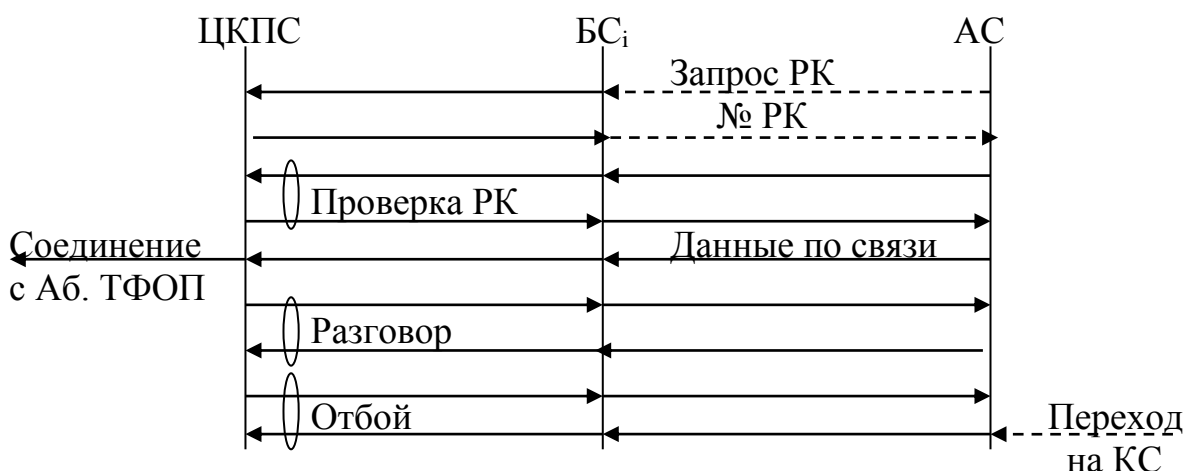


Рисунок 1.17 - Установление связи по инициативе АС

### 1.6.3 Эстафетная передача обслуживания АС

При ухудшении отношения сигнал-шум ЦКПС посылает по КС БС тестовые сигналы и выбирает БС с наилучшим отношением сигнал-шум, затем передает номер нового РК на АС и АС переходит на этот канал. Сигнал также переадресуется со старой БС на новую, которая передает его на РК, указанный ЦКПС. Недостатком такой схемы является явление «пинг-понга» – из-за интерференционных замираний и затенения отношение сигнал-шум для соседних БС на границах сот может сильно варьироваться в ту или иную сторону и происходит многократное взаимное переключение БС. Метод борьбы с этим для CDMA будет рассмотрен далее.[8]

## 1.7 Пути усовершенствования ССПС

Существует три пути усовершенствования:

Повышение пропускной способности ССПС без увеличения используемого ресурса.

Повышение надежности поддержания связи с АС.

Повышение скорости передачи.

### 1.7.1 Повышение пропускной способности ССПС

а) Снижение  $D/R_0$ .

Достигается за счет снижения допустимого отношения сигнал-шум (применение цифровых методов передачи, помехоустойчивое кодирование и модуляция). Другой способ применение секторного обслуживания сот:

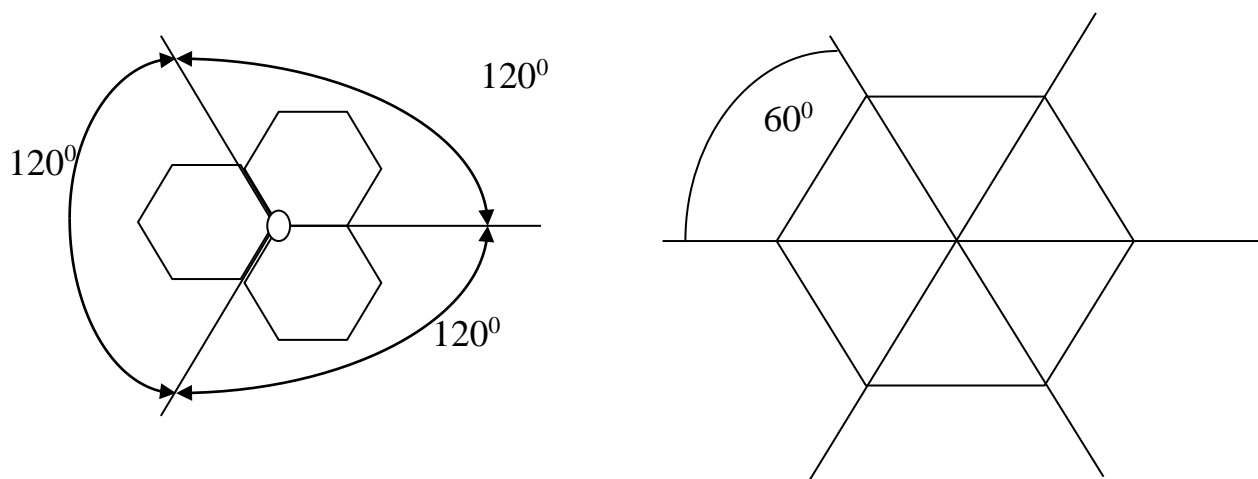


Рисунок 1.18 - Секторное обслуживание сот

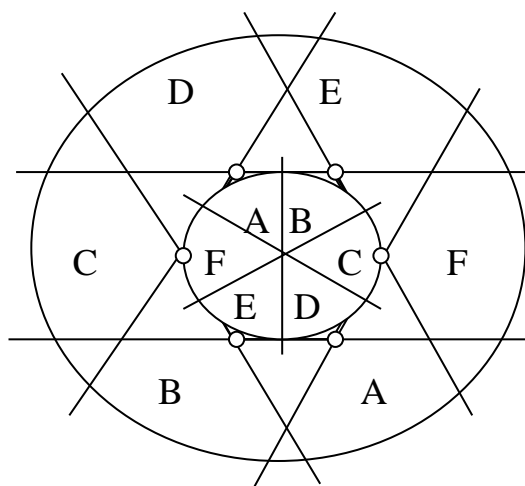


Рисунок 1.19 - Стокгольмский план расположения сот

В данном случае величина  $D/R_0$  получается минимально возможной (через одну ячейку), а также, за счет применения антенн с разной шириной ДН, перераспределяется пропускная способность между зонами с большей и меньшей активностью абонентов. Такой план позволяет обслуживать город с разделением на центральную деловую зону и периферийную зону спальных районов. Достигается при использовании CDMA, т.к. размерность кластера – единица, и вся полоса частот, отводимая на систему используется в каждой соте.

б) Увеличение числа одновременно работающих абонентских станций путем динамического распределения частотно-временного ресурса: пакетный режим передачи (коммутация пакетов) и предоставление РК в паузах речи другим абонентам (длительность пауз – до 45% от общего времени занятия канала).

в) Применение методов доступа к каналу эластичных к изменению нагрузки в канале. Обеспечивается при использовании CDMA.

Для узкополосных систем:

$$h^2 = \frac{P_c T}{N_0} \quad (1.4)$$

Для ШПС (CDMA):

$$h^2 = \frac{P_c T}{N_0 + \frac{\sum_i P_{ci}}{F}} = \frac{P_c T F}{P_{ui} + \sum_i P_{ci}} \quad (1.5)$$

Если число работающих АС велико, то сумма  $P_{ci}$  мало изменится при добавлении еще нескольких АС и, соответственно, мало уменьшится  $h^2$ . Таким образом, мы меняем ухудшение качества связи на увеличение пропускной способности. Другой путь состоит в обмене скорости передачи на количество абонентов.

$R=1/T \Rightarrow R_{\max} \Rightarrow (TF)_{\min} \Rightarrow M$  абонентов при  $F=\text{const}$ .

$R_{\min} \Rightarrow (TF)_{\max} \Rightarrow M+K$  абонентов, где  $K=\text{const}$ .

Скорость символов на выходе вокодера меняется в пределах 8...1бит/сек.

#### 1.7.2 Повышение надежности

а)Повышение устойчивости работы в канале с замираниями.

Для этого необходимо:

- осуществлять помехоустойчивое кодирование;
- перемежение символов.

При обработке возможно два подхода:

- автовыбор наиболее мощного сигнала луча и прием информации только по этому лучу;
- раздельная обработка нескольких лучей с последующим сложением результатов обработки. Этот метод обеспечивает выигрыш в несколько дБ. Обычно обрабатывают не более 3 – 4 лучей, что позволяет обеспечить выигрыш по сравнению с узкополосными системами порядка 10дБ и выше.

Для узкополосных систем TDMA-FDMA очень опасной является межсимвольная интерференция: непрерывный поток символов сообщения преобразуется в пакеты, занимающие одно окно в кадре. При этом скорость следования символов в пакете будет в  $T_{\text{кадра}}/T_{\text{пакета}}$  выше и длительность  $T_{\text{символа}}$  в пакете меньше или равна времени запаздывания между соседними лучами. Для борьбы с замираниями в этом случае используют перемежение символов и скачки по частоте. Кроме того применяют «эквалайзеры» – адаптивные фильтры, позволяющие подавить сигналы всех лучей кроме самого мощного.

Для настройки эквалайзера в составе каждого пакета передается обучающая последовательность, известная на приемном конце, и настройка

производится по критерию минимальной ошибки приема этой последовательности.

Кроме перечисленных методов широко используется прием на пространственно разнесенные антенны на БС.

б) Уменьшение вероятности срыва связи при эстафетной передаче.

Сбой связи при эстафетной передаче может возникнуть из-за неправильного выбора момента перехода обслуживания на другую БС. Повышение надежности эстафетной передачи может быть достигнуто за счет дублирования передачи информации к АС через 2 БС (через предыдущую и следующую). При этом решение об окончании эстафетной передачи принимает сама АС, сравнивая сигналы, поступающие от двух БС.



Рисунок 1.20- Эстафетная передача

В данном случае система не боится режима «пинг-понга», а вероятность потери связи при эстафетной передаче будет меньше, поскольку сигналы, несущие информацию, складываются между собой.

### 1.7.3 Увеличение скорости передачи.

Более высокая скорость передачи информации является обязательным требованием к ССПС 3-го поколения.

а) Параллельная передача сообщений по нескольким РК.

б) Переход к многопозиционной передаче.

в) Сочетание а) и б).

Для систем TDMA-FDMA эти способы имеют реализацию:

-используется несколько временных окон в кадре для использования одним абонентом – при этом снижается пропускная способность системы в целом;

-увеличение числа градаций фазы (2ФМ  $\rightarrow$  4ФМ  $\rightarrow$  8...16ФМ) – уменьшается помехоустойчивость.[11]

## **2 Выбор оборудования**

### **2.1 Радиорелейное оборудование**

При выборе радиорелейного оборудования, справедливо учесть тот факт, то что на данный момент лидером в производстве оборудования для сотовой связи является компания Ericsson, а значит что в условиях города Алматы, с его холодными зимами и жарким летом. Будет предпочтительней всего использование радиорелейного оборудования именно этой компании, а точнее Mini Link E.

Микроволновая радиоаппаратура MINI-LINK является составной частью большого и мощного ряда продукции Ericsson в области систем телекоммуникаций. Комплексный опыт Ericsson в области систем коммутации, сотовой и радиосвязи, а также организации сетей гарантируют высокое качество разработки проектов под ключ. Микроволновые радиосистемы MINI-LINK полностью интегрируются в существующие сети телекоммуникаций, принося в них новые уровни гибкости. Они представляют собой высоконадежные системы связи, вполне конкурентоспособную альтернативу проводной и оптоволоконной кабельной связи. MINI-LINK E и E Micro обеспечивают микроволновую передачу точка-точка с пропускной способностью от 2 до 34+2 (17x2) Мбит/с в частотных диапазонах от 7 до 38 ГГц. Ниже дана краткая характеристика этих систем.

MINI-LINK E содержит модуль доступа, расположенный в помещении, и наружный радиоблок с антенной. Такая конструкция обеспечивает гибкость и достаточную пропускную способность как на маленьких, так и на больших многотерминальных сайтах. Терминалы могут быть сконфигурированы для различных типов сетей: в виде звезды, дерева или кольца. Для обеспечения резервирования они могут быть сконфигурированы либо как системы 1+1, либо в виде кольца.

MINI-LINK E Micro является компактным полностью наружным терминалом, обеспечивающим минимальную общую стоимость сайта. Он обычно используется на конечных сайтах вместе с другим полностью наружным оборудованием. Мобильные сети связи в настоящее время являются наиболее обычной сферой использования MINI-LINK E и E Micro, где они развертываются в сетях радиосвязи с невысокой производительностью (Low Capacity Radio Access Network, LCRAN).

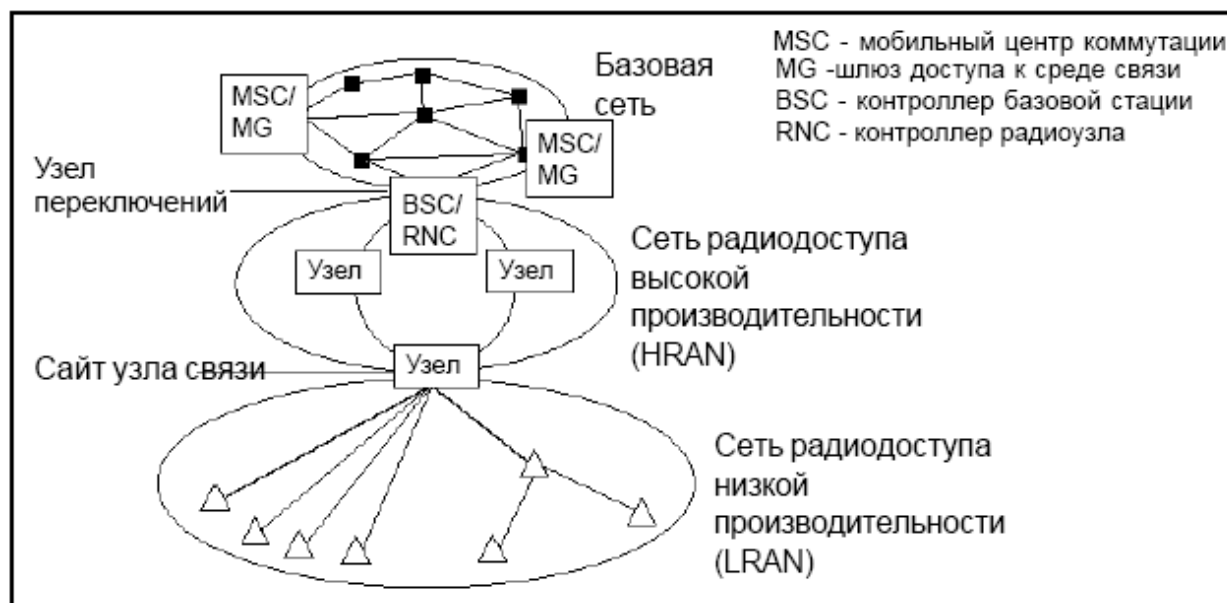


Рисунок 2.1 - Мобильная сеть связи

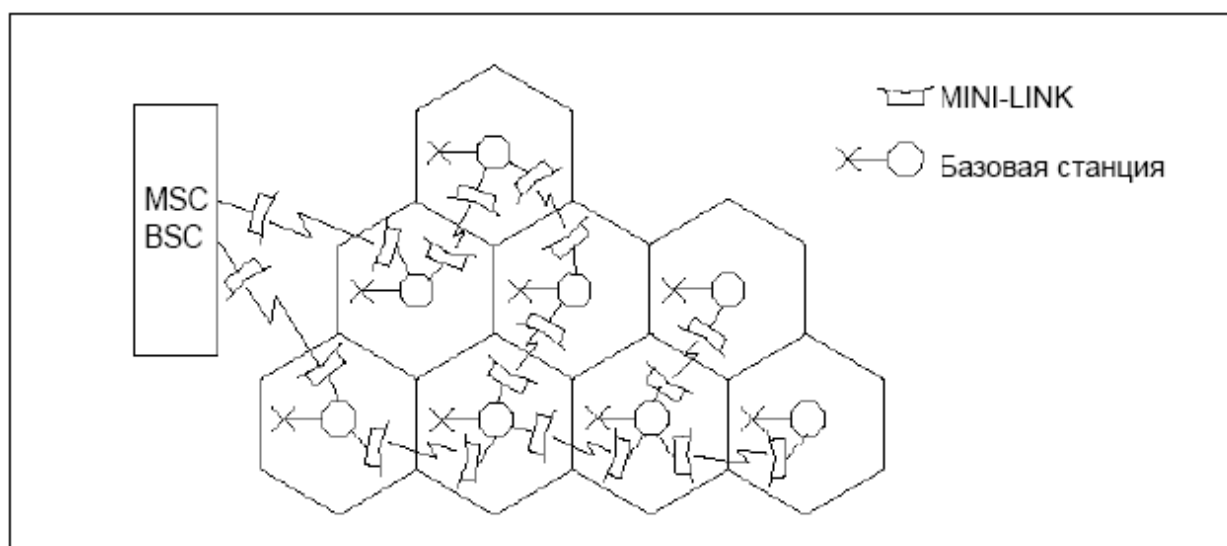


Рисунок 2.2- Пример мобильной сети, в которой аппаратура MINI-LINK осуществляет связь базовых станций с центрами коммутации

Приведенный ниже рисунок иллюстрирует использование аппаратуры MINI-LINK E и E Micro в сетях различной топологии.[13]

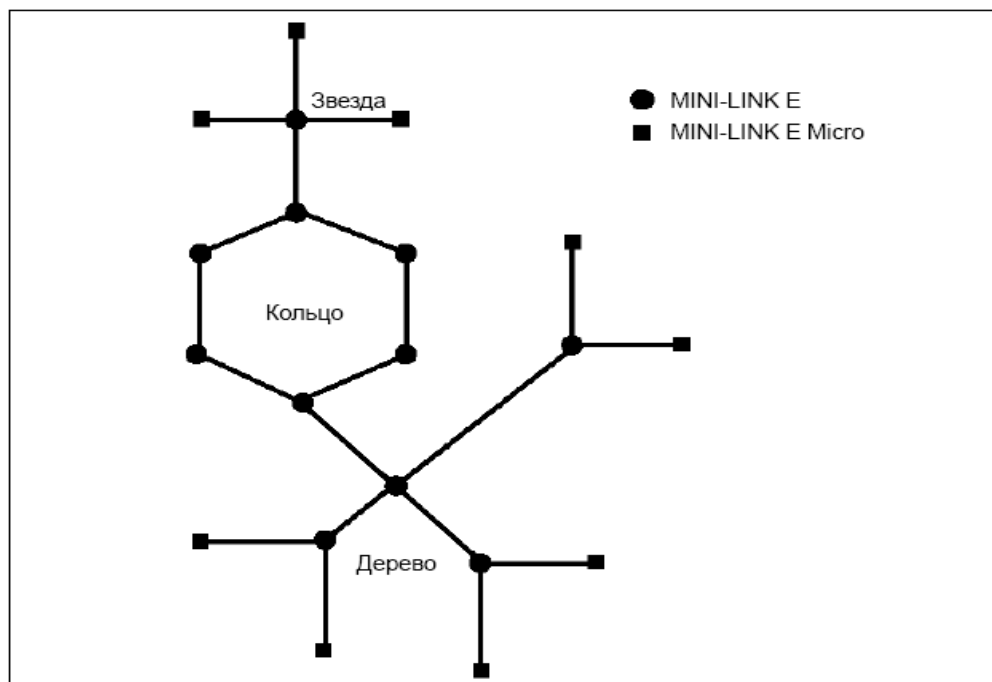


Рисунок 2.3 - Пример топологии сети

Следующие рисунки иллюстрируют применения аппаратуры в общественных и стационарных сетях связи.

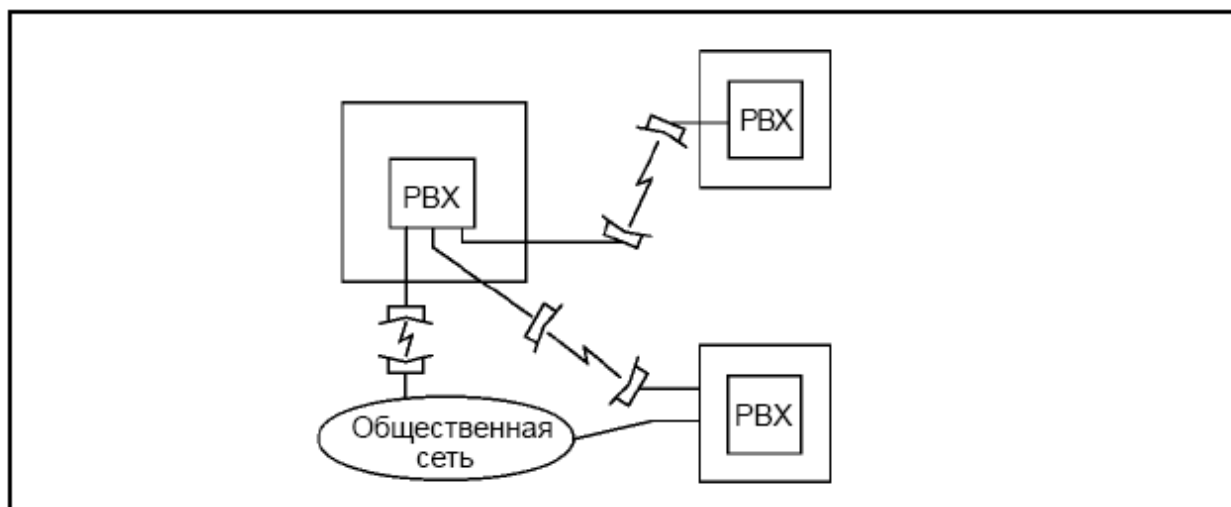


Рисунок 2.4- Пример общественной сети, в которой продукция MINI-LINK обеспечивает связь между основными сайтами

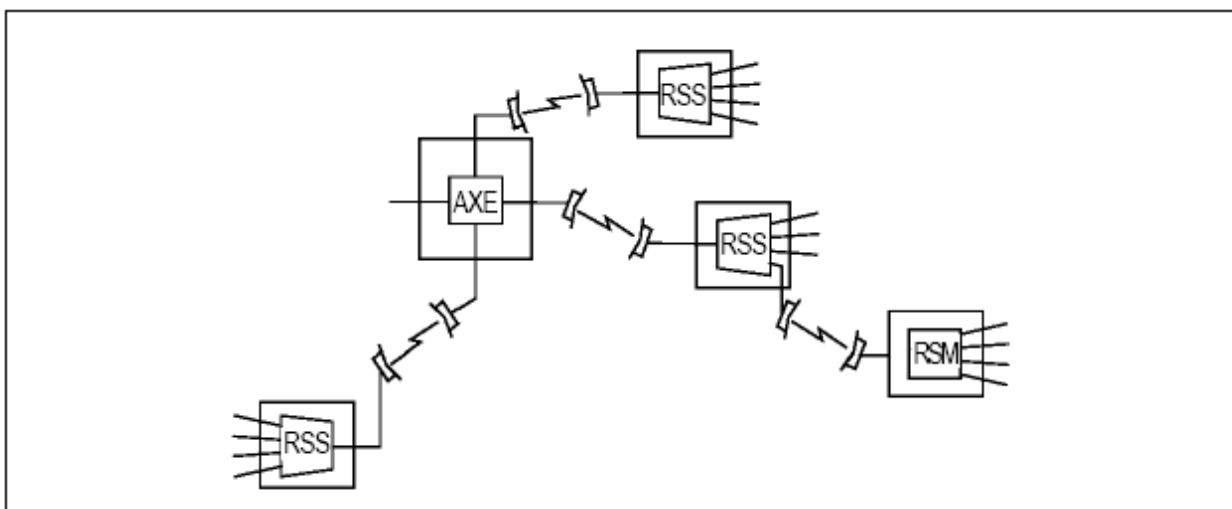


Рисунок 2.5- Пример стационарной сети, использующей системы AXE, в которых доступ к устройствам удаленных абонентов (RSS) обеспечивается с помощью аппаратуры MINI-LINK

#### 2.1.1 Технические характеристики

- Высокая компактность и унифицированность конструкций;
- радиоблок и антенна представляют собой интегрированную часть;
- наружной аппаратуры;
- высокие коэффициент усиления системы и эффективность;
- использования радиочастотного спектра благодаря применению;
- совершенных методов модуляции и кодирования;
- обеспечение скорости трафика от 2 до 17х2 (34+2) Мбит/с;
- программные средства, упрощающие процесс установки;
- совершенный менеджер элементов;
- стандартизованные интерфейсы;
- малый вес и низкое энергопотребление.

