МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой ТКС

_____
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

_____ «____» _____ 2014 г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: «Проектирование Indoor сети для комплекса Алмалы на базе оператора Теле2»

Специальность 5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) Еликбаев Н.Н. МТСу-11-1
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Богомолова Л.Г. ст. преп.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:
Фекишева А.И., к.э.н., доцент
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «27» мая 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Кенжибетова А.С. ст. преп.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «2» июня 2014 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
ст. преподаватель Аргохин А.В.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «04» июня 2014 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Кондратова А.П. ст. преп. ТКС
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «2» 06 2014 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «____» _____ 20__ г.
(подпись)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехники и связи
Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студент Елисбаев Нуршан Нурмахановичи
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта « Проектирование Indoor сети для [illegible] Алмалы на базе оператора Тел.2 ».

утверждена приказом ректора № 115 от «24» сентября 2013 г.
Срок сдачи законченной работы «25» мая 2014 г.
Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

- Территория [illegible] Алмалы
- Indoor покрытия
- Оператор [illegible]
- Технологии GSM

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

- Обзор существующих технологий сотовой связи GSM
- Разработка и расчет основных параметров оборудования
- Безопасность жизнедеятельности
- [illegible] часть

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Упрощенная архитектура сети GSM
компоненты сети
Частотный план 1-го этажа (2 Б)
Частотный план 2-го этажа (2 Б)
Расчет покрытия точек доступа
Годовые эксплуатационные расходы

Рекомендуемая основная литература

1. Ю.А. Громаков Сотовые системы подвижной радиосвязи полного электронных коммуникаций. ТГМ 48 "Эко-Трендз" 2004 г.
2. Гвоздев Р.М. Мобильная связь - 3-го поколения М: связь и бизнес 2000 г.
3. Вестник АУЦ №4 (7), 2009 г.
4. Веселовский К.Н. и Д. Рудинского Системы подвижной радиосвязи - М: Горячая линия - Телеком: 2006 г. - 536 с.
5. Безопасность жизнедеятельности. Под. ред: И.А. Белова - М: Знание, 2000 - 364 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Экспл. учеть	Бекишева А.Ф.	23.04 - 27.05.14.	[signature]
[illegible]	Гешибетова А.С.	20.03 - 22.04.14	[signature]
[illegible]	[illegible] А.В.	12.05 - 4.06.14	[signature]
[illegible]	[illegible] Л.Г.	15.03 - 17.05	[signature]

подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Обзор существующих технологий сотовой связи GSM	15.03	Выполнено
1.1.	Информационный обзор системы GSM	15.03	Выполнено
1.2.	Актуальность использования мобильной сети UMTS	15.03	Выполнено
1.3.	Технология HSDPA	15.04	Выполнено
2.	Разработка и расчет основных параметров оборудования	15.04	Выполнено
2.1.	Выбор и техническая характеристика оборудования	15.04	Выполнено
2.2.	Базовая станция RBS 3206	20.04	Выполнено
2.3.	Расчет зоны действия сигнала	20.04	Выполнено
2.3.1.	Планирование и расчет покрытия	25.04	Выполнено
3.	Безопасность жизнедеятельности	11.05	Выполнено
3.2.	Расчет защитного заземления баз. ст. стандарта WCDMA	11.05	Выполнено
3.3.	Профилактика неисправностей в помещениях с оборудованием сотовой связи	11.05	Выполнено
4.	Экономическая часть	17.05	Выполнено
4.2	Цель и задачи	17.05	Выполнено
4.5	Финансовый план	17.05	Выполнено
4.5.6	Расчет доходов	17.05	Выполнено
4.5.7	Расчет срока окупаемости	10.05	Выполнено
4.6	Вывод		
5	Заключение		
6	Список литературы		

Дата выдачи задания «24» сентября 2014 г.

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ _____
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ Елибаев Н.Н.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аңдатпа

Осы диплом жобасында жерасты сауда – алдарқат кешені үшін Алмалы аумағының indoor – жобалауінің кәрез байланысның Tele 2 технология негізінде жоспар және интернет еңгізуі қарастырылған.

Диплом жобасында тағы да құрал – жабдықтардың құрамы, желісің құрастыру сызуы, стандарттың міңездемесі, оның алдынғы алдынғы стандарттардың айырмашылығы көрсетілген.

Жобада өмір тіршілігі қауіпсіздігінің шаралары жазылған.

Осы жобаның техникалық – экономикалық негізінде еңгізу жолдары жасалған.

Аннотация

В данном дипломном проекте рассмотрен план и обоснование indoor-проектирования сотовой связи на базе оператора Теле2 для подземного торгово-развлекательного комплекса Алмалы.

В дипломном проекте так же представлены характеристики стандарта, indoor-проектирования, схема построения сети и состав оборудования.

В проекте также описаны меры безопасности жизнедеятельности.

Разработано технико-экономическое обоснование внедрения данного проекта.

Abstract

In this thesis project examined the plan and justification of design cotovoy indoor-based communications operator Tele2 for underground shopping mall Almali.

In the thesis project also shows the characteristics of the standard, indoor-design scheme for constructing the network structure and equipment.

The project also describes the measures safety.

Feasibility study of the project implementation.

Содержание

Введение 8
1 Обзор существующих технологий сотовой связи GSM 9
1.1 Информационный обзор системы GSM 9
1.1.1 Фазы развития стандарта GSM 9
1.1.2 Описание компонентов сети GSM 13
1.1.3 Состав системы коммутации SS 14
1.1.3.1 Центр коммутации мобильной связи 14
1.1.3.2 Опорный регистр местоположения (HLR) 14
1.1.3.3 Визитный регистр (VLR) 15
1.1.3.4 Центр аутентификации (AUC) 15
1.1.3.5 Регистр идентификации оборудования абонента (EIR) 16
1.1.3.6 Состав системы базовых станций BSS 16
1.1.3.7 Частотный диапазон GSM 17
1.2. Актуальность использования мобильной сети UMTS 18
1.2.1 Принципы построения сети UMTS 20
1.2.2 Функции сети UMTS 22
1.2.3 Анализ основных параметров сети UMTS 24
1.2.4 Архитектура сети UMTS 27
1.3 Технология HSDPA 29
1.4 Технология HSUPA 32
1.5 Применение репитеров в сетях мобильных сетях 40
1.6 Применение репитеров в системе UMTS 40
2 Разработка и расчет основных параметров оборудования 42
2.1 Выбор и техническая характеристика оборудования 44
2.2. Базовая станция RBS 3206 (Базовая станция сотовой связи стандарта UMTS) 45
2.2.1 Внутренняя приемо-передающая мульти диапазонная антенна KATHEREIN 46
2.2.2 Фидеры радиочастотные 47
2.3 Расчет зоны действия сигнала 48
2.3.1 Планирование и расчет покрытия 51
3 Безопасностьжизнедеятельности 59
3.1 Анализ потенциально опасных и вредных факторов, воздействующих на обслуживающий персонал при монтаже и эксплуатации проектируемого объекта 59
3.2 Расчет защитного заземления базовой станции стандарта WCDMA 61
3.3 Профилактика пожаров в помещении с оборудованием сотовой связи 63

4Экономическая часть 66
4.1 Резюме 66
4.2 Цели и задачи 67
4.3 Компания и отрасль 67
4.4 Описание продукции (услуги) 70 GSM 68
4.5 Финансовый план 69
4.5.1 Расчет инвестиционных затрат 69
4.5.2 Расчет эксплуатационных расходов 70
4.5.3 Расчет материальных затрат 72
4.5.4 Расчет фонда оплаты труда 73
4.5.5 Расчет накладных расходов 74
4.5.6 Расчет доходов 75
4.5.7 Расчет срока окупаемости 76
4.5.8 Расчет показателей сравнительной экономической Эффективности 76
4.5.9 Показатели экономической эффективности, основанные на учетных (статистических) данных 77
4.5.10 Динамические методы, основанные на дисконтированных 77
оценках 77
4.6 Вывод 79
5 Заключение 80
6 Список литературы 81
7 Приложение А . Выбор направлений 82
8 Приложение Б . Частотный план первого и второго этажа 84
9 Приложение С. Расчет зоны действия сигнала 85

Введение

Шведский оператор Теле2, пришедший на смену отечественному оператору Нео, динамично развивается, составляя существенную конкуренцию операторам-лидерам - Кселл и Билайн.

Сегодня, Теле2 расширяет место своего присутствия. Но количество базовых станций увеличивается не только с целью увеличения площади покрытия, но и для разгрузки трафика, связанного с ростом плотности абонентов. Современная тенденция покрытия больших зданий, торговых и бизнес комплексов - насыщение покрытия путем indoor-планирования.

Indoor-планирование - самое удобное решение для покрытия современных многоэтажных зданий с высокой плотностью. Уже нет необходимости разворачивать секторы антенн на здания.

Торговый комплекс Алмалы, расположенный на Новой площади в городе Алматы, отличается своим подземным расположением. Покрытие методом indoor является самым оптимальным методом, так как асфальтобетонный потолок является препятствием для проникновения радиоволн с наружных базовых станций.

На данный момент ситуация у оператора Теле2 обстоит следующим образом. Подземный развлекательный комплекс обслуживается базовыми станциями, расположенными на улице Сатпаева, что недостаточно для покрытия всей площади комплекса.

Наиболее оптимальное решение проблемы - проктеривание базовой станции с indoor расположением антенн. Данное решение поможет полностью устранить “мертвые зоны”, что приведет повышению уровня комфорта похитителей.

Целью данной работы - проектирование покрытия сотовой сетью GSM территорию подземного торгового комплекса «Алмалы».

. Для достижения цели определим задачи:

- разобраться в теоретических аспектах планирования сети сотовой связи;
- выбор оптимального оборудования для проекта;
- определится с местом инсталляции indoor базовых станций, а также учитывая особенности распространения сигнала в условиях здания и на открытой местности, рассчитать зону покрытия сети;
- осуществить экономическое обоснование проекта, произвести расчет стоимости и срок окупаемости развертывания сети ;
- рассмотреть вопросы безопасности жизнедеятельности при монтаже и эксплуатации сети GSM.

Для достижения поставленной цели и решения задач, будем пользоваться технической литературой.

1 Обзор существующих технологий сотовой связи GSM

1.1 Информационный обзор системы GSM

GSM относится к сетям второго поколения (2 Generation) (1G — аналоговая сотовая связь, 2G — цифровая сотовая связь, 3G — широкополосная цифровая сотовая связь, коммутируемая многоцелевыми компьютерными сетями, в том числе Интернет).

Мобильные телефоны выпускаются с поддержкой 4 частот: 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц[1].

В зависимости от количества диапазонов, телефоны подразделяются на классы и вариацию частот в зависимости от региона использования:

- Одно диапазонные — телефон может работать в одной полосе частот. В настоящее время не выпускаются, но существует возможность ручного выбора определённого диапазона частот в некоторых моделях телефонов, например Motorola C115, или с помощью инженерного меню телефона;
- Двух диапазонные (Dual Band) — для Европы, Азии, Африки, Австралии 900/1800 и 850/1900 для Америки и Канады;
- Трёх диапазонные (Tri Band) — для Европы, Азии, Африки, Австралии 900/1800/1900 и 850/1800/1900 для Америки и Канады;
- Четырех диапазонные (Quad Band) — поддерживают все диапазоны 850/900/1800/1900.

В стандарте GSM применяется GMSK-модуляция с величиной нормированной полосы BT — 0,3, где B — ширина полосы фильтра по уровню минус 3 дБ, T — длительность одного бита цифрового сообщения.

GSM на сегодняшний день является наиболее распространённым стандартом связи. По данным ассоциации GSM (GSMA) на данный стандарт приходится 82 % мирового рынка мобильной связи, 29 % населения земного шара использует глобальные технологии GSM. В GSMA в настоящее время входят операторы более чем 210 стран и территорий

1.1.1 Фазы развития стандарта GSM

В конце 1980 года группа создателей-разработчиков рекомендаций стандарта GSM решили, что количество спецификаций на данный стандарт не достаточно для наиболее полного своего воплощения. Поэтому первое воплощение стандарта GSM было обозначено как Фаза 1. Все последующие фазы GSM (фаза 2, фаза 2+) были разработаны на основе предыдущих фаз.

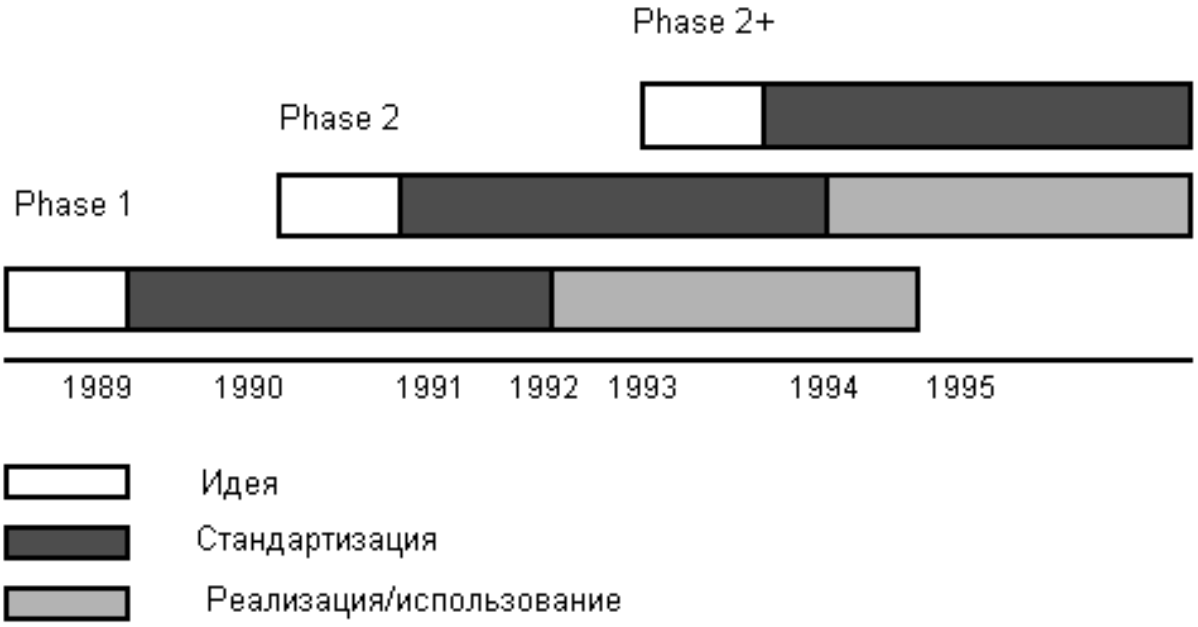

Рисунок 1.1 - Фазы GSM

Фаза 1 включает в себя наиболее общие услуги:

- звуковую телефонию;
- интернациональный роуминг;
- передача факсимильных сообщений и данных (скорости до 9.6 Кбит/сек);
- переадресация вызовов;
- запреты вызовов;
- передача коротких сообщений.

Кроме вышеперечисленного, Фаза 1 включает в себя опции шифрования и Модуль идентификации абонента (Subscriber Identity Module - SIM).

Стандарт для фазы 2 был выпущен ETSI в ноябре 1996 года и обозначался как ETS 300 522. Стандарт этой версии часто обозначается как GSM 03.02. Эта фаза относительно фазы 1 включает в себя такие дополнительные свойства и возможности, как:

- уведомление об оплате;
- идентификация линии вызывающего абонента;
- уведомление об ожидающем вызове;
- удержание вызова;
- конференц-связь;
- замкнутая группа пользователей;
- дополнительные возможности передачи данных.

Группы по стандартизации определили следующую фазу как 2+. Стандарт для фазы 2+ был выпущен ETSI в мае 2000 года и часто обозначается как GSM 01.04, версия V 8.0.0. Эта программа охватывает возможности предоставления абонентам множественного номера и различные

свойства корпоративных сетей связи. Некоторыми усовершенствованиями, предложенными в фазе 2+, являются:

-множественный профиль абонента;

-частный план нумерации;

-доступ к услугам Центрекс;

-взаимодействие с GSM 1800, GSM 1900 и стандартом DECT – стандартом беспроводного абонентского доступа.

Приоритеты и график появления новых свойств и функций зависят в первую очередь от того интереса, который демонстрируют компании-операторы, разработчики и производители оборудования.

Эта фаза включает в себя существенные усовершенствования радио интерфейса, в том числе:

- EDGE – усовершенствованный высокоскоростной протокол передачи данных для глобальной эволюции (Enhanced Datarates for Global Evolition);

- CAMEL - усовершенствованная логика мобильной связи для пользовательских приложений (Customized Application for Mobile Enhanced Logic), стандарт, который обеспечивает абонентам доступ к услугам IN при международном роуминге;

- HSCSD – высокоскоростная передача данных с коммутацией каналов (High Speed Circuit Switched Data, метод обеспечения абоненту более высокой скорости передачи данных посредством назначения увеличенного числа временных интервалов (каналов) для одного соединения.

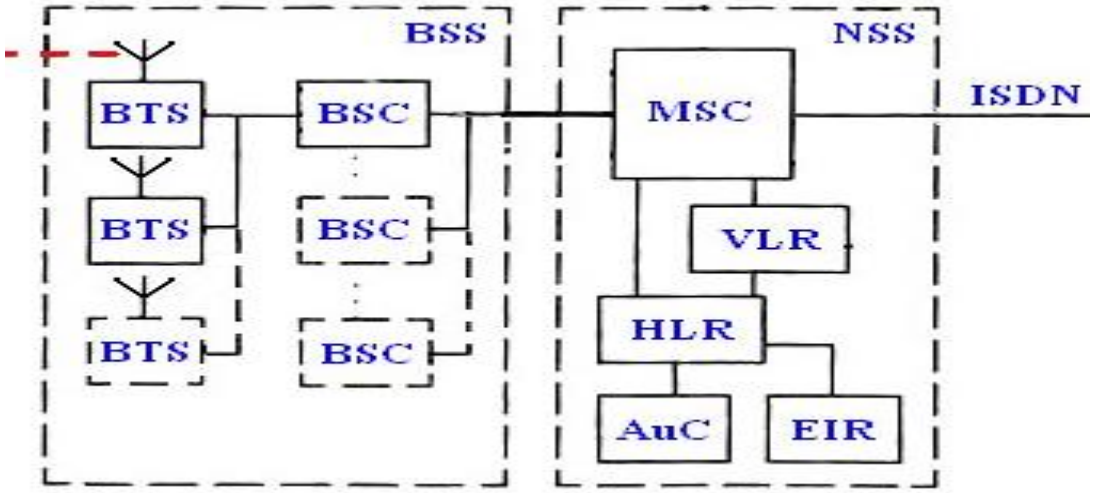

Рисунок 1.2 – Упрощенная архитектура сети GSM

Самая простая часть структурной схемы - переносной телефон, состоит из двух частей: собственно "трубки" - ME (Mobile Equipment - мобильное устройство) и смарт-карты SIM(Subscriber Identity Module - модуль идентификации абонента), получаемой при заключении контракта с оператором. Как любой автомобиль снабжен уникальным номером кузова, так и сотовый телефон имеет собственный номер - IMEI (International Mobile

Equipment Identity - международный идентификатор мобильного устройства), который может передаваться сети по ее запросу (более подробно про IMEI SIM, в свою очередь, содержит так называемый IMSI (International Mobile Subscriber Identity - международный идентификационный номер подписчика). Думаю, разница между IMEI и IMSI ясна - IMEIсоответствует конкретному телефону, а IMSI - определенному абоненту.