#### 2.1.2 Надежность

- Высокое среднее время наработки на отказ (MTBF);
- совместимость новой аппаратуры с выпущенной ранее;
- часть системного портфеля Ericsson;
- 30-летний опыт работы в области микроволновой связи;
- самое крупное в мире производство систем микроволновой связи;
- оборудование MINI-LINK может функционировать в экстремальных условиях.

#### 2.1.3 Услуги

- Ericsson обеспечивает возможность сдачи объектов под ключ;
- программы подготовки персонала по всему миру;
- всеобъемлющая техническая поддержка;
- локальное присутствие Ericsson более, чем в 140 странах.

#### 2.1.4 Компоненты системы



Рисунок 2.6 - Основные части терминала MINI-LINK E

Терминал MINI-LINK E состоит из наружной и внутренней частей. Кроме того, имеется целый ряд хорошо адаптированных к ним принадлежностей оборудования и программного обеспечения.

а) Наружная часть

Наружная часть полностью независима от скорости трафика и поставляется для различных частотных диапазонов. Наружная часть состоит из антенного модуля, радиоблока (RAU) и соответствующего установочного оборудования. Антенна и радиоблок могут устанавливаться совместно или раздельно. Для резервируемых систем (1+1) используются два радиоблока и одна или две антенны.

б) Внутренняя часть

Часть, устанавливаемая внутри помещения - модуль доступа, полностью независима от частотного диапазона и поставляется в различных версиях для разных скоростей трафика и конфигураций систем. Модуль доступа может обслужить до четырех радиомодулей. Внутренняя часть оборудования содержит блок модема (MMU) и устанавливаемых при необходимости блока ключей/мультиплексоров (SMU) и блока служебных каналов (SAU), все эти блоки размещаются в одном общем магазине модуля доступа. Для резервируемых систем используются два MMU и один SMU. Наружная и внутренняя части терминала соединяются одним коаксиальным кабелем.

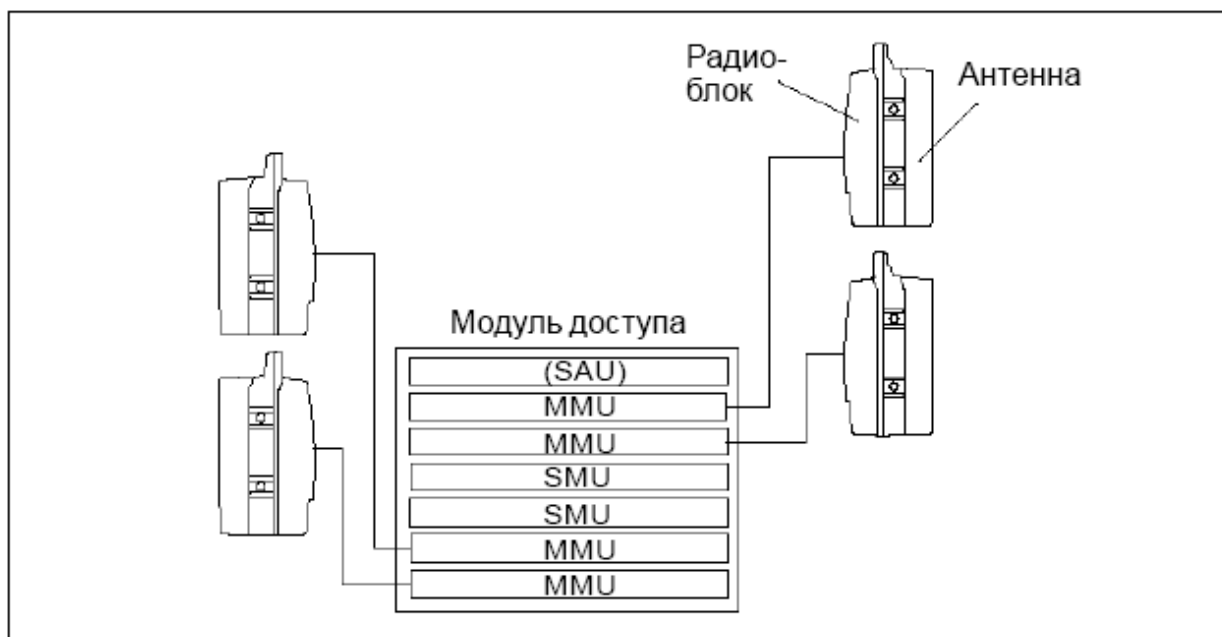


Рисунок 2.7- Многотерминальный сайт

#### 2.1.5 RAU1 - радиоблок

Радиоблок этого типа состоит из рамы, корпуса, микроволнового субблока и фильтра. Вертикальная рама имеет волноводный интерфейс для подключения к антенне.

В нижней части корпуса расположен разъем радиокабеля с интерфейсом для установленного внутри помещения блока модема (MMU) и тест-порт для юстировки антенны. Разъем для радиокабеля оснащен газоразрядными устройствами для защиты от разрядов молнии. Рабочий поддиапазон радиоблока в пределах одной группы поддиапазонов может изменяться заменой фильтра. [13]

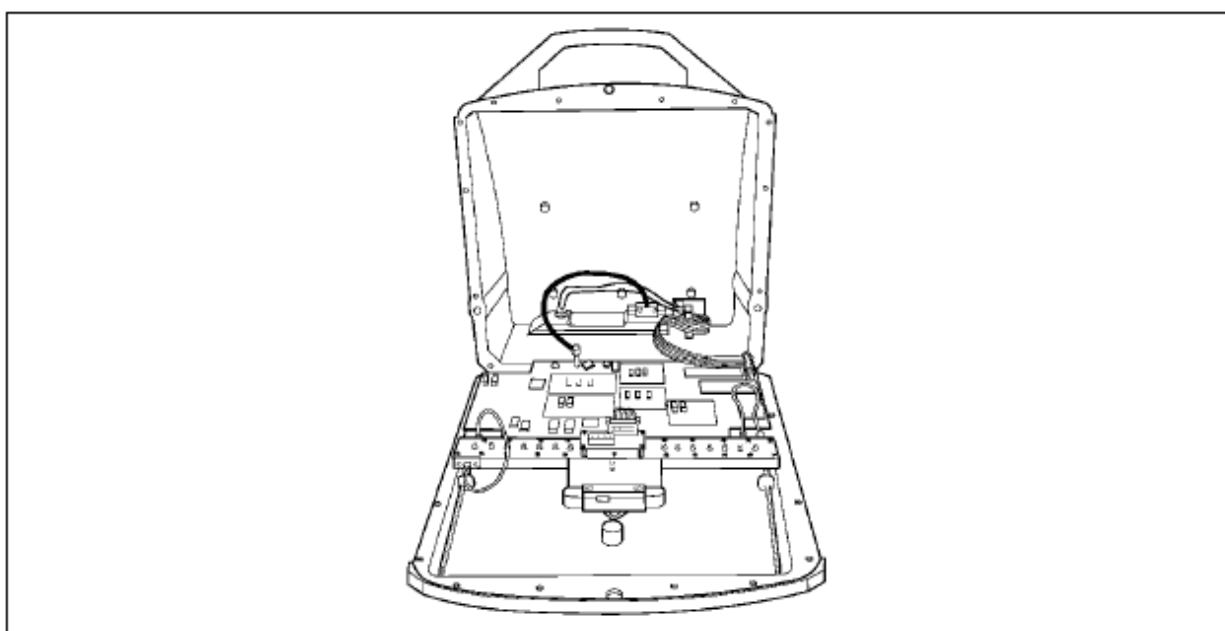


Рисунок 2.8 - Радиоблок RAU1

### 2.1.6 MMU -блок модема

MMU является размещаемым в помещении интерфейсом к радиоблоку.

Этот блок доступен в следующих вариантах:

- MMU с фиксированными значениями пропускной способности трафика:
- 2x2 Мбит/с;
- 4x2 или 8 Мбит/с;
- 2x8 Мбит/с;
- 34+2 Мбит/с;
- MMU с регулируемой пропускной способностью трафика: от 2 до 34+2 Мбит/с.

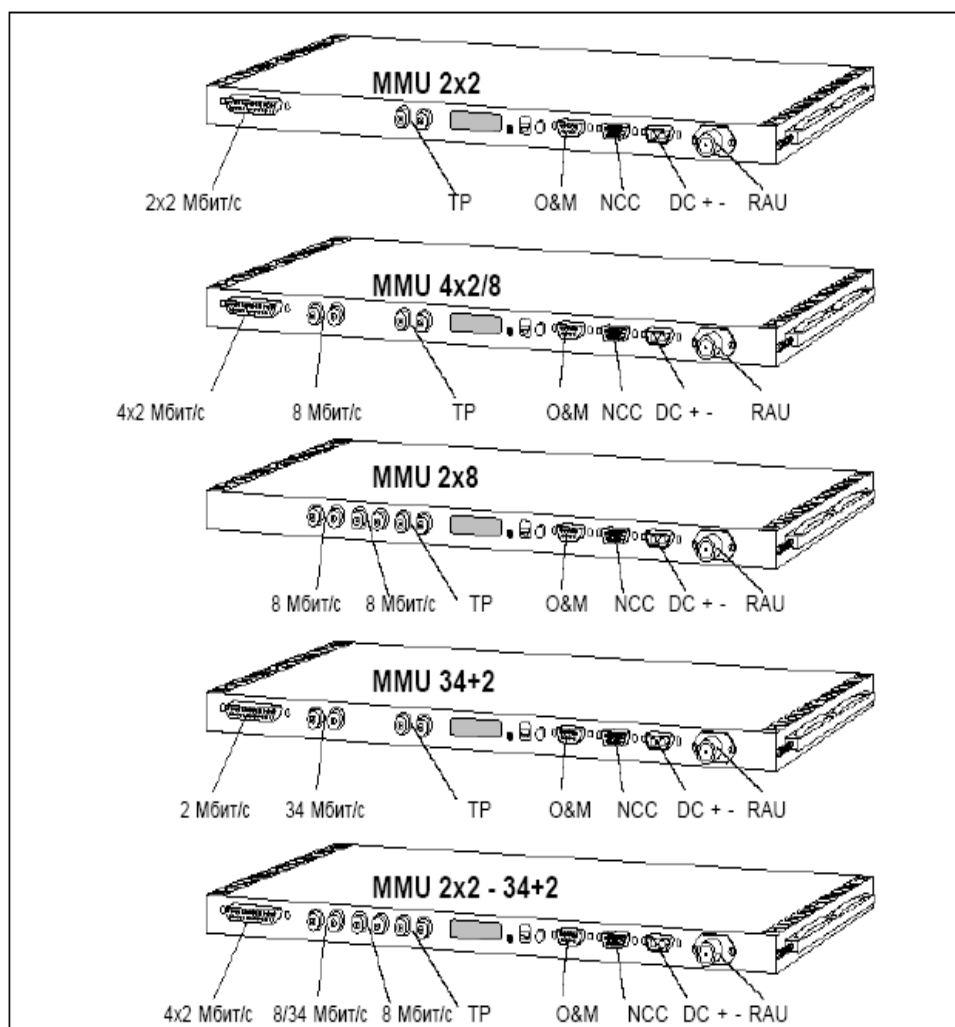


Рисунок 2.9 - Блоки MMU

Все MMU полностью независимы от частотного диапазона. Вместе с радиоблоком и антенной они выполняют все функции, необходимые для радиотерминала с указанной выше пропускной способностью трафика. Версия MMU 2x2 . 34+2 с регулируемой пропускной способностью трафика может работать при любой пропускной способности трафика,

обеспечиваемой версиями MMU с фиксированной пропускной способностью. Для установки пропускной способности трафика, которая производится локально на сайте, следует использовать ПО MSM версии 6.0 или более поздней. Использование этой версии MMU, следовательно, позволяет изменять пропускную способность трафика терминала без замены MMU.

#### 2.1.7 SMU - Блок ключей/мультиплексоров

SMU используется для обеспечения переключений в защищенной системе 1+1 и/или мультиплексирования/демультиплексирования каналов 2 Мбит/с.

Поставляется три различные версии SMU (SMU Sw, SMU 8x2 и SMU 16x2) для различных скоростей трафика.

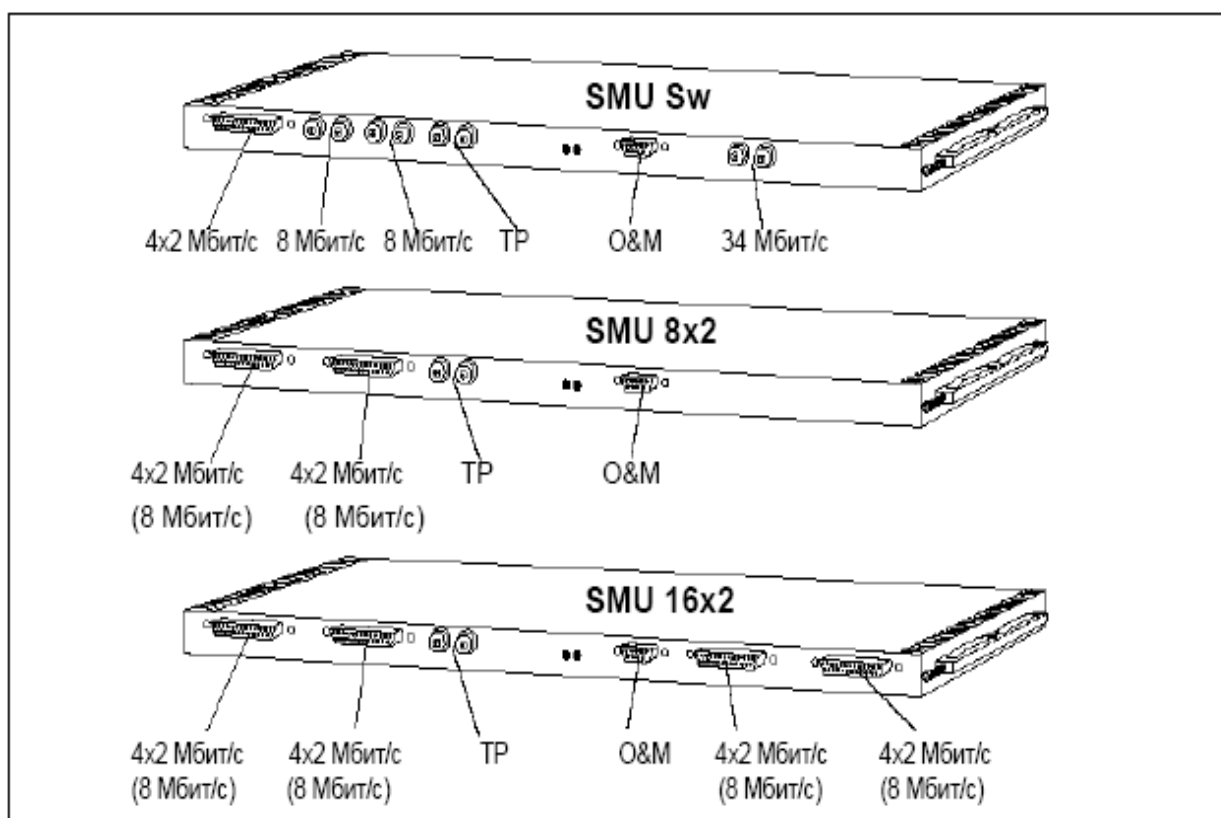


Рисунок 2.10 - Блоки SMU

Механические и электрические характеристики приведены в приложении А, А2, А3

#### 2.1.7 Антенны

Все размеры даны для антенн высокой эффективности (НР).

Таблица 2.1 - Механические данные антенн

Антенна	Размеры H x W x D [мм]	Максимальный вес [кг]	Максимальный вес с монтажным комплектom [кг]
0.2 м для RAU2/RTU	296 x 266 x 98	2.5	4.8
0.3 м для RAU2/RTU	382 x 382 x 185	5.6	9.2
0.6 м для RAU2/RTU	635 x 635 x 363	10.1	13.7
1.2 м для RAU2/RTU	1286 x 1286 x 591	25	49
1.8 м для RAU2/RTU	1914 x 1914 x 885	73	102
0.3 м для RAU1	382 x 382 x 189	7.3	10.9
0.6 м для RAU1	715 x 715 x 448 (7/8 ГГц) 635 x 635 x 340 (15 – 38 ГГц)	11.7	15.3
1.2 м для RAU1	1 286 x 1 286 x 600	26	50
1.8 м для RAU1	1914 x 1914 x 889	74	103
2.4 м	2 705 x 2 705 x 1 785 <sup>(1)</sup>	–	255
3.0 м	3 315 x 3 315 x 1 745 <sup>(1)</sup>	–	297

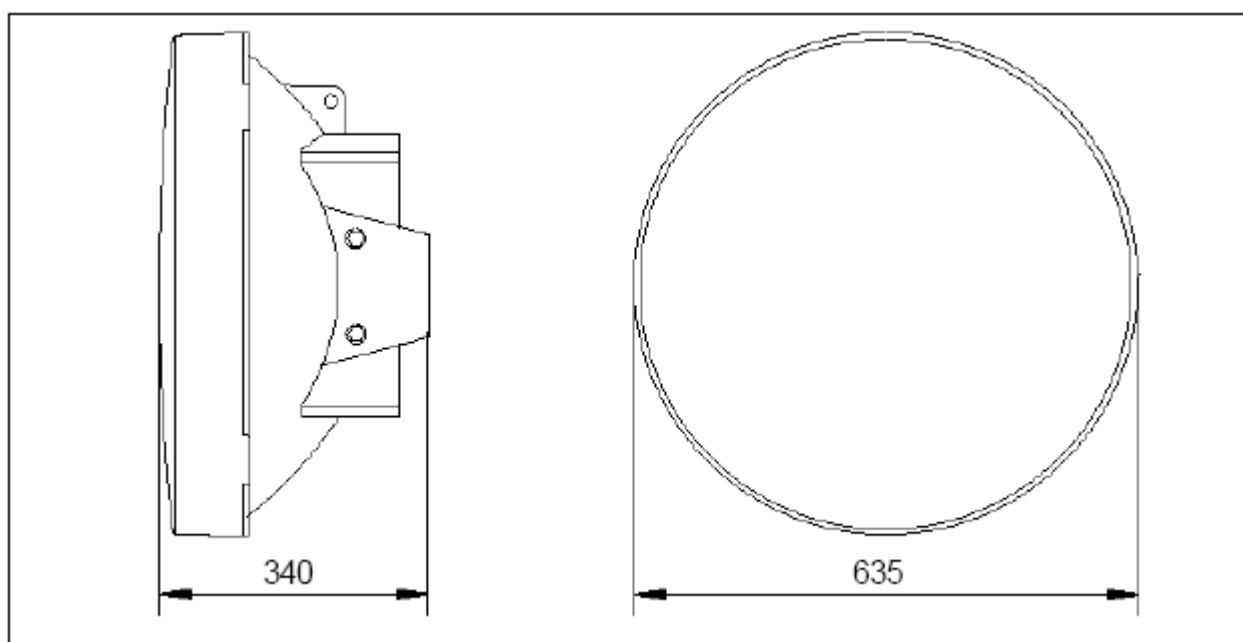


Рисунок 2.11 - Размеры 0.6 м компактной антенны для RAU1 (15 - 38 ГГц)

Механические и электрические характеристики приведены в приложении А1, А2, А3

## 2.2 Контролер BSC и транскодер TC

### 2.2.1 Контроллер Evolium

Контроллер базовых станций Evolium развивается в полном соответствии с потребностями заказчиков. Он представляет собой решение для мобильной связи, отвечающее вашим потребностям и способное наращиваться по мере роста и развития вашей сети. Этот контроллер может работать в разных

конфигурациях, занимая от одного до трех шкафов. Evolium™ позволяет внедрять новые услуги, не меняя базовую структуру мобильной радиосвязи, и тем самым защищает ваши прежние инвестиции.

Открытая модульная архитектура Evolium™ BSC позволяет гибко реагировать на меняющиеся потребности. Вы можете установить у себя любую конфигурацию от базовой до максимальной. В любом случае мы получаем одну из самых компактных конфигураций в отрасли.

- Базовая конфигурация. Один шкаф, до 128 приемопередатчиков (TRX) и 120 сот;

- добавление второго шкафа увеличит число приемопередатчиков до 288. Эта конфигурация может поддерживать до 214 базовых станций;

- третий шкаф увеличивает число приемопередатчиков до 448, а число базовых станций до 255;

- контроллер Evolium™ BSC и транскодеры поддерживают работу в разных диапазонах: GSM 900/1800 и GSM 1900. Конфигурации BSC предоставят вам все необходимое для расширения сетевой емкости и сетевых возможностей.

Шкафы Evolium™ BSC поставляются со всеми кабельными подключениями, что позволяет наращивать емкость без прерывания услуг. Добавление нового шкафа происходит быстро и легко благодаря простым процедурам[13]

подключения. Внутренние средства перекрестных соединений (кросс-коннектов) позволяют расширять и модифицировать топологию A-bis (добавлять приемопередатчики и/или базовые станции) с минимальным объемом работ на местах, что сокращает оперативные расходы.

Гибкость размещения контролеров. Субмультиплексирование интерфейса A-ter (BSC и TC) означает, что в случае необходимости транскодер (TC) может устанавливаться отдельно от контроллера. Когда транскодер и контроллер устанавливаются в разных местах, удаленный контроллер может функционировать как концентратор, сокращая расходы на передачу трафика между контроллером (BSC) и мобильным центром коммутации (MSC). Однако в районах плотной городской застройки операторам зачастую выгоднее размещать контроллеры, транскодеры и центры коммутации (MSC) в одной точке, чтобы сократить расходы на аренду рабочих площадей.

#### 2.2.2 Транскодер Evolium™

Компактный транскодер Evolium™ обладает высокой емкостью - 192 A-интерфейса и до 5600 Эрланг в максимальной конфигурации. Результат очевиден: больше информации в устройстве меньшего объема. Но производительность мало что значит без гибкости. Мы разработали компактный транскодер Evolium™ для того, чтобы упростить проектирование вашей сети. Возможность совместного использования полков позволяет подключать к одному транскодеру до 24 контроллеров базовых станций (BSC). Вывод: компактный транскодер Evolium™ может настраиваться на ваши потребности.

Сокращение расходов на передачу трафика. Контроллеры и транскодеры Evolium™ с усовершенствованной структурой субмультиплексирования позволяют значительно снижать расходы на передачу трафика. Субмультиплексирование в соотношении 4:1 позволяет контроллеру и транскодеру объединять четыре канала в одном тайм-слоте RSM30 64 кбит/с. Мультиплексируются как интерфейсы A-bis (базовая станция - контроллер), так и интерфейсы A-ter (контроллер - транскодер). Все это позволяет учетверить возможности передачи и поддержать кодирование речи с полной скоростью (Full Rate). Если кодирование производится с половинной скоростью (Half Rate), емкость передающих каналов увеличивается не в четыре, а в восемь раз.

Распределенная обработка и надёжное резервирование. Каким бы удачным ни был сетевой дизайн, он многое теряет, если не обеспечивает резервирования радиоканалов. Постоянная доступность каналов имеет критически важное значение. И в этом плане наилучшим решением является распределенная обработка и открытая аппаратная архитектура. Именно поэтому контроллер Evolium™ и компактный транскодер обладают полностью распределенной архитектурой и модульными аппаратными и программными средствами. Каждый модуль работает независимо от других и связывается с другими модулями с помощью коммутатора, самостоятельно выбирающего маршруты. Надежность критически важных функций (таких как управление ресурсами, операциями и поддержкой) повышают блоки, допускающие “горячую замену”. Контроллеры BCS отлично функционируют в полевых условиях даже в случае перегрузок.

Открытая технология. Контроллер базовых станций Evolium™ BSC разработан для того, чтобы расширять сетевую емкость и зоны покрытия, наращивать сеть и внедрять новые услуги. Этот контроллер обладает большими резервами процессорной мощности и может поддерживать гораздо более быстрые и сложные алгоритмы многоуровневых сотовых структур (концентрические соты, микросоты и многодиапазонные сети). Более того, внедрение технологии GPRS в контроллерах и транскодерах Evolium™ представляет собой весьма несложную задачу, которая заключается в небольшой модернизации программного обеспечения. Никаких аппаратных модернизаций для этого не требуется. В результате стоимость внедрения технологий GPRS и E-GPRS сводится к минимуму. Характеристики указаны в приложении В.[13]

### **2.3 Базовые станции BTS Evolium**

Базовая приемопередающая станция (Base Transceiver Station - BTS)(в сетях GSM) или Узел В (в сетях UMTS) безусловно является самым важным элементом сетей GSM и UMTS. С первых же дней существования вашей сети вам необходимо добиться максимального покрытия целевых районов и поддерживать высокое качество обслуживания абонентов. При этом нужно

иметь в виду, что постоянные расходы, связанные с эксплуатацией, поддержкой и модернизацией сотен или даже тысяч базовых станций, создают значительную нагрузку на бюджет и снижают прибыль. А любая задержка с выводом на рынок новых услуг может еще больше снизить прибыль и сократить рыночную долю компании. Качество и производительность базовых станций EvoliumTM поможет вам снизить общую стоимость приобретения участков, установки и обслуживания оборудования и в то же время ускорить предоставление услуг, что немедленно окажет положительное влияние на финансовые результаты вашего бизнеса. Поддержка множества стандартов на базовой станции имеет большое значение для операторов сетей UMTS. Эта важнейшая функция защищает инвестиции, вложенные в сети GSM, позволяет свободно разворачивать сети UMTS, сокращает стоимость построения сетей UMTS, оптимизирует аппаратные конфигурации и сокращает эксплуатационные расходы.

#### 2.3.1 Мультистандартные базовые станции

Для полного удовлетворения требований в области гибких, мультистандартных сетевых решений Alcatel предлагает оборудование нового поколения: мультистандартные базовые станции (MBS) EvoliumTM. Базовая станция EvoliumTM MBS представляет собой набор базовых модулей, которые позволяют строить независимые сети GSM, независимые сети UMTS и комбинированные сети GSM/UMTS. И все это – с помощью одного и того же устройства. Мультистандартные базовые станции EvoliumTM для технологий GSM и/или UMTS поддерживают быстрое и беспрепятственное развертывание и расширение сетей. Они помогут вам сократить капитальные и текущие расходы. Более того, мы сможем увеличить доходы и повысить удовлетворенность заказчиков за счет внедрения новых усовершенствованных услуг, опирающихся на возможности технологий GPRS, EDGE и UMTS. Если вы имеете сеть GSM и переходите на стандарты UMTS, решение EvoliumTM MBS защитит наши инвестиции, вложенные в GSM, и поможет интегрировать оборудование GSM в новую среду. Это позволит сократить расходы и быстро развернуть сеть UMTS. Если же мы создаем сеть UMTS с нуля, базовые станции EvoliumTM MBS позволят добавить оборудование GSM на более поздних этапах, чтобы оптимизировать конфигурацию в той или иной точке.

#### 2.3.2 Характеристики станции

- Стандартная выходная мощность 35W/45W для GSM 1800/GSM 900;
- чувствительностьприемника превышает стандарты GSM (-111 dBm);
- маломощный приемопередатчик (60W)для GSM 1800;
- набор для увеличения дальности связи (Range Extension Kit), расширяющий зоны покрытия в сельской местности для GSM 900;
- динамический контроль мощности для прерывающихся процессовпередачи и приема (DTX и DRX);[9]

- синтезируемая перестройка частот (Synthesized Frequency Hopp-ing) в качестве стандартной функции;
- оптимизированный интерфейс A-bis со схемами субмультипликации для поддержки большого количества базовых станций и приемопередатчиков в многоточечных конфигурациях;
- алгоритмы избирательного шифрования;
- работа с одной или несколькими антеннами \* Обработка голоса по стандартам Dual-Rate, Enhanced Full-Rate и Adaptive Multi-Rate;
- возможность построения многодиапазонной соты на одной стойке. Это значит, что с помощью одной существующей стойки вы можете поддерживать работу в двух диапазонах (GSM 900/1800);
- поддержка многодиапазонных сот;
- внедрение GPRS без изменений аппаратной части (только за счет загрузки нового программного обеспечения);
- все приемопередатчики совместимы со стандартами GSM/GPRS/EDGE. Эта функциональность активируется простой;
- избыточность всех модулей, предназначенных для обработки трафика;
- поддержка мультистандартного Узла В на одной стойке. Это значит, что вы можете поддерживать сети GSM и UMTS, используя для этого одну-единственную существующую стойку;
- низкое энергопотребление, характерное для всех мультистандартных базовых станций EvoliumTM, значительно сокращает текущие расходы, связанные с эксплуатацией оборудования UTRAN (менее 700W на 3 сектора, без TXdiv).

### 2.3.3 Преимущества мультистандартных базовых станций

Если мы развертываем сеть UMTS поверх имеющейся сети GSM или создаем сеть UMTS с нуля, базовые станции EvoliumTM MBS обеспечат нам высокую производительность, модульность, оптимальную компактность, высокую доступность, отличную надежность, простую техническую поддержку и оптимизированные функции.

#### Модульная структура

Модульность и масштабируемость EvoliumTM MBS позволяет легко адаптировать емкость каждой соты к реальным объемам трафика. Отличная производительность, расширяемая емкость и простая настройка – все это означает, что нам потребуется меньше оборудования для поддержки реальной мультистандартной среды. Всего 4 базовых модуля позволяют создавать самые разнообразные конфигурации GSM или UMTS, а с помощью 6 базовых модулей вы сможете создавать по-настоящему мультистандартные конфигурации с использованием как GSM, так и UMTS.

#### Оптимальная компактность.

Компактные и эффективные базовые станции EvoliumTM сокращают расходы на приобретение участков и установку оборудования. Всенаправленные и секторные конфигурации позволяют иметь до 6 секторов, а площадь, занимаемая базовой станцией, составляет всего 0,27 кв.м. (при

установке в помещениях). В станцию можно интегрировать дополнительное передающее оборудование (HDSL или РРЛ). Evolium™ MBS – это отличное решение как для внешней установки, так и для установки в помещениях. Для UMTS и мультистандартных конфигураций мы поддерживаем до 24 сот на стойку и по 4 частоты на усилитель РА и антенный модуль. При мощности 20 ватт объем устройства составляет 43 куб.дм. на соту, а при мощности 10 ватт – 21 куб.дм. на соту. В конфигурациях для сетей GSM поддерживается до 12 приемопередатчиков на стойку.

Повышенная доступность.

Механизмы защиты позволяют повысить доступность отдельных устройств и всей радиосети. Одновременно поддерживаются сразу две версии программного обеспечения, что позволяет быстро загружать новые версии, не прерывая обслуживания абонентов. Аккумуляторные батареи обеспечивают непрерывное обслуживание даже в случае перебоев в сети переменного тока. В многоточечных конфигурациях GSM в случае отказа мост интерфейса A-bis автоматически направляет трафик на следующую базовую станцию.

Высокая надёжность.

Надежность означает сокращение расходов. Мультистандартные базовые станции Evolium™ созданы для поддержки оптимальной надежности. Отказоустойчивые блоки обеспечивают максимальные параметры наработки на отказ и поддерживают автоматическое восстановление. Резервные батареи позволяют работать при временном отсутствии питания от сети переменного тока.

Простота технического обслуживания.

Все семейство мультистандартных базовых станций Evolium™ для установки внутри и вне помещений построено из ограниченного количества стандартных модулей. В результате специалисты по снабжению могут быстрее получить необходимые запчасти и не держать большие запасы на складах. Кроме того, базовые станции имеют ряд специальных функций, облегчающих техническое обслуживание. Программы автоматического тестирования постоянно следят за функционированием оборудования, а средства удаленного анализа предоставляют специалистам полные данные о текущей конфигурации. Прочие функции, имеющие отношение к техническому обслуживанию, включают мониторинг антенн VSWR, доступ через переднюю панель, простоту установки новых модулей, беспрепятственную замену вентиляторов и быструю модернизацию (переход от традиционной конфигурации GSM к мультистандартной системе GSM+UMTS занимает меньше часа).

Базовые станции для установки в помещениях.

Мультистандартные базовые станции Evolium™ для установки в помещениях поставляются в так называемых “малых” шкафах, предназначенных для максимальной экономии рабочих площадей, и

“средних” шкафах, обеспечивающих более высокую мощность при достаточной компактности. Таким образом, мы можете обрабатывать возрастающие объемы трафика с помощью базовых станций различной мощности и обеспечивать связь в самых сложных условиях: в перенасыщенных деловых центрах, городских районах и торговых залах.

Малый шкаф для установки в помещениях.

Размеры "малого" шкафа для установки в помещениях примерно такие же, как у бытовой посудомойки, что позволяет устанавливать его в помещениях, недоступных для конкурирующих продуктов. Шкаф высотой в 130 см вмещает 3 внутренних стойки (subracks) и занимает площадь 0,27 кв.м. Существует две версии этого шкафа: одна для питания от постоянного, другая – от переменного тока. Резервные аккумуляторные батареи обеспечивают непрерывную работу в случае перебоев в сети питания.

Средний шкаф для установки в помещениях.

“Средний” шкаф для установки в помещениях представляет собой самое компактное и мощное мультистандартное решение, имеющееся на рынке. При высоте 194 см он вмещает 5 внутренних стоек (subracks) и занимает площадь 0,27 кв.м. Существует две версии этого шкафа: одна для питания от постоянного, другая – от переменного тока. Резервные аккумуляторные батареи обеспечивают непрерывную работу в случае краткосрочных и даже длительных перебоев в сети питания. Емкость “среднего” шкафа в полной конфигурации достаточна для поддержки больших объемов трафика в плотных зонах покрытия GSM и UMTS. Этот шкаф можно устанавливать в любых зданиях, в том числе и не принадлежащих оператору связи.

Шкаф для наружной установки.

Шкафы для наружной установки могут работать в самых суровых климатических условиях. Для расширения емкости сети нужно просто добавить еще один шкаф. Компактные шкафы, устойчивые к климатическим воздействиям и атакам вандалов, легко вписываются в самую разную среду. Малый вес шкафов позволяет обойтись без специального подъемного оборудования, что значительно облегчает и ускоряет процесс установки. Доступ и подводка кабелей через переднюю панель облегчают техническое обслуживание. При желании в этом шкафу можно также разместить оптические терминалы, ультракоротковолновые передатчики и устройства LMDS или HDSL. Кроме того, в шкафу предусмотрено место для опционной резервной батареи.

Малый шкаф для наружной установке.

“Малый” шкаф для наружной установки имеет встроенный теплообменник и закрытую систему циркуляции воздуха. Он способен беспрепятственно функционировать в самых суровых климатических условиях. Эта легкая конструкция монтируется на стальной или бетонной основе. Подводка кабелей осуществляется с левой стороны (сверху или снизу). Такую базовую станцию можно установить практически повсюду.

Технические характеристики в приложении В

## 2.4 MFS Evolium предоставление услуг GPRS

Сервер Evolium Multi-BSS Fast Packet Server (MFS) – это “GPRS , в коробке” это значит, что мы получаем выделенное аппаратное решение для радиооборудования GPRS с одним сервером MFS на каждый сайт MSC. Внедрение Evolium MFS проходит легко и беспрепятственно. Сервер MFS включает все оборудование GPRS и поддерживает все функции радиорелейной связи, необходимые для этой технологии. Блок управления пакетами (Packet Control Unit - PCU) служит для управления функциями GPRS в подсистемах базовых станций: сегментацией и планировкой пакетов, распознаванием ошибок при передаче, автоматической повторной передачей данных и т.д. Интерфейс Gb служит для связи между сервером MFS и опорной сетью GPRS. Развёртывание магистрали GPRS в сети включает в себя:

- установку сервисного узла GPRS (SGSN), который служит для связи с подсистемой базовых станций и поддерживает мобильность GPRS, шифрование и биллинг;
- установку шлюзового узла GPRS (GGSN), который служит для связи с внешними сетями пакетной передачи данных.

Для голоса и данных мы будем использовать один и тот же регистр домашних пользователей / центр аутентификации (HLR/AUC). Он потребует лишь небольшой модернизации программного обеспечения. Средство Alcatel HLR/AUC является лучшим в отрасли. Если аналогичные средства иных компаний не могут осуществить миграцию к технологии GPRS, системы HLR/AUC переходят к технологии GPRS гораздо легче, чем иные системы.

Каждый сервер Evolium MFS оборудован одной или двумя полками. На каждой полке помещается до 11 плат GPU (GPRS Processing Unit - платы обработки трафика GPRS). Каждая плата GPU поддерживает один контроллер базовых станций (BSC). Полностью загруженный сервер Evolium™ MFS поддерживает до 22 контроллеров BSC. Таким образом, мы получаем очень гибкую систему.

- 1 плата GPU поддерживает 1 контроллер BSC;
- 1 плата GPU поддерживает до 16 каналов PCM со скоростью 2 Мбит/с;
- полоса пропускания составляет до 160 Кбит/с на несущую частоту (код каналов CS-4). Одни и те же радиоканалы могут использоваться несколькими мобильными станциями; каждая несущая частота имеет до 8 тайм-слотов. Управление голосом четко отделяется от управления данными. И, разумеется, в каналах GPRS поддерживается функция перестройки частоты (Radio Frequency Hopping). Все элементы MFS и SGSN отличаются высокой избыточностью. В результате вероятность системного отказа близка к нулю. Связь между MFS и SGSN является весьма гибкой. Интерфейс Gb дает нам три опции. Мы можем выбирать между промежуточной сетью Frame Relay; прямой связью “точка-точка” и промежуточными сетевыми элементами, такими как MSC и транскодерами. При внедрении услуг передачи данных

очень важно позаботиться о биллинге. Шлюз биллинга Alcatel GPRS Charging Gateway является весьма эффективным решением. Вы получаете надежное средство сбора CDR в реальном времени от MSC, SGSN и GGSN. Оно совместимо с любыми дополнительными операторскими услугами (Operator Supplementary Services - OSS). Для управления всей опорной сетью (причем управления легкого и простого) используется центр управления и обслуживания GPRS (OMC-G - Operation & Maintenance Center-GPRS). В итоге, легкое и простое внедрение системы Alcatel GPRS и ее высокая масштабируемость, а также оптимизация ваших радиоресурсов - все это делает решение Evolium™ GPRS не только полным, но и весьма экономичным. При внедрении решений Evolium™ GPRS дополнительные расходы на радиооборудование составят всего 5% начальных инвестиций в подсистемы базовых станций (BSS). Кроме того, наши инвестиции легко оптимизируются, поскольку наше решение хорошо масштабируется. Мы будем просто наращивать свою емкость по мере роста спроса. Серверы MFS могут одновременно поддерживать работу до 5280 активных радиоканалов пакетной передачи данных (Packet Data Channels - PDCH). Модульная архитектура нашего решения позволяет использовать одни и те же платы GPU и в серверах MFS, и в сервисных узлах SGSN. Если нужна дополнительная емкость. Просто вставьте в слот новую карту. Узел SGSN может поддерживать до 450 тысяч абонентов. Шлюзовый узел GGSN может поддерживать 180 тысяч активных абонентов и коммутировать их трафик со скоростью 70 Мбит/с. При этом голос и данные мультиплексируются в одних и тех же транках. Существующие каналы A-ter и A-interface могут также использоваться для GPRS (что дает большую экономию), благодаря разделяемым каналам передачи. Все это позволяет с максимальной эффективностью пользоваться инвестициями, вложенными в существующие средства передачи. И, разумеется, в сетях GPRS тоже могут использоваться выделенные линии. Структурная схема MFS показана в приложении Д.

EDGE – модуляция.[7]

Сеть радиодоступа и опорная сеть может полностью перейти на стандарты IP и коммутацию пакетов. Все базовые станции Evolium™ уже готовы к гладкому переходу на EDGE. Кроме того, в конце 2000 года Alcatel ввел новый стандарт для приемопередатчиков, подразумевающий одновременную аппаратную поддержку трех технологий: GSM, GPRS и EDGE.

Это значит, что в течение следующих лет, когда операторы будут уплотнять свои сети и наращивать их емкость, они смогут внедрить EDGE в каждой соте (для этого достаточно установить один приемопередатчик EDGE в каждой соте). Поэтому для внедрения E-GPRS в сети радиодоступа Evolium™ Radio вам потребуется просто загрузить программное обеспечение. Посещать площадки и приобретать новое оборудование не нужно.

## 2.5 Беспроводные виды доступа в Интернет

Если вам не везет и вы живете в месте, где никто не хочет делать кабельную инфраструктуру, или Интернет нужен в удаленном месте эпизодически, – то вам могут помочь только беспроводные виды доступа в интернет.

Беспроводные виды доступа по соотношению цена/качество в настоящий момент даже близко не приближаются к проводным видам выхода в Интернет. Пока существующие технологии не могут дать нормальный высокоскоростной интернет по доступным ценам для массового пользователя. Не существует пока таких. Но решить проблему в единичных и не массовых случаях возможно.

Мобильные операторы 3G и операторы 4G

Самым быстрым из предлагаемых на рынке беспроводных подключений для массового пользователя можно назвать Yota – 4G оператор, работающий по технологии "мобильный WiMax". По данной беспроводной технологии скорость доступа в Интернет может достигать 10 Мбит/с и до 3 Мбит/с в обратном канале. В реальных условиях все, конечно, зависит от расстояния до базовой станции и от количества абонентов, находящихся в зоне покрытия



Рисунок 2.12- Схема подключения мобильного оператора 3G и операторы 4G

этой самой базовой станции. Иногда скорость бывает хуже, чем у мобильных операторов. Для подключения необходим WiMax модем или ноутбук/коммуникатор со встроенным WiMax модулем.

В случаях, когда нормального проводного интернета нет, а он позарез нужен, – можно использовать и 3G операторов мобильной связи, например Скайлинк, Билайн, МТС и Мегафон. Скайлинк работает по технологии CDMA EV-DO, Мегафон, МТС и Beeline – по HSDPA.