"Центральной нервной системой" сети является NSS (Network and Switching Subsystem - подсистема сети и коммутации), а компонент, выполняющей функции "мозга" называется MSC(Mobile services Switching Center - центр коммутации). Именно последний всуе называют (иногда с придыханием) "коммутатор", а также, при проблемах со связью, винят во всех смертных грехах. MSC в сети может быть и не один (в данном случае очень уместна аналогия с многопроцессорными компьютерными системами) - например, на момент написания статьи московский оператор Билайн внедрял второй коммутатор (производства Alcatel). MSC занимается маршрутизацией вызовов, формированием данных для биллинговой системы, управляет многими процедурами - проще сказать, что НЕ входит в обязанности коммутатора, чем перечислять все его функции.

Следующими по важности компонентами сети, также входящими в NSS, я бы назвал HLR (Home Location Register - реестр собственных абонентов) и VLR (Visitor Location Register - реестр перемещений). Обратите внимание на эти части, в дальнейшем мы будем часто упоминать их. HLR, грубо говоря, представляет собой базу данных обо всех абонентах, заключивших с рассматриваемой сетью контракт. В ней хранится информация о номерах пользователей (под номерами подразумеваются, во-первых, упоминавшийся выше IMSI, а во-вторых, так называемый MSISDN-Mobile Subscriber ISDN, т.е. телефонный номер в его обычном понимании), перечень доступных услуг и многое другое - далее по тексту часто будут описываться параметры, находящиеся в HLR.

В отличие от HLR, который в системе один, VLR ов может быть и несколько - каждый из них контролирует свою часть сети. В VLR содержатся данные об абонентах, которые находятся на его (и только его!) территории (причем обслуживаются не только свои подписчики, но и зарегистрированные в сети роумеры). Как только пользователь покидает зону действия какого-то VLR, информация о нем копируется в новый VLR, а из старого удаляется. Фактически, между тем, что есть об абоненте в VLR и в HLR, очень много общего - посмотрите таблицы, где приведен перечень долгосрочных (табл.1) и временных (табл.2 и 3) данных об абонентах, хранящихся в этих реестрах. Еще раз обращаю внимание читателя на принципиальное отличие HLR от VLR: в первом расположена информация обо всех подписчиках сети, независимо от их местоположения, а во втором - данные

только о тех, кто находится на подведомственной этому VLR территории. В HLR для каждого абонента постоянно присутствует ссылка на тот VLR, который с ним (абонентом) сейчас работает (при этом сам VLR может принадлежать чужой сети, расположенной, например, на другом конце Земли).

1.1.2 Описание компонентов сети GSM

Сеть GSM делится на 2 системы. Каждая из этих систем включает в себя ряд функциональных устройств, которые, в свою очередь являются компонентами сети мобильной радиосвязи.

Данными системами являются:

- Коммутационная система - Switching System (SS);
- Система базовых станций - Base Station System (BSS).

Каждая из этих систем контролируется компьютерным центром управления.

Система SS выполняет функции обслуживания вызовов и установления соединений, а также отвечает за реализацию всех назначенных абоненту услуг. SS включает в себя следующие функциональные устройства:

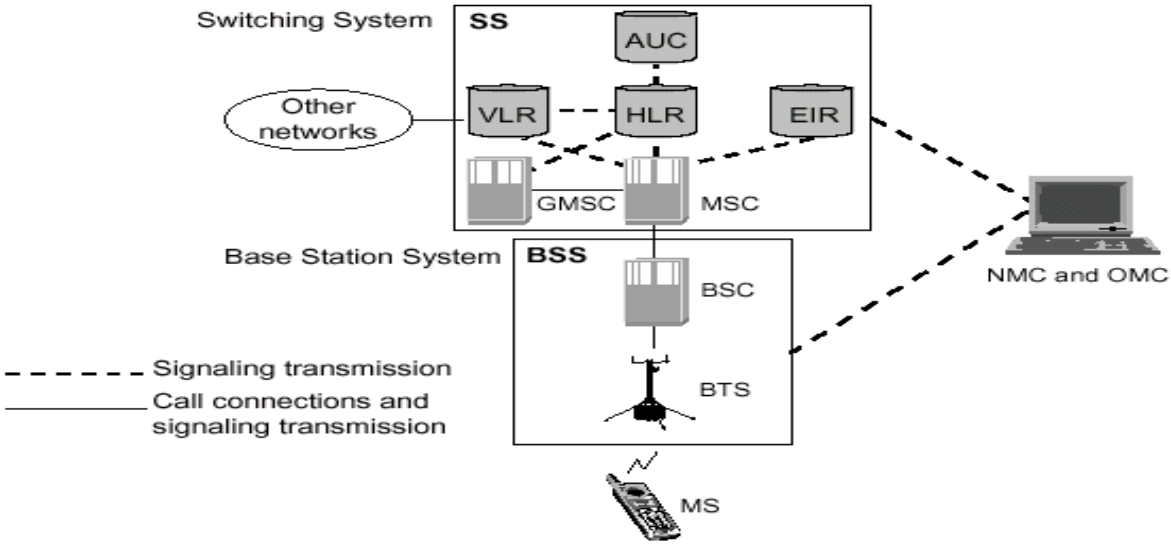

Рисунок 1.2 - Функциональная схема системы мобильной радиосвязи

- центр коммутации мобильной связи (MSC);
- опорный регистр местоположения (HLR);
- визитный регистр (VLR);
- центр аутентификации (AUC);
- регистр идентификация оборудования (EIR).

Система BSS отвечает за все функции, относящиеся к радио интерфейсу. Эта система включает в себя следующие функциональные блоки:

- контроллер базовых станций (BSC);
- базовую станцию (BTS).

Центр технического обслуживания (OMC) выполняет все задачи по эксплуатационно-техническому обслуживанию для сети, например, из него проводится наблюдение за сетевым трафиком, за аварийными сигналами от всех сетевых элементов.

Из OMC доступ осуществляется как к системе SS, так и к системе BSS. MS не принадлежит ни к одной из этих систем, но рассматривается как элемент сети.

1.1.3 Состав системы коммутации SS

1.1.3.1 Центр коммутации мобильной связи (MSC)

MSC выполняет функции коммутации для мобильной связи. Данный центр контролирует все входящие и исходящие вызовы, поступающие из других телефонных сетей и сетей передачи данных. К данным сетям можно отнести PSTN, ISDN, сети данных общего пользования, корпоративные сети, а также сети мобильной связи других операторов. Функции проверки подлинности абонентов также выполняются в MSC. MSC обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами. На MSC возлагаются функции коммутации радиоканалов. К ним относятся «эстафетная передача», в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении мобильной станции из соты в соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностях.

MSC формирует данные, необходимые для выписки счетов за предоставленные сетью услуги связи, накапливает данные по состоявшимся разговорам и передаёт их в центр расчётов (биллинг-центр). MSC составляет также статистические данные, необходимые для контроля работы и оптимизации сети.

MSC не только участвует в управлении вызовами, но также управляет процедурами регистрации местоположения и передачи управления.

Центр коммутации постоянно осуществляет постоянное слежение за мобильными станциями, используя регистры положения (HLR) и перемещения (VLR).

1.1.3.2 Опорный регистр местоположения (HLR)

В системе GSM каждый оператор располагает базой данных, содержащей информацию обо всех абонентах принадлежащих своей PLMN. Эта база данных может быть организована в одном или более **HLR**. Информация об абоненте заносится в HLR в момент регистрации абонента (заключения абонентом контракта на обслуживание) и хранится до тех пор, пока абонент не расторгнет контракт и не будет удалён из регистра HLR.

- хранящаяся информация в HLR включает в себя:
- идентификатор абонента;

- дополнительные услуги, закрепленные за абонентом;
- информацию о местоположении абонента;
- аутентификационную информацию абонента.

HLR может быть выполнен как в собственном узле сети, так и отдельно. Если емкость HLR исчерпана, то может быть добавлен дополнительный HLR. И в случае организации нескольких HLR база данных остаётся единой – распределённой. Запись данных об абоненте всегда остаётся единственной. К данным, хранящихся в HLR, могут получить доступ MSC и VLR, относящиеся к другим сетям, в рамках обеспечения межсетевого роуминга абонентов.

1.1.3.3 Визитный регистр (VLR)

База данных VLR содержит информацию о всех абонентах мобильной связи, расположенных в данный момент в зоне обслуживания MSC. Таким образом, для каждого MSC на сети существует свой VLR. В VLR временно хранится информация об абонировании, и благодаря этому связанный с ним MSC может обслуживать всех абонентов, находящихся в зоне обслуживания данного MSC. VLR может рассматриваться как распределенный HLR, поскольку в VLR хранится копия информации об абоненте, хранящейся в HLR.

Когда абонент перемещается в зону обслуживания нового MSC, VLR, подключенный к данному MSC, запрашивает информацию об абоненте из того HLR, в котором хранятся данные этого абонента. HLR посылает копию информации в VLR и обновляет у себя информацию о местоположении абонента. Когда абонент звонит из новой зоны обслуживания, VLR уже располагает всей информацией, необходимой для обслуживания вызова. В случае роуминга абонента в зону действия другого MSC, VLR запрашивает данные об абоненте из HLR, к которому принадлежит данный абонент. HLR в свою очередь передаёт копию данных об абоненте в запрашивающий VLR и в свою очередь обновляет информацию о новом местоположении абонента. После того как информация обновится, MS может осуществлять исходящие/входящие соединения.

1.1.3.4 Центр аутентификации (AUC)

Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы связи вводятся механизмы аутентификации – удостоверения подлинности абонента. AUC - центр проверки подлинности абонента состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации (осуществляется генерация паролей). 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.

1.1.3.5 Регистр идентификации оборудования абонента (EIR)

EIR – это база данных, содержащая информацию о идентификацион ных номерах мобильных трубок. Данная информация необходима для осуществления блокировки краденых трубок. Данный регистр (EIR) предлагается операторам как опция, поэтому, многие операторы не используют данный регистр.

1.1.3.6 Состав системы базовых станций BSS

Контроллер базовых станций (BSC). BSC управляет всеми функциями, относящимися к работе радиоканалов в сети GSM. Это коммутатор большой емкости, который обеспечивает такие функции, как хэндовер MS, назначение радиоканалов и сбор данных о конфигурации сот. Каждый MSC может управлять несколькими BSC.

Базовая станция (BTS). BTS управляет радиоинтерфейсом с MS. BTS включает в себя такое радиооборудование, как трансиверы (приемо-передатчики) и антенны, которые необходимы для обслуживание каждой соты в сети. Контроллер BSC управляет несколькими BTS. Мобильная станция (MS). MS используется абонентом сети мобильной связи для осуществления связи в пределах сети. Существует несколько типов MS, каждый из которых позволяет абоненту устанавливать входящие и исходящие соединения. Производители MS предлагают абонентам большое число разнообразных, отличающихся по дизайну и возможностям аппаратов, удовлетворяющих потребности различных рынков.

Диапазон зоны покрытия каждого мобильного терминала зависит от его выходной мощности. Различные типы MS располагают разными выходными уровнями мощности и, соответственно, могут осуществлять уверенную работу в пределах зон разных размеров. Так, например, выходная мощность обычной трубки, которую абоненты носят с собой, меньше, чем мощность установленного в автомобиле аппарата с выносной антенной, следовательно, зона ее работы меньше.

MS стандарта GSM состоится из следующих элементов:

мобильного терминала (трубки);

модуля идентификации абонента (SIM).

В стандарте GSM, в отличие от других стандартов, информация об абоненте отделена от информации о мобильном терминале. Абонентская информация хранится на смарт-карте SIM. SIM может вставляться в любой аппарат, поддерживающих стандарт GSM. Это является для абонентов преимуществом, потому что они могут легко менять аппараты по своему желанию, что никак не влияет на обслуживание абонента сетью. Кроме того, это обеспечивает повышенную безопасность для абонента.

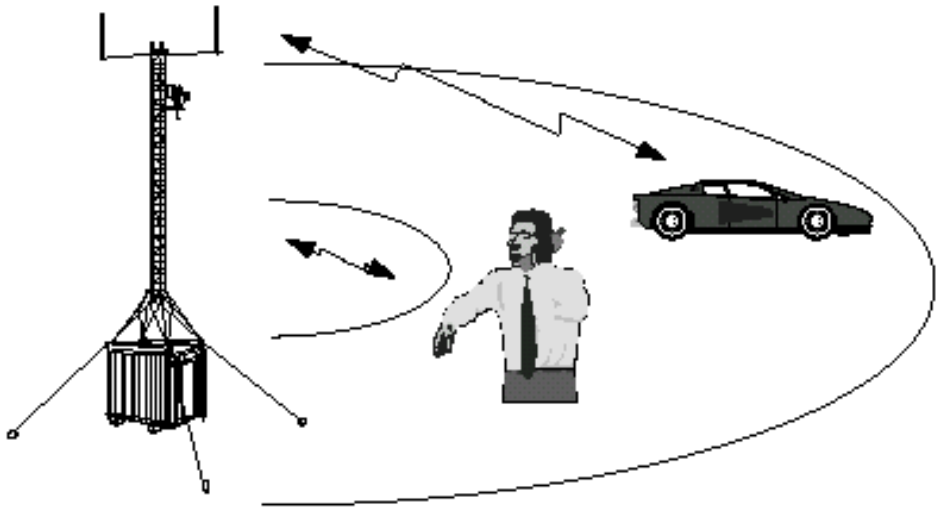

Рисунок 1. 3 - Зоны действия различных мобильных телефонов

1.1.3.7 Частотный диапазон GSM

GSM включает в себя три диапазона частот: 900, 1800, 1900 МГц.

Диапазон 900 МГц

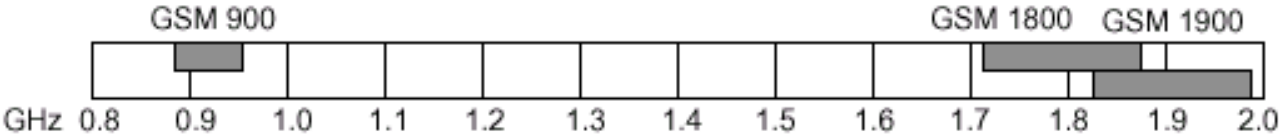

Рисунок 1.3 - Частотные диапазоны GSM

Изначально под стандарт GSM был выделен диапазон 900 МГц. В настоящее время данный диапазон остаётся всемирным. В некоторых странах используются расширенные диапазоны частот, обеспечивающие большую ёмкость сети. Расширенные диапазоны частот называются E-GSM и R-GSM, в то время как обычный диапазон носит название P-GSM (primary).

- P-GSM900 890-915/915-960 MHz;
- E-GSM900 880-915/925-960 MHz;
- R-GSM900 890-920/915-970 MHz.

Диапазон 1800 МГц. В 1990 г. для увеличения конкуренции между операторами, United Kingdom начали развивать новую версию GSM, которая адаптирована к диапазону частот 1800. Сразу после утверждения данного диапазона несколько стран сделали заявку на использование данного диапазона частот. Введение данного диапазона увеличило рост количества операторов, приводя к увеличению конкуренции и, соответственно,

улучшению качества обслуживания. Применение данного диапазона позволяет увеличивать емкость сети за счёт увеличения полосы пропускания и, соответственно, увеличение несущих. Диапазон частот 1800 использует следующие пары дуплексных частот: GSM 1710-1805/1785-1880 MHz
До 1997 года стандарт 1800 носил название Digital Cellular System (DCS) 1800 MHz, в настоящее время носит название GSM 1800.

Диапазон 1900 МГц. В 1995 году в США была специфицирована концепция PCS (Персональные услуги связи). Основной идеей этой концепции является возможность предоставления персональной связи, то есть связи между двумя абонентами, а не между двумя мобильными станциями. PCS не требует, чтобы эти услуги были реализованы на основе сотовой технологии, но в настоящее время эта технология признана наиболее эффективной для данной концепции. Частоты, доступные для реализации PCS, находятся в области 1900 МГц. Поскольку в Северной Америке стандарт GSM 900 не может быть использован из-за того, что эта полоса частот занята другим стандартом, стандарт GSM 1900 является возможностью заполнения этого пробела. Основным различием между американским стандартом GSM 1900 и GSM 900 является то, что GSM 1900 поддерживает сигнализацию ANSI.

Диапазон GSM 800. Традиционно полоса 800 МГц была занята распространенным в США стандартом TDMA (AMPS и D-AMPS). Как и в случае со стандартом GSM 1800 этот стандарт дает возможность получения дополнительных лицензий, то есть расширяет область работы стандарта на национальных сетях предоставляя операторам дополнительную емкость.

В таблицу 1.1 снесены сравнительные данные различных частотных диапазонов.

Таблица 1.1 - Диапазоны частот

Передача	Диапазоны частот				
	P-GSM 900	E-GSM 900	R-GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Uplink	890 – 915 МГц	880 - 915 МГц	890 – 925 МГц	1710 – 1785 МГц	1850 – 1910 МГц
Downlink	935 – 960 МГц	925 - 960 МГц	935 – 970 МГц	1805 – 1880 МГц	1930 – 1990 МГц

1.2 Актуальность использования мобильной сети UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) — технология сотовой связи, разработанная Европейским институтом стандартов телекоммуникаций (ETSI). Сотовые сети, использующие данную технологию, относят к сетям третьего поколения (сетям 3G). К основным отличиям сетей UMTS от сетей GSM относят использование широкополосных сигналов (сигнал может занимать полосу либо 5 МГц, либо 1,6 МГц), и внедрение

широкополосной технологии множественного доступа с кодовым разделением каналов (W-CDMA).

Наиболее выраженной особенностью UMTS является использование абонентами более высоких скоростей передачи: скорость может достигать 384 Кбит/с при коммутации каналов и 2 Мбит/с при коммутации пакетов. Естественно, что более высокие скорости передачи способствуют внедрению некоторых новых услуг, например, видеотелефонии и быстрой загрузке данных. При наличии ограничивающей нагрузку прикладной программы, по всей вероятности, будет обеспечиваться быстрый доступ к информации и ее фильтрация в соответствии с местом нахождения пользователя.Часто запрос информации будет производиться через Интернет, что требует эффективной обработки трафика TCP/UDP/IP в сети UMTS. На первых этапах UMTS почти весь трафик будет речевым, но со временем доля трафика передачи данных будет увеличиваться. Однако, трудно предсказать темп, с которым пойдет процесс доминирования трафика передачи данных во всем объеме трафика. В то время, когда будет происходить переход от речевого трафика к трафику передачи данных, будет совершаться переход от коммутации каналов к пакетной коммутации. В начальный период работы UMTS не все функции обеспечения качества обслуживания (QoS) будут реализованы, и поэтому приложения, критичные к задержке пакетов, такие как передача речи и видеотелефония будут осуществляться в сетях с коммутацией каналов. Позднее окажется возможным поддерживать такие услуги, критичные ко времени задержки, посредством передачи пакетированных данных с обеспечением необходимого QoS.

По сравнению с GSM и другими имеющимися на сегодняшний день сетями подвижной связи UMTS обладает новой и важной особенностью , а именно той, что она позволяет согласовывать характеристики радиоканала доступа как переносчика информации, B-канала. Этими характеристиками передачи могут служить пропускная способность, задержка при передаче и вероятность появления ошибок в данных. Чтобы система успешно работала, UMTS должна поддерживать широкий спектр приложений, удовлетворяющий самым разным требованиям к качеству обслуживания (QoS). В настоящее время невозможно предсказать характер и широту использования многих из этих приложений. Поэтому нет ни возможности, ни смысла оптимизировать UMTS к одному ряду приложений. Каналы-переносчики информации UMTS должны иметь по природе общий характер, позволять хорошо обеспечивать существующие приложения и способствовать развитию новых приложений. Поскольку в большинстве своем современные приложения представляют собой приложения, связанные с Интернет или N-ISDN, естественно, что эти приложения и услуги определяют в первую очередь процедуры для управления каналом-переносчиком информации (B-каналом).