Для подключения к данной услуге необходимо иметь 3G (HSDPA) модем, или телефон с поддержкой HSDPA, если использовать телефон в качестве модема.[7]

Пользоваться этим для постоянной работы в Интернете и для загрузки больших объемов информации проблематично – так как большинство операторов 3G ограничивают как количество трафика, так и скорость загрузки при достижении определенных лимитов трафика.

### 3 Расчет основных элементов

#### 3.1 Расчёт базовых станций

Необходимые данные для расчета:

- Сотовая сеть подвижной радиосвязи;
- площадь города — 340 кв. км;
- поверхностная плотность подвижных абонентов — 30000;
- стандарт — GSM 1800;
- полоса частот, выделенная в городе для передачи сигнала к БС (или число каналов) — 7,2 МГц;
- допустимая вероятность блокировки вызова в сотовой сети 0,02

Определим общее число частотных каналов, выделяемых для развертывания сотовой сети в данном городе.

$$n_k = \text{int}(F / F_k) = \text{int}(7.2 \cdot 10^6 / 200 \cdot 10^3) = 36 \quad (3.1)$$

Где F-полоса частот, а F<sub>k</sub>-ширина полосы канала связи для определения необходимой размерности кластера K воспользуемся таблицей 3.1:

Таблица 3.1 - Конфигурация антенного оборудования

Вариант конфигурации антенного оборудования	Количество сот в кластере	Количество секторов в соте	Количество частот в секторе
Круговая OMNI	9	-	1
Круговая OMNI	7	-	1
Секторная 120 град	3	3	1
Секторная 60 град	3	6	1
Секторная 120 град	4	3	1
Секторная 120 град	4	3	2

Выберем размерность кластера K=4 и антенны с 120° диаграммой направленности (M=3) и количеством частот равных двум на каждом секторе.

При этом относительное расстояние повторного использования частотных каналов равно:

$$q = D / R = \sqrt{3K} = 3.464 \quad (3.2)$$

где D-расстояние между сотами с повторяющимися частотами, R-радиус соты.

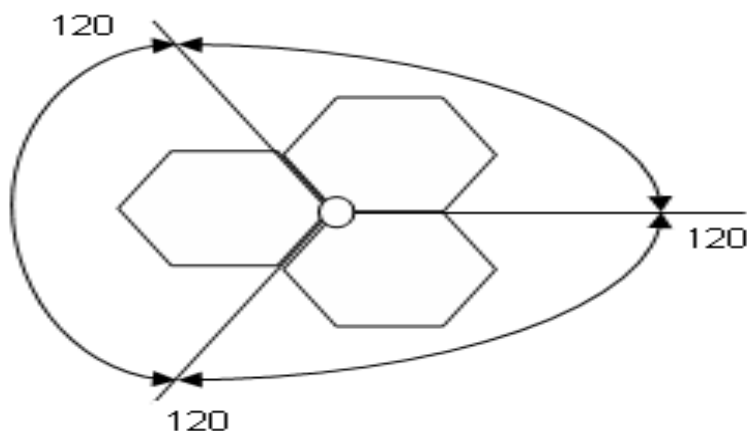


Рисунок 3.1 – Трехсекторная базовая станция

На мачте обычно присутствует три антенны, однако они могут быть и разнесены по углам здания. Каждая из них обслуживает сектор в 120 °. Размеры: длина 129 см, ширина 26, толщина 10 см. Добротность - 15,5 dBi. Секторные антенны обычно наклонены к поверхности горизонта. Этот угол может составлять 2-6 °. В силу своей направленности, а также определенного наклона у антенны формирует так называемый основной луч, который достигает поверхности земли на определенном расстоянии. Именно поэтому, вне зоны главного луча, а также у подножия антенны уровень электромагнитного излучения будет мал. С увеличением расстояния от антенны плотность потока уменьшается, что иллюстрирует следующий рисунок.

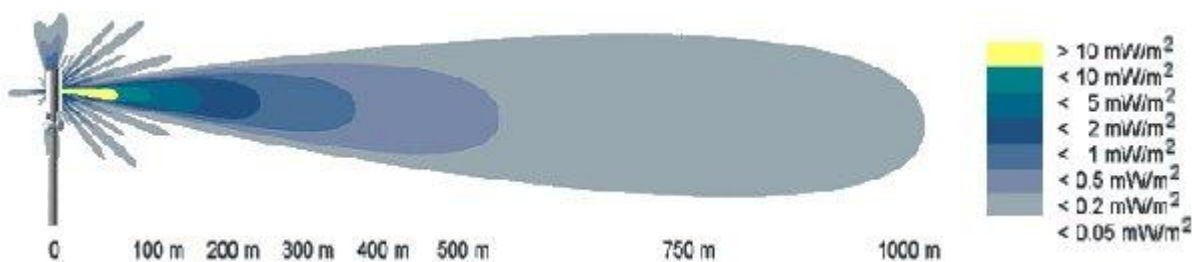


Рисунок 3.2-Зависимость плотности потока от расстояния

Рассчитаем коэффициенты  $\beta_i$ , определяющие медианное значение затухания радиоволн на  $i$ -ой трассе распространения помехи.

В данном случае ( $M=3$ ):

$$\begin{aligned}\beta_1 &= (q + 0.7)^{-4} = 3.33 \cdot 10^{-3}; \\ \beta_2 &= q^{-4} = 6.944 \cdot 10^{-3};\end{aligned}\tag{3.3}$$

Определим эквивалентные параметры помехи  $\alpha_e^2$ ,  $\beta_e$  и  $\alpha_p$ :  
где  $\alpha$ -отклонение флуктуаций сигнала,  $\alpha=6$  дБ.

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \cdot \ln \left\{ 1 + \left[ \exp(\gamma^2 \cdot \alpha^2) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^1 \beta_i^2}{\left( \sum_{i=1}^1 \beta_i \right)^2} \right\}; \quad (3.4)$$

где  $\gamma = 0.1 \cdot \ln(10) = 0.23$ ;

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0.23^2} \cdot \ln[1 + (\exp(0.23^2 \cdot 6^2) - 1) \cdot \frac{((3.33 \cdot 10^{-3})^2 + (7 \cdot 10^{-3})^2)}{(3.33 \cdot 10^{-3} + 7 \cdot 10^{-3})^2}] = 27;$$

$$\beta_e = \beta_i \cdot \exp \left\{ \gamma^2 \cdot \frac{\alpha^2 - (\alpha_e)^2}{2} \right\}; \quad (3.5)$$

$$\beta_e = (3.33 \cdot 10^{-3} + 7 \cdot 10^{-3}) \cdot \exp(0.23^2 \cdot \frac{6^2 - 27}{2}) = 0.013;$$

$$\alpha_p^2 = \alpha^2 + \alpha_e^2 = 6^2 + 27 = 63 \quad (3.6)$$

$$\alpha_p = \sqrt{63} = 7.9$$

Определяем среднее значение сигнал/помеха на входе приемника:

$$\bar{\rho} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{\beta_e} \right) = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{0.013} \right) = 18.86 \text{ дБ}. \quad (3.7)$$

Величина нижнего предела интеграла в выражении (1) равна:

$$X_1 = \frac{\bar{\rho} - \rho_0}{\alpha_p} = \frac{18.86 - 9}{7.9} = 1.25 \quad (3.8)$$

где  $\rho_0$  - защитное отношение сигнал/помеха,  $\rho_0=9$  дБ

Используя таблицы находим процент времени, в течении которого отношение сигнал/помеха на входе приемника МС будет находиться ниже защитного отношения  $\rho_0 = 9$  дБ при выбранной размерности кластера (K=4)

Таблица 3.2- Зависимость параметров БС от количества секторных антенн

Размерность кластера К	Параметры	Секторность М								
		1			3			6		
3	$\alpha$ , дБ; $P(K)$ , %	4	7	10	4; 6,2	7; 21,8	10; 29,5	4; 0,4	7; 6,6	10; 14,5
4	$\alpha$ , дБ; $P(K)$ , %	4; 39	7; 49,6	10	4; 2,3	7; 14,7	10; 23,6	4; 0,3	7; 4,3	10; 11,5
7	$\alpha$ , дБ; $P(K)$ , %	4; 6,4	7; 25,8	10; 35	4; 0,2	7; 6,4	10; 15,2	4; 0,01	7; 1,7	10; 6,8

$$P(4)=16.7 \text{ \%}.$$

Определяем количество радиочастот, которое необходимо для обслуживания абонентов в одном секторе каждой соты:

$$n_s = \text{int}(n_k / KM) = \text{int}\left(\frac{36}{4 \cdot 3}\right) = 3 \quad (3.9)$$

При известных  $n_a = 8$  и  $n_s = 3$  определяем общее число каналов

$$n_0 = n_s \cdot n_a = 3 \cdot 8 = 24$$

где  $n_a = 8$  количество каналов,  $n_s = 3$  количество секторов

Поскольку выполняется условие:

$$P_B \leq \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot n_0}} = \sqrt{\frac{2}{3.14 \cdot 24}} = 0.16 \quad (3.10)$$

где  $P_B$  допустимая вероятность блокировки вызова в сотовой сети — 0,02 (для GSM 1800), для GSM 900 она будет равна – 0.05

Для определения допустимой телефонной нагрузки в одном секторе соты воспользуемся следующей формулой:

$$A = n_0 \left[ 1 - \sqrt{1 - (P_B \sqrt{\pi n_0} / 2)^{1/n_0}} \right] \quad (3.11)$$

$$A = 24 \left[ 1 - \sqrt{1 - (0.02 \cdot \sqrt{3.14 \cdot 24} / 2)^{1/24}} \right] = 17.057 \text{ Эрл.}$$

Рассчитаем число абонентов обслуживаемых одной БС (M=3)

$$N_{BC} = M \text{int}(A / \beta) = 3 \text{int}\left(\frac{17.057}{0.03}\right) = 1706 \quad (3.12)$$

где  $\beta$ -предполагаемая нагрузка от одного абонента.

Число БС в сотовой сети подвижной радиосвязи равно:

$$k_{BC} = \text{int}(N_a / N_{BC}) = \text{int}\left(\frac{30000}{1706}\right) = 18 \quad (3.13)$$

где  $N_a$ - поверхностная плотность подвижных абонентов.

Радиус одной соты в сети

$$R = \sqrt{S_0 / \pi K_{BC}} = \sqrt{340 / (\pi \cdot 18)} = 2.5 \text{ км} \quad (3.14)$$

### 3.1.2 Расчет критических и оптимальных размеров сот с учетом НРП

Уменьшение размеров сот - это уменьшение расстояния между совпадающими по настройке радиосредствами, и, следовательно увеличение уровня непреднамеренных радиопомех (НРП). В ССС возникают специфические НРП; все другие НРП имеют место, как в любом радиоприемнике. Эти специфические НРП относятся к классу внутрисетевых межсистемных помех; назовем их сотовыми радиопомехами (СРП).

Рассмотрим пример расчета  $P_{n\max}$  на входе радиоприемного устройства АС в простейшем случае распространения радиоволн в свободном пространстве при  $n=2$ . [13]

$$P_{1BC} = 1,51 \cdot 10^9 \cdot P_{0AC} \cdot R_c^2, \quad (3.15)$$

$$P_{n\max} = 3,6 \cdot A \cdot P_1 \cdot S(Q) / (3^{n/2} C^{m/2} R_c^2), \quad (3.16)$$

$$S(Q) = \sum_{i=1}^Q \frac{2i-1}{i^n}, \quad (3.17)$$

Выражение (3.17) далее перепишем с учетом (3.16). При этом используем аппроксимацию суммы (3.18) степенной функцией (для  $Q < 9$  она дает ошибку не выше 10%);

$$S(Q) = \sum_{i=1}^Q \frac{2i-1}{i^2} = Q^{\frac{2}{3}} = \frac{D_{np}^{\frac{2}{3}}}{3^{\frac{1}{3}} C^{\frac{1}{3}} R_c^{\frac{1}{3}}} \quad (3.18)$$

Получим

$$P_{n\max} = \frac{0,56 \cdot 10^{-9} \cdot P_{1BC} \cdot D_{np}^{\frac{2}{3}}}{C^{\frac{4}{3}} R_c^{\frac{8}{3}}} \quad (3.19)$$

$$P_{1BC} = \frac{1,51 \cdot 10^9 \cdot a^2 \cdot P_{\text{ш}} \cdot R_c^2 + 0,837 \cdot P_{1BC} \cdot D_{np}^{\frac{2}{3}}}{C^{\frac{4}{3}} R_c^{\frac{2}{3}}} \quad (3.20)$$

Последнее выражение отражает противоречивость зависимости мощности передатчика  $P_{1BC}$  от размера соты  $R_c$ . В результате дальнейших преобразований получим:

$$P_{1BC} = \frac{1,51 \cdot 10^9 \cdot a \cdot P_{ш} \cdot R_c^2}{\frac{1 - 0,83 \cdot a \cdot D_{np}^{\frac{2}{3}}}{C^{\frac{4}{3}} R_c^{\frac{2}{3}}}} \quad (3.21)$$

Мощность передатчика  $P_{1BC}$  будет лавинообразно увеличиваться при приближении знаменателя в (3.21) к нулю. Существует, таким образом критический размер соты  $R_{c.кр}$ , который можно рассчитать по формуле

$$R_{c.кр} = 0,75 \cdot a^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{D_{np}}{C^2} = 0,75 \cdot 6^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{10}{4^2} = 7 \text{ км} \quad (3.22)$$

При  $D_{np} = 10$ км,  $C=4$ ,  $a=6$ .

Для ослабления взаимного влияния между сигналами данной и ближайшей к ней соты с совпадающим частотным каналом их разносят на расстояние  $D$ , которое называют защитным интервалом. Компактная группа сот, в которой совпадающие по настройке частотные каналы не повторяются, состоит из  $C$  сот. Параметр  $a$  - необходимое превышение порога над уровнем шума.

Наименьшая мощность передатчика  $P_{1BC \min}$  будет при  $\frac{d}{dR_c} P_{1BC} = 0$ .

Приведенное уравнение имеет решение:

$$R_{c.опт} = 1,16 \cdot a^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{D_{np}}{C^2} = 1,16 \cdot 6^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{10}{4^2} = 10 \text{ км}.$$

### 3.1.3 Нормы частотно-территориального разнеса РЭС

В ходе оценки ЭМС РЭС необходимо определить требуемые удаления потенциально несовместимых РПД и РПМ при различных частотных расстройках и при различных вариантах взаимной ориентации их антенн. Полученные результаты для наземных РЭС с учетом принятой модели распространения радиоволн и без учета влияния рельефа местности представляют собой оценку сверху требуемых территориальных разнесов.

В случае, если реальные значения территориальных разнесов больше чем требуемые, то считается, что ЭМС РЭС обеспечивается. В противном случае может потребоваться введение дополнительных ограничений на мощность излучения, частотную расстройку и (или) пространственную ориентацию и высоту расположения антенн РЭС.

Одним из эффективных способов согласования условий совместной работы РЭС является разработка и реализация норм частотно-территориального разнеса (ЧТР) между взаимовлияющими РЭС.

Нормы ЧТР представляют собой совокупность взаимообусловленных значений территориального и частотного разнеса РЭС с учетом ориентации их антенн, при которых обеспечивается их ЭМС. На основе норм ЧТР определяются или конкретные рабочие частоты, которые могут быть использованы в сетях подвижной связи, или необходимый для обеспечения ЭМС территориальный разнос для заявленных рабочих частот. Кроме того,

нормы ЧТР позволяют установить требования к характеристикам направленности и ориентации антенных систем РЭС в пространстве при заданных рабочих частотах и расстояниях между РЭС.

Нормы ЧТР определяются для конкретных типов РЭС с учетом их энергетических, частотных и пространственных характеристик. В случае удовлетворения требованиям норм ЧТР, ЭМС между РЭС считается обеспеченной.[13]

Нормы ЧТР рассчитываются на основании уравнения ЭМС РЭС (3.5). Часто основные потери передачи  $L(R)$  при распространении на трассе протяженностью  $R$  от радиопередатчика к радиоприемнику представляют функцией, которую в относительных единицах (дБ) можно записать:

$$L(R) = \alpha + \beta \cdot \lg(R). \quad (3.23)$$

Для примера, приведем известную формулу основных потерь передачи в свободном пространстве (без учета влияния земной поверхности, атмосферы и других факторов):

$$L_0(R) = 32,44 + 20\lg(f) + 20\lg(R). \quad (3.24)$$

$$L_0(R) = 32,44 + 20\lg(1800) + 20\lg(10) = 98,5$$

Здесь,  $f$  - рабочая частота, МГц,  $R$  - расстояние, км.

На рисунке 3.3 показана зависимость ослабления радиоволн от расстояния в свободном пространстве для трех диапазонов частот. Наклон данной характеристики составляет 20 дБ на декаду. Модели ослабления радиоволн в приземном слое, соответствующие условиям сухопутной подвижной связи, будут иметь более сложную зависимость и более высокий показатель ослабления.

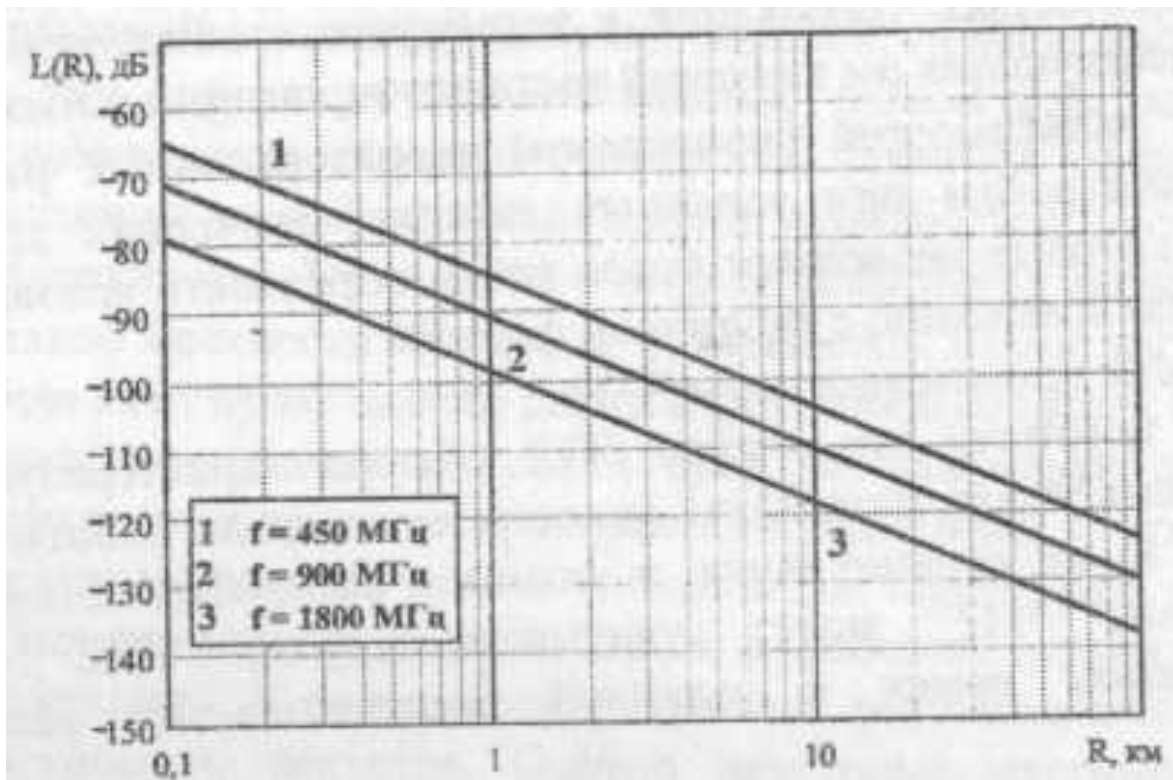


Рисунок 3.3- Зависимость ослабления радиоволн от расстояния в свободном пространстве для трех диапазонов частот

В рекомендации ITU-R P.529 дано уравнение для напряженности поля в следующем виде:

$$E = 65,55 - 6,16 \cdot \lg(f) + 13,82 \cdot \lg(h_{BC}) - k[44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{AC})] \cdot \lg(R), \quad (3.25)$$

$$E = 65,55 - 6,16 \cdot \lg(1800) + 13,82 \cdot \lg(20) - 1[44,9 - 6,55 \cdot \lg(1,5)] \cdot \lg(10) = 19,7$$

где  $f$  - рабочая частота РЭС в МГц;  $h_{BC}$ ,  $h_{AC}$  - высота расположения антенн БС и АС в метрах.

В формуле (3.25) используется поправочный коэффициент на высоту абонентской станции.

$$a(h_{AC}) = (1,1 \cdot \lg(f) - 0,7) \cdot h_{AC} - 1,56 \cdot \lg(f) + 0,8. \quad (3.26)$$

$$a(h_{AC}) = (1,1 \cdot \lg(1800) - 0,7) \cdot 1,5 - 1,56 \cdot \lg(1800) + 0,8 = 0,043$$

Коэффициент  $k$  в (3.25) позволяет расширить действие модели для протяженности трассы до 100 км:

$$k = 1 \quad \text{для } R < 20 \text{ км},$$

$$k = 1 + (0,14 + 1,87 \cdot 10^{-4} \cdot f + 1,07 \cdot 10^{-3} \cdot h_{BC}) \cdot \left[ \lg\left(\frac{R}{20}\right) \right] \cdot 0,8 \quad \text{для } 20 \text{ км} < R < 100 \text{ км}.$$

Формула (3.25) может быть использована и в диапазоне от 1 ГГц до 2 ГГц с ограничением по дальности до 20 км.

Основные потери передачи  $L(R)$  [дБ] при распространении на трассе протяженностью  $R$  [км] от радиопередатчика к радиоприемнику в соответствии с этой моделью определяются формулой

$$L(R) = \alpha + \beta \cdot \lg(R), \quad (3.27)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  — коэффициенты, зависящие от типа местности, рабочей частоты и высоты расположения антенн РЭС. Формулы для расчета  $L(R)$  для различных типов местности представлены ниже.