1.2.1 Принципы построения сети UMTS

В основу принципов построения сети UMTS положено разделение двух аспектов: физической реализации отдельных сетевых блоков и формирования функциональных связей между ними. При этом задачи физической реализации решаются, исходя из концепции области (domain), а функциональные связи рассматриваются в рамках слоя (stratum).
Первичным разделением на физическом уровне является разделение архитектуры сети на область пользовательского оборудования (User Equipment Domain) и область сетевой инфраструктуры(Infrastructure domain.).

Пользовательское оборудование - это совокупность пользовательских терминалов (ПТ) с различными уровнями функциональных возможностей, используемых сетевыми абонентами для доступа к UMTS услугам. Заметим, что ПТ могут быть совместимы с другими, помимо UMTS, интерфейсами доступа, например, работать в совмещенном GSM-режиме.

Продолжая стратегию разделения мобильного пользователя и мобильного оборудования, принятую еще в стандартах второго поколения, область пользовательского оборудования, в свою очередь, подразделяется на область мобильного оборудования (Mobile Equipment Domain) и область мобильного пользователя (User Services Identity Module Domain), реализуемую в виде сменяемых идентификационных карт. Сопряжение областей (подобластей) принято идентифицировать логическими опорными (контрольными) точками, которые физически реализуются соответствующими интерфейсами. Так, опорная точка, находящаяся на стыке областей мобильного оборудования и мобильного пользователя (рисунок 1.3), называется .“точка Cu ”.

Мобильное оборудование как физический объект предназначено для выполнения операций приемо-передачи сообщений, а также со-держит в себе набор встроенных приложений. В соответствии с этим, область мобильного оборудования может быть разделена еще на два модуля: оконечный мобильный терминал (Mobile Termination), отвечающий за прием и передачу радиосигналов, и терминальное оборудование (Terminal Equipment), позволяющее реализовывать так называемые “сквозные” (в смысле маршрута передачи данных) приложения, например, подключать к ПТ переносной компьютер, факс-модем и др. В отличие от разделения на области, разделение на функциональные модули, как правило, не сопровождается идентификацией опорными точками.

В область мобильного пользователя относят данные и относящиеся к ним процедуры, позволяющие идентифицировать сетевого абонента, либо наоборот, отказать ему в доступе в сеть по каким-либо причинам. Как обычно, такие данные и процедуры реализованы в идентификационной карте, выдаваемой пользователю при приобретении ПТ.

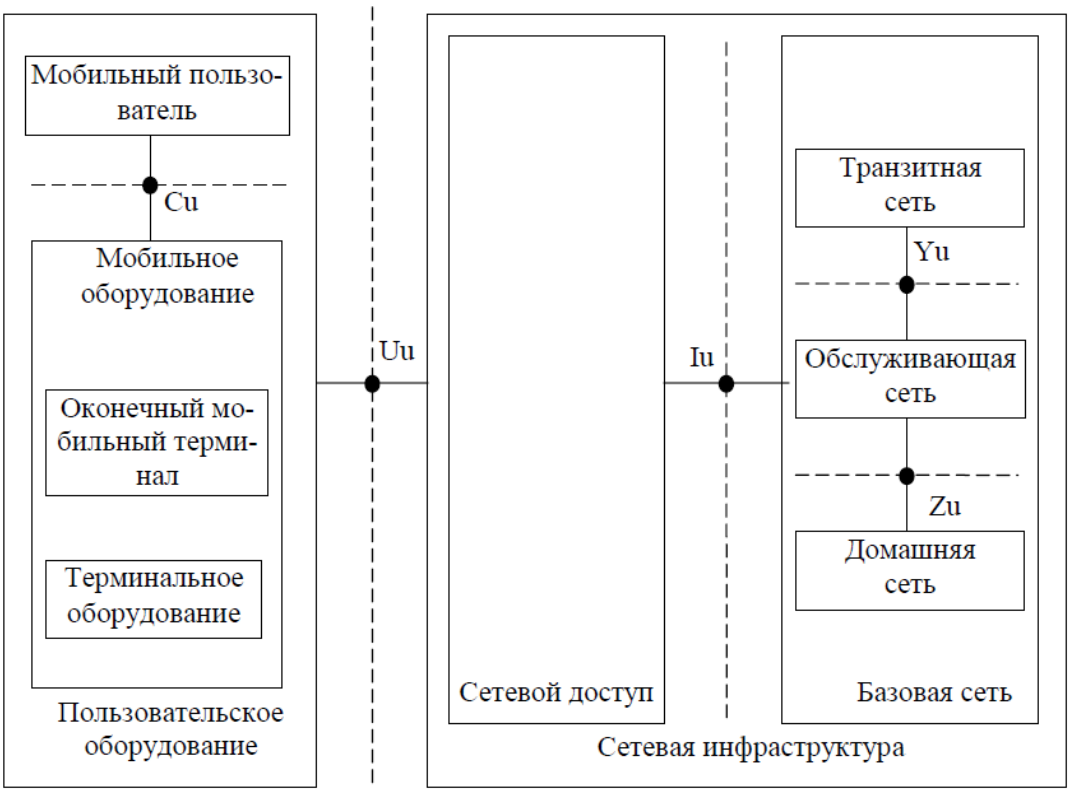

Рисунок 1.4 - Разделение сети UMTS на области

Обратимся к области сетевой инфраструктуры, которая, в свою очередь, разделена на область сетевого доступа (Access Network Domain) и область базовой сети (Core Network Domain). Такое разделение обусловлено желанием четко разграничить процессы, связанные с беспроводным доступом ПТ в сеть по радиоинтерфейсу, и все иные процессы. Другими словами, область доступа к сети содержит в себе функции, специфичные для данного метода беспроводного доступа, в то время как функции базовой сети в принципе могут использоваться с любыми методами доступа. Опорной точкой, разграничивающей области сетевого доступа и базовой сети, является “точка Iu”.

Область доступа к сети содержит физические элементы, позволяющие управлять ресурсами беспроводного доступа, а также обеспечивающие пользователю механизмы доступа к базовой сети.

Область базовой сети состоит из физических элементов, которые обеспечивают поддержку непосредственно сетевых и телекоммуникационных услуг, таких, как управление сетевыми ресурсами, определение местоположения пользователя, передача по сети служебной информации, сопряжение с другими сетями. Исходя из этих задач, область базовой сети подразделяется еще на три области: область обслуживающей сети (Serving Network Domain), область домашней сети (Home Network Domain) и область транзитной сети (Transit Network Domain).

Область обслуживающей сети (часто её называют просто обслуживающей областью) — это та часть базовой сети, к которой осуществлено пользовательское подключение, включающая в себя функции, локальные по отношению к точке пользовательского доступа и, следовательно, изменяющиеся при перемещении пользователя. Обслуживающая область предназначена для маршрутизации вызовов и пользовательской информации, она способна взаимодействовать и с домашней областью для обеспечения пользовательских услуг, и с транзитной областью — для обеспечения услуг по передаче служебной информации.

Область домашней сети (домашняя область) представляет собой часть базовой сети, в которой сосредоточены функции постоянного отслеживания, контроля и управления местоположением пользователя, т. е. безотносительно к текущей точке пользовательского доступа. Идентификационная карта связывает каждого пользователя со своей домашней областью, следовательно, в домашней области также должна находиться информация, необходимая для идентификации, а также информация об услугах доступных данному пользователю.

Наконец, область транзитной сети (транзитная область) является связующим звеном между обслуживающей областью и удаленным абонентом. Опорными точками, разграничивающими обслуживающую и до-машнюю области, а также обслуживающую и транзитную области, являются “точка Zu” и “точка Yu” соответственно (рисунок 1.3).

1.2.2 Функции сети UMTS

Как уже было сказано, наиболее значимой частью транспортного слоя и всей сети доступа в целом является слой доступа, на который возложено большинство задач, связанных с обеспечением и поддержкой сетевых услуг. Поэтому при рассмотрении различных сетевых функций принято акцентировать их принадлежность слою доступа или, наоборот, подчеркивать то, что они находятся вне этого слоя.

Кратко рассмотрим основные функции:

- управление вызовом. Функция находится вне слоя доступа, поскольку оперирует с механизмами сигнализации (передачей служебной информации), расположенными в базовой сети. Примером исполнения функции является посылка сообщений из набора Q.9311;

- управление каналом соединения. Функция находится вне слоя доступа. В управление каналом радиодоступа заложены следующие базовые принципы;

- канал радиодоступа должен обеспечивать транспортные услуги по передаче информации между различными сетевыми узлами, находящимися вне слоя доступа, и областью пользовательского оборудования, поддерживать пользовательский трафик в режиме реального и отложенного времени, обеспечивать канальную и пакетную коммутацию;

- канал радиодоступа должен быть достаточно гибким, чтобы поддерживать различные типы трафика, активность уровней, скорости передачи, задержки, показатели ошибок;

- необходимо эффективное сопряжение свойств приложений пользовательского трафика, созданных на основе внешних (по отношению к сети UMTS) сетевых технологий, и свойств канала радиодоступа. При этом желательно избегать сложных процедур сопряжения;

- пределение атрибутов трафика и механизмов управления трафиком для канала радиодоступа должно быть согласовано с преобладающими сетевыми технологиями;

- определение атрибутов канала радиодоступа должно обеспечивать эффективное управление трафиком и радиоресурсами в слое доступа;

- локализация пользователя. Функция является частью слоя доступа, а также может поддерживаться вне его. Примерами действия данной функции являются процедуры оповещения внутри географической зоны и обновление информации о местоположении пользователя;

- идентификация местоположения ПТ. Функция, аналогичная предыдущей с той лишь разницей, что объектом применения является не пользователь, а мобильный терминал.. Является частью слоя доступа и может поддерживаться вне его;

- подключение/отключение. Функция, обеспечивающая подключение пользователя к сети и по его желанию (либо по каким-нибудь иным причинам) отключающая от сети. Помещена вне слоя доступа, однако в перспективе может поддерживаться и внутри слоя;

- хэндовер. Понятие хэндовера является одним из ключевых в любой сети мобильной связи. Изначально (в сетях первого поколения) хэндовер определялся как процедура эстафетной передачи активного (т. е. находящегося в стадии вызова или разговора) мобильного абонента при пересечении им границ сот. Однако в последующем понятие хэндовера было расширено; появилось понятие внутреннего хэндовера, когда, например, пользователь географически остается в пределах прежней соты, но происходит перевод его обслуживания в другой частотный диапазон [2, 7];

- управление ресурсами. Функция находится и внутри слоя доступа, и вне его. Она предназначена для распределения ресурсов потоков служебной или пользовательской информации с целью его передачи с заданным качеством обслуживания. При этом управление ресурсами внутри слоя доступа должно быть прозрачным для механизмов, находящихся вне слоя доступа и наоборот;

- макроразнесение каналов передачи. Функция расположена вне слоя доступа, но может поддерживаться и внутри слоя в зависимости от выбранной технологии множественного доступа;

- шифрование. Поскольку передача пользовательских данных происходит по открытому радиоканалу, существует необходимость

применения механизмов шифрования для защиты передаваемой информации, так что данная функция является неотъемлемой частью слоя доступа. Вне слоя доступа, например, в области базовой сети, проблема информационной безопасности менее остра, однако, как правило, шифрование опционально применяется и там;

-аутентификация пользователя. Пользовательские данные, необходимые для проведения процедуры аутентификации, хранятся вне слоя доступа, следовательно, и функция помещена вне слоя доступа;

- кодирование данных источника. Источники пользовательской информации (речь, изображение, видео) обладают определенной избыточностью, и для эффективного использования ресурсов системы применяются различные механизмы кодирования (сжатия) данных, позволяющие заметно снизить эту избыточность. Функция находится вне слоя доступа;

- кодирование информации в радиоканале. При передаче информации по радиоканалу из-за негативного влияния внешних помех возможно искажение информации. Для противодействия этому вводятся различные механизмы помехоустойчивого кодирования. Функция находится в слое доступа;

- тарификация. Функция, не входящая в слой доступа, представляет собой собственно тарификацию, а также генерирование информации о тарификации, т. е. выставление счетов за услуги.

1.2.3 Анализ основных параметров сети UMTS

UMTS представляет собой систему множественного доступа с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра (DS –CDMA), т.е. биты информации пользователя передаются в широкой полосе частот путем умножения исходного потока данных пользователя на последовательности квазислучайных битов (называемых чипами), являющиеся кодами расширения CDMA. Для обеспечения очень высоких скоростей передачи (до 2 Мбит/с) поддерживается использование переменного коэффициента расширения и мультикодовых комбинаций [3].

Скорость передачи, равная 3,84 Мчип/с, приводит к занятию полосы приблизительно в 5 МГц. Сети DS-CDMA с шириной полосы около 1 МГц, например, IS-95, обычно называют узкополосными системами CDMA. Присущая системам WCDMA большая ширина полосы на несущей обеспечивает высокие скорости передачи данных пользователя, а также создает определенные преимущества в работе, например в каналах с повышенной многолучевостью. Не нарушая полученной лицензии на работу сети, оператор может иметь несколько таких несущих с полосой 5 МГц для увеличения пропускной способности, возможно, в виде ячеек иерархической структуры. Фактически такое разнесение несущих может быть реализовано и

на 200 килогерцовой сетке приблизительно в полосе 4,4 и 5 МГц в зависимости от уровня интерференции несущих.

UMTS поддерживает самые разные скорости передачи данных пользователя, другими словами, концепция получения ширины полосы по требованию (BoD) достаточно хорошо поддерживается. Каждому пользователю выделяются фреймы длительностью 10 мс, в течение каждого из которых скорость передачи данных пользователя остается постоянной. Однако пропускная способность для передачи данных у пользователя может меняться от фрейма к фрейму. Быстрое выделение пропускной способности для радиосвязи будет обычно управлятьсясетью для достижения максимальной пропускной способности при передаче пакетированных данных.

UMTS поддерживает два основных режима работы: частотное разделение дуплексных каналов (FDD) и временное разделение дуплексных каналов (TDD). В режиме FDD для восходящего и нисходящего каналов используются раздельные несущие с частотой 5 МГц, тогда как в режиме TDDтолько одна несущая 5 МГц используется для восходящего и нисходящего каналов с разделением прием-передача во времени. Восходящий канал – это канал от подвижной станции к базовой, а нисходящий – от базовой станции к подвижной. Режим TDD в значительной мере основан на концепциях режима FDD и был дополнительно введен, чтобы использовать базовую систему WCDMA также и для непарного (несимметричного) распределения спектра.

UMTS поддерживает работу асинхронных базовых станций, так что в отличие от синхронной сети IS-95 отсутствует необходимость в глобальной привязке ко времени, например к GPS. Развертывание базовых станций внутри помещений и миниатюрных базовых станций (для пикосот) производится легче, когда не требуется получать сигнал GPS.

UMTS использует когерентный прием для систем CDMA в восходящем и нисходящем каналах на основе применения пилот - символов или общих пилот - сигналов. Хотя когерентный прием уже используется в нисходящем канале в IS-95, его применение в восходящем канале является новым для систем CDMA общего пользования и приведет к увеличению общей зоны охвата и пропускной способности восходящего канала. Основные параметры UMTS приведены в таблице 1.1.

Воздушный интерфейс UMTS построен таким образом, что оператор сети может использовать перспективные концепции построения приемников CDMA, например, многопользовательский прием и применение интеллектуальных адаптивных антенн как способ повышения пропускной способности и/или зоны охвата. В большинстве систем второго поколения отсутствуют возможности использования таких концепций построения приемника, и в результате они либо не могут применяться, либо могут

применяться, лишь с большими ограничениями и дают лишь незначительное улучшение эксплуатационных показателей.

UMTS предназначена для использования вместе с GSM. Поэтому поддерживаются эстафетные передачи управления (хэндоверы) между GSM и UMTS для того, чтобы иметь возможность использовать зону охвата GSM для внедрения UMTS.

Из таблицы 1.1 видно, что при передаче речи со скоростью 12,2 Кбит/с выигрыш за счет расширение спектра составляет 25 дБ.

Для передачи речи E_b/N_0обычно составляет порядка 5,0 дБ. Поэтому отношение широкополосного сигнала к помехе будет равно 5,0 дБ минус выигрыш при обработке 25 дБ (5-25= –20,0 дБ). Другими словами, мощность сигнала может быть на 20 дБ ниже мощности помехи и теплового шума, а приемник WCDMA все еще будет способен принимать сигнал. Отношение широкополосного сигнала к помехе называется также отношением сигнал/помеха на частоте несущей C/I. Благодаря расширению и сжатию C/I в WCDMA может быть ниже, чем, например в GSM. Речевой трафик в GSM требует C/I = 9 – 12 дБ.

Следует заметить, что в любой заданной ширине полосы частот канала (скорости передачи чипов)имеет место больший выигрыш при обработке для более низких скоростей передачи данных пользователя, чем для более высоких. В частности, для скорости передачи данных пользователя 2 МГц выигрыш при обработке составляет менее 2 (3,84Мбит/с)/(2Мбит/с)=1,92, что соответствует 2,8 дБ.

Следует также заметить, что само по себе расширение/сжатие не обеспечивает какого-либо улучшения сигнала для беспроводных применений, В самом деле, выигрыш в отношении сигнал/помеха при обработке получается за счет увеличенной ширины полосы частот при передаче (умноженной на величину выигрыша при обработке) [4-5].

Отметим преимущества систем с кодовым разделением каналов сигнала:

- выигрыш в отношении сигнал/помеха в совокупности сширокополосным характером сигнала предполагает возможность полного повторного использования частоты (коэффициент повторения равен 1) в различных сотовых ячейках беспроводной сети (т.е. частота повторно используется в каждой ячейке/секторе). Это свойство может использоватьсядля получения высокой эффективности использования спектра;

- совместное использование многими пользователями одной и той же широкополосной несущейдля их связи обеспечивает разнесение по помехам, т.е. помехи при множественном доступе от многочисленных пользователей сети усредняются, и это снова приводит к повышению пропускной способности по сравнению с системами, где при планировании необходимо ориентироваться на помехи для худшего случая;

- однако оба вышеуказанных преимущества требуют применения жесткого управления мощностью и мягкого хэндовера для того, чтобы избежать блокирования сигналом одного пользователя другим.

При использовании широкополосного сигнала различные пути распространения радиосигнала могут получать разрешение с более высокой точностью, чем сигналы с более узкой шириной полосы. Это ведет к получению более разнообразных возможностей борьбы с замираниями и, тем самым, к улучшению рабочих характеристик.

1.2.4 Архитектура сети UMTS

Сеть UMTS состоит из ряда логических элементов сети, каждый из которых выполняет определенные функции. По своим функциям элементы сети группируются в сеть радиодоступа (RAN, UMTS территориального уровня - UTRAN), которая оперирует всеми функциями, относящимися к радиосвязи, и в базовую сеть (CN), которая обеспечивает коммутацию и маршрутизацию вызовов, и каналы передачи данных во внешние сети. Чтобы завершить систему, определяются оборудование пользователя (UE), которое взаимодействует с ним, и радио интерфейс (Uu). Архитектура сети высокого уровня показана на рисунке2.

Абонентское оборудование (UE) и радио интерфейс (UTRAN) построены на новой технологии радиосвязи WCDMA.

Построение базовой сети (CN) взято из GSM. Это дает системе с новой технологией радиосвязи глобальную базу из известной и испытанной технологии CN, что способствует ускорению ее внедрения и позволяет использовать как глобальный роуминг.

Другим способом группирования элементов сети UMTS служит деление их на подсети. Система UMTS является модульной в том смысле, что, возможно, иметь несколько элементов сети одного и того же типа. В принципе, минимальным требованием для того, чтобы сеть работала и обеспечивала все свои функциональные возможности, является наличие, по крайней мере, одного логического элемента сети каждого типа (отметим, что некоторые функции и, следовательно, некоторые элементы сети являются необязательными). Возможность иметь несколько объектов одного и того же типа позволяет делить систему UMTS на подсети, работающие либо самостоятельно, либо вместе с другими подсетями, и которые являются тождественными друг другу. Такая сеть называется UMTS PLMN (наземная мобильная сеть общего пользования). Обычно одна PLMN эксплуатируется одним оператором и соединяется с другими PLMNs также, как и с другими типами сетей, например, ISDN, PSTN, Интернет и т.д. На рисунке 2 показаны элементы PLMN и для того, чтобы проиллюстрировать внутренние соединения, – также и внешние сети.

UE состоит из двух частей:

-подвижное оборудование (ME) радиотерминал, используемый для радиосвязи через интерфейс Uu.

-модуль идентификации абонента UMTS (USIM), представляющий собой интеллектуальную плату, которая служит идентификатором абонента, выполняет алгоритм аутентификации и шифрования и некоторые данные об услугах, которыми имеет право пользоваться абонент, необходимые при пользовании терминалом.

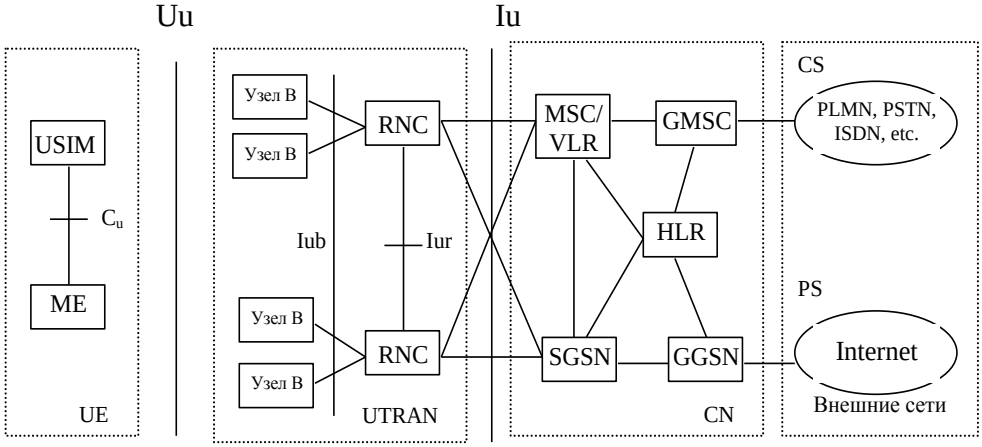

Рисунок 1.6 - Элементы сети UMTS

UTRAN также состоит из двух элементов:

- узел B преобразует поток данных между интерфейсами Iub и Uu. Он также участвует в управлении радиоресурсами. (Отметим, что термин «Узел B» из соответствующих спецификаций 3GPP более общий термин «Базовая станция» используется во всех остальных главах и означает тоже самое).

- контроллер радиосети (RNC) владеет и управляет радиоресурсами в своей области (к ней подключены узлы B). RNC представляет собой точку доступа к сервису для всех услуг, которые UTRAN предоставляет CN, например, управление соединениями с UE.

Основными элементами базовой сети GSM являются следующие:

- HLR (регистр домашнего местонахождения, по месту регистрации) - это база данных, которая хранит в памяти информацию о предоставляемых абоненту услугах, запрещенных районов роуминга и дополнительную сервисную информацию, например, о возможности переключения телефонного вызова и номера телефона, на который производится переадресация;

- MSC/VLR – это коммутатор (MSC) и база данных (VLR). Функция MSC используется для коммутации сообщений CS, и функция VLR обеспечивает обслуживание гостевого пользователя, а также более точную

информацию о местоположении абонентского терминала в системе обслуживания;

- GMSC (шлюзовой MSC) – это согласующее устройство между UMTS PLMN с внешними сетями CS. Все входящие и исходящие соединения CS проходят через GMSC;

- функции SGSN (узла по обеспечению услуг GPRS) подобны функциям MSC/VLR, но обычно используются для услуг с коммутацией пакетов (PS);

GGSN (узел по обеспечению межсетевого перехода GPRS) функционально близок к GMSC, но связан с предоставлением услуг.

Внешние сети можно разделяется на две группы:

- сети CS. Они обеспечивают соединения с коммутацией каналов, как это имеет место в существующей в настоящее время телефонной связи;

сети PS. Они обеспечивают соединения с коммутацией пакетов данных. Одним из примеров сети PS служит Интернет.

В стандарты UMTS Определены следующие основные открытые интерфейсы:

- интерфейс Cu. Это электрический интерфейс между интеллектуальной платой (смарт - карточкой) USIM (модуля идентификации абонента сети UMTS) и ME радиотерминалом;

- интерфейс Uu. это интерфейс, через который UE получает доступ к UTRAN;

- интерфейс Iu. Он соединяет UTRAN с базовой сетью CN;

- интерфейс Iur. Открытый интерфейс Iur позволяет осуществлять мягкий хэндовер между RNCs от различных производителей, и поэтому он дополняет открытый интерфейс Iu;

- интерфейс Iub. Iub соединяет узел B и RNC.

1.3 Технология HSDPA

Рабочая группа 3GPP постоянно совершенствует стандарты IMT-2000/UMTS. Технология High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) принадлежит к семейству решений WCDMA/UMTS, использующих пакетную передачу данных, и полностью совместима с UMTS Release 99. Это позволяет одновременно предоставлять сервисы голосовой связи и передачи данных HSDPA и UMTS (более подробно описано в ч. 1 БТ № 1'2011). Последняя модификация технологии HSDPA позволяет получать максимальную теоретическую скорость передачи данных до 21 Мбит/с в режиме downlink transfer (от базовой к мобильной станции). Фактически HSDPA является «надстройкой» к сетям UMTS, поэтому ее нередко называют поколением 3,5G. Необходимо подчеркнуть, что протоколы HSDPA поддерживают передачу данных только от базовой станции (БС) к мобильной абонентской станции (Mobile Services, MS), получившую название «нисходящая передача

данных». Обратная передача данных от абонентской станции (АС) к базовой описывается протоколами HSUPA.

В спецификации 3GPP Release 5 была впервые опубликована архитектура технологии HSDPA [8]. В данном документе для HSDPA описаны алгоритмы адаптивной модуляции и кодирования AMC (Adaptive Modulation and Coding), а также модернизированный метод автоматического запроса повторной передачи ARQ (Automatic Request for Repeat). Отметим, что в Release 5 описаны протоколы IP версии 6 (IPv6). В этой версии добавлена также подсистема IP-мультимедиа (IMS). Домашний регистр (HLR) дополнен сервером собственных абонентов (HSS). В структуре UTRAN прописаны эффективные услуги мультимедиа на базе IP в UMTS. Кроме того, усовершенствована поддержка функции по определению местоположения (LCS).

Для технологии HSDPA в спецификации стандартов 3GPPRelease 5 используется новый транспортный канальный уровень High-SpeedDownlinkSharedChannel (HS-DSCH). В одном поддиапазоне возможна организация до 15 таких каналов с фактором распределения 16. Перераспределение каналов под задачи конкретных пользователей изменяется каждые 2 мс. Реализация этого уровня стала возможной за счет введения в стандарт трех новых физических каналов:

- HS-SCCH (High Speed-Shared Control Channel) — высокоскоростной контрольный канал для информирования пользователя об отправке данных на HS-DSCH (два верхних слота).
- HS-DPCCH (Uplink High Speed-Dedicated Physical Control Channel) — канал для подтверждения информации о доставке текущего контроля качества передачи.
- HS-PDSCH (High Speed-Physical Downlink Shared Channel) — канал, по которому физически передаются данные пользователя (в виде избыточного кода, содержащего собственно данные и дополнительные информационные биты).

В технологии HSDPA реализован ARQ-механизм защиты от помех, при котором передача данных происходит по блокам. На приемной стороне обеспечивается контроль ошибок и генерация запроса о необходимости повторения той части информации, где они были обнаружены. В случае некорректного приема данных в новой технологии FHARQ (Fast Hybrid Automatic Repeat Request) подтверждение приема пакетов отслеживается как базовой, так и абонентской станцией. Повторные пакеты чередуются со вновь передаваемыми. Оцифрованная информация мультиплексируется и кодируется для передачи по соответствующему физическому каналу. Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH, объединяющем три транспортных канала DCH 1-3, приведена на рис. В технологии HSDPA применяются схемы модуляции QPSK (Quadrature Phase-Shifting Keying, квадратурная фазовая модуляция) и 16-, 64-QAM

(Quadrature Amplitude Modulation, квадратурная амплитудная модуляция). При использовании QPSK, в зависимости от значения информационного элемента, изменяется только фаза сигнала, в то время как амплитуда и частота не меняются. При этом каждому информационному биту ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения (рисунке 1.6).

В квадратурной фазовой модуляции используются четыре значения фазы несущего колебания. В этом случае фаза сигнала должна принимать значения 45, 135, 225 и 315°, размещенных на равных расстояниях по окружности. При использовании четырех фаз в QPSK на символ приходится два бита. Хотя QPSK можно считать квадратурной модуляцией (QAM-4), иногда ее проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на 90°. При таком подходе четные (нечетные) биты используются для модуляции синфазной составляющей, а нечетные (четные) — для квадратурной составляющей несущей. В схеме QPSK фаза несущего колебания меняется скачкообразно в зависимости от информационного сообщения. QPSK обеспечивает высокую помехоустойчивость. Однако в ряде случаев за счет уменьшения помехоустойчивости канала связи можно увеличить его пропускную способность. Более того, при применении помехоустойчивого кодирования можно более точно планировать зону, охватываемую системой мобильной связи. В другом варианте после канального кодирования и перемежения битов производится преобразование информации с помощью модуляции 16-QAM в так называемые «QAM-ячейки». В этих случаях каждому комплексному символу модуляции соответствует гармоническое колебание, имеющее одно из 4, 16 или 64 возможных сочетаний амплитуды и начальной фазы или такое же количество кодовых комбинаций, каждое из которых соответствует определенному варианту гармонического колебания. Например, в случае 4-QAM получим двоичную кодовую комбинацию, содержащую два бита (00, 01, 10, 11). В случае 16-QAM такие комбинации содержат по четыре бита информации, а в случае 64-QAM — по шесть битов. Стандартами UMTS/HSDPA предусмотрено 20 категорий с различными значениями максимального числа одновременно используемых кодов (до 15) и типом модуляции в радиоканале QPSK или QAM. Каждой из этих комбинаций соответствует максимальная скорость передачи данных в пакетном режиме стандарта HSDPA в нисходящем направлении — от БС к мобильному терминалу (табл. 1). При увеличении числа позиций QAM пропускная способность канала связи увеличивается в логарифмической пропорции log264/log216/log24. Однако

при этом снижается помехоустойчивость, поскольку уменьшаются разности между смежными значениями амплитуд и фаз. Пропускная способность каналов связи и скорость передачи зависят от фактора распределения (spreading factor), который определяет количество каналов связи, закодированных в один поддиапазон. Теоретически UMTS/ HSDPA позволяет назначить три таких «нисходящих» канала для одного абонента. Однако на практике не стоит забывать о том, что чем больше число пользователей, тем меньше пропускная способность. На рисунке 1.6 показано распределение спектра между абонентами сети HSDPA [10]. Как правило, одной и той же сетью пользуются одновременно несколько абонентов. Скорость передачи постоянно меняется, система следит за этим и с интервалом в 2 мс автоматически регулирует мощность, подстраиваясь под условия среды. При этом приоритет предоставления каналов для получения данных от БС отдается тем пользователям, для которых поддерживается наилучшее качество сигнала. Поэтому пользователи, первыми получившие доступ к сети, пока уровень сигнала был невысок, находятся в состоянии ожидания улучшения пропускной способности.

1.4 Технология HSUPA

Чтобы регламентировать параметры абонентских станций и определить порядок их взаимодействия с базовыми, была разработана технология HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) — высокоскоростная пакетная передача данных в направлении «вверх» — от абонента к БС. Работу над проектом HSUPA группа 3GPP начала еще в 2002 г. Идея стандарта была сформулирована фирмами Nokia, Samsung, Sony Ericsson и другими лидерами мирового рынка мобильных телефонов и звучала как «максимальная скорость при максимальном радиусе действия и минимальном энергопотреблении». Эта идея была технически сформулирована в 3GPP Release 6. К сожалению, принципиальные различия между передачей данных «вверх» (от АС к БС) и «вниз» (от БС к АС) не позволяют просто использовать всю архитектуру и профили технологии HSDPA для MS (мобильные бытовые телефоны, базовые модули и законченные терминалы). Основная проблема согласования процессов передачи «вверх» и «вниз» заключается в потребляемой мощности. На базовой станции отбираемая мощность передатчика не ограничена в пределах действующих нормативов. Поэтому разработчики оборудования для БС могут совершенствовать технологии передачи, не задумываясь о проблемах потребляемой мощности. Для бытовых мобильных телефонов, которые составляют основную часть этого рынка, потребляемая мощность является одним из основных критериев выигрыша в конкурентной борьбе. При разработке HSUPA были использованы методы как временного, так и

канального кодирования. Поскольку значительная часть энергопотребления базовой станции HSDPA приходится именно на эти блоки модуляции, данный метод в чистом виде не может быть использован для HSUPA. Поэтому в технологии HSDPA была введена функция коррекции мощности передачи в зависимости от условий среды. Это позволяет сохранить скорости передачи при перегрузках в сети в условиях интенсивных помех. Но это оборудование тоже достаточно энергоемкое. Проблема энергопотребления возникает и при модуляциях. При использовании QAM для улучшения пропускной способности нужно увеличивать ее уровень, но при этом возрастают сложность оборудования и энергопотребление. Другая проблема связана с поэтапной передачей движущейся АС (soft handover). В этом случае принимающая БС должна отслеживать меняющийся сигнал клиента и передавать его другой станции, обеспечивающей лучшие условия приема. Согласно основному варианту спецификации Release 6, в технологии HSUPA использованы модифицированные принципы, использованные при разработке технологии HSDPA. Однако технология передачи данных «вверх» отличается от технологии передачи «вниз». В редакцию HSUPA 3GPP Release 6 по сравнению с Release 5 были внесены следующие изменения:

Добавлены новые объекты MAC-уровня (управления доступом к среде передачи данных):

- MAC-e/es в блоке АС;
- MAC-es в блоке БС;
- MAC-es на контроллере радиосети.

В транспортном канале введен новый расширенный выделенный канал передачи данных E-DCH.

Добавлен выделенный физический канал E-DPCH (Dedicated Physical Channel). Внеммультиплексированыдвафизическихканала: DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) и DPCCH (Dedicated Physical Control Channel). Кроме того, добавлены расширенный канал индикации сообщения о доставке (E-HICH), управляющий канал регулировки мощности относительно опорного уровня (E-RGCH) и канал для автоматического регулирования абсолютного значения мощности абонентской станции (E-AGCH).

время инкапсуляции и формирования пакетов данных сокращено до 2 мс. Однако оставлена возможность использования и TTI, равного 10 мс:

-значение коэффициента расширения (SF) принято равным 2;

-увеличена скорость повторной передачи на первом уровне;

-для контроля факта доставки данных использован гибридный метод HARQ;

-введено жесткое управление доступом к эфиру и скоростью передачи со стороны БС.

- реализованы новые протоколы фрейма, ускоряющие работу Iub и IuR. Интерфейс Iub соединяет БС с блоком контроллеров, а IuR поддерживает

сигнальный протокол RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part). По этому интерфейсу организуют связь между обслуживающим (Serving) SRNC и пассивным (Drift) контроллером DRNC. При выполнении хэндовера SRNC осуществляет управление радиоканалами (radio link mapping).

В технологии HSUPA для передачи данных от абонента к базовой станции применяются расширенные выделенные каналы (Uplink Enhanced Dedicated Channel, UE DCH), которые позволяют использовать тот же метод линейной адаптации (Link Adaptation Method, LAM), что и в технологии HSDPA. В свою очередь, этот метод дает возможность реализовать в технологии HSUPA модель ортогонального частотного разделения каналов. При этом последовательный поток информации разбивается на отдельные блоки и символы. Символы разных блоков передаются параллельно, каждый на своей поднесущей частоте. Преимущество данного метода в том, что он позволяет снизить до минимума межсимвольные искажения, возникающие в радиоканале. За счет уменьшения размеров блока данных удалось сократить время инкапсуляции и формирование пакетов данных.

На первом уровне в структуре HSUPA введены новые физические каналы:

-E-AGCH (Absolute Grant Channel) — канал с абсолютным значением ограничения мощности абонентской станции, определяющий опорный уровень;

-E-RGCH (Relative Grant Channel) — канал регулировки мощности относительно заданного значения;

-F-DPCH (Fractional-DPCH) — частичный выделенный физический канал, являющийся модернизированным вариантом канала DPCCH, адаптированным для высокоскоростной пакетной передачи данных вверх;

-E-HICH (E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel) — индикаторныйканал;

-E-DPCCH (E-DCH Dedicated Physical Control Channel) — контрольный канал передачи данных;

-E-DPDCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel) — контрольный канал состояния данных.

В стандарте HSUPA модернизированы протоколы, обеспечивающие управление ресурсами канала и отвечающие за установление, поддержание и разрыв низкоуровневых соединений, динамический выбор частотных каналов и др. В блоке АС на уровне MAC добавлен подуровень, который отвечает за контроль доставки и покадровый формат данных в процессе их передачи. В блоке БС также введены изменения в уровне, контролирующем факт получения данных. В блок контроллеров (S-RNC) добавлен уровень (MAC-es), поддерживающий повторный запрос на получение данных в случае ошибки. Кроме того, этот уровень обеспечивает совместную обработку данных, полученных от базовых станций в процессе эстафетной передачи (handover) для одного и того же абонента. Для ускорения работы интерфейсов Iub/IuR также добавлен новый протокол. Кроме того, в HSUPA изменены протоколы

управления доступом к среде передачи для БС (MAC-e), АС (MAC-e/es) и блока управляющих контроллеров (MAC-es):

- MAC-e структурирован в блоке базовой станции, он вводится отдельно для каждой абонентской станции и регулирует ее взаимоотношения с базой. В рамках этого протокола АС запрашивает разрешение на связь с БС и управляет работой повторной передачи в случае ошибки;

- MAC-es в обслуживающем контроллере также вводится персонально для каждой абонентской станции. Он объединяет и преобразовывает протокольный блок данных (Protocol Data Unit) уровня MAC-es в соответствии с кодировками и номерами каждого кадра и подкадра, а также поддерживает операцию дизассемблирования протокольного блока данных MAC-es;

- MAC-e/es для абонентской станции отвечает за сопровождение метода гибридного контроля подтверждения получения данных мультиплексирование данных и присвоение идентификационной кодовой последовательности абонента (Transmission Sequence Number, TSN); осуществляет выбор транспортного формата передачи данных на основе полученного статуса выхода в эфир.

При передаче данных от абонента к станции, когда используется расширенный выделенный канал, два кодированных композитных транспортных канала CCTrCH используются одновременно. Транспортный канал может быть сконфигурирован так, чтобы время инкапсуляции (интервал передачи) составляло 10 или 2 мс. При этом заданный интервал передачи 10 мс обязательно должен поддерживаться всеми абонентскими станциями, допущенными к работе в сети, а интервал передачи 2 мс является опционным. Каждая АС может иметь только один транспортный выделенный канал передачи данных в конкретный момент времени.

Транспортный блок E-DCH (расширенный выделенный канал) на физическом уровне нагружен на канал E-DPDCH, который работает со временем инкапсуляции 10 или 2 мс. В основополагающей спецификации Release 6 для канала E-DPDCH используется модуляция QPSK. В спецификации Release 7 есть возможность использовать 4-PAM (Pulse Amplitude Modulation, импульсная амплитудная модуляция). Различные модификации модуляций отражены в последующих спецификациях Release 8-11.