Потери в городе:

$$L_G = 69,55 + 26,16 \cdot \lg(f) - 13,82 \cdot \lg(h_{BC}) - a(h_{AC}) + k[44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{BC})] \cdot \lg(R). \quad (3.28)$$

$$L_G = 69,55 + 26,16 \cdot \lg(1800) - 13,82 \cdot \lg(20) - 0,043(1,5) + 1[44,9 - 6,55 \cdot \lg(20)] \cdot \lg(10) = 173,041$$

Потери в пригороде;

$$L_{II} = L_G - 2 \cdot \left[ \lg\left(\frac{f}{28}\right) \right]^2. \quad (3.29)$$

$$L_{II} = 173,041 - 2 \cdot \left[ \lg\left(\frac{1800}{28}\right) \right]^2 = 166,502$$

Потери в сельской местности:

$$L_C = L_G - 4,78 \cdot [\lg(f)]^2 + 18,33 \cdot \lg(f) - 35,94. \quad (3.30)$$

$$L_C = 173,041 - 4,78 \cdot [\lg(1800)]^2 + 18,33 \cdot \lg(1800) - 35,94 = 146,117$$

Потери на открытом пространстве:

$$L_O = L_G - 4,78 \cdot [\lg(f)]^2 + 18,33 \cdot \lg(f) - 40,94. \quad (3.31)$$

$$L_O = 173,041 - 4,78 \cdot [\lg(1800)]^2 + 18,33 \cdot \lg(1800) - 40,94 = 141,117$$

В формуле (3.28) используются тот же поправочный коэффициент, что и в (3.25). Для больших городов с плотной городской застройкой коэффициент  $a(h_{AC})$  равен:

$$a(h_{AC}) = 8,29 \cdot [\lg(1,54 \cdot h_{AC})]^2 - 1,1 \text{ для } < 200 \text{ МГц,} \quad (3.32)$$

$$a(h_{AC}) = 3,2 \cdot [\lg(1,75 \cdot h_{AC})]^2 - 4,97 \text{ для } > 400 \text{ МГц.} \quad (3.33)$$

Для корректного использования формул необходимо придерживаться следующего соответствия между типами моделей и характеристиками местности:

- Плотная городская застройка (большой город) - плотная застройка в основном высокими зданиями (выше 20 этажей) с малой площадью зеленых насаждений. Покрытие ячеек в значительной мере определяется дифракцией и рассеянием сигнала на ближайших к абоненту зданиях;

- Городская застройка - многоэтажная административная и жилая застройка, индустриальные районы. Плотность зданий достаточно высокая, но может быть разбавлена зелеными насаждениями, небольшими скверами;

- пригород - одиночные жилые дома, административные здания, магазины высотой 1-3 этажа. Большие площади зеленых насаждений (деревьев), парковые зоны с отдельными группами зданий плотной застройки;

- сельская местность - открытое пространство с несколькими зданиями, фермы, кустарниковые насаждения, шоссе;

- открытое пространство - озера, водохранилища, открытые участки без насаждений, неплодородные земли.[11]

#### 3.1.4 Расчет эффективности системы

Расчет эффективности системы будем производить по формуле:

$$\eta = \frac{A_{кл}}{S_{кл}} \cdot \frac{1}{2 \cdot F_k \cdot n_c \cdot K}, \quad (3.34)$$

где  $A_{кл}$  - телефонная нагрузка приходящаяся на один кластер

$$A_{кл} = A \cdot M \cdot K; \quad (3.35)$$

$$A_{кл} = 17,056 \cdot 3 \cdot 4 = 204,68$$

$S_{кл}$  - площадь кластера,

$$S_{кл} = \frac{R^2 \cdot 3\sqrt{3}}{2} = \frac{2,5^2 \cdot 3\sqrt{3}}{2} = 16,238 \text{ км}^2; \quad (3.36)$$

$n_c$  - количество симплексных радиоканалов на одну соту

$$n_c = n_s \cdot M = 9;$$

$K$  - размерность кластера.

Подставив эти величины в формулу, получим:

$$\eta = \frac{204,68}{16,238} \cdot \frac{1}{2 \cdot 200 \cdot 10^{-3} \cdot 9 \cdot 4} = 0,875$$

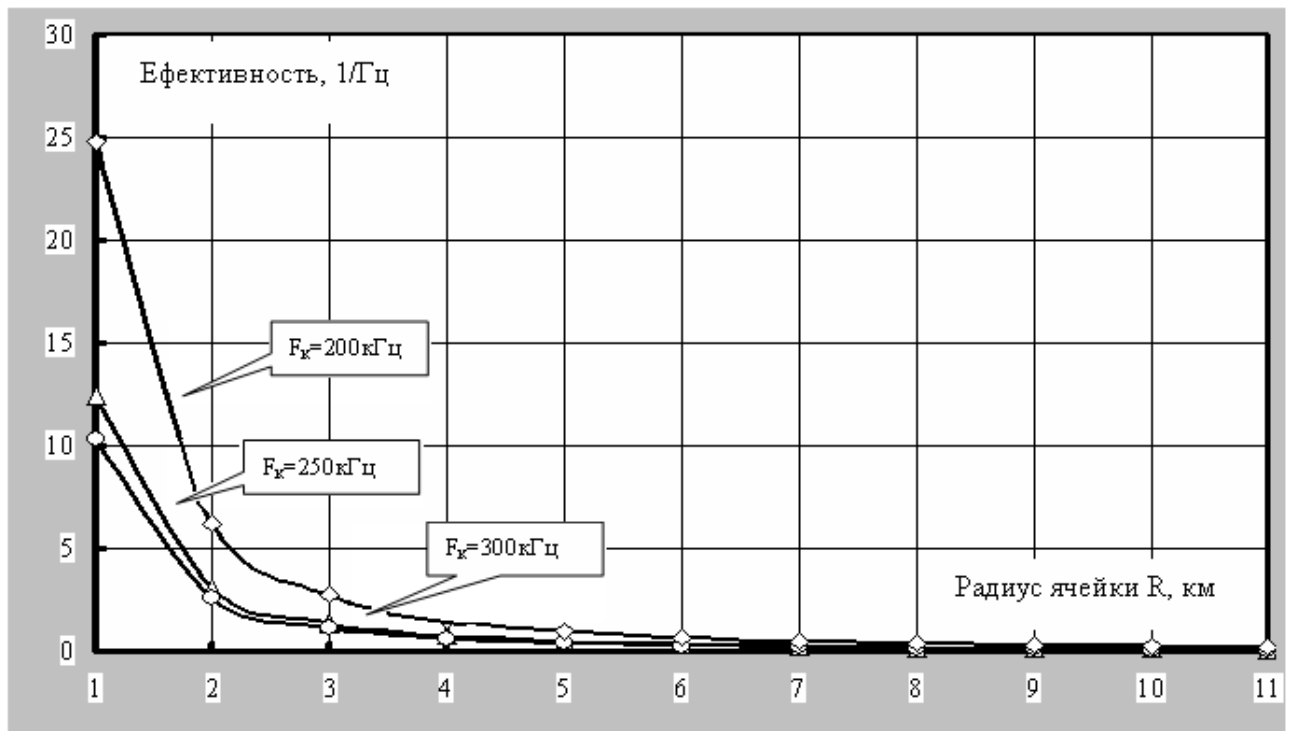


Рисунок 3.4- Зависимость эффективности от радиуса ячейки

### 3.1.5 Расчет уровня сигнала на входе приемника

Для расчета необходимого уровня сигнала на входе приемника воспользуемся так называемым первым уравнением передачи:

$$P_{\text{пр.МС}} = P_{\text{пер.БС}} + G_{\text{БС}} - 70 - 26,16 \cdot \lg(f, \text{МГц}) + 13,82 \cdot \lg(h_{\text{БС}}, \text{м}) - [45 - 6,55 \cdot \lg(h_{\text{БС}}, \text{м})] \cdot \lg(R, \text{км}), \text{дБВт}, \quad (3.37)$$

где  $f$  – средняя частота выделенного диапазона частот.

$$P_{\text{прМС}} = 0.5 + 18 - 70 - 26.16 \cdot \lg 1800 + 13.82 \cdot \lg 30 - (45 - 6.55 \cdot \lg 30) \cdot \lg 2.5$$

$$P_{\text{прМС}} = -130.30 \text{ дБВт}$$

где  $P_{\text{пер.БС}} = 0.5$  дБ мощность передачи базовой станции,  $G_{\text{БС}} = 18$  дБи коэффициент усиления,  $f = 1800$  МГц стандарт,  $h = 30$  м высота подъема секторных антенн. Необходимо определить также мощность шумов на входе приемника мобильной станции.[11]

$$P_{\text{ш.вх.пр.}} = n \cdot k \cdot T \cdot \Delta F, \quad (3.38)$$

где  $n$  – коэффициент шума приемника ( $n = 6..9$  дБ)

$$k - \text{постоянная Больцмана } (1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц} \cdot \text{К}})$$

$T$  – температура (300°K)

$\Delta F$  - полоса частот канала

$$P_{\text{ш.вх.пр.}} = 7 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 200 = 6.21 \cdot 10^{-18} \text{ (172,1 дБВт)}$$

Тогда отношение сигнал/шум на входе приемника, дБВт:

$$\left(\frac{c}{m}\right)_{\text{вх.пр.}} = P_{\text{пр.МС}} + P_{\text{ш.вх.пр.}} = -130.301 + 172.1 = 41.8$$



Рисунок 3.5 - Структура линии радиосвязи

Необходимо, чтобы рассчитанное отношение сигнал/шум было больше, чем среднее отношение сигнал/помеха на входе приемника ( $\bar{\rho}$ ) и больше, чем необходимое защитное отношение ( $\rho_0$ ). Так как  $\bar{\rho} = 18.86$  дБ, и  $\rho_0 = 9$  дБ, то оба условия выполняются.

### 3.1.6 Расчет телефонной нагрузки, приходящейся на одну соту

Телефонной нагрузкой называется число одновременно обслуживаемых вызовов. Телефонная нагрузка приходящаяся на одну соту рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{соты}} = M \cdot A = 51.171 \text{ Эрл} \quad (3.39)$$

При оценке нагрузки и, следовательно, емкости в сотовых сетях пользуются распространенной моделью Эрланга для систем с отказами (вероятность поступления вызова в момент, когда все каналы заняты):

$$p_a = \frac{\frac{A^n}{n!}}{\sum_{i=0}^n \frac{A^i}{i!}} \quad (3.40)$$

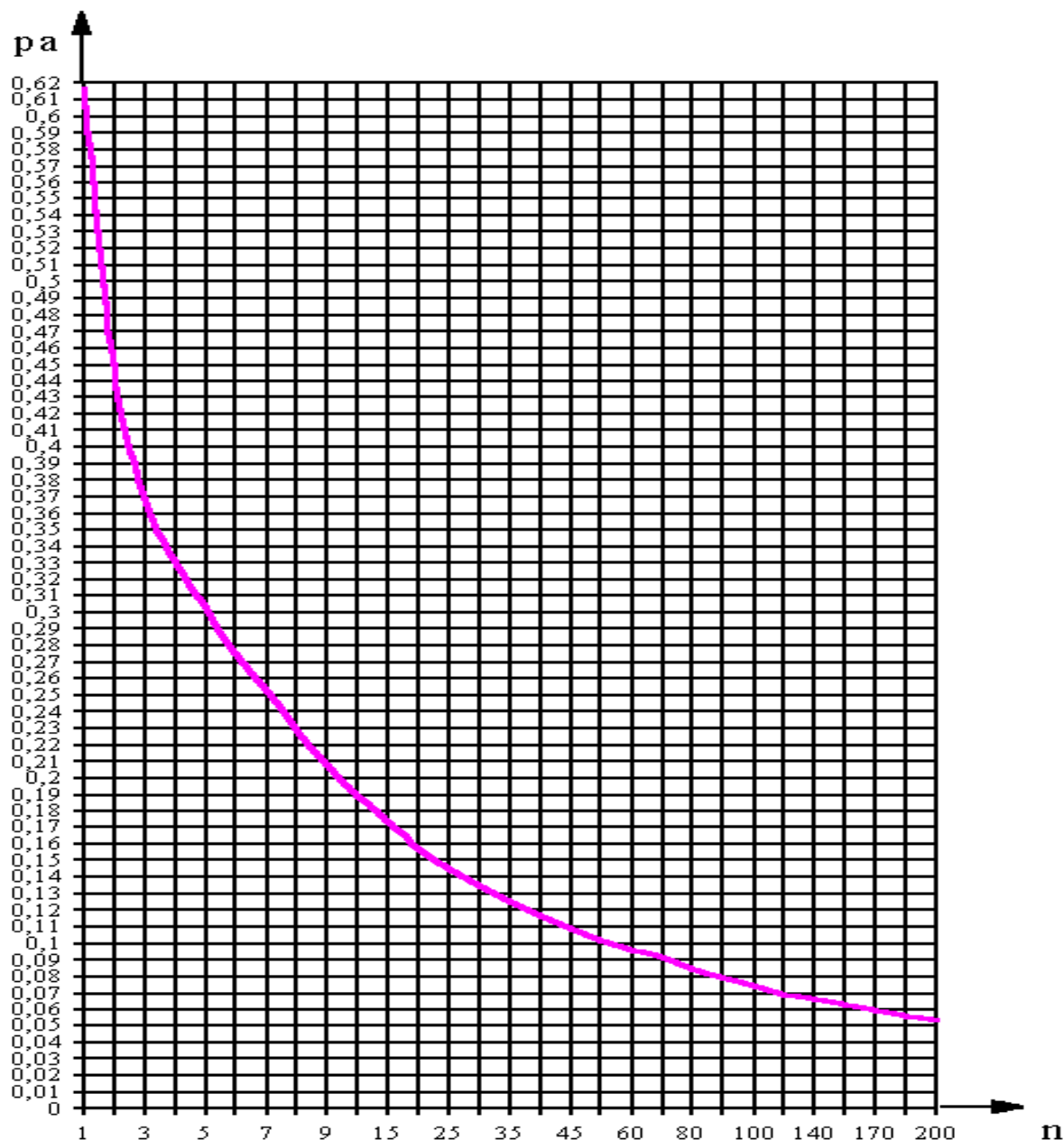


Рисунок 3.6- Зависимость критического значения вероятности отказа от числа каналов

Уравнение представляет собой известную формулу Эрланга и связывает один из важнейших показателей качества функционирования сети - вероятность отказа  $p_a$  - со значениями нагрузки  $A$  и числа каналов  $n$ .

Данная формула Эрланга является табулированной. Но, как оказалось на практике, это не всегда является удобным для расчетов нагрузки при

проектировании сотовой сети. Очевидная сложность процедуры определения нагрузки непосредственно при помощи формулы не позволяет рекомендовать ее для инженерного использования, тем более, что по ее виду ничего нельзя сказать о характере зависимости величины допустимой нагрузки от значений вероятностей отказа и числа каналов-отказ системы на поступающий запрос абонентской станции. Точное решение уравнения (1.) относительно нагрузки (А) невозможно. При этом возможно использование зависимости отказов системы о числа каналов, исходя из взятого графика зависимости можно предположить:

Исходя из рассчитанного числа каналов на одну соту  $n=3$ , можно предположить, что число каналов на одну соту будет равно  $n=9$  так как в данном проекте мы используем трёх секторную систему базовых станций. Соответственно вероятность отказа равна 0.2.

### 3.1.7 Медианные и дифракционные потери

Для трассы БС CDMA - БС GSM.

Определим потери на трассе распространения по формулам:

$h_1 = h_2 = 30$  м - высоты антенн БС.

$H_m = \min(h_1, h_2) = 30$  м,  $H_b = \max(h_1, h_2) = 30$  м. Для  $r > 0,1$  км, городская застройка,  $f = 881,25$  МГц:

Формула 3.41:

$$a(H_m) = (1.1 \cdot \log(f) - 0.7) \cdot \min\{10; H_m\} - (1.56 \cdot \log(f) - 0.8) + \max\left\{0; 20 \cdot \log\left(\frac{H_m}{10}\right)\right\};$$

$$a(H_m) = (1.1 \cdot \log(881.25) - 0.7) \cdot 10 - (1.56 \cdot \log(881.25) - 0.8) + \max\left\{0; 20 \cdot \log\left(\frac{30}{10}\right)\right\};$$

$$a(H_m) = 25.4 - 3.8 + 10 = 31.6$$

$$b(H_b) = \max\left\{0; 20 \cdot \log\left(\frac{H_b}{30}\right)\right\} = 0$$

$\alpha = 1$  при  $r < 20$  км;

$$\alpha = 1 + \left(0.14 + 1.87 \cdot 10^4 \cdot f + 1.07 \cdot 10^3 \cdot H_b\right) \cdot \left(\log\left(\frac{r}{20}\right)\right)^{0.8}, \text{ при } 20 < r < 100 \text{ км}$$

т.к. берем расстояние между БС меньше 20 км, то  $\alpha = 1$ ;

$$L = 69,6 + 26,2 \log(f) - 13,82 \log(\max\{30; H_b\}) + \alpha [44,9 - 6,55 \log(\max\{30; H_b\})] \log r - a(H_m) - b(H_b) \quad (3.42)$$

$$L = 69,6 + 26,2 \log(881,25) - 13,82 \log(30) + 1[44,9 - 6,55 \log(30)] \log(r) - 31,6;$$

$$L = 69,6 + 77,2 - 20,4 + 35,2 \log(r) - 31,6;$$

$$L = 94,8 + 35,2 \log(r_{BC}).$$

Где  $r_{BC}$  - расстояние между базовыми станциями CDMA и GSM, км.

Для трассы распространения МС GSM - БС GSM.

Определим потери на трассе распространения по формулам:

Городская застройка  $f=1710$  МГц,  $h_1=30$  м - высота расположения антенны БС GSM,  $h_2=1$  м - высота расположения антенны МС GSM,  $r_{GSM}$  - расстояние между МС и БС системы EGSM.

$$H_m = \min(h_1, h_2) = 1\text{ м}, \quad H_b = \max(h_1, h_2) = 30\text{ м}$$

В формулах рассматривается несколько случаев, в зависимости от расстояния  $r_{GSM}$ . в данной задаче целесообразно рассматривать только худший для ЭМС случай, когда  $r_{GSM} > 0,1$  км (большее расстояние - большие потери).

$$a(H_m) = (1,1 \cdot \log(f) - 0,7) \cdot \min(10; H_m) - (1,56 \cdot \log(f) - 0,8) + \max\left\{0; 20 \cdot \log\left(\frac{H_m}{10}\right)\right\}$$

$$a(H_m) = (1,1 \cdot \log(1710) - 0,7) \cdot 1 - (1,56 \cdot \log(1710) - 0,8) = -1,38$$

$$b(H_b) = \max\left\{0; 20 \cdot \log\left(\frac{H_b}{30}\right)\right\} = 0$$

$\alpha=1$ , если  $r < 20$  км

$$\alpha = 1 + (0,14 + 1,87 \cdot 10^4 \cdot f + 1,07 \cdot 10^3 \cdot H_b) \cdot \left(\log\left(\frac{d}{20}\right)\right)^{0,8}, 20\text{ км} \leq r \leq 100\text{ км}$$

т.к. расстояние между МС и БС меньше 20 км, то  $\alpha = 1$ ;

$$L = 69,6 + 26,2 \log(f) - 13,82 \log(\max\{30; H_b\}) + \\ + \alpha \cdot [44,9 - 6,55 \log(\max\{30; H_b\})] \cdot \log r - a(H_m) - b(H_b)$$

$$L = 69,6 + 26,2 \log(1710) - 13,82 \log(30) + 1 \cdot [44,9 - 6,55 \log(30)] \cdot \log r_{GSM} + 1,38 - 0;$$

$$L = 69,6 + 84,7 - 20,41 + 35,2 \cdot \log r_{GSM} + 1,38 = 135,27 + 35,2 \cdot \log r_{GSM}.$$

Для трассы распространения БС CDMA - МС CDMA.

Определим потери на трассе распространения по формулам:

Городская застройка  $f = 881,25$  МГц,  $h_1 = 30$  м - высота расположения антенны БС CDMA,  $h_2 = 1$  м - высота расположения антенны МС CDMA,  $r_{CDMA}$  - расстояние между МС и БС системы CDMA.

$$H_m = \min(h_1, h_2) = 1\text{ м} \quad H_b = \max(h_1, h_2) = 30\text{ м}.$$

В формулах рассматривается несколько случаев, в зависимости от расстояния, но в данной задаче целесообразно рассматривать только худший для ЭМС случай, когда  $r_{GSM} > 0,1$  км.

$$a(H_m) = (1,1 \cdot \log(f) - 0,7) \cdot \min(10; H_m) - (1,56 \cdot \log(f) - 0,8) + \max\left\{0; 20 \cdot \log\left(\frac{H_m}{10}\right)\right\}$$

$$a(H_m) = (1,1 \cdot \log(881,25) - 0,7) \cdot 1 - (1,56 \cdot \log(881,25) - 0,8) = 2,5 - 3,8 = -1,3$$

$\alpha=1$ , если  $r < 20$  км

$$\alpha = 1 + (0,14 + 1,87 \cdot 10^4 \cdot f + 1,07 \cdot 10^3 \cdot H_b) \cdot \left(\log\left(\frac{d}{20}\right)\right)^{0,8}, 20\text{ км} \leq r \leq 100\text{ км}$$

т.к. расстояние между МС и БС меньше 20 км, то  $\alpha = 1$ ;

$$L = 69,6 + 26,2 \log(f) - 13,82 \log(\max\{30; H_b\}) + \\ + \alpha \cdot [44,9 - 6,55 \log(\max\{30; H_b\})] \cdot \log r - a(H_m) - b(H_b)$$

$$L = 69,6 + 26,2 \log(881,25) - 13,82 \log(30) + 1 \cdot [44,9 - 6,55 \log(30)] \cdot \log r_{CDMA} + 1,3 - 0;$$

$$L = 69,6 + 77,2 - 20,41 + 35,2 \cdot \log r_{CDMA} + 1,3 = 127,7 + 35,2 \cdot \log r_{CDMA}.$$

Для трассы распространения МС GSM - МС CDMA

Для оценки ЭМС МС систем связи с различными методами разделения каналов при их пространственном разнесении в пределах прямой видимости, целесообразно использовать модель распространения сигналов в свободном пространстве.