Поскольку при передаче данных по DPCCH сначала передаются вспомогательные символы и последовательность символов (RSN), то на уровне E-DPDCH не может быть передана никакая другая информация, кроме полезных символьных данных. Для увеличения скорости передачи в канале E-DPDCH применяются комбинации мультикодов. При этом используются ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения, равным 2. В принципе, возможны и другие варианты кодов с переменной длиной, определяемой коэффициентом расширения спектра SF. Такие коды

формируются на основе заданного алгоритма, и каждый последующий уровень удваивает число возможных кодовых комбинаций. Различные наборы кодов обуславливают различные скорости передачи. Так, например, один код с коэффициентом расширения SF4 соответствует скорости передачи 960 кбит/с. Два кода с коэффициентом расширения SF4 дают скорость 1920 кбит/с. При использовании кода с коэффициентом расширения SF4 в трех параллельных каналах скорость увеличивается до 5760 Кбит/с.

Выделенный контрольный канал (E-DPCCH) предназначен для переноса информации о подтверждении получения переданных абонентской станцией данных. По этому каналу передаются:

- информация о расширенном транспортном формате передачи данных, которая составляет 7-битную последовательность и определяет скорость передачи данных;
- дополнительные два бита, содержащие данные о повторной передаче (при этом RSN сообщает, является пакет новым или повторной передачей ранее отправленного).
- последний бит, который дает разрешение или запрещение абонентской станции использовать более высокую скорость передачи по направлению «вверх» (от абонента к БС).

Для случая, когда время инкапсуляции равно 2 мс, десять информационных битов закодированы в 30 битах трех последовательных временных интервалов. В варианте со временем инкапсуляции в 10 мс контент подкадров с TTI, равным 2 мс, просто продублирован пять раз. Выделенный канал индикации сообщения о доставке (Hybrid ARQ Indicator Channel, HICH) может использоваться несколькими абонентами одновременно. Чтобы различать сигналы каждого пользователя, в сетях с кодовым разделением используются специальные кодовые последовательности символов, называемые индивидуальными ортогональными подписями. В сетях HSUPA каждому пользователю выделяется одна ортогональная подпись для канала E-HICH и одна — для E-RGCH. Поскольку на HICH доступно всего 40 ортогональных подписей, то только 20 пользователей могут совместно использовать один кодовый канал в каждый определенный момент времени. Управляющий канал относительной регулировки мощности для абонентской станции E-RGCH предназначен для того, чтобы повысить или понизить выходную мощность передатчика АС. По данному каналу не передается точное значение мощности, которую абонентская станция должна установить. Базовая станция отслеживает сигнал АС и регулярно сообщает ей текущий статус, относительно которого АС должна регулировать свою работу. В случае если связь ухудшается, БС выдает команду на увеличение мощности передачи АС. В том случае, когда абонентов в сети мало и сигнал АС достаточно сильный, БС посылает управляющий сигнал на уменьшение мощности.

Канал абсолютной регулировки мощности E-AGCH предназначен для того, чтобы установить верхний предел мощности передатчика абонентской станции, который может быть задействован в данный конкретный момент. Максимальная мощность напрямую связана с максимальной скоростью передачи данных. В отличие от метода относительного регулирования мощности, абсолютное ограничение задается достаточно редко, когда АС запрашивает канальные ресурсы и когда устанавливается несущая частота.

По каналу E-AGCH базовая станция передает два вида сообщений:

- точное значение уровня ограничения мощности (Absolute Grant value);
- характер ограничения мощности (Scope AG). Scope AG указывает на то, будет ли значение Absolute Grant использоваться только в методе гибридного контроля подтверждения получения данных (HARQ) или в других процессах также.

При запросе на установление соединения с базовой станцией абонентская станция передает информацию о своих технических возможностях. В зависимости от них БС устанавливает для конкретной АС соответствующий режим связи.

Как уже было сказано выше, в технологии HSUPA использован HARQ (гибридный метод автоматического запроса повторной передачи). Базовым в этом варианте является метод Stop and Wait, который означает, что перед началом трансляции нового блока данных передатчик ожидает подтверждения об успешном приеме предыдущего.

Как правило, этот способ используется в режиме OFDMA, который позволяет выделить специальный канал для подтверждения передачи. Если HARQ включен, каждый пакет, переданный БС, требует от АС подтверждения получения по специальному обратному каналу. В тех случаях, когда пришло сообщение об ошибке или подтверждение успешного приема не получено в установленный срок, базовая станция приступает к повторной передаче. С этой целью можно использовать два метода. В одном случае применяется так называемый метод передачи с увеличивающейся избыточностью (Incremental Redundancy, IR). При подключении функции HARQ для каждого исходного пакета в канальном кодере формируется до четырех субпакетов, каждый со своим идентификатором (SPID). Если произошел сбой, повторно транслируется субпакет с другим SPID, который имеет тот же самый кодированный исходный пакет, но с иными параметрами кодера. В методе с «управляемым комбинированием» (Chase Combining, CC) в случае возникновения ошибки осуществляется повторная трансляция одного и того же кодированного пакета. Этот метод может использоваться только с мобильными абонентскими станциями. В варианте HSUPA при передаче от АС к БС, как отмечалось выше, используется принцип приоритетов. Первоначально абонентская станция запрашивает разрешение на начало передачи. Базовая станция принимает решение, сколько и какие именно станции будут участвовать в сеансе связи. Также в режиме передачи «вверх»

реализован вариант работы по расписанию (scheduled mode), при котором АС выходит на связь в заранее оговоренное время. Предусмотрен режим работы в экстренных ситуациях.

Следует также отметить улучшенную систему контроля качества передачи данных (QoS). Блок контроля качества может обслуживать до 15 логических каналов, которые мультиплексируются на одном PDU-уровне. При этом у каждого логического канала могут быть свои различные значения QoS и различные приоритетные уровни. В настоящее время стандарты 3GPP (Release 6-11) регламентируют девять категорий технологии HSUPA, которые имеют различный набор параметров и определяют технические характеристики и свойства конкретной АС (мобильного телефона или терминала). Категории мобильных абонентских станций, поддерживающих технологию HSUPA, показаны в таблице 1.2 [14]. Видно, что скорость передачи данных определяется комбинацией базовых параметров оборудования, таких как CT, SF, TTI, MTW TTI.

Таблица 1.2 - Скорость передачи в технологии HSUPA для различных категорий абонентских станций

Наименование категории абонентской станции в соответствии со стандартами 3GPP	Максимальная скорость передачи от абонента к базовой станции, Мбит/с	Наименование коммерческой версии абонентской станции, доступной в свободной продаже
Category 1 (3GPP Rel 99)	0,73	
Category 2 (3GPP Rel 2)	1,46	
Category 3 (3GPP Rel 3)	1,46	
Category 4 (3GPP Rel 4)	2,00	Nokia: X3-01, N8, C5, C3-01, E52, E72, E55, 6700 Classic, N900, 5630 XpressMusic; BlackBerry: Storm 9500, 9530; HTC: Dream, Passion (Nexus One)[3]; Sony Ericsson: C510, C903, W705, W995, T715; Samsung: Wave, Wave II
Category 5 (3GPP Rel 5)	2,93	Qualcomm 6290
Category 6 (3GPP Rel 6)	5,76	BlackBerry Tour 9630, Nokia CS-15, Option GlobeTrotter Express 441/442, Option iCON 505/505M, Samsung i8910, Apple iPhone 4, Huawei, E180/E182E/E1820/ E5832/EM770W, Micromax A60
Category 7 (3GPP Rel 7)	11,5	
Category 8 (3GPP Rel 8)	11,5	Параметрымодуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK only, 3GPP Rel 9 TS 25.306
Category 9 (3GPP Rel 9)	23	Параметрымодуляции: 2 ms, dual cell E-DCH operation, QPSK and 16QAM, 3GPP Rel 9 TS 25.306
Category 11/12 (3GPP Rel 11)*	70*	

Приведенные в таблице данные показывают, что чем выше категория абонентской станции, тем выше ее скорость передачи. Максимальная теоретическая скорость, с которой АС может передавать данные на БС, на сегодня составляет 23 Мбит/с. Однако это теория. Еще раз подчеркнем, что скорость передачи является переменной величиной, которая в каждый конкретный момент времени зависит от возможностей абонентской станции (мобильного телефона, смартфона, базового модуля), оборудования базовой станции и от загрузки сети.

1.5 Применение репитеров в сетях мобильных сетях

В настоящее время репитеры являются одним из важных компонентов сетей сотовой связи и используются для улучшения радиопокрытия в зданиях, тунелях, подземных автостоянках и местах с низким уровнем сигнала.

Известно, что стоимость репитера в несколько раз ниже стоимости базовой станции (БС). А поскольку в сетях GSM площадь зоны покрытия БС не зависит от уровня её загрузки, что имеет место в сетях UMTS, то использование репитеров позволяет увеличить зону обслуживания сети с меньшими капитальными затратами.

В сетях UMTS, где площадь зоны покрытия и емкость БС являются взаимозависимыми величинами, применение репитеров для расширения зоны обслуживания менее эффективно. Главной проблемой является уменьшение зоны покрытия в обратном канале (uplink, UL) из-за возрастания общего уровня шума при подключении репитеров к базовой станции UMTS.

В данной главе рассмотрены принципы работы, а также проблемы использования репитеров в сетях UMTS. Кроме того, приведены основные технические характеристики различных типов репитеров.

1.6 Применение репитеров в системе UMTS

На первом этапе развертывания системы UMTS необходимо обеспечить максимальную зону покрытия, а затем постепенно производить увеличение емкости сети.

Стандартной стратегией интеграции системы UMTS в GSM инфраструктуру является установка Node B на существующие GSM сайты. Однако известна другая стратегия, согласно которой, сеть состоит из небольшого количества Node B, обеспечивающих требуемую емкость сети, а для создания радио покрытия на большей части территории используются UMTS репитеры, устанавливаемые на существующих GSM сайтах.

Основными преимуществами данной стратегии является:

- снижение капитальных затрат, поскольку стоимость репитера в несколько раз ниже стоимости базовой станции Node B.
- не требуется трансмиссии для связи репитеров с Node B.

- так как в UMTS скорость передачи данных зависит от отношения сигнал/интерференция (SIR), то установка репитера вместо Node B позволит обеспечить высокую скорость передачи данных с меньшими затратами.

Однако данной стратегии присущ и ряд недостатков:

- вследствие эффекта зависимости площади зоны покрытия и емкости UMTS базовой станции (cell breathing effect), при возрастании уровня трафика, на входе донорных антенн некоторой части репитеров будет недостаточный уровень сигнала, что приведет к пропаданию связи на больших участках территории.

- известно, что в системе UMTS количество мобильных терминалов, обслуживаемых Node B, снижается с увеличением общего уровня интерференции (шума). Поэтому репитер UMTS, как и любое другое радиоэлектронное устройство, работающее в диапазоне 1910- 1980/2110-2170 МГц, вносит дополнительный уровень шума в полосу пропускания приемника Node B, что снижает емкость системы.

- поскольку процедура переключения между ячейками сети (soft/softer handover) осуществляется в том случае, если мобильный терминал принимает сигнал от двух различных Node B, то в случае замены Node B на репитеры, возможна потеря сеанса связи при перемещении мобильного терминала от одного репитера к другому.

Оценим снижение емкости Node B при использовании репитеров. Для этого примем следующие допущения:

- в сети осуществляется идеальное управление мощностью в обратном канале, т.е. уровень сигнала от каждого абонента на входе антенны Node B имеет одинаковую мощность и равен P;

- мобильные терминалы в пределах рассматриваемой территории распределены равномерно и используют один тип услуги — передача речи;

- используются антенны с круговой диаграммой направленности.

2 Разработка и расчет основных параметров оборудования

Объект, в котором проектируется indoor покрытие сотовой связью - подземный многофункциональный общественный центр «Алмалы» в г.Алматы. Особенностью центра является подземное расположение. Расположенные вблизи антенны базовых станций недостаточно покрывают территорию и тем самым, создавая дискомфорт посетителей.

Цель проекта - обеспечение indoor-покрытия сотовой связью территории подземного центра на базе оператора Теле2 Казахстан. Качество обслуживания должно находиться на высоком уровне для поддержания репутация комплекса Алмалы , как и хорошая скорость соедиения. На трех уровнях 25 000 квадратных метров расположен

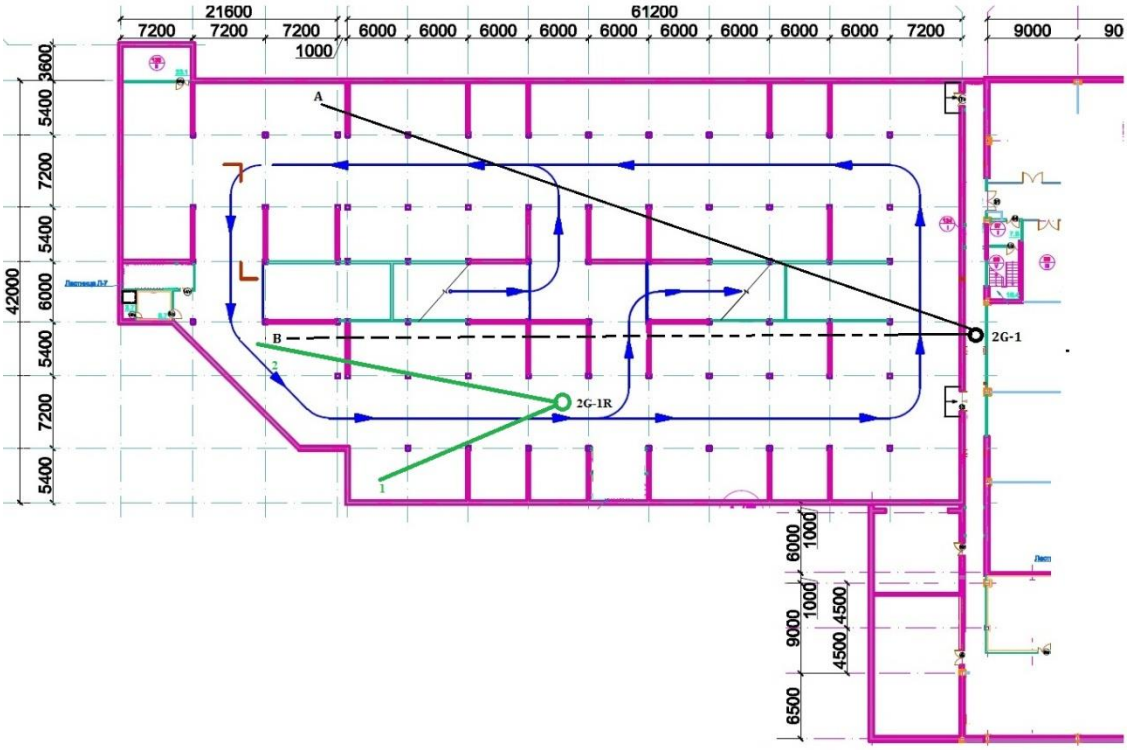

Рисунок 2.1- Схема первого этажа

На каждый этаж запланировано по 2 антенны 2G и 3 G! Для 2G Предусмотрено планирование как рисунке изображенном на слайде! Для 3G нет необходимости частотного планирования из-за особенности протокола.

О безопасности и технических характеристиках Алмалы

- высота каждого этажа по 5,4м. Итого 10,8м. С учетом купола общая высота - 17,0м;
- несущие конструкции здания выполнены из монолитного бетона, толщина стен 400мм, колонны - 600х600мм, балки - 800мм, перекрытие - 200мм, бетон кл.В 30;
- помещение укрытия во время пожара - это помещение с противопожарными дверями, оборудован системой подачи свежего воздуха;
- система вентиляции - это подача свежего подготовленного (подогретого/охлажденного) воздуха, удаление влажного отработанного воздуха. Основных входов и выходов четыре, дополнительных эвакуационных выходов 2-из торговой зоны, 2- из зоны кинотеатров, 2 - из паркинга;
- сейсмостойкость здания рассчитана на максимальные 10 баллов;
- площадь большого купола около 300 кв.м., вес около 10 тонн;
- входные группы подземного перехода оборудованы автоматическими подъемниками марки ПН 250П;
- на каждом этаже расположены поручневые туалетные комнаты для инвалидов-колясочников;
- В здании ТЦ предусмотрены пандусы в соответствие со строительными нормами;
- в ТЦ имеется 3 широких лифта, размеры которого предусмотрены для инвалидов-колясочников;
- это единственный центр, который оборудован таким образом для людей с ограниченными возможностями.

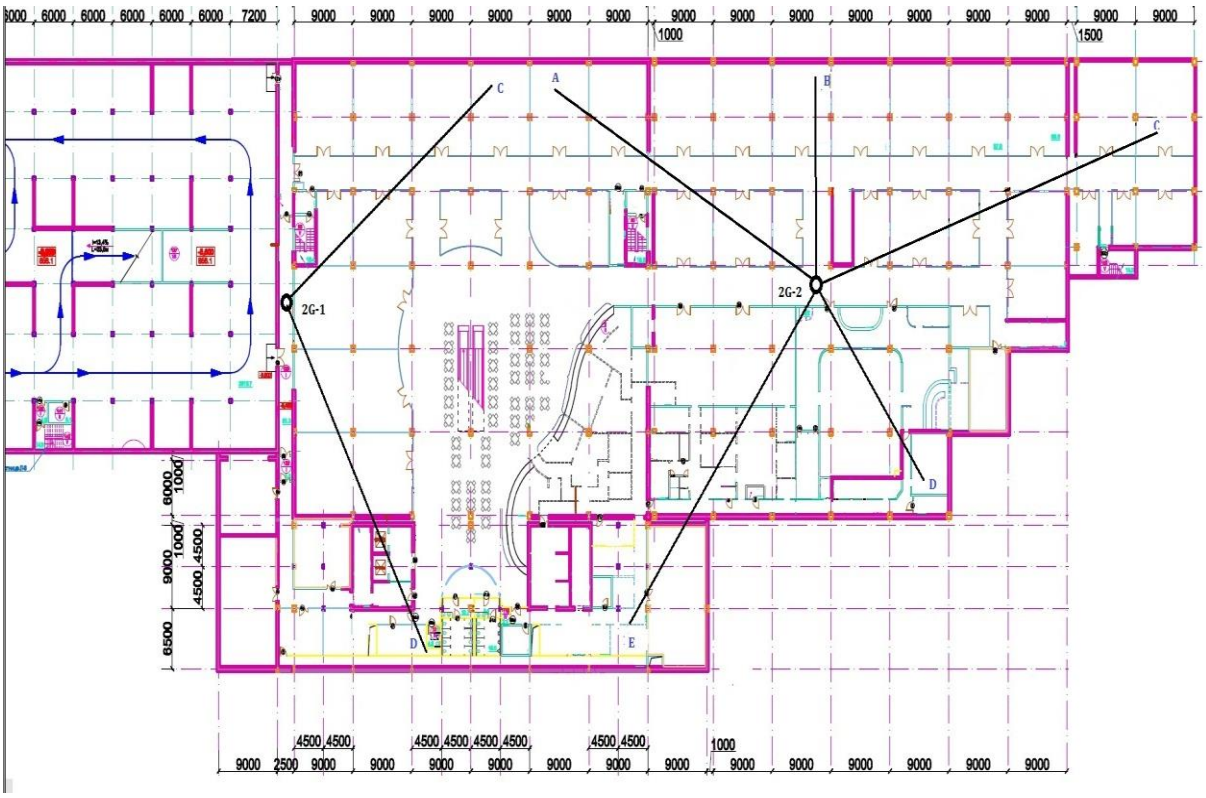

Рисунок 2.2 – Схема второго этажа

Территориальное частотное планирование. Связью покроется 2 этажа комплекса.

Так как объект Алмалы находится под землей нужно установить по две антенны для усиления сигнала.

На каждый этаж предусмотрено по 2 антенны 2G и 3 G! Для 2G предусмотрено планирование как рисунке изображенном на слайде! Для 3G нет необходимости частотного планирования из-за особенности протокола.

2.1 Выбор и техническая характеристика оборудования

Таблица 2.1 – Инфраструктура базовой станции

Наименование	Количество штук
Стационарное оборудование	
Шкаф БС HUAWEI RBS	1
Шкаф электропитания DELTA Energy Systems	1
Антенно-фидерное оборудование	
Внутренняя приемо-передающие мультидиапазонная антенна KATHREIN	3
Радиочастотные фидеры из коаксиального кабеля LCF 7/8	30 м

2.2 Базовая станция RBS 3206 (Базовая станция сотовой связи стандарта UMTS)

Основной элемент сотовой сети любого стандарта - это базовая станция (BSS, Base Station System), которая занимается приемом звонков абонентов и передачей данных по радиоканалу. В зависимости от стандарта связи, базовые станции (БС) работают в диапазоне частот от 450 до 2100 МГц. БС составляют основу макроячеек и микроячеек, так называемых сот. Данная модификация сделана специально для indoor-проектов. В обязательном порядке имеется беспроводной или кабельный канал связи с центром управления сетью, куда передается огромный поток данных - входящие и исходящие вызовы от абонентов [11].

Таблица 2.2 – Технические характеристики БС huawei 3300

Характеристики радиопередатчика	
Мин. значение полосы частот	876- МГц
Макс. значение полосы частот	960 МГц
Тип перестройки частоты	Дискретный, программный
Тип выходного прибора	Полупроводниковый прибор
Мощность излучения	20 Вт
Значение уровня	(-3 дБ) – (-30 дБ)
Ширина полосы излучения	3,84 – 4,7
Скорость манипуляции	3,84 Мчип/с
Коэффициент расширения спектра	4 – 512
Вид модуляции несущей	4QPSK
Характеристики радиоприемника	
Мин. значение полосы частот	860 МГц
Макс. значение полосы частот	940 МГц
Тип приемника	Супергетеродинный
Избирательность приемника, по:	соседнему каналу – 52 дБ
	зеркальному каналу – 55 дБ
	другим ПКП – 60 дБ
Чувствительность	Пороговая: -132,5 дБм
	Реальная: -127,5 дБм
Защитное отношение к помехе	3,9 дБ
Тип помехи	шумовая
Значение уровня	(-3 дБ) – (-30 дБ)
Полоса пропускания УВЧ	4 – 5 МГц
Промежуточная частота	201 МГц
Полоса пропускания УПЧ	3,9 -7 МГц

2.2.1 Внутренняя приемо-передающая мультидиапазонная антенна KATHREIN

Антенны Kathrein характеризуются высокой надежностью, механической прочностью, долговечностью (реальный срок эксплуатации не менее 15 лет), а также постоянством электрических характеристик в течение всего срока службы. Внутренние антенны выполнены в аккуратном исполнении, не выделяются в окружающем интерьере.

Таблица 2.3 – Характеристика антенны

Диапазон частот	876 - 960 МГц
Тип	всенаправленная
Коэффициент усиления, дБ	2
Мощность передатчика	20 dBm
Поляризация	вертикальная
Материал корпуса	Пластик, УФ защита
Базовое основание	Алюминий
Температура	-40°C to +70°C
Размер	Базовый диаметр-210 mm, Высота-78 mm

Шкаф электропитания DELTA Energy Systems

Высоконадежные модульные системы бесперебойного питания производства компании DELTA Energy Systems (прежнее название компании ASCOM Energy Systems) уже более 10 лет успешно используются ведущими компаниями-операторами сотовой связи Северо-западного региона: МегаФон, DELTA Telecom (SKYLINK), ВымпелКом, TELE 2 (FORA Communication), и являются одной из основных групп оборудования, производимых и поставляемых финским заводом компании, расположенном в пригороде Эспоо, г.Хельсинки. В сферу деятельности компании входят разработка, производство, маркетинговые исследования, сбыт и сервисная поддержка систем бесперебойного питания для телекоммуникационного и промышленного секторов рынка всего мира.

Таблица 2.4 – Характеристика шкафа

Тип ИБП	online
формат	Универсальный
Мощность	2000ВА / 1600Вт
Размеры	440х432х89мм, 21кг

Область применения:

- Серверные стойки в центрах обработки данных;
- LAN, WAN сетевое оборудования;
- Офисные АТС и распределенные узлы связи;
- Серверы голосовой и электронной почты;
- Приложения BTS (базовая передающая станция) для телекоммуникаций;
- Медицинское измерительное и диагностическое оборудование;
- Оборудование передвижных станций спутниковой связи;
- АСУ ТП;
- Системы обработки и записи звука/видео.

Рисунок 2.1 - Шкаф электропитания DELTA Energy Systems

2.2.2 Фидеры радиочастотные

Радиочастотные фидеры из коаксиального кабеля LCF 7/8: 50-Ом кабель, внешний диаметр 27,5 мм, затухание на частоте 450МГц – 2.65дБ/100м, КСВН<1.15, ПЭ-оболочка. КПД передающего и приемного фидеров - 95%.

2.3 Расчет зоны действия сигнала

Осы диплом жобасында жерасты сауда – алдарқат кешені үшін Алмалы аумағының indoor – жобалауінің кәрез байланысның Tele 2 технология негізінде жоспар және интернет еңгізуі қарастырылған.

Энергетический расчет составляет основу территориального планирования всех стандартов беспроводных сетей, в процессе которого определяется архитектура сети и ее пространственные координаты с учетом качества обслуживания и информационной нагрузки. Заданное качество принятого сигнала определяется чувствительностью приемника. В общем виде уравнение передачи может быть представлено как в формуле (1)[9]:

$$P_{ПРМ} = \frac{P_{ПРД} \cdot \eta_{ФПРД} \cdot G_{АПРД} \cdot \xi_{П} \cdot G_{АПРМ} \cdot \eta_{ФПРМ} \cdot \xi_{С}}{L_{\Sigma}}, \quad (3.2)$$

где $P_{ПРМ}$ – мощность радиосигнала на входе приемника (определяется чувствительностью приемника);

$P_{ПРД}$ – мощность передатчика;

$\eta_{ФПРД}$, $\eta_{ФПРМ}$ – КПД передающего и приемного фидеров;

$G_{АПРД}$, $G_{АПРМ}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

$\xi_{П}$, $\xi_{С}$, – коэффициенты согласования антенн с радиосигналом по поляризации;

L_{Σ} – суммарное затухание радиоволн на трассе.

КПД передающего фидера $\eta_{ФПРД}$ = 0,95%. В переводе в дБ $\eta_{ФПРД}$ = $= 10 * \lg(0.95) = -0{,}223$дБ.

КПД приемного фидера $\eta_{ФПРМ}$ = 0,95%, в переводе в дБ $\eta_{ФПРД}$ = $= 10 * \lg(0.95) = -0{,}223$дБ.

Коэффициенты согласования антенн с радиосигналом по поляризации $\xi_{П}$=$\xi_{С}$ $= 90$ % в переводе в дБ $= -0{,}458$.

Значение мощности радиосигнала на входе приемника выразим в децибелах относительно ватта. При этом уравнение (3.2) принимает вид:

$$P_{прм} = P_{ПРД} + \eta_{ФПРД} + G_{АПРД} + \xi_{П} + G_{АПРМ} + \eta_{ФПРМ} + \xi_{С} - L_{\Sigma} \quad (3.3)$$

По этой формуле определим величину суммарных энергетических потерь, возникающие на пути распространения радиоволн:

$$L_{\Sigma} = P_{ПРД} + \eta_{ФПРД} + G_{АПРД} + \xi_{П} + G_{АПРМ} + \eta_{ФПРМ} + \xi_{С} - P_{прм} \quad (3.4)$$

$$L_{\Sigma} = 18 - 0{,}44 + 1 - 0{,}458 - 0{,}44 - 0{,}458 + 85 = 102{,}639 \text{ дБ}.$$

В этой разделе используется программа Mathcad (П-С)

Вывод: В данном расчете формуле L_{Σ} получили $102{,}639$ дБ которая соответствует нормам стандарта.

Далее, учитывая особенности распространения сигнала внутри здания, необходимо определить зону уверенного покрытия(приема) беспроводной сети. Этим самым определяется нужное их количество для охвата территории.

Расчет покрытий точек доступа будет производиться по Модели со многими стенами (Multi-wall model), который учитывает не только потери в свободном пространстве, но и потери на прохождение (проникновение) сигнала через стены, а также перекрытия, лежащие на линии прямой видимости между передатчиком и приемником. (3.72) [10]

$$L = L_s + L_c + \sum_{i=1}^{I} k_{w,i} L_{w,i} + k_f^{\left(\frac{k_f+2}{k_f+1} - b\right)} L_f \,, \qquad (3.5)$$

где L_s- потери в свободном пространстве;

L_c- постоянные потери (практически равное 0),

$k_{w,i}$ – количество стен i-го типа, через которые проходит сигнал;

k_f – количество преодолеваемых перекрытий;

$L_{w,i}$ – потери на прохождение через стену i-ого типа;

L_f - потери на прохождение на соседний этаж;

I –количество типов стен (обычно I = 2 для учета тонких и толстых стен).

Определение характеристик распространения сигнала внутри зданий особенно важно при разработке беспроводных локальных сетей, при покрытии зданий пико-сотовой связью. В случаях каналов связи внутри помещений, расстояние между передатчиком и приемником намного меньше. Это обусловлено не только геометрическими параметрами здания, но также низкой мощностью передатчика и сильным ослаблением сигнала внутренними стенами и мебелью.

В свободном пространстве значение уровня мощности как функции задержки хорошо аппроксимируется степенной функцией, что обусловлено сильным влиянием прямой видимости. Канал внутри помещения может меняться во времени. Изменение свойств канала во времени может быть обусловлено перемещением подвижного терминала, изменением ориентации направленной (неизотропной) антенны, а также перемещением отражающих объектов, таких, как люди, офисная мебель или оборудование. Анализ множества экспериментальных данных говорит о том, что потери

на распространение сигнала внутри помещений можно оценить по формуле (3) [9].

$$L_s = L(d_0) + 10n\lg\left(\frac{d}{d_0}\right), \qquad (3.6)$$

где $L(d_0)$ - основные потери передачи при отсутствии препятствий в пределах прямой видимости;

n - показатель степени показывающий, как быстро возрастают потери сигнала при распространении с увеличением расстояния;

d_0 - это эталонное расстояние между передающей и приемной антеннами;

d – разнесение между BSS и приемником.

Эталонное расстояние d_0 предполагает, что в его пределах, между приемной и передающей антеннами, имеет место беспрепятственное распространение сигнала в свободном пространстве.

Потери по линии по прямой видимости $L(d_0)$ рассчитываются по формуле (5)[9]:

$$L(d_0)[\text{дБ}] = -27{,}56 + 20\lg f[\text{МГц}] + 20\lg r[\text{м}], \qquad (3.7)$$

где f - несущая частота передатчика

Из (3.7) максимальная зона покрытия определяется как

$$\lg\left(\frac{d}{d_0}\right) = \frac{L - L_o - \sum_{i=1}^{I} k_{w,i} L_{w,i} - k_f^{\left(\frac{k_f+2}{k_f+1} - b\right)} L_f}{10n},$$

где $d_0 = 1$м, тогда

$$\lg d = \frac{L - L_o - \sum_{i=1}^{I} k_{w,i} L_{w,i} - k_f^{\left(\frac{k_f+2}{k_f+1} - b\right)} L_f}{10n}$$

И соответственно

$$d = 10^{\frac{L - L_o - \sum_{i=1}^{I} k_{w,i} L_{w,i} - k_f^{\left(\frac{k_f+2}{k_f+1} - b\right)} L_f}{10n}} \qquad (3.8)$$

Вывод: Эта же формула для расчета покрытия в одной плоскости примет вид

Эта же формула для расчета покрытия в одной плоскости примет вид

$$d = 10^{\frac{L - L_0 - \sum_{i=1}^{I} k_{w,i} L_{w,i}}{10n}} \quad (3.9)$$

По данной формуле будет выполняться последующие расчеты (3.9) максимальная зона покрытия.

2.3.1 Планирование и расчет покрытия

При планировании учтем тот факт, что сотовый оператор Теле2 работает на частоте 900 МГц. В данном диапазоне вещает 2G и 3G. Необходимо покрыть два типовых этажа «Алмалы», которые состоят в свою очередь из торговых павильонов и автомобильной парковки.

Планируется расположить на каждый этаж по одной 2G и по две 3G антенны. Подробное расположение и частотный план на рисунке 1 в Приложении Б

В таблице 2.4 сведены исходные данные для расчетов.

Таблица 2.4 - Исходные данные для расчетов

Параметры	Значение
Мощность передатчика точки доступа, дБ (90%)	18
Коэффициент усиления антенны ТД, дБи	1
Чувствительность приемника, дБ	-80
Несущая частота, МГц	900
Показатель степени n условий офиса	2,6
Затухание, вносимое перегородкой, дБ	3
Затухание, вносимое тонкой жб стеной, дБ	8
Затухание, вносимое толстой жб стеной, дБ	10
Затухание, вносимое стеклянной стеной, дБ	0,8

Расчеты в направлениях:

Начнем расчет с 2G-антенн;

В направлении 2G1-А количество тонких стен k1=2 , а толстых k2=1.

Используя формулу (3.9), находим максимальную зону покрытия:

$$d_{ТД1-1} = 10^{\frac{102,639 - 31,525 - 26}{26}} = 54,347 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится на расстоянии 50 метров от точки доступа. По полученным результатам видно, что приемник находится в зоне покрытия точкой доступа.

Уровень сигнала на приеме определяется по следующей формуле:

$$P_{приема} = P_{прд} - L_s - \sum_{i=1}^{I} k_{w,i} L \qquad (3.10)$$

Но для получения более точных результатов, также необходимо учесть эффективную изотропную излучаемую мощность, согласования антенн с радиосигналом по поляризации.

С учетом выше сказанного, формула (3.10) примет следующий вид:

$$P_{приема} = EIRP + \zeta_п + \zeta_с + \eta_{фпрм} - L_s - \sum_{i=1}^{I} k_{w,i}\, L_{w,i}. \qquad (3.11)$$

Потери в свободном пространстве L_s для 50 метров равны

$$L_s = L(d_0) + 10n\lg\left(\frac{d}{d_0}\right) = 31{,}525 + 26\lg\left(\frac{50}{1}\right) = 54{,}4 \text{ дБ}.$$

Суммарные потери на прохождение через стены равны $\sum_{i=1}^{I} k_{w,i} L_{w,i}$ для направления 2G1-A равны 26 дБ.

Уровень сигнала в точке приема:

$$P_{прм} = 17{,}639 - 75{,}698 - 26 = -84{,}059 \text{ дБ}.$$

Расчет в направлении 2G1-B.

В направлении 2G1-B количество, тонких стен k1=5, толстых k2=1, , тогда

$$d_{2G-1-B} = 10^{\frac{85{,}504-31{,}525-50}{26}} = 1{,}422 \text{ м}.$$

Вывод: На данном направлении из-за большого количества преград необходимо установить репитер. Рассчитаем как будет покрывать репитер.

В направлении 2G1- нет преград. Предположим, что абонент находится в 10 метрах от репитера, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 9{,}639 - 57{,}525 = -47{,}886 \text{ дБ}.$$

Расчет в направлении 2G1R-2.

В направлении 2G1R-2 количество, тонких стен k1=1, тогда

$$d_{2G-1-B} = 10^{\frac{94{,}639-31{,}525-8}{26}} = 131, \text{ м}.$$

Предположим, что абонент находится в 25 метрах от репитера, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 9{,}639 - 67{,}871 - 8 = -66{,}232 \text{ дБ}.$$

Вывод: Абонент в зоне приема.

Расчет в направлении 2G1-C.

В направлении 2G1-C количество перегородок k_п = 2, стеклянных перегородок k_c = 3 тогда

$$d_{2G-1-C} = 10^{\frac{102{,}639-31{,}525-11{,}4}{26}} = 198 \text{ м}.$$

Предположим, что абонент находится в 45 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17{,}639 - 74{,}508 - 11{,}4 = -68{,}269 \text{ дБ}.$$

Вывод: Абонент в зоне приема.

Расчет в направлении 2G1-D.

В направлении 2G1-D количество тонких стен k2=3, перегородок k_п = 2, тогда

$$d_{2G-1-D} = 10^{\frac{102{,}639-31{,}525-30}{26}} = 39 \text{ м}.$$

Предположим, что абонент находится в 30 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17{,}639 - 74{,}508 - 11{,}4 = -82 \text{ дБ}.$$

Расчеты показали необходимость установки репитера.

Из анализа расчетов следует, что базовая станция 2G-1 и репитер обеспечивают покрытие сетью паркинга типового этажа. Направления для расчета зоны покрытия выбирались к наиболее удаленным и приближенным вероятностным положениям пользователей от точки доступа.

Вывод: После установки репитера абонент в зоне приема.

Расчет для антенны 2G2-A

Расчет в направлении 2G2-A.

В направлении 2G2-A количество перегородок k_п = 3, стеклянных перегородок k_c = 3 тогда

$$d_{2G-1-D} = 10^{\frac{102,639-31,525-14.4}{26}} = 151,9 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится в 45 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 74,508 - 14,4 = -71,3 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне приема.

Расчет в направлении 2G2-B.

В направлении 2G2-B количество стеклянных перегородок k_c = 1 тогда

$$d_{2G-1-D} = 10^{\frac{102,639-31,525-1.8}{26}} = 460 \text{ м.}$$

Вывод: Из-за отсутствия большего количества преград, наблюдаем отличную дальность.

Предположим, что абонент находится в 12 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 59,584 - 1,8 = -43,744 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне отличного приема.

Расчет в направлении 2G2-C.

В направлении 2G2-C количество перегородок k_п = 3, стеклянных перегородок k_c = 4 тогда

$$d_{2G-2-C} = 10^{\frac{102,639-31,525-12.2}{26}} = 185 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится в 60 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 77,757 - 12,2 = -72,317 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне хорошего уровня приема.

Расчет в направлении 2G2-D.

В направлении 2G2-D количество перегородок k_п = 3, тонких стен k_1= 1, тогда

$$d_{2G-2-D} = 10^{\frac{102,639-31,525-17}{26}} = 121 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится в 40 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 73,178 - 17 = -72,6 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне хорошего уровня приема.

Расчет в направлении 2G2-E.

В направлении 2G2-E количество перегородок k_п = 3, тонких стен k_1= 1, толстых стен k_2= 1, тогда

$$d_{2G-2-D} = 10^{\frac{102,639-31,525-27}{26}} = 49,8 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится в 38 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 72,599 - 27 = -81,96 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне приема.

Данное расположение 2G indoor-антенн является оптимальным. Территориальное расположение 3G антенн предусмотрено рядом с 2G. Ввиду того, что антенны 3G вещают в том же диапазоне 900 МГц, расчеты покрытия будет аналогичны выше изложенным.

Вывод: Анализируя расчеты, можно сделать вывод, что базовая станция 2G-2 обеспечивает покрытие правого крыла. Нет необходимости установки репитера. Направления для расчета зоны покрытия выбирались к наиболее удаленным и приближенным вероятностным положениям пользователей от точки доступа.

Данное расположение 2G indoor-антенн является оптимальным. Территориальное расположение 3G антенн предусмотрено рядом с 2G. Ввиду того, что антенны 3G вещают в том же диапазоне 900 МГц, расчеты покрытия будет аналогичны выше изложенным.

Расчет для 3G. Направления выбраны параллельно как для 2G.

Расчет в направлении 3G1-C.