Несущая частота передатчика МС EGSM:  $f_{CGSM} \sim 1710$  МГц.

$$A = 32,441 + 201 \lg r_{MC} + 201 \lg f = 32,441 + 201 \lg r_{MC} + 201 \lg 1710;$$

$A = 97,1 + 201 \lg r_{MC}, [AB]$ . Где  $r_{UC}$  - расстояние между мобильными станциями CDMA и GSM, км.

Замирание сигнала.

В формулах потери на замирание полезного сигнала лежат в пределах 3,5-17 дБ, в зависимости от расстояния и распространения выше или ниже уровня крыш. Т.к. расстояние между БС и МС - не определено, а сигнал может идти как выше уровня крыш, так и ниже, то берем наибольшие потери на замирание 17 дБ. Для «худшего случая» потери на замирание мешающих сигналов берем 0 дБ. Потери в атмосферных осадках сказываются на частотах выше 5 ГГц. На частотах ниже 5 ГГц потери практически отсутствуют.

Уменьшение коэффициента усиления приемной антенны в направлении передатчика.

Секторная антенна БС GSM должна обеспечивать примерно одинаковое усиление во всех направлениях, в т.ч. и направлении на БС CDMA. Следовательно, уменьшение КУ антенны БС GSM принимаем равное 0 дБ. Антенна МС является всенаправленной, поэтому уменьшение КУ антенны МС CDMA принимаем равным 0 дБ.

Поправка на несовпадение рабочих частот.

Полоса пропускания на уровне 3 дБ передатчика МС GSM:  $B_T = 6$  МГц.  
Полоса пропускания на уровне 3 дБ приемника МС CDMA:  $B_R = 1,2$  МГц.  
Несовпадение частоты приема МС CDMA и передачи МС EGSM равно:

$$\Delta F = 1710 - 881,25 = 828,77 \text{ МГц.}$$

Параметр  $B$  позволяющий использовать равен:

$$B = \frac{(B_R + B_T)}{2} = \frac{6 + 1,2}{2} = 3,6 \text{ МГц.} \quad (3.43)$$

Поправочный коэффициент:

$$K(\Delta F, B) \approx -39 \text{ дБ.}$$

Полоса пропускания на уровне 3 дБ передатчика БС CDMA:  $B_T = 1,2$  МГц.  
Полоса пропускания на уровне 3 дБ приемника БС EGSM:  $B_R = 6$  МГц.  
Несовпадение частоты приема БС EGSM и передачи БС CDMA равно:

$$\Delta F = 1710 - 881,25 = 828,77 \text{ МГц.}$$

Оценка условий обеспечения ЭМС

Для пары БС CDMA – БС GSM

Минимально допустимый уровень сигнала, при котором обеспечивается приемлемое качество речи, в системе GSM равен 9 дБ. Это значит, что расстояние между МС и БС системы GSM,  $r_{GSM}$ , при котором уровень сигнала будет больше 9 дБ, находится из условия:

$$6.2 - 35.2 \cdot \log(r_{GSM}) > 9 \text{ дБ}$$

$$r_{GSM} < 832 \text{ м}$$

Расстояние  $r_{BC}$  между источником и рецептором помехи для пары БС CDMA – БС GSM, при котором она может влиять на соотношение  $S/(N+I)$ , можно найти из неравенства:

$$-13.5 - 35.2 \cdot \log(r_{BC}) > 0$$

$$r_{BC} < 413 \text{ м}$$

Если  $r_{BC}$  меньше 413 м, то необходимо оценить уровень  $S/(N+I)$ , который должен быть больше 9 дБ:

$$S/(N+I) = 19.7 + 35.2 \cdot \log(r_{BC} / r_{GSM}) \geq 9 \text{ дБ}$$

Для пары МС CDMA – МС CDMA

Минимально допустимый уровень сигнала, при котором обеспечивается приемлемое качество речи, в системе CDMA равен 5.5 дБ. Внутрисистемные помехи в системе CDMA поднимают минимально допустимый уровень сигнала на 8 дБ. Это значит, что расстояние между МС и БС системы CDMA,  $r_{CDMA}$ , при котором уровень сигнала будет больше 5,5+8=13,5 дБ, находится из условия:

$$52.3 - 35.2 \cdot \log(r_{CDMA}) > 13.5 \text{ дБ}$$

$$r_{CDMA} < 12.7 \text{ км}$$

Расстояние  $r_{MC}$  между источником и рецептором помехи для пары БС CDMA - БС GSM, при котором она может влиять на соотношение  $S/(N+I)$ , можно найти из неравенства:

$$-36.7 - 20 \cdot \log(r_{MC}) > 0$$

$$r_{MC} < 15 \text{ м}$$

Если  $r_{MC} < 15$  м, то необходимо оценить уровень  $S/(N+I)$ , который должен быть больше 13,5 дБ:

$$89 - 35.2 \cdot \log(r_{CDMA}) + 20 \cdot \lg(r_{MC}) \geq 13.5 \text{ дБ.}$$

При оценке ЭМС сетей CDMA и EGSM не были учтены потери сигналов на проникновение в здания, автотранспорт и т.д. Влияние этих потерь уменьшает зону обслуживания сотовых сетей связи, но не сказывается на уровнях мешающих сигналов МС EGSM и БС CDMA. Антенны БС обеих систем располагаются на улице, следовательно, потери на проникновение сигнала от БС CDMA к БС GSM отсутствуют. Расстояние, при котором сигнал МС EGSM может влиять на приемник МС CDMA - невелико, а значит можно считать, препятствия (а следовательно и потери на проникновение) между ними отсутствуют.[3,4]

Выводы по результатам оценки ЭМС систем GSM-1800 и CDMA-800 в Алматы:

Разнос БС CDMA и GSM на расстояние 410 и более метров, обеспечивает ЭМС БС этих систем. Это расстояние можно уменьшить, применяя специальные преселекторы и/или фильтры.

Разнос МС CDMA и GSM на расстояние 15 и более метров обеспечивает ЭМС МС этих систем. Но, т.к. расстояние между МС - случайный фактор, обеспечить защитное расстояние между МС - нельзя. Если принять, что МС будут находиться на расстоянии не ближе 0,5 м, то из-за мешающего сигнала МС GSM, зона обслуживания БС CDMA уменьшается:

$$89 - 35.2 \cdot \log(r_{CDMA}) + 20 \cdot \lg(0.005) \geq 13,5;$$
$$r_{CDMA} \leq 6.9 \text{ км}$$

Если учитывать потери на проникновение в здания, автотранспорт и т.д., равные 20 дБ, то на уровень помехи они не скажутся (расстояние между МС 0,5 м, следовательно, ни о каких потерях проникновения не может быть и речи), а зона обслуживания БС CDMA составит:

$$89 - 35.2 \cdot \log(r_{CDMA}) + 20 \cdot \lg(0.5) \geq 13,5 + 20;$$
$$r_{CDMA} \leq 1.85 \text{ км}$$

Зона обслуживания 1,8 км для системы CDMA вполне приемлема, т.к. она определяется в основном параметрами обратной линии связи, т.е. параметрами сигнала МС CDMA - БС CDMA. Зона обслуживания МС CDMA немного больше зоны обслуживания МС EGSM, и составляет 1...2 км. При уменьшении расстояния между МС до 10 см, зона обслуживания БС CDMA уменьшается до 750 м, что уже нежелательно.

Т. к. нахождение двух одновременно работающих МС двух разных систем CDMA и GSM на расстояние меньше полуметра, - событие очень маловероятное, то можно считать, что ЭМС МС CDMA и GSM - обеспечивается.

### 3.1.8 Расчёт параметров резервного электропитания основного электрооборудования

Предполагается использование кислотных аккумуляторов. Ёмкость аккумуляторных батарей зависит от тока нагрузки во время разряда,  $I_{AB}$ , в условиях отсутствия напряжения во внешней цепи переменного тока или отключенных буферных выпрямительных устройствах. Номинальная ёмкость каждой группы аккумуляторной батареи из аккумуляторов типа С и СК, приведенная к режиму десятичного разряда, может быть определена по формуле:

$$Q = \frac{I_{AB} \times t_p}{\eta_q \times (1 + 0.008 \times (t - 25))} \quad (3.44)$$

где  $t_p$  - расчётное время разряда батареи;

$\eta_p$ -коэффициент оборота ёмкости, зависящий от интенсивности разряда аккумуляторов;

$t$ -наинизшая температура электролита аккумуляторов, которую принимают равной наинизшей расчётной температуре аккумуляторного помещения.

Для вновь строящихся зданий, а так же зданий старой постройки с центральным отоплением эта температура принимается равной  $+15^\circ\text{C}$ , а для существующих зданий с печным отоплением  $+10^\circ\text{C}$ .

Таким образом, коэффициент  $1+0.008(t-25)=0.92-0.88$ . В практических расчётах часто усредняют этот коэффициент, принимая его равным 0.9. Тогда:

$$Q = \frac{I_{AB} \times t_p}{\eta_q \times 0.9} \quad (3.45)$$

или

$$Q = \frac{I_{AB} \times t_p \times 1.1}{\eta_q} \quad (3.46)$$

Для определенных режимов разряда формула может быть упрощена. Принимаем трехчасовой разряд:

$$Q = \frac{I_{AB} \times 3}{0.75 \times 0.9} = 4.5 \times I_{AB}$$

Для электропитания аварийного освещения по норме 2 Вт на  $1\text{м}^2$ , при напряжении 48-53.5 В потребуется ток:

$$I_{AB} = \frac{P \times S}{U} \quad (3.47)$$

$$I_{AB} = \frac{2 \times 100}{48} = 4.2\text{A}$$

Таким образом от аккумуляторной батареи во время разряда потребуется ток:

$$I_{AB} = I + I_{AO} \quad (3.48)$$

$$I_{AB} = 3 + 4.2 = 7.2\text{A}$$

Ёмкость аккумуляторной батареи:

$$Q = 4.5 \times 7.2 = 33 \text{ A} \times \text{ч}$$

Ток резервного или зарядного выпрямительного устройства для свинцово-кислотных аккумуляторных батарей может быть определен из формулы:

$$I_{озан} = i_3 N n_{\bar{o}} \quad (3.49)$$

где  $i_z$  - зарядный ток на один индексный номер батареи, А, для батареи разряжающейся в трёхчасовом режиме 2А;  
 N-индексный номер принятых аккумуляторов;  
 Nb-число групп аккумуляторных батарей.

$$N = \frac{Q}{\Delta q} \quad (3.50)$$

где  $\Delta q$  -удельная ёмкость одного номенклатурного номера аккумуляторов, для свинцово кислотных  $\Delta q=36$

$$N = \frac{33}{36} = 1$$

$$I_{o3an} = 2 \times 1 \times 2 = 4 \text{ А}$$

Мощность, потребляемая выпрямительными устройствами рабочего комплекта, рассчитывается по формуле:

$$P_{nom.p} = \frac{I_{av} \times n \times \Delta U_{\delta}}{\eta_B \times 10^3} \quad (3.51)$$

где  $\Delta U_{\delta}$  -буферное напряжение одного элемента, В;  
 n-число элементов в буферной аккумуляторной батарее.

В нашем случае  $\Delta U_{\delta}=2.086$  В. Тогда:

$$P_{nom.p} = \frac{7.2 \times 48 \times 2.086}{0.71 \times 10^3} = 1.1 \text{ кВт}$$

Мощность потребления запасным преобразователем,  $P_{nom.3an}$ , кВт:

$$P_{nom.3an} = \frac{i_z \times N \times n \times \Delta U_z}{\eta_B \times 10^3} \quad (3.52)$$

где  $\Delta U_z$  -конечное зарядное напряжение одного аккумулятора, В;

$$P_{nom.3an} = \frac{2 \times 1 \times 2 \times 2.23}{0.71 \times 10^3} = 0.013 \text{ кВт.}$$

После аварийное потребление о сети или резервной ДЭС:

$$P_{\Pi} = P_{nom.p} + P_{nom.3an} \quad (3.53)$$

$$P_{\Pi} = 1.1 + 0.013 = 1.113 \text{ кВт}$$

## 3.2 Расчет выходных характеристик радиорелейного оборудования. Расчет пролёта

### 3.2.1 Характеристики используемого оборудования

При выборе аппаратуры, необходимо обратить внимание на количество каналов необходимых в данное время, которые будут необходимы в будущем, а также дальность и количество переприёмных станции.

Таблица 3.3- Основные технические данные Ericsson Mini-Link E

Радиоблок RAU	23-E
Частотный диапазон (ГГц)	21.2-23.6
Ширина полосы (МГц)	560
Выходная мощность	от +5 до +20 дБм ± 3 дБ
Выходная мощность при наличии доп. аттенюатора с фиксированным ослаблением	от -30 до +20 дБм
Уровни помех, создаваемых передатчиком	< -30 дБм
Скорость трафика (Мбит/с)	8x2
Пороговый уровень BER 10-3Е (дБм)	типовой -84
	гарантированный -83
Отношение сигнал/помеха (дБ) при увеличении порога BER на 1 дБ	23
Отношение сигнал/помеха (дБ) при увеличении порога BER на 3 дБ	19
Степень подавления (дБ)	20(23)
Ширина сигнатуры (МГц)	12(10)
Антенна, м	0.6
Минимальное/максимальное значение (в градусах) для Е и Н плоскостей поляризации для антенны 0.6 м	1.3/2.0
Давление и вращающий момент при допустимой скорости ветра для антенны 0.6 м	F [Н]-570
	M [Нм]-180
	P [кПа]-40
Средняя длина волны, см	15.8
Коэффициент усиления, дБ	40
Ослабление сигнала в кабеле, дБ/км	45

### 3.2.2 Выбор числа узловых и промежуточных станций.

Необходимо соединить две базовые станции одна из которых находится на Достык ниже Калинина бизнес центр Кендала (БС “Кендала”) центральная станция и больницу Калкаман (БС “Калкаман”) оконечная станция, промежуточные станции Панфилова-Кабанбай батыра “Казтелеком”, Абая-Розыбакиева “Бизнес центр”, жилой дом на Саина-Жубанова “Дом”.

### 3.2.3 Определение длины всех пролетов

При приблизительном расчете используя карту города выяснилось, что:  
Пролёт Кендала-Казтелеком-1 км;  
Пролёт Казтелеком-Бизнес центр-4.5 км;  
Пролёт БЦ-Дом-4 км;  
Пролёт Дом-Калкаман-3.25 км.  
Общая длина линии составляет 12.75 км  
Структурная схема линии приведена на рис. 3.7



Рисунок 3.7-Структурная схема линии города

### 3.2.4 План распределения частот приёма и передачи

При построение частотного плана нужно учитывать длину пролёта, используя которую необходимо будет выбрать частоты, на которых будет работать оборудование радиорелейной станции, естественно нужно учитывать параметр прямой видимости, пересечение частотных каналов соседних станций и.т.д[18]

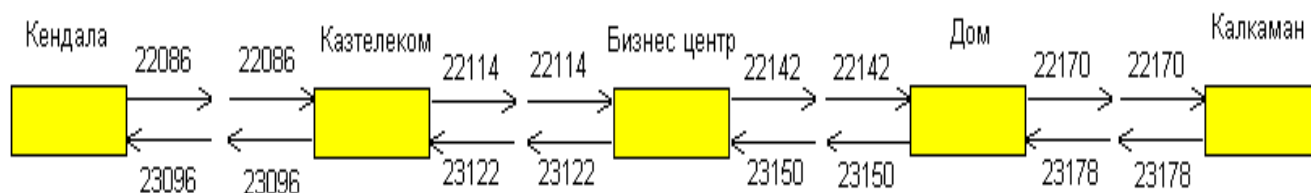


Рисунок 3.8 - План распределения частот рассчитанной линии РРЛ

### 3.2.5 Выбор высоты подвеса антенн

Основным критерием для расчета высоты подвеса антенн на пролете является условие отсутствия экранировки препятствиями минимальной зоны Френеля при субрефракции радиоволн. Известно, что основная часть энергии передатчика распространяется в сторону приемной антенны внутри минимальной зоны Френеля, представляющий эллипсоид вращения с фокусами в точках передающей и приемной антенн. Рассчитаем радиус минимальной зоны Френеля:

$$H_0 = \sqrt{R * k(1 - k) / 3} \quad (3.54)$$

где  $k = R_1 / R$ ;  $k = 6.375 / 12.75 = 0,5$

$$H_0 = \sqrt{12.75 * 10^3 * 0.5(1 - 0.5) / 3} = 32.596 \text{ м}$$

где  $R = 12.75$ -длина сети связи,  $R_1 = R/2 = 6.375$

На пересеченном пролете, существующий в течении 80% времени должен быть выбран из условия:

$$H(g + \sigma) = H_0 \quad (3.55)$$

То есть равен радиусу минимальной зоны Френеля. При этом просвет выбирают с учетом рефракции, при этом необходимо использование среднего значения  $g$  и стандартного отклонения  $\sigma$  вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы:  $g = -10 * 10^{-8} \text{ }^1/\text{м}$ ,  $\sigma = 10,5 * 10^{-8} \text{ }^1/\text{м}$ :

$$H(g + \sigma) = H(0) + \Delta H(g + \sigma) \quad (3.56)$$

где 
$$\Delta H(g + \sigma) = -R_0^2 / 4 * (g + \sigma) * k(1 - k) \quad (3.57)$$

Данная величина характеризует характер трассы: если величина относительного зазора в точке  $R_1$  больше 1, то трасса считается открытой, при ее значении в пределах от 0 до 1 - трасса считается полузакрытой, при величине относительного зазора в точке  $R_1$  менее 0 - закрытой.

$$\begin{aligned} \Delta H(g + \sigma) &= -(12.75 * 10^3)^2 / 4 * (-10 * 10^{-8} + 10,5 * 10^{-8}) * 0,5 * 0,5 = -0,019 \text{ м} \\ H(0) &= H_0 - \Delta H(g + \sigma) \end{aligned} \quad (3.58)$$

$$H(0) = 32.596 - (-0.019) = 32.615 \text{ м}$$

$$H(g + \sigma) = 32.615 + (-0.019) = 32.596 \text{ м}$$

Таким образом просвет с учетом рефракции:

$$H(g + \sigma) = 32.596 \text{ м}$$

Высоты подвеса антенн определяются из профиля трассы. Для этого откладываем по вертикали от критической точки рассчитанный просвет.

Таблица 3.4 - Зависимость высоты подвеса от коэффициента

k	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
h <sub>i</sub>	70	48	43	53	63	64	60	56	44	50	72

$$h_1 = h(0,5) + H(g+\sigma) - h(0) = 26.596 \text{ м} \quad (3.59)$$

$$h_2 = h(0,5) + H(g+\sigma) - h(1) = 24.596 \text{ м} \quad (3.60)$$

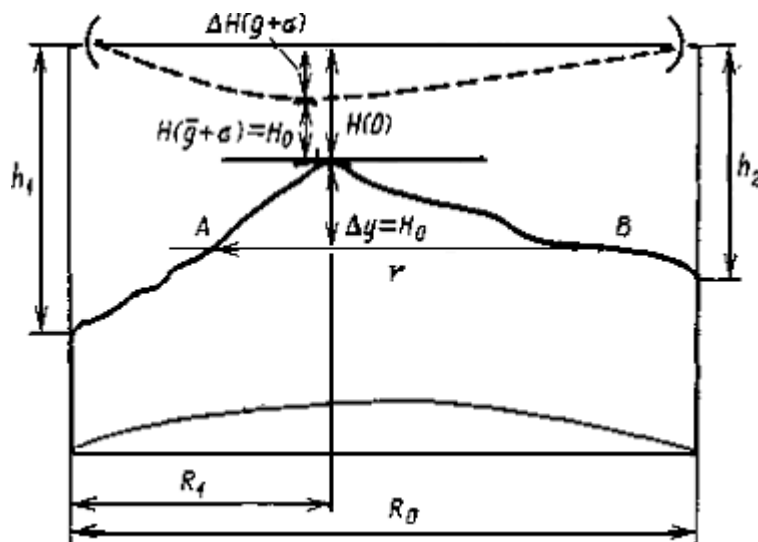


Рисунок 3.8 –К пояснению выбора высот подвеса антенн и параметра препятствия  $\mu$

### 3.2.6 Минимально допустимый множитель ослабления

Для того чтобы рассчитать минимально допустимый множитель ослабления нужно вычислить постоянные потери мощности сигнала на пролете РРЛ, которые определяются потерями в тракте распространения  $L_0$  (потерями в свободном пространстве) и потерями в антенно-фидерном тракте  $L_\phi$ .

$$L_0 = [\lambda / (4\pi R_0)]^2 \quad (3.61)$$

$$L_0 = [15,8 \cdot 10^{-2} / (4 \cdot 3,14 \cdot 12,75 \cdot 10^3)]^2 = 9,725 \cdot 10^{-13}$$

Так как на пролете применяем одинаковые антенны как на передачу так и на прием, то коэффициент усиления:

$$G_\Pi = G_{\text{пр}} = G = 40 \text{ дБ}$$

Находим потери мощности сигнала в антенно-фидерном тракте. При этом коаксиальный кабель с погонным затуханием  $\alpha_\Gamma = -0,045 \text{ дБ/м}$ . Потери в элементах антенно-фидерного тракта в соответствии с техническими данными аппаратуры составляют -2,4 дБ, 1г-10 м длина кабеля.

$$L_\phi = \alpha_\Gamma \cdot l_\Gamma - 2,4 \quad (3.62)$$

$$L_\phi = -0,045 \cdot 10 - 2,4 = -2,85 \text{ дБ}$$

$$L_{\text{пост}} = 10 \lg [\lambda / (4\pi R_0)]^2 + L_\phi + 2G \quad (3.63)$$

$$L_{\text{пост}} = 10 \lg [15,8 \cdot 10^{-2} / (4 \cdot 3,14 \cdot 12,75 \cdot 10^3)]^2 - 2,85 + 80 = -42,971 \text{ дБ}$$

Минимально допустимый множитель ослабления  $V_{\min}$  :

$$V_{\min} = 44 - K - L_{\text{пост}} \quad (3.64)$$

где  $K$  – коэффициент системы разговорного канала

$$V_{\min} = 44 - 153,8 + 42,971 = -66,829 \text{ дБ}$$

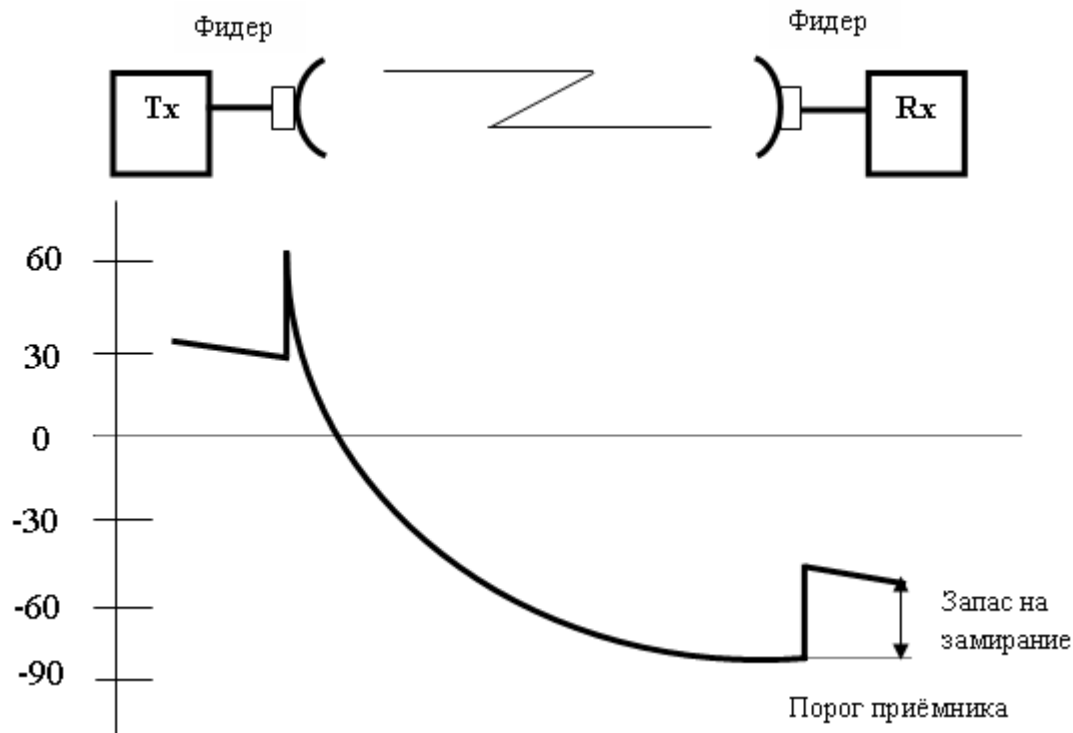


Рисунок 3.9 – Диаграмма уровней сигнала системы «передача»

### 3.2.7 Суммарная вероятность ухудшения качества связи

Суммарная вероятность ухудшения качества связи на РРЛ из-за глубоких замираний сигнала на одном из пролетов обуславливается в общем случае тремя причинами:

- Экранировкой препятствиями минимальной зоны Френеля при субрефракции радиоволн  $T_0(V_{\min})$ ;
- Интерференцией в точке приема прямого луча и лучей отраженных от слоистых неоднородностей тропосферы  $T_{\text{инт}}(V_{\min})$ ;
- Ослаблением сигнала из-за дождей  $T_d(V_{\min})$ .

Таким образом:

$$T_{\text{пр}}(V_{\min}) = T_0(V_{\min}) + T_{\text{инт}}(V_{\min}) + T_d(V_{\min}) \quad (3.65)$$

Определяем среднее значение просвета на пролете:

$$H(g) = H(0) + \Delta H(g) \quad (3.66)$$

где

$$\Delta H(g) = -(R_0^2/4)g*k(1-k)$$

$$\Delta H(g) = -(12.75*10^3)^2/4*(-10*10^{-8})*0,5*0,5 = 1.016 \text{ м}$$

$$H(g) = 32.615 + 1.016 = 33.631 \text{ м}$$

Относительный просвет:

$$P(g) = H(g)/H_0 = 33.631/32.615 = 1,031 \quad (3.67)$$

Вероятность ухудшения качества связи на РРЛ из-за экранировки препятствием минимальной зоны Френеля при субрефракции радиоволн зависит от формы верхней части препятствия.

Для унификации расчетов принято аппроксимировать препятствие любой формы сферой. Параметр  $\mu$ , характеризующий аппроксимирующую сферу, определяют следующим образом: проводят прямую АВ параллельно радиолучу на расстоянии  $\Delta y = H_0$  от вершины препятствия и из профиля находят ширину препятствия  $r$ .

$$r = R_0 = 12.75 \text{ км}$$

$$\mu = \sqrt[3]{k(1-k)*l} * \sqrt[6]{64*\pi\alpha/3} \quad (3.68)$$

$$\text{где } l = r/R_0 = 12.75/12.75 = 1 ;$$

$$\alpha = \Delta y/H_0 = 1 \quad (3.69)$$

$$\mu = \sqrt[3]{0,5*0,5} * \sqrt[6]{64*3,14/3} = 0,79$$

Из графика рисунка 3.10 определяем множитель ослабления  $V_0$  при  $H(0)=0$

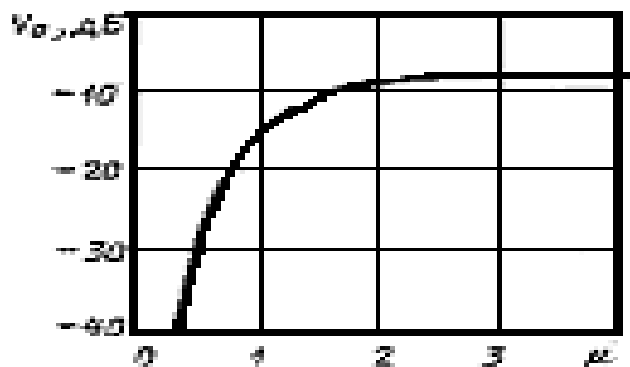


Рисунок 3.10 – Зависимость  $V_0$  от параметра препятствия

В результате мы получаем  $V_0 = -18$  дБ. Рассчитаем значение относительного просвета  $p(g_0)$ , при котором наступает глубокое замирание сигнала, вызванное экранировкой препятствием минимальной зоны Френеля.

$$p(g_0) = (V_0 - V_{\min})/V_0 \quad (3.70)$$

$$p(g_0) = [-18 - (-66,829)]/-18 = -2,713$$

Рассчитаем параметр  $\Psi$

$$\Psi = 2,31 * A[p(g) - p(g_0)] \quad (3.71)$$

где 
$$A = 1/\sigma * \sqrt{\lambda/[R^3 * k(1-k)]} \quad (3.72)$$

$$A = 1/10,5 * 10^{-8} * \sqrt{15,8 * 10 / [(12,75 * 10^3)^3 * 0,5 * 0,5]} = 5,2$$

$$\psi = 2,31 * 5,2 * [1,031 - (-2,713)] = 44,97$$

Из графика рисунок 3.11 определяем значение  $T_0(V_{\min})$



Рисунок 3.11 – График для определения  $\psi$

Так как наши значения  $T_0(V_{\min})$  выходят далеко за рамки графика, то мы принимаем их значения равные минимальному показателю, для двух препятствий:

$$T_0(V_{\min}) \approx 0 \%$$

Расчет величины  $T_{\text{инт}}(V_{\min})$  на пересеченном пролете определяется только замираниями из-за отражений радиоволн от слоистых неоднородностей тропосферы.

$$T_{\text{инт}}(V_{\min}) = V_{\min}^2 * T(\Delta\epsilon) \quad (3.73)$$

где  $V_{\min}$  - в относительных единицах

$$V_{\min} = -66,829 \text{ дБ}$$

$$V_{\min} = 4,3 * 10^{-4}$$

$$T(\Delta\varepsilon) = 4,1 * 10^{-4} * \xi * R_0 * \sqrt{f} \quad (3.74)$$

где  $\xi = 1$  для сухопутных трасс

$R_0$  - в километрах

$f_0$  - в гигагерцах

$$T(\Delta\varepsilon) = 4,1 * 10^{-4} * 12.75^2 * \sqrt{23} = 0.32 \%$$

$$T_{\text{инт}}(V_{\min}) = (4,3 * 10^{-4})^2 * 0.32 = 6 * 10^{-8} \%$$

$T_d$  – ослабление сигнала из-за дождей

$$T_{\text{дон}} = \frac{0,03 \cdot R_0}{1600}$$

$$T_{\text{дон}} = \frac{0,03 \cdot 12.75}{1600} = 2.4 \cdot 10^{-4}$$

Суммарная вероятность ухудшения качества по формуле 3.73:

$$T_{\text{пр}}(V_{\min}) = 0 + 6 * 10^{-8} + 2.4 * 10^{-4} = 2.401 * 10^{-4} \%$$

### 3.2.8 Расчет устойчивости связи на РРЛ

После расчета для каждого пролета РРЛ величин  $T_0(V_{\min})$ ,  $T_{\text{инт}}(V_{\min})$ ,  $T_d(V_{\min})$  рассчитывают суммарный процент времени ухудшения качества связи для всей РРЛ:

$$T_{\Sigma}(V_{\min}) = \sum_{i=1}^n T_{0i}(V_{\min}) + \sum_{i=1}^n T_{\text{инт}}(V_{\min}) + \sum_{i=1}^n T_{\text{дi}}(V_{\min}) \quad (3.75)$$

где  $n$  - число пролетов проектируемой РРЛ

$$n = 4$$

$$T_{\Sigma}(V_{\min}) = 4 * 0 + 4 * 6 * 10^{-8} + 4 * 2.4 * 10^{-4} = 9.602 * 10^{-4} \%$$

Допустимый процент времени ухудшения качества связи для всей РРЛ:

$$T_{\text{доп}}(V_{\min}) = 0,1 \% * L/2500 \quad (3.76)$$

где  $L$  - длина трассы  $L = 12.75 \text{ км}$

$$T_{\text{доп}}(V_{\min}) = 0,1 * 560/2500 = 5.1 * 10^{-4}$$

$$T_{\Sigma}(V_{\min}) < T_{\text{доп}}(V_{\min})$$

$$9.602 * 10^{-4} < 22,4 *$$

## Расчет бюджета потерь и зоны покрытия сетей GSM и LTE

Тип передаваемых данных – VoIP, скорость передачи: 39,7 кбит/с.

$\Delta f$  системы: 10 МГц.

Высоты подъёма антенны абонентских станций 1.5 м, а базовых станций 30 и 50 м в городской и пригородной зоне соответственно.

Производится оценка зоны покрытия сети по моделям распространения Okumura–Hata и COST 231 – Hata.

Для GSM 1800 и LTE 1800 (город)

$$L = 45,5 - 13,82 \cdot \lg H_{BC} + 35,4 \cdot \lg F - (1,1 \cdot \lg F - 0,7) \cdot H_{MC} + (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \cdot \lg R, \quad (3.77)$$

$$R = 10^{\frac{L - 45,5 + 13,82 \lg H_{BC} - 35,4 \lg F + (1,1 \lg F - 0,7) H_{MC}}{(44,9 - 6,55 \lg H_{BC})}}. \quad (3.78)$$

Для GSM 1800 и LTE 1800 (пригород):

$$L = 45,5 - 13,821 \lg H_{BC} + 35,4 \lg F - (1,1 \cdot \lg F - 0,7) \cdot H_{MC} + (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \cdot \lg R,$$

$$R = 10^{\frac{L - 45,5 + 13,821 \lg H_{BC} - 35,4 \lg F + (1,1 \lg F - 0,7) H_{MC}}{(44,9 - 6,55 \lg H_{BC})}}.$$

Для GSM 900 и LTE 900 (город):

$$L = 74,52 - 13,82 \cdot \lg H_{BC} + 26,16 \cdot \lg F - 3,2[\lg(11,75 \cdot H_{MC})] + (44,9 - 6,55 \cdot \lg H_{BC}) \cdot \lg R,$$

$$R = 10^{\frac{L - 74,52 + 13,82 \lg H_{BC} - 26,16 \lg F + 3,2(\lg 11,75 H_{MC})}{(44,9 - 6,55 \lg H_{BC})}}.$$

Для GSM 900 и LTE 900 (пригород):

$$L = 63,35 - 13,82 \cdot \lg H_{BC} + 27,72 \cdot \lg F - 2[(\lg F)/28]^2 + (44,9 - 6,55 \cdot \lg H_{BC}) \cdot \lg R - (1,1 \cdot \lg F - 0,7) \cdot H_{MC},$$

$$R = 10^{\frac{L - 63,35 + 13,82 \lg H_{BC} - 27,72 \lg F + 2\left(\frac{\lg F}{28}\right)^2 + (1,1 \lg F - 0,7) \cdot H_{MC}}{(44,9 - 6,55 \lg H_{BC})}}.$$

Допустимые потери составляют 149,2 дБ (GSM) и 155,1 (LTE).

Задача .Для сети сотовой связи GSM определить радиус зоны покрытия в городе, если известны значения потерь  $L$ , дБ , высоты базовой станции  $H_{BC}$  и абонетской станции  $H_{MC}$ , м. Сделать вывод об устойчивости связи

Таблица - Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$L$ , дБ	142	130	125	140	150	149	150	130	145	135
$H_{BC}$ , м	30	40	50	35	35	38	42	34	43	33
тип сети	GSM-1800	GSM-900	GSM-1800	GSM-900	GSM-1800	GSM-900	GSM-1800	GSM-900	GSM-1800	GSM-900

### Пример расчета

$L = 149,2$  дБ;  $H_{BC} = 30$  м;  $H_{MC} = 1,5$  м; тип GSM-1800.

$$R = 10^{\frac{149,2 - 45,5 + 13,82 \lg 30 - 35,4 \lg 1800 + (1,1 \lg 1800 - 0,7) 1,5}{(44,9 - 6,55 \lg 30)}} = 2,5 \text{ км.}$$

### Задача

Для сети сотовой связи LTE 900 определить радиус зоны покрытия, если известны значения потерь  $L$ , дБ, высоты базовой станции  $H_{BC}$  и абонетской станции  $H_{MC}$ , м.

Таблица- Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$L$ , дБ	150	125	140	130	145	135	141	142	150	130
$H_{BC}$ , м	50	35	43	33	42	34	41	39	35	38
тип зоны покрытия	город	пригород	город	пригород	город	пригород	город	пригород	город	пригород

### Пример расчета

$L = 155,1$  дБ;  $H_{BC} = 30$  м;  $H_{MC} = 1,5$  м; тип зоны покрытия – город

$$R = 10^{\frac{155,1 - 45,5 + 13,82 \lg 30 - 35,4 \lg 1800 + (1,1 \lg 1800 - 0,7) 1,5}{(44,9 - 6,55 \lg 30)}} = 3,46 \text{ км.}$$

### Задача

Рассчитать потери для LTE если известны радиус зоны покрытия  $R$ , км, высота подвеса антенны базовой  $H_{BC}$ , м и абонентской станций  $H_{MC} = 1,5$  м. Сделать вывод об устойчивости связи.

Таблица - Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R$ , км	2	2,5	1,7	2,9	1,7	2,7	1,9	2,5	1,8
$H_{BC}$ , м	50	30	55	48	52	30	40	45	35
тип зоны покрытия	город	пригород	город	пригород	город	пригород	город	пригород	город
Тип сети	LTE 900	LTE 1800	LTE 900	LTE 1800	LTE 900	LTE 1800	LTE 900	LTE 1800	LTE 900

### Пример расчета

$R = 3,2$  км;  $H_{BC} = 50$  м;  $H_{MC} = 1,5$  м; тип зоны покрытия – пригород.

$$L = 45,5 - 13,821 \lg 50 + 35,4 \lg F - (1,1 \cdot \lg 1800 - 0,7) \cdot 1,5 + (44,9 - 6,55 \lg 50) \cdot \lg 3,2 = 150 \text{ дБ.}$$

Допустимые потери для LTE 155,5 дБ > 150 дБ, значит связь будет устойчивой.

### Задача

Определить потери для GSM 1800, если известны радиус зоны покрытия  $R$ , км, высота подвеса антенны базовой  $H_{BC}$ , м и абонентской станций  $H_{MC} = 1,5$  м. Сделать вывод об устойчивости связи.

Таблица - Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R$ , км	1,9	2,5	1,8	2,6	1,5	2,5	2	2,7	1,7	2,7
$H_{BC}$ , м	30	40	45	35	45	50	30	55	48	52
тип зоны покрытия	город	пригород	город	пригород	город	пригород	город	пригород	город	пригород

Пример расчета

$R = 2$  км;  $H_{BC} = 50$  м;  $H_{MC} = 1,5$  м; тип зоны покрытия - пригород

$$L = 45,5 - 13,821 \lg 50 + 35,4 \lg F - (1,1 \cdot \lg 1800 - 0,7) \cdot 1,5 + (44,9 - 6,55 \lg 50) \cdot \lg 2 = 143 \text{ дБ}.$$

Так как  $L = 143 \text{ дБ} < L_{don} = 149,2 \text{ дБ}$ , значит связь устойчива.

1.2 Оценка допустимой скорости передачи в канале сети LTE для «близких» и «далеких» пользователей в области и

Скорость передачи в канале LTE для «близких» (в центре соты) пользователей (Мбит/с)

$$R1(u) = \frac{4}{7} W \log_2 (1 + \eta1(u)) ;$$

для «далеких» (на границе соты) пользователей

$$R2(u) = \frac{3}{7} W \log_2 (1 + \eta2(u)),$$

где  $W$  – полоса системы, МГц,  $\eta$  – SINR.

Задача

Рассчитать скорость передачи в канале для пользователей, расположенных в центре и на границе соты для DL, если известны полоса системы  $W$ , МГц,  $\eta1(u)$  – SINR для центра соты,  $\eta2(u)$  – SINR для границы соты.

Таблица- Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$W$ , $МГц$ ,	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$\eta 1(u)$	6	5	4	6	5	4	4,2	5,1	5,6	4,3
$\eta 2(u)$	0,5	0,4	0,3	0,6	0,45	0,56	0,66	0,36	0,47	0,55

Пример расчета

$$W = 10 \text{ МГц}, \eta 1(u) = 5, \eta 2(u) = 0,34.$$

Скорость передачи для пользователей в центре соты

$$R1(u) = \frac{4}{7} 10 \log_2 (1 + 5) = \frac{4}{7} \cdot 10 \cdot 2,59 = 14,8 \text{ Мбит/с},$$

а скорость передачи для пользователей на границе соты

$$R2(u) = \frac{3}{7} 10 \log_2 (1 + 0,34) = 2,5 \text{ Мбит/с}.$$

Задача

Рассчитать скорость передачи в канале для пользователей, расположенных в центре и на границе соты для UL, если известны полоса системы  $W$ , МГц,  $\eta 1(u)$  – SINR для центра соты,  $\eta 2(u)$  – SINR для границы соты.

Таблица - Исходные данные

Вариант	1, 5	2, 6	3, 7	4, 8	5, 0
$W, \text{ МГц,}$	10	10	10	10	10
$\eta 1(u)$	2	3	4	3	4
$\eta 2(u)$	0,3	0,25	0,4	0,35	0,28

### Задача

Сделать оценку допустимой скорости передачи в соте  $R_c$ , Мбит/с и в трехсекторной БС.

### Определение пространственных параметров сети WCDMA

### Расчет абонентской емкости сети WCDMA

Сеть сотовой связи строят, повторяя одни и те же частотные кластеры в пределах однородных фрагментов зоны обслуживания сети. Это позволяет снизить дефицит радиочастот за счет их повторного использования. Исходя из числа рабочих частот, выделенных оператору –  $nf$  и размерности кластера –  $C$ , находим число каналов, используемых для управления и сигнализации –  $N_y$  и число трафика каналов, приходящихся на одну несущую.[12]

Исходные данные для расчета пространственных параметров сети с точки зрения абонентской емкости:

- число каналов трафика на соту  $N_{a\text{ nei}};$
- вероятностью блокировки вызова  $P_{bl}$
- активность одного абонента в ЧНН  $A_a = 0,03 - 0,04$  Эрл;
- число абонентов сети  $M_s;$
- число секторов на БС –  $D$
- площадь зоны обслуживания  $S_{зон}.$

Максимально возможное число абонентов, которое может обслужить сектор БС  $N_{a\ sec}$

$$N_{a\ sect} = \frac{A_s}{A_a}.$$

Число секторов в сети

$$N_{sect} = \frac{N_{a\ net}}{N_{a\ sect}}.$$

Число БС в сети

$$N_{BC\ net} = \frac{N_{sect}}{D},$$

где D – число секторов на БС.

Площадь БС

$$S_{BC} = \frac{S_{net}}{N_{BC}}.$$

Дальность связи (радиус соты с точки зрения абонентской нагрузки):

$$R = k \sqrt{\frac{S_{BC}}{\pi}},$$

где  $k = 1.25$  – коэффициент, учитывающий необходимость взаимного перекрытия сот для обеспечения хэндовера.

Для среднего и малого города с высотой антенны BS 30м, высотой антенны MS 1,5м и несущей частотой 1950МГц допустимые потери на трассе с помощью модели COST231–Hata:

$$L_p = 137,4 + 35,2 \cdot \lg(R).$$

Тогда радиус соты с точки зрения бюджета потерь:

$$R = 10^{\frac{L_k - 137,4}{35,2}}, \text{ км.}$$

Если  $R$  ( по потерям)  $\approx R$  ( по абонентской емкости), то выполняются требования по покрытию и емкости сети и ресурсы используются наиболее рационально, а если данное требование не выполняется, то надо произвести расчет заново для улучшения ситуации, изменяя определенные параметры.

Таким образом, на этом этапе планирования находится число базовых станций и максимальный радиус сот, исходя из абонентской плотности (нагрузки).

Произведем расчет абонентской емкости для тотальной услуги – VoIP. Каждой соте при мягком повторном использовании частот выделяется вся полоса системы.