В направлении 3G1-C количество перегородок k_п = 2, стеклянных перегородок k_c = 3 тогда

$$d_{2G1-C} = 10^{\frac{102,639-32,525-11,4}{26}} = 190 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится в 45 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 75,508 - 11,4 = -69,269 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне приема.

Расчет в направлении 3G1-D.

В направлении 3G1-D количество тонких стен k2=3, перегородок k_п = 2, тогда

$$d_{3G1-D} = 10^{\frac{102,639-31,525-30}{26}} = 39 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится в 30 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 74,508 - 11,4 = -82 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне приема.

Расчет для антенны 3G2-A

Расчет в направлении 3G2-A.

В направлении 3G2-A количество перегородок k_п = 3, стеклянных перегородок k_c = 3 тогда

$$d_{3G2-A} = 10^{\frac{102,639-31,525-14.4}{26}} = 151,9 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится в 45 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 74,508 - 14,4 = -71,3 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне приема.

Расчет в направлении 3G2-B.

В направлении 3G2-B количество стеклянных перегородок k_c = 1 тогда

$$d_{3G2-B} = 10^{\frac{102,639-31,525-1.8}{26}} = 460 \text{ м.}$$

Из-за отсутствия большего количества преград, наблюдаем отличную дальность.

Предположим, что абонент находится в 12 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 59,584 - 1,8 = -43,744 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне отличного приема.

Расчет в направлении 3G2-C.

В направлении 3G2-C количество перегородок k_п = 3, стеклянных перегородок k_c = 4 тогда

$$d_{3G2-C} = 10^{\frac{102,639-31,525-12.2}{26}} = 185 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится в 60 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17,639 - 77,757 - 12,2 = -72,317 \text{ дБ.}$$

Вывод: Абонент в зоне хорошего уровня приема.

Расчет в направлении 3G2-D.

В направлении 3G2-D количество перегородок k_п = 3, тонких стен k_1= 1, тогда

$$d_{3G2-D} = 10^{\frac{102,639-31,525-17}{26}} = 121 \text{ м.}$$

Предположим, что абонент находится в 40 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17{,}639 - 73{,}178 - 17 = -72{,}6 \text{ дБ}.$$

Вывод: Абонент в зоне хорошего уровня приема.

Расчет в направлении 3G2-E.

В направлении 3G2-E количество перегородок k_п = 3, тонких стен k_1= 1, толстых стен k_2= 1, тогда

$$d_{3G2-E} = 10^{\frac{102{,}639-31{,}525-27}{26}} = 49{,}8 \text{ м}.$$

Предположим, что абонент находится в 38 метрах от антенны, уровень сигнала на приемнике тогда

$$P_{прм} = 17{,}639 - 72{,}599 - 27 = -81{,}96 \text{ дБ}.$$

Вывод: Анализируя, можно сказать что 3G покрытие будет обеспечивать полностью. Более экономическии выгодно 2G покрытие, которое и используется в дипломной работе.

3 Безопасность жизнедеятельности

3.1 Анализ потенциально опасных и вредных факторов, воздействующих на обслуживающий персонал при монтаже и эксплуатации проектируемого объекта

При реализации разработанного в рамках данной дипломной работы проекта, возникают потенциально опасные факторы, влияние которых надо предусмотреть. В первую очередь, при монтаже оборудования работники сталкиваются с работой на высоте.
Задачи при монтаже indoor-антенн, как основных элементов проектируемой сети, усложнены установкой их на потолок, покрываемого помещения. Монтажник при сверлении перфоратором потолка, для фиксации креплений, должен надеть защитные очки. Таким образом, предотвращается попадание строительной пыли в глаза. Также должны соблюдаться правила безопасности при работе на высоте, потому как минимум будет использоваться стремянка.

Состояние условий труда работников и его безопасности, на сегодняшний день, еще не удовлетворяют современным требованиям. Работники сталкиваются с воздействием таких физически опасных и вредных производственных факторов, как повышенный уровень шума, повышенная температура внешней среды, отсутствие или недостаточная освещенность рабочей зоны, электрический ток, статическое электричество и другие.

Многие сотрудники связаны с воздействием таких психофизиологических факторов, как умственное перенапряжение, перенапряжение зрительных и слуховых анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки. Воздействие указанных неблагоприятных факторов приводит к снижению работоспособности, вызванное развивающимся утомлением. Появление и развитие утомления связано с изменениями, возникающими во время работы в центральной нервной системе, с тормозными процессами в коре головного мозга.

Медицинские обследования показали, что помимо снижения производительности труда высокие уровни шума приводят к ухудшению слуха. Длительное нахождение человека в зоне комбинированного воздействия различных неблагоприятных факторов может привести к профессиональному заболеванию. Анализ травматизма среди работников показывает, что в основном несчастные случаи происходят от воздействия физически опасных производственных факторов при выполнении сотрудниками несвойственных им работ. На втором месте случаи, связанные с воздействием электрического тока.

Распространение широкополосного Интернета обеспечивает развитая сеть базовых станций с фиксированными антеннами, передающими информацию коммутационным центрам с помощью радиочастотных

сигналов. С целью обеспечения повышения скорости мобильного интернета операторы увеличивают количество базовых станций и осуществляют их постоянное переоснащение в соответствии с самыми новыми технологическими разработками отрасли. Факт наличия значительного количества радиотехнических объектов время от времени вызывает беспокойство по поводу возможного влияния радиосигналов на здоровье пользователей.

На сегодня достоверно подтвержден только непрямой вред излучения радиосвязи в населенных пунктах. Так, немецкие ученые протестировали работу 231 модели кардиостимуляторов при влиянии на них микроволнового излучения радиоволн. В соответствии с результатами их исследования, более 30% кардиологических аппаратов подвержены влиянию радиоволн.

Микроволновый диапазон электромагнитного поля, в котором работает современная радиосвязь, находится в пределах 450 МГц—2 ГГц. Такие поля, в отличие от ионизирующего излучения (гамма-, рентгеновские лучи, коротковолновый ультрафиолет), независимо от их мощности, не могут вызывать ионизацию или вторичную радиоактивность в организме. Доказано, что волны диапазона с частотой выше 1 МГц приводят к нагреванию тканей (вследствие поглощения ими энергии электромагнитного поля). Поля высокой интенсивности способны локально повышать температуру тканей на 10° и больше. Даже менее важное изменение температуры живых тканей может приводить к таким последствиям, как нарушение развития плода, снижение мужской фертильности, изменение гормонального фона.

Можно выделить четыре системы организма, более всего поддающиеся вредному влиянию электромагнитного излучения:

- Центральная нервная система. Она наиболее чувствительна к электромагнитным полям. Наблюдается ухудшение памяти, внимания, нарушение сна, возможно возникновение нейроциркуляторной дистонии;
- Иммунитет. Происходит угнетение иммуногенеза, что приводит к ухудшению устойчивости организма к различным инфекциям;
- Эндокринная система. Увеличивается содержание адреналина в крови (нет потребности рассказывать о вреде повышенного давления и хронического пребывания организма в состоянии стресса);
- Половая система. Именно молодые люди репродуктивного возраста особенно часто пользуются источниками электромагнитных волн. Наблюдается угнетение сперматогенеза, повышение количества врожденных недостатков развития и увечий. Яичники более чувствительны к влиянию электромагнитного излучения.

Из изложенного очевидно, что при равномерном расположении базовых станций в зоне покрытия широкоплосным мобильным интернетом с соблюдением санитарных норм наибольшую опасность для здоровья абонента несет непосредственно его мобильный телефон и телефоны людей, его

окружающих. Причем от работающего рядом мобильника можно получить значительно выше уровень облучения, чем от собственного телефона. Это связано с тем, что при разговоре антенна мобильника ориентирована таким образом, чтобы ее основный поток излучения направлялся в сторону от головы того, кто разговаривает. К сожалению, такое облучение мы очень часто можем получить в общественном транспорте.

3.2 Расчет защитного заземления базовой станции стандарта WCDMA

Исходные данные: длина автозала 20 м и ширина 2 м.

Заземлители располагаются по контуру заземляемого оборудования на небольшом (несколько метров) расстоянии друг от друга. В данном случае поля растекания заземлителей накладываются, и любая точка поверхности земли внутри контура имеет значительный потенциал. Напряжение прикосновения будет меньше, чем при выносном заземлении.

Тип заземления – контурный, при котором заземлители располагаются по контуру вокруг здания. Заземлители, или заземляющие электроды, — это устройства, обеспечивающие надежный контакт токоотвода с почвой. Не следует укладывать заземлитель слишком близко (ближе 5 м) к крыльцу и пешеходным дорожкам. Требуемое сопротивление защитного устройства должно быть не более 4 Ом, т.е. $R_T < 4\ Ом$ [12].

В качестве заземлителя выбираем стальную трубу диаметром $d = 55\ мм$, а в качестве соединительного элемента – стальную полосу шириной $b = 50\ мм$.

Выбираем значение удельного сопротивления грунта соответствующее или близкое по значению удельному сопротивлению грунта в заданном районе размещения проектируемой установки ρ=150 Ом·м (суглинок для Алматинской области).

Определяем значение электрического сопротивления растеканию тока в землю с одиночного заземлителя:

$$R_з = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\lg\frac{2\cdot l}{d} + \frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right) = \frac{150}{16.9}\left(\lg\frac{2\cdot 2{,}7}{0{,}055} + \frac{1}{2}\lg\frac{4\cdot 2+2{,}7}{4\cdot 2-2{,}7}\right) = 43{,}5\ Ом, \qquad (3.1)$$

где $\rho = 150 Ом$ - удельное сопротивление грунта (суглинок),

$l = 2{,}7\ м$ – длина заземлителя,

$d = 55\ мм$ – диаметр заземлителя,

$t = h + 0{,}5l = 0{,}65 + 0{,}5\cdot 2{,}7 = 2\ м$ - расстояние от поверхности грунта до середины заземлителя.

Рассчитываем число заземлителей без учета взаимных помех, оказываемых заземлителями друг на друга:

$$n^{/} = \frac{R_з}{R_{зн}} = \frac{43,5}{4} = 10,8 \approx 10. \qquad (3.2)$$

Рассчитываем число заземлителей с учетом коэффициента экранирования

$$n = \frac{n^{/}}{\eta_з} = \frac{10}{0,53} = 18,8 \approx 20. \qquad (3.3)$$

где $\eta_з = 0,53$ - коэффициент экранирования для заземлителей по контуру (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Значения коэффициента экранирования для заземлителей

Выносное заземление				Контурное заземление			
Число заземлителей	Отношение a/l			Число заземлителей	Отношение a/l		
	1	2	3		1	2	3
5	0,70	0,81	0,87	10	0,53	0,67	0,76
10	0,58	0,74	0,81	20	0,47	0,62	0,71
15	0,53	0,69	0,78	30	0,43	0,59	0,69
20	0,49	0,66	0,76	40	0,41	0,58	0,67
30	0,45	0,63	0,73	50	0,40	0,56	0,66
40	0,42	0,61	0,72	60	0,37	0,54	0,65
50	0,41	0,60	0,71	80	0,34	0,52	0,63

Расстояние между заземлителями $a = l = 2,7$ *м.*

Определяем длину соединительной полосы:

$l_П = 1,05 \cdot n \cdot a = 1,05 \cdot 20 \cdot 2,7 = 56,7$ *м.*

Рассчитываем полное значение сопротивления растеканию тока с соединительной полосы:

$$R_П = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_П} \lg \frac{2 \cdot l_П^2}{b \cdot h} = \frac{150}{356} \lg \frac{2 \cdot 56,7^2}{0,05 \cdot 0,65} = 5,13\ Ом. \qquad (3.4)$$

Рассчитываем полное значение сопротивления системы заземления:

$$R_{зу} = \frac{R_з \cdot R_п}{R_з \cdot \eta_п + R_п \cdot \eta_з \cdot n} = \frac{43,5 \cdot 5,13}{43,5 \cdot 0,33 + 5,13 \cdot 0,53 \cdot 20} = 3,24 Ом, \qquad (3.5)$$

где $\eta_п$ =0.33 - коэффициент экранирования полосы (таблица 3.2)

Таблица 3.2 – Значения коэффициента экранирования для соединительной полосы

Выносное заземление				Контурное заземление			
Число заземлителей	Отношение a/l			Число заземлителей	Отношение a/l		
	1	2	3		1	2	3
5	0,70	0,83	0,88	10	0,33	0,39	0,55
10	0,60	0,70	0,78	20	0,27	0,32	0,44
20	0,41	0,55	0,66	30	0,24	0,30	0,40
30	0,31	0,45	0,58	40	0,22	0,28	0,38
40	0,26	0,39	0,52	50	0,21	0,27	0,37
50	0,21	0,36	0,49	60	0,20	0,26	0,36
60	0,20	0,34	0,47	70	0,19	0,25	0,35

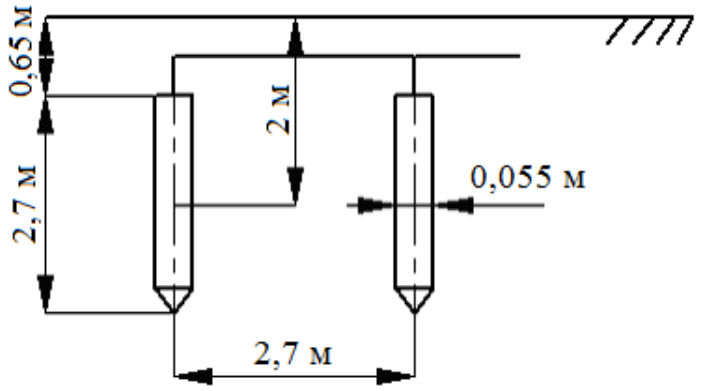

Рисунок 3.1 – Схема расположения заземлителей по контуру

Сопротивление $R_{зу}$ = 3,24 Ом меньше допускаемого сопротивления, равного 4 Ом. Следовательно, диаметр заземлителя d = 55 мм при числе заземлителей n=20 является достаточным для обеспечения защиты при контурной схеме расположения заземлителей.

3.3 Профилактика пожаров в помещении с оборудованием сотовой связи

Рассмотрим меры профилактики в помещении, где планируется установить оборудования сотовой связи.

Пожарная опасность электрического тока заключается в его тепловом проявлении, которое при определенных условиях превращается в источник зажигания горючей среды. Причинами пожара электроустановок являются: короткое замыкание; токовые перегрузки электроустановок; перегрев контактов с большими переходными сопротивлениями; электрические искры и дуги, возникающие при резком разрыве сети.

Токи короткого замыкания возникают в результате: повреждения изоляции токоведущих частей, неправильного выбора

исполнения электрооборудования по условиям окружающей среды; попадания на неизолированные провода металлических предметов; схлестывания проводов воздушной линии электропередач под действием ветра; ошибочных действий обслуживающего персонала при выполнении различных операций в электроустановках. В результате происходят перегревание и воспламенение изоляции проводов, а также расплавление их металлической токоведущей части.

Под токовыми перегрузками понимается такой режим работы электроустановки, когда в электропроводке длительное время протекает ток, превышающий допустимые величины.

Токовые перегрузки могут возникнуть в электрических сетях при включении в нее дополнительных электропотребителей, в нашем случаем дополнительного оборудования сотовой связи. При этом возрастает мощность в сети, на которую она не рассчитана, одновременно повышается сила тока. В результате происходят перегрев и воспламенение электропроводки.

По закону Джоуля-Ленца электрический ток, преодолевая сопротивление проводника, выполняет работу, в процессе которой выделяется тепло. Свободные электроны при движении сталкиваются с атомами и молекулами. При этих столкновениях механическая энергия движущихся электронов переходит в тепловую.

Пожарную опасность представляют переходные (контактные) сопротивления в местах некачественного соединения проводов между собой при присоединении к электрическим машинам и аппаратам. Количество тепла, выделяющегося в переходных контактах с большим сопротивлением, может быть настолько значительным, что приведет к перегреву проводов в этой зоне и воспламенению изоляции.

Для предохранения от коротких замыканий и чрезмерных перегревов в цепь включают легкоплавкие предохранители или отключающие автоматы. Выбор предохранителей и автоматов осуществляют в зависимости от площади сечения проводов. В табл. приведены показатели допустимой силы тока при данном сечении провода и величины тока, на которые должны срабатывать плавкие вставки или отключающие автоматы.

Таблица 3.3 - Показатели допустимой силы тока при данном сечении провода

Площадь поперечного сечения изолированных медных проводов, мм2	Наибольшая допустимая сила тока, А	Сила тока, на которую срабатывает предохранитель или автомат, А
1	11	6
1,5	14	10
2,5	20	15
4	25	20
6	31	25
10	43	35
16	75	60
25	100	80

4 Экономическая Часть

4.1 Резюме

Влияние технологий мобильной связи на нашу жизнь переоценить невозможно. Мобильная связь рассматривается в настоящее время как необходимость, а технологии мобильной связи являются наиболее востребованными и быстро растущими. Системы мобильной связи эволюционировали в очень короткое время. Рассматривая вопросы эволюции систем мобильной связи, мы приходим к понятию «поколений».

Системы первого поколения (1G) были аналоговыми, реализованными на достаточно надежных сетях, но с ограниченной возможностью предложения услуг абонентам. Кроме того, они не позволяли осуществлять роуминг между сетями.

Системы мобильной связи второго поколения (2G) являются цифровыми. Они привнесли существенные преимущества с точки зрения предложения абонентам усовершенствованных услуг, повышения емкости и качества. Система GSM относится к технологии 2G. Возросшая потребность в беспроводном доступе в Интернет привела к дальнейшему развитию системы 2G. Так появилась система, называемая 2.5 G. Примером технологии 2.5 G является GPRS (General Packet Radio Services) – стандартизованная технология пакетной передачи данных, позволяющая использовать оконечное устройство мобильной связи для доступа в Интернет. Другими появившимися со временем стандартными и опциональными свойствами цифровых сетей мобильной связи являются свойства Интеллектуальной сети (IN), свойства системы позиционирования (определения местоположения) подвижных объектов, SMS (услуги службы коротких сообщений) и разработки в программном обеспечении системы сигнализации и сетевого управления.

Поскольку в настоящее время существует несколько систем 2G, использующих несовместимые технологии и работающих в различных частотных спектрах, они не могут завоевать массовый рынок на долгосрочный период. Эти факторы привели к концепции систем третьего поколения (3G), которые позволят осуществлять связь, обмен информацией и предоставлять различные развлекательные услуги, ориентированные на беспроводное оконечное устройство (терминал). Развитие подобных услуг началось уже для систем 2G, но для поддержки этих услуг система должна располагать высокой емкостью и пропускной способностью радиоканалов, а также совместимостью между системами, для того, чтобы предоставлять прозрачный доступ по всему миру. Примером системы 3G является Универсальная система мобильной связи (UMTS).

Таким образом, GSM является основополагающей технологией, на которой росли технологии предыдущих и существующих систем мобильной связи и на

которой будут отрабатываться будущие направления развития в области связи.

4.2 Цели и задачи

По причине того, что GSM - это общий стандарт, абоненты сотовой связи могут использовать свои телефонные аппараты в пределах всей зоны обслуживания GSM, которая включает в себя все страны мира, в который действуют сети стандарта GSM.

Кроме того сети, построенные на основе стандарта GSM, обеспечивают пользователей такими услугами, как высокоскоростная передача данных, передача коротких сообщений (SMS), услугами Интеллектуальной сети (IN), например, услугой мобильной виртуальной корпоративной сети (MVPN). Технические спецификации GSM разработаны также с учетом возможности взаимодействия с другими стандартами, то есть они гарантируют наличие интерфейсов с сетями мобильной связи других стандартов.

Ключевым аспектом GSM является то, что спецификации могут быть модифицированы, они являются «открытыми», то есть не являются законченными в смысле развития и могут дорабатываться с целью удовлетворения будущих потребностей.