Оценим абонентскую емкость для полосы 10 МГц. Примем в расчет то, что для организации речевого канала со скоростью 39.7 кбит/с необходим 1 ресурсный блок, в частотной области занимающий 180 кГц. Следовательно, можем организовать 55 речевых каналов ( $N_{a \text{ sect}}$ ).

Для систем сотовой связи вероятность блокировки равна 1%, расчетная абонентская нагрузка составляет  $A_a = 0.025$  Эрл на абонента. По таблице Эрланга для системы с отказами получаем по исходным данным нагрузку, которую может выдержать сайт  $A_s = 42.4$  Эрл. (см. приложение таблицы Эрланга)[12]

Посчитаем количество абонентов, которым будет предоставлена услуга VoIP в ЧНН:

$$N_a = \frac{A_s}{A_a} = \frac{42,2}{0,025} = 1696$$

Число секторов в сети

$$N_{sect} = \frac{N_{a \text{ net}}}{N_{a \text{ sect}}} = \frac{1696}{55} = 30.$$

Число БС в сети

$$N_{BC \text{ net}} = \frac{N_{sect}}{D} = \frac{30}{2} = 10,$$

где  $D = 3$  – число секторов для одной БС

Площадь города  $S = 2500 \text{ км}^2$ .

Площадь зоны БС

$$S_{BC} = \frac{S_{net}}{N_{BC}} = \frac{2500}{10} = 250 \text{ км}^2.$$

Дальность связи

$$R = k \sqrt{\frac{S_{BC}}{\pi}} = 1,25 \sqrt{\frac{250}{3,14}} = 11 \text{ км}$$

### Задача

Произвести расчет абонентской емкости сети WCDMA, если известно число речевых каналов  $N_a$ , активность одного абонента в ЧНН  $A_a$ , число секторов для одной БС  $D$ , площадь населенного пункта, где организуется сеть WCDMA  $S_{net}$

Таблица - Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$A_a$	0,028	0,003	0,025	0,035	0,004	0,038	0,029	0,031	0,041	0,027
$N_a$	24	29	33	80	98	111	55	80	98	33
$D$	3	4	6	3	4	6	3	4	6	3
$S_{net}, \text{км}^2$	1500	1200	1600	2500	2600	3000	2500	2600	2700	1800

### Задача

Рассчитать радиус соты с точки зрения абонентской нагрузки и с точки зрения бюджета потерь. Определить выполняются ли требования по покрытию и емкости сети. Если нет то, произвести расчет заново для улучшения ситуации, изменяя определенные параметры.

Таблица - Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$L, \text{дБ}$	148	161	151	153	151	154	149	152	150	135
$S_{net}, \text{км}^2$	300	450	260	270	180	150	120	160	250	190
$NBC_{net}$	35	10	23	20	16	8	10	8	12	10

### Распределение кодовых сдвигов по секторам (сотам) сети WCDMA

Все BS в сети используют один короткий код, но с разными циклическими сдвигами. По циклическому сдвигу короткого кода можно выделять и различать сигналы, излучаемые BS в разных сотах и секторах.

$\text{int}[\frac{512}{m}]$  Сектора и соты сети группируются в кодовые кластеры, максимальная размерность которых ( , 512),

$$\text{int}[\frac{512}{m}]$$

где - количество сот,

512 – максимально возможное количество секторов в кластере,

$m \in \{1, 3, 6\}$  - секторность сот.

Средний радиус кластера равен:

$$R_{clust} = R_{cell} \sqrt{\text{int}(\frac{512}{m})}.$$

Соты и сектора с идентичными кодовыми сдвигами будут разнесены на расстояние:

$$R_{clust} \cong 2R_{cell} \sqrt{\text{int}(\frac{512}{m})}.$$

Задача

Рассчитать размерность кластера, средний его радиус, а также расстояние между секторами с идентичными кодовыми сдвигами.

Таблица - Исходные данные

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$m$	1	3	6	1	3	6	1	3	6	1
$R_{cell}$ , км	3	4	5	6	7	9	3	5	7	5

## **4 Бизнес план**

### **4.1 Общая информация о проекта**

Главной целью данного проекта является организация сети беспроводного доступа GSM, высокоскоростной доступ в Интернет, компьютерная сеть. Данный проект построен для компании ОАО «Казахтелеком», которая является оператором связи на телекоммуникационном рынке Казахстана.

Основой экономической эффективности технологии беспроводной передачи данных является низкая стоимость, быстрота развертывания, широкие функциональные возможности по передаче трафика данных, IP-телефонии, видео, – все это делает беспроводную технологию одним из самых быстрорастущих телекоммуникационных направлений.

Основными целями, которые ставит перед собой руководство компании, являются:

- а) создать удобства и преимущества,
- б) получение внушительного дохода

### **4.3 Финансовый план**

#### **4.3.1 Расчет капитальных вложений**

Затраты по капитальным вложениям на реализацию проекта включают в себя затраты на приобретение основного оборудования, монтаж оборудования, транспортные расходы и проектирование, и рассчитывается по формуле:

$$K_{\Sigma} = K_O + K_M + K_{TP} + K_{ПР} \quad (4.1)$$

где:  $K_O$  – капитальные вложения на приобретение основного оборудования;

$K_M$  – расходы по монтажу оборудования;

$K_{TP}$  – транспортные расходы;

$K_{ПР}$  – затраты на проектирование

Таблица 4.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Показатель	Сумма тенге
ФОТ	1 848 000
Отчисления на социальные нужды (Ос)	182 952
Амортизационные отчисления (А <sub>0</sub> )	453 791,25
Затраты на электроэнергию (Э)	60 964
Накладные расходы (Н)	1 909 280
ИТОГО	4 454 987

#### 4.3.3 Расчет доходов

Рассчитаем условный доход, полученный от внедрения сети. Услуга Megaline предоставляет возможность пользователям ноутбуков, карманных персональных компьютеров и смартфонов, имеющих порт Wi-Fi, получить беспроводный доступ в сеть Интернет. Оплата услуги Megaline Wi-Fi производится посредством предоплаченной карты Tarlan + по тарифам представлены в таблице 4.4 услуги “беспроводной связи”. Карты Tarlan продаются в размере 500, 1000, 2000 и 5000 тенге.[14]

Таблица 4.4 – Тарифы услуги беспроводной связи

Время	Размер платы за каждую полную или неполную минуту, в тенге
рабочие дни:	
с 08.00 до 18.00;	1,34
с 18.00 до 23.00;	1,68
с 23.00 до 08.00.	0,65
выходные и праздничные дни:	
с 08.00 до 23.00;	1,24
с 23.00 до 08.00.	0,59

По статистическим данным каждый пользователь Сети в среднем за месяц использует Tarlan карту на сумму 1000 тенге.

Доход от реализации услуг рассчитывается по формуле

$$Д = (T \times n) \times N, \quad (5.12)$$

где  $T$  – месячная абонентская плата клиентов;

$N$  – количество клиентов, По статистическим данным в среднем в общежитии насчитывается 500 клиентов (всего проживает 700 человек);

$n$  – число месяцев;

$$Д = (1000 \times 12) \times 500 = 6000000 \text{ тенге}$$

Оценки эффективности от реализации проекта производится на основе следующих показателей:

Чистый доход;

- 1) Чистый приведенный доход;
- 2) Срок окупаемости без дисконтирования;
- 3) Срок окупаемости с учетом дисконтирования.

Для расчета срока окупаемости необходимо определить чистый доход и доход предприятия после налогообложения.

Прибыль от реализации услуг определяется по формуле:

$$ЧП = П - КПН \quad (4.13)$$

где П - прибыль от реализации услуг.

КПН – корпоративный подоходный налог с юридических лиц. Сумма налога в бюджет составляет 20 % от чистого дохода предприятия. Чистый доход предприятия после налогообложения рассчитывается по формуле:

$$КПН = 0,2 \cdot П \quad (4.14)$$

Прибыль от реализации услуг рассчитывается по формуле:

$$П = Д - \sum \mathcal{E} \quad (4.15)$$

где Д – реальный доход от внедрения услуг в год,

$\sum \mathcal{E}$  – эксплуатационные расходы

КПН в соответствии с формулой (4.14) составил

$$КПН = 0,2 \cdot 1545013 = 309003$$

Прибыль от реализации услуг в соответствии с формулой (4.16) составила

$$П = 6000000 - 4\,454\,987 = 1545013 \text{ тенге}$$

Тогда чистая прибыль после налогообложения в соответствии с формулой (4.13) составит:

$$ЧП = 1545013 - 309003 = 1236010$$

Таблица 4.5 – Показатели доходов без учёта дисконтирования

Наименование показателя	1 год	2 год
Доходы от реализации услуг, тенге	6 000 000	6 000 000
Эксплуатационные расходы, тенге	4 454 987	4 454 987

Прибыль, тенге	1 545 013	1 545 013
Чистая прибыль, тенге	1 236 010	1 236 010
Амортизационные отчисления $A_0$ , тенге	453 791	453 791
Чистый денежный поток, тенге	1 689 801	3 379 602
Капитальные вложения, тенге	1 815 165	0
Чистые поступления, тенге	125 364	3 254 238

## **5 Безопасность жизнедеятельности**

### **5.1 Анализ условий труда в используемом помещении**

Условия труда на рабочих местах с коммутационным оборудованием складываются под воздействием большого числа факторов.

Организационные факторы опасных условий труда связаны с неправильной организацией труда и рабочего места, недостаточным соблюдением инструкций и правил пользования защитными средствами.

Технические факторы связаны с несовершенством оборудования, неисправностью оборудования, отсутствием технических средств безопасного ведения труда: плохое состояние изоляции, отсутствие защитного заземления, ограждение и блокировки.

Санитарно–гигиенические факторы связаны с несоблюдением санитарных норм освещения и микроклимата, содержанием вредных веществ в производственной среде, наличием шума и высокочастотных излучений, с повышенным уровнем статического электричества, использованием электроустановок с повышенным напряжением.

Психоопасные физиологические и вредные факторы возникают при появлении физических и нервно – психических перегрузок из – за умственного перенапряжения, монотонности труда, эмоциональных перегрузок.

Рабочее место является основной производственной единицей в организационной структуре предприятия. На рабочем месте выполняется определенная часть рабочего пространства, оснащенного оборудованием, где работником или группой работников соответствующей квалификации в определенных внешних условиях выполняется часть трудового процесса, связанного с обработкой данного предмета труда, на основе устных или письменных инструкций и с помощью конкретных орудий труда.

Цветовое оформление интерьера. Общеизвестно, что благоприятное сочетание цветов при отделке интерьеров и окраске технологического оборудования способствуют повышению производительности труда. Так, благодаря правильному решенному цветовому интерьеру можно добиться

повышения освещенности помещения, создания благоприятного цветового климата, улучшения зрительного восприятия пропорций помещения.[16]

## 5.5 Пожарная безопасность

В зависимости от технологических процессов и свойств веществ и материалов по взрывопожарной и пожарной опасности помещения и здания подразделяются на пять категорий А, Б, В, Г, Д в соответствии с нормами технологического проектирования или перечнем производств. Эти нормы устанавливаются и утверждаются соответствующими министерствами и ведомствами.

Согласно ПЭУ электромашинные помещения в отношении пожарной опасности следует отнести к производственной категории Г (в соответствии с требованиями СНИП II – М.2–72). Помещение оборудовано телефонной связью и пожарной сигнализацией. В помещении находятся первичные средства огнетушения – ящик с сухим песком и ручные углекислотные огнетушители.

Если горящая электроустановка не отключена, и находится под напряжением, то тушение ее представляет опасность поражения электрическим током. Как правило, тушить ручными средствами пожар электрооборудования следует при снятом с него напряжении. Если почему – либо снять напряжение невозможно, то допускается тушение установки, находящейся под напряжением, но с соблюдением мер электробезопасности, которые предусмотрены инструкцией по тушению пожаров в электроустановках станций.

Ручные углекислотные огнетушители типа ОУ–2, ОУ–5, ОУ–8 емкостью соответственно 2,5, 5 и 8 литров предназначены для тушения небольших загораний всех видов. Они приводятся в действие путем открывания запорного вентиля вращением маховичка. Струя снегообразной углекислоты действует в течении 30 – 40 секунд на расстоянии до 2 метров.

Так как площадь помещения маленькая, то для оптимального использования следует выбрать 1 огнетушитель типа ОУ – 5.

В таблице приведена общая оценка условий труда производственного объекта.

Таблица 5.5 – Оценка условий труда производственного объекта

Наименование производственного фактора, единицы измерения	ПДК, ПДУ	Фактический уровень производственного фактора	Величина отклонения "+"	№ протокола, дата проведения замера, кем проведены
---	----------	---	-------------------------	--

1 Вредные химические вещества в воздухе рабочей зоны, мг/мм <sup>3</sup>	0,01	Ниже уровня чувствительности прибора	Норма	Протокол № 352 от 20.11.2000. Выездная лаборатория Государственного комитета Стандартизации и Метрологии
2 Пыль преимущественно фиброгенного действия, мг/мм <sup>3</sup>	0,0015	Ниже уровня чувствительности прибора	Норма	
3 Вибрация, дБ	2	0	Норма	
4 Шум, дБ	65	44	Норма	
5 Излучения: неионизирующее, мкВт/см <sup>2</sup>	60	72	12	
6 Ионизирующее, мкВт/см <sup>2</sup>	12	8	Норма	
7 Микроклимат: Температура, 0 С	18–240	210 С	Норма	
8 Относительная влажность, %	55–36%	52 %	Норма	
9. Освещенность E, лк	200	150	Норма	

### 5.6 Расчет естественного освещения

При боковом освещении общую площадь световых проемов (окон)  $S_0$ , м<sup>2</sup>, обеспечивающую нормированные значения КЕО, определяем по формуле (5.1):

$$100 \frac{S_0}{S_n} = \frac{\ell_n \cdot \eta_0}{\tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{зд.} \cdot K_3, \quad (5.1)$$

где  $S_0$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>;  
 $\ell_n$  – нормированное значение КЕО;  
 $K_3$  – коэффициент запаса;  
 $\tau_0$  – общий коэффициент светопропускания;  
 $\eta_0$  – световая характеристика световых проемов;  
 $r_1$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, применяющего к зданию;  
 $K_{зд.}$  – коэффициент, учитывающий затенения окон противостоящими зданиями.

Из формулы (5.2) выразим  $S_0$ :

$$S_0 = \frac{S_n \cdot \ell_n \cdot \eta_0 \cdot K_{зд.} \cdot K_3}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1} . \quad (5.2)$$

Определим значения всех составляющих:

$$S_n = B \cdot L = 2,5 \cdot 3,5 = 8,75 \text{ м}^2 .$$

Нормированное значение КЕО определяем:

$$\ell_n^{IV} = \ell_n^{III} \cdot m \cdot c ,$$

где  $\ell_n^{III}$  – значение КЕО для III пояса;

$m$  – коэффициент светового климата;

$c$  – коэффициент солнечного климата.

Для г. Душанбе выбираем значения коэффициента  $m$  и  $c$ :

$$m = 0,9,$$

$$c = 0,8.$$

$$\ell_n^{IV} = 1,2 \text{ (для работ средней точности IV разряда)}.$$

$$\ell_n^{IV} = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 0,864.$$

Отношение длины к глубине (т.е. наиболее удаленной точки от окна):

$$L : b = 3,5 : 1,5 = 2,33 ,$$

где  $b$  – глубина помещения.

$$\text{Отношение } B : h_1 = 2,5 : 1,6 = 1,56,$$

где  $h_1$  – высота от уровня условной рабочей поверхности до верха окна:

$$(h_1 = 2,4 - 0,8 = 1,6 \text{ м})$$

Исходя из вычисленных параметров определяем  $\eta_0 = 9,3$ .

В качестве светопропускающего материала используем стекло оконное листовое двойное ( $r_1=0,8$ ); вид переплета – деревянные спаренные ( $r_2=0,7$ ); вид несущих конструкций покрытий – железобетонные фермы и арки ( $r_3=0,8$ ). Значения  $\tau_1, \tau_2$  и  $\tau_3$ .

Вычисляем  $\tau_0$  :

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 = 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 0,448.$$

Средний коэффициент отражения в цехе  $\iota_{cp.} = 0,5$ ; принимаем одностороннее боковое освещение.

Определяем значение  $r_1$ .

$$B : h_1 = 1,56,$$

$$\ell : B = 1,5 : 2,5 = 0,6.$$

Принимаем  $r_1 = 1,3$ .

Так как затеняющих окна серверной зданий нет, то принимаем  $K_{зд.} = 1$ .

Коэффициент запаса  $K_3 = 1,2$ .

$$S_0 = \frac{8,75 \cdot 0,864 \cdot 9,3 \cdot 1 \cdot 1,2}{100 \cdot 0,448 \cdot 1,3} = 1,5 \text{ м}^2.$$

Так как высота оконных проемов 1,5 м, то, следовательно, их длина составит:

$$1,5 : 1,5 = 1 \text{ м}.$$

Таким образом, площадь световых проемов составит 1,5 м<sup>2</sup>. Соответственно получим 1 окно 1,5 м шириной и 1,5 м высотой.[17]

## 5.7 Расчет искусственного освещения

В связи с внедрением оборудования IP шлюза в помещение серверной необходимо предусмотреть соответственно искусственное освещение данного помещения.

Условия искусственного освещения на промышленных предприятиях, в частности на автоматических телефонных станциях, оказывают большое влияние на зрительную работоспособность, физическое и моральное состояние обслуживающего персонала, а следовательно на качество и бесперебойность связи и производственный травматизм.

При размещении осветительных приборов в помещении серверной предусматриваются следующие условия:

- создание нормируемой освещенности наиболее экономичным путем;
- соблюдение требований к качеству освещения;
- безопасный и удобный доступ для обслуживания;
- наименьшую протяженность и удобство монтажа групповой сети,
- надежность крепления.

Необходимо учесть строительные особенности помещений, их высоту.

Расчет искусственного освещения выполняется в данном дипломном проекте методом коэффициента использования и методом удельной мощности.

## 5.9 Метод удельной мощности

Сущность расчета освещения по методу удельной мощности заключается в том, что в зависимости от типа светильника и места его установки, высоты подвеса над рабочей поверхностью, освещенности на горизонтальной поверхности и площади помещения определяется значение удельной мощности.

Задавшись числом светильников, обеспечивающих равномерность освещенности, определяют мощность общей лампы по формуле (5.6) :

$$P = \frac{\omega \cdot S}{N}, \quad (5.6)$$

где  $\omega$  – удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$N$  – число светильников.

Подставив исходные значения в формулу, получим

$$P = \frac{18,28 \cdot 8,75}{4} \approx 40 \text{ Вт.}$$

Так как расчетное значение мощности лампы совпадает со стандартной мощностью, то выбираем 4 лампы ЛД мощностью 40 Вт.

Таблица 5.6 – Параметры отечественных кондиционеров

Обслуживание площади, м <sup>2</sup>	25	35
Производительность по холоду, Вт/час (Ккал/час)	1740 (1500)	2900 (2500)
Производительность по воздуху при высокой частоте вращения вентилятора, м <sup>3</sup> /час	400	630
Производительность по воздуху при низкой частоте вращения вентилятора, м <sup>3</sup> /час	320	500
Потребляемая мощность, Вт	900	1450

## **Заключение**

В своем дипломном проекте произвел обоснование проекта. В работе был сделан анализ сети беспроводного доступа стандарта GSM 1800 .В качестве выбора оборудования для реализации проекта было отдано предпочтение. Обоснование выбора оборудования производилось с учетом: технических характеристик, возможности применения, стоимости и так далее. В технической части проекта рассмотрен вариант построения сети беспроводного доступа с установлением шести точек доступа. Выбор обусловлен условиями технических параметров оборудования. В расчетной части дипломного проекта произведены расчеты эффективной изотропной излучаемой мощности и зона покрытия сети.

В разделе безопасности и жизнедеятельности был проведен анализ условий труда, расчет системы искусственного освещения и пожарной безопасности.

В экономической части дипломного проекта был произведен анализ рынка связи и представлен бизнес-план проектируемой системы с указанием срока окупаемости проекта.

## **Список литературы**

- 1 Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник. – Санкт-Петербург, Питер, 2001.
- 2 Бабков В.Ю. Общие подходы к задачам планирования и оптимизации 2G-4G сетей подвижной связи, -С-П, 2011.
- 3 «Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11. Практическое руководство по изучению, разработке и использованию беспроводных ЛВС стандарта 802.11» / Педжман Рошан, Джонатан Лиэри. – М.: Cisco Press Перевод с английского Издательский дом «Вильямс», 2004
- 4 «Современные технологии беспроводной связи» / Шахнович И. – М.: Техносфера, 2004
- 5 «Сети и системы радиодоступа» / Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. – М.: Эко-Трендз, 2005
- 6 «Анатомия беспроводных сетей» / Сергей Пахомов. – Компьютер-Пресс, №7, 2002
- 7 «WLAN: практическое руководство для администраторов и профессиональных пользователей» / Томас Мауфер. – М.: КУДИЦ-Образ, 2005
- 8 «Беспроводные сети. Первый шаг» / Джим Гейер. – М.: Издательство: Вильямс, 2005
- 9 «Секреты беспроводных технологий» / Джек Маккалоу. – М.: НТ-Пресс, 2005
- 10 «Современные технологии и стандарты подвижной связи» / Кузнецов М.А., Рыжков А.Е. – СПб.: Линк, 2006
- 11 «Базовые технологии локальных сетей» / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 1999
- 12 Сайт компании Aperto Networks.: <http://www.Aperto Networks..com>
- 13 Шахнович С. Современные беспроводные технологии. - ПИТЕР, 2004
- 14 Голубицкая Е.А., Жигульская Г.М. Экономика связи. – М.: Радио и связь, 1999.
- 15 Баклашов Н.И., Китаева Н.Ж., Терехов Б.Д. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник. – М.: Радио и связь, 1989.
- 16 Верховский Е.И. Пожарная безопасность на предприятиях радиоэлектроники. – М.: Высшая школа, 1987
- 17 Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
- 18 Сайт ОАО «Казахтелеком»: [www.telecom.kz](http://www.telecom.kz)
- 19 Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабищ А.А. Методические указания для студентов всех форм обучения специальности 050719 -Радиотехника электроника и телекоммуникации. – Алматы: АИЭС, - 2008. - 20 с.