Выбор оборудования:

В данном проекте больше всего подойдет оборудование компании Huawei для реализации проекта. Базовая станция Huawei DBS3900 обеспечивает требуемую зону покрытия, высокое качество связи, доступную стоимость, Покрытие антеннами indoor является самым оптимальным методом, так как асфальтобетонный потолок является препятствием для проникновения радиоволн с наружных базовых станций.

4.3 Компания и отрасль

Компания Huawei – ведущий мировой поставщик инфокоммуникационных решений. Благодаря инновационным разработкам компании, ориенти-рованным на потребности клиентов и развитой партнерской сети, компания достигла высоких результатов в разработке телекоммуникационных сетей, терминалов и систем облачных вычислений. Компания Huawei стремится создавать максимально выгодные условия для операторов, предприятий и конечных пользователей, предоставляя им конкурентоспособные решения и услуги. Huawei Enterprise Business Group – подразделение, ориентированное на корпоративный сегмент рынка, в том числе банки и финансовые структуры, государственные структуры, нефть и газ, транспорт, энергетика и коммунальные услуги. Huawei Enterprise опирается на мировой опыт компании Huawei Technologies в сфере телекоммуникаций, предоставляя решения для инфраструктуры,

коммуникаций, центров обработки данных и передовых промышленных приложений. В грядущую эру облачных вычислений и расцвета инфокоммуникаций Huawei Enterprise создает со своими заказчиками и партнерами мир завтрашнего дня.

Предоставляемые услуги

В целях успешной реализации проекта, комплексное решение должно учитывать и человеческий фактор. Компания Huawei предоставляет полный спектр технических услуг по передаче своим заказчикам экспертного опыта, знаний и требуемых навыков.

Предоставляются следующие услуги:

проектирование программного обеспечения, монтаж и установка аппаратуры, подготовка персонала, а также полная техническая поддержка в течение всего времени жизни проекта.

4.4 Описание продукции (услуги)

GSM обеспечивает поддержку следующих услуг:

- услуги передачи данных (синхронный и асинхронный обмен данными, в том числе пакетная передача данных — GPRS). Данные услуги не гарантируют совместимость терминальных устройств и обеспечивают только передачу информации к ним и от них;
- передача речевой информации;
- передача коротких сообщений (SMS);
- передача факсимильных сообщений;

Дополнительные (необязательные к предоставлению) услуги:

- определение вызывающего номера и ограничение такого определения;
- безусловная и условная переадресация вызова на другой номер;
- ожидание и удержание вызова;
- конференц-связь (одновременная речевая связь между тремя и более подвижными станциями);
- запрет на определённые пользователем услуги (международные звонки, роуминговые звонки и др.);
- голосовая почта.

и многие другие услуги.

Положительные стороны стандарта GSM

- меньшие по сравнению с аналоговыми стандартами (NMT-450, AMPS-800) размеры и вес телефонных аппаратов при большем времени работы без подзарядки аккумулятора. Это достигается в основном за счёт аппаратуры базовой станции, которая постоянно анализирует уровень сигнала, принимаемого от аппарата абонента. В тех случаях, когда он выше требуемого, на сотовый телефон автоматически подаётся команда снизить излучаемую мощность;
- хорошее качество связи при достаточной плотности размещения базовых станций;
- большая ёмкость сети, возможность большого числа одновременных соединений;
- низкий уровень индустриальных помех в данных частотных диапазонах;
- улучшенная (по сравнению с аналоговыми системами) защита от подслушивания и нелегального использования, что достигается путём применения алгоритмов шифрования с разделяемым ключом;
- эффективное кодирование (сжатие) речи. EFR-технология была разработана фирмой Nokia и впоследствии стала промышленным стандартом кодирования/декодирования для технологии GSM (см. GSM-FR, GSM-HR и GSM-EFR);
-широкое распространение, особенно в Европе, большой выбор оборудования.
- возможность роуминга. Это означает, что абонент одной из сетей GSM может пользоваться сотовым телефонным номером не только у себя «дома», но и перемещаться по всему миру переходя из одной сети в другую не расставаясь со своим абонентским номером. Процесс перехода из сети в сеть происходит автоматически, и пользователю телефона GSM нет необходимости заранее уведомлять оператора (в сетях некоторых операторов, могут действовать ограничения на предоставление роуминга своим абонентам, более детальную информацию можно получить обратившись непосредственно к своему GSM оператору).

4.5 Финансовый план

4.5.1 Расчет инвестиционных затрат

Капитальные вложения включают в себя стоимость оборудования, монтажных работ и транспортных услуг. Данные по стоимости оборудования приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Стоимость оборудования системы

Наименование	Цена в тенге	Количество	Сумма в тенге	Потребляемая мощность кВт/час
Базовая станция Huawei DBS3900	2 500 000	6	15 000 000	57
Антенны Indoor	57 000	12	684 000	80
Стационарные телефоны	12 000	20	240 000	12
Персональный компьютер	75 000	14	1 050 000	24
Итого ($К_о$)			16 974 000	173 кВт

Общие затраты на проектирование и создание сети определяются как сумма всех затрат по различным статьям.
Общие капитальные вложения:

$$\sum К = К_О + К_М + К_{ТР} + К_{пр}, \qquad (4.1)$$

где Ко–затраты на приобретение оборудования (линейных, стационарных и др.);
Км–затраты на монтажные работы (10% от стоимости оборудования);
$К_{пр}$–затраты на проектирование (5% от стоимости оборудования);
Ктр–затраты на транспортные расходы (8% от стоимости оборудования).

$$К_м = 0{,}1 \cdot К_О = 0{,}1 \cdot 16974000 = 1697400 \text{ тенге,}$$

$$К_{тр} = 0{,}05 \cdot К_О = 0{,}05 \cdot 16974000 = 848700 \text{ тенге,}$$

$$К_{пр} = 0{,}08 \cdot К_О = 0{,}08 \cdot 16974000 = 1357920 \text{ тенге,}$$

$$\Sigma К = 16974000 + 1697400 + 848700 + 1357920 = 20878020 \text{ тенге}$$

4.5.2 Расчет эксплуатационных расходов

В состав эксплуатационных расходов входят следующие статьи затрат:
Материальные расходы, в том числе:
- затраты на приобретение материалов;
- затраты на электроэнергию;
- Амортизационные отчисления;

Эксплуатационные расходы на оплату труда работников, в том числе:

- фонд оплаты труда;
- социальный налог.
- Накладные расходы.

Эксплуатационные расходы определим по формуле:

$$\Sigma Э = Фот + Ос + М + Э + А_0 + Н, \qquad (4.2)$$

где Ос – отчисления на социальный налог;
М – материальные затраты и запасные части;
Н – накладные расходы;
$А_0$– амортизационные отчисления;
Э – электроэнергия для производственных нужд;
Фот – фонд оплаты.

Тогда производственные эксплуатационные расходы, необходимые для обеспечения работоспособности системы складываются из следующих составляющих:

$$Э_Р = Э_М + Э_{ФОТ} + Э_{НР} \qquad (4.3)$$

где: $Э_М$ – материальные затраты:

$$Э_М = Э_{МАТ} + Э_{Э/Э} + А + Э_А \qquad (4.4)$$

где $Э_{МАТ}$ - затраты на приобретение материалов;
$Э_{Э/Э}$ - затраты на электроэнергию, включающие в себя затраты на производственные нужды и дополнительные затраты; дополнительные затраты принимаем равными 5% от затрат на производственные нужды;
А – амортизационные отчисления;
$Э_А$ – абонентская плата сотовому оператору.

$$Э_{ФОТ} = ФОТ + С_Н \qquad (4.5)$$

где $Э_{ФОТ}$– эксплуатационные расходы на оплату работников, в которые входят:
ФОТ - фонд оплаты труда;
$С_н$ – отчисления на социальный налог.

$$Э_{НР} = 0{,}7 \cdot Э_{ФОТ} \qquad (4.6)$$

$Э_{НР}$ – накладные (хозяйственно-управленческие) расходы, в отрасли связи составляют 70% от эксплуатационных расходов на оплату работников.

4.5.3 Расчет материальных затрат

Затраты на приобретение материалов составляют 0,5% от капитальных вложений:

$$Э_{МАТ} = 0{,}05 \cdot K \qquad (4.7)$$

$$Э_{МАТ} = 0{,}05 \cdot 20878020 = 1043901 \text{ тенге}$$

Затраты на электроэнергию для производственных нужд, включают в себя расходы электроэнергии на производственное оборудование и дополнительные нужды. Ввиду необходимости круглосуточной работы оборудования суммарная мощность будет вычисляться по следующей формуле:

$$Э_{Э/Э} = З_{ЭЛЭН.ОБОР.} + З_{ДОП.НУЖ.} \qquad (4.8)$$

где: $З_{ЭЛЭН.ОБОР.}$ – затраты на производственное оборудование;

$З_{ДОП.НУЖ.}$ – затраты на дополнительные нужды (5% от затрат на производственное оборудование).

Расходы электроэнергии на производственное оборудование рассчитывается по формуле (4.9).

$$З_{ЭЛЭН.ОБОР.} = W \cdot T \cdot S, \qquad (4.9)$$

где W – потребляемая мощность, 173 кВт;
T – время работы, T=7690 ч/год;
21 часа в сутки
S – тариф, 1 кВтч=22,56 тг. Тариф соответствует со стандартами энергосбыта

$$З_{ЭЛЭН.ОБОР.} = 173 \cdot 7690 \cdot 22{,}56 = 30013147{,}2 \text{ тенге}$$

Расходы на дополнительные нужды определяются по формуле:

$$З_{ДОП.НУЖ.} = 0{,}05 \cdot З_{ЭЛЭН.ОБОР.} \qquad (4.10)$$

Определим расходы на дополнительные нужды:

$$З_{доп.нуж} = 0{,}05 \cdot 30013147{,}2 = 1500657{,}36 \text{ тенге}$$

Определим расходы на электроэнергию по формуле (4.10):

$$Э_{Э/Э} = 1500657{,}36 + 30013147{,}2 = 31513804{,}56 \text{ тенге}$$

Сумма амортизационных отчислений начисляется по единым нормам, которые устанавливаются в процентах от стоимости основных фондов. Норма амортизации на оборудование спутниковой связи составляет 15%. Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле (4.11):

$$А = Н_А \cdot \sum К, \qquad (4.11)$$

где $Н_А$ – норма амортизационных отчислений 15%;
$\sum К$ – балансовая стоимость основных производственных фондов.

$$А = 0{,}15 \cdot 20878020 = 3131703 \text{ тенге}$$

Итоговые материальные эксплуатационные расходы равны

$$Э_М = 1043901 + 31513804{,}56 + 3131703 = 35689408{,}56 \text{ тенге}$$

4.5.4 Расчет фонда оплаты труда

Численность сотрудников и заработная плата представлены в таблице 4.2

Таблица 4.2 – Заработная плата сотрудников

Должность	Кол-во, чел	Месячный оклад, тенге	Годовой оклад, тенге
Руководитель	1	100 000	1 200 000
Техник-инженер	4	90 000	1 080 000
Системный администратор	3	85 000	1 020 000
Диспетчер	6	70 000	840 000
Итого	14	–	4 140 000

Фонд оплаты труда определяется по формуле:

$$ФОТ = З_{осн} + З_{доп}, \qquad (4.12)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Согласно заработной плате сотрудников приведенной в таблице 4.2, основная заработная плата за год составит:

$$З_{ОСН} = 4140000 \text{ тенге}$$

Дополнительная заработная плата (работа в праздничные дни, сверхурочные и премии) составляет 20% от основной заработной платы и рассчитывается по формуле:

$$З_{доп} = 4140000 \cdot 0{,}2 = 828000 \text{ тенге}$$

Тогда ФОТ составит:

$$ФОТ = 4140000 + 828000 = 4968000 \text{ тенге}$$

При расчете фонда заработной платы, нужно учитывать, социальный налог в размере 11% от общего фонда оплаты труда после отчисления в пенсионный фонд:

$$С_н = 0{,}11 \cdot (ФОТ - 0{,}1ФОТ) \qquad (4.13)$$

Тогда с вычетом пенсионного фонда, который составляет 10% от ФОТ, социальный налог составит:

$$С_н = 0{,}11 \cdot (4968000 - 496800) = 491832 \text{ тенге}$$

Итоговые отчисления в фонд оплаты труда по формуле (4.13) равны:

$$Э_{ФОТ} = 4968000 + 491832 = 5459832 \text{ тенге}$$

4.5.5 Расчет накладных расходов

Накладные расходы составляют 70% от ФОТ:

$$Э_{НР} = 0{,}7 \cdot 4968000 = 3477600 \text{ тенге}$$

Результаты расчётов эксплуатационных расходов приведены в таблице 4.3

Таблица 4.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Показатель	Сумма, тенге
Материальные расходы, в том числе: - затраты на приобретение материалов; - затраты на электроэнергию;	35 689 408,56 1 043 901 31 513 804,56
Амортизационные отчисления.	3 131 703
Эксплуатационные расходы на оплату труда работников, в том числе: - фонд оплаты труда; - социальный налог.	5 459 832 4 968 000 491 832
Накладные расходы, тенге	3 477 600
Итого, тенге	44 626 840,56

4.5.6 Расчет доходов

Рассчитаем условный доход, полученный от внедрения сети.

Ежегодно услугами компании пользуются около 100000-150000 человек. Теоретическое число за год пользователей 120000 человек.

Доход от реализации услуг рассчитывается по формуле (4.14)

$$Д = (Т \cdot n) \cdot N, \qquad (4.14)$$

где: Т – абонентская плата клиентов за время их пользования услугами;

N – потенциальное количество клиентов за год равно 12000 человек;

n – 1 год.

$$Д = (120000 \cdot 1)\ 500 = 60\ 000\ 000 \text{ тенге.}$$

Общий ежегодный доход составляет:

$$Д_О = Д = 60\ 000\ 000 \text{ тенге.}$$

В рыночной экономике условием деятельности любого предприятия является превышение его доходов от реализации товаров и услуг нал расходами. Прибыль выступает в качестве важнейшего показателя, который характеризует конечные результаты и эффективность деятельности предприятия. Основная прибыль (П) получается как разница между доходами от основной деятельности и расходами, связанными с производством продукции или услуг.

$$П = Д - Э_р, \quad (4.15)$$

где: Д - реальный доход от внедрения услуг в год;
$Э_р$ - эксплуатационные расходы.

$$П = 60\,000\,000 - 44\,626\,840{,}56 = 15\,373\,159 \text{ тенге.}$$

4.5.7 Расчет срока окупаемости

$$Т = \frac{К_{КАП}}{П}, \quad (4.16)$$

$$Т = \frac{20368800}{15\,373159} = 1{,}3 \text{ лет.}$$

В итоге, средства вложенные в Проектирование indoor сети для комплекса Алмалы окупятся за 1,3 лет без учета дисконтирования.

Определим коэффициент экономической эффективности ($E_{Э.ЭФ}$):

$$E_{Э.ЭФ} = \frac{1}{T_{ОК}}, \quad (4.17)$$

$$E_{Э.ЭФ} = \frac{1}{1{,}3} = 0{,}77.$$

Таким образом, каждый вложенный тенге принесет за год 0,77 тенге прибыли, отличный показатель.

4.5.8 Расчет показателей сравнительной экономической эффективности

В рыночной экономике существует несколько методов оценки экономической эффективности.

- Показатели экономической эффективности, основанные на учетных (статистических) данных:

– Срок окупаемости инфестиций – PaybackPeriod (PP);

- Динамические методы, основанные на дисконтированных оценках:

– Чистая приведенная стоимость – NetPresentValue (NPV);

– Индексрентабельности – Profitability Index (PI);

– Дисконтированный срок окупаемости – DiscountedPaybackPeriod (DPP).

4.5.9 Показатели экономической эффективности, основанные на учетных (статистических) данных

Представим в таблице 4.4 доходы от предоставляемых услуг сроком на 5 лет, с учетом того, что количество абонентов подключившихся абонентов будет увеличиваться в среднем на 5 %.

Таблица 4.4 - Доходы от предоставляемых услуг

Наименование показателя	Годы				
	1	2	3	4	5
Капитальные вложения, тенге	20 368 800	20 368 800	20 368 800	20 368 800	20 368 800
Доходы от реализации услуги	60 000 000	63 000 000	66 150 000	69 457 500	72 930 375
Эксплуатационные расходы, тенге	44 626 840,56	44 626 840,56	44 626 840,56	44 626 840,56	44 626 840,56
Прибыль, тенге	15 373 159	16 141 816,95	16 948 907,7975	17 796 353,18	18 686 170,846

По данным в таблице виден рост доходов.
Определим срок окупаемости инвестиций – PaybackPeriod (PP):

$$PP = t + \frac{\text{КВ} - (\Pi_1 + \ldots + \Pi_{n-1})}{\Pi_n}, \qquad (4.18)$$

где: t – год, за который капитальные вложения окупятся;
КВ – капитальные вложения;
П – прибыль по годам.

$$PP = 2 + \frac{20368800 - 15373159 - 16141816{,}95}{16948907{,}7975} = 1{,}34 \text{ года.}$$

4.5.10 Динамические методы, основанные на дисконтированных оценках

Сумма дисконтированной прибыли:

$$PV = d\Pi_1 + \ldots + d\Pi_n, \qquad (4.19)$$

где: $d\Pi$ – дисконтная прибыль по годам $d\Pi = \frac{\Pi_n}{(1+r)^n}$;
r – коэффициент дисконты при инфляции (r=11%).

$$d\Pi_1 = \frac{15373159}{(1+0{,}11)^1} = 13849692{,}8 \text{ тенге.}$$

$$d\Pi_2 = \frac{16141816{,}95}{(1+0{,}11)^2} = 13101060{,}75 \text{ тенге}$$

$$d\Pi_3 = \frac{16948907,7975}{(1+0,11)^3} = 12392895,3 \text{ тенге.}$$

$$d\Pi_4 = \frac{17796353,187}{(1+0,11)^4} = 11723009 \text{ тенге.}$$

$$d\Pi_5 = \frac{18686170,846}{(1+0,11)^5} = 11089333 \text{ тенге.}$$

$$PV = 13849692,8 + 13101060,75 + 12392895,3 + 11723009 + 11089333 = 62155990,85$$

Определим дисконтированный период окупаемости DPP по формуле (4.20):

$$\mathrm{DPP} = \mathrm{t} + \frac{KB - (\Pi_1 + \Pi_2 + \cdots + \Pi_{n-1})}{\Pi_n}, \qquad (4.20)$$

где t – год, за который капитальные вложения окупятся;
КВ – капитальные вложения;
П – прибыль по годам.

$$DPP = 2 + \frac{20368800 - 13849692,8 - 13101060,75}{12392895,3} = 1,468 \text{ года.}$$

Чистая приведенная стоимость – NetPresentValue (NPV):

$$\mathrm{NPV} = \mathrm{PV} - \mathrm{KB} \qquad (4.21)$$

$$\mathrm{NPV} = 62155990,85 - 20\,368\,800 = 41787190,85 \text{ тенге.}$$

Индекс рентабельности – Profitability Index (PI):

$$\mathrm{PI} = \frac{\mathrm{PV}}{\mathrm{KB}} \qquad (4.22)$$

$$\mathrm{PI} = \frac{62155990,85}{20368800} = 3,05.$$

4.6 Вывод

Таким образом, внедрение сети данного стандарта интегрирует систему мобильной связи страны в единую мировую систему связи, что особенно важно при международном сообщении. Качественная голосовая связь повысит эффективность работы персонала, уменьшит текущие расходы на эксплуатацию несовместимого оборудования связи. Проектируемая связь повысит пропускную способность систем мобильной связи и эффективность использования технологии GSM. Общие капитальные вложения проекта составляет 20368800 тг. Годовые эксплуатационные расходы составляет 44 626 840,56 тг. В целом же внедрение системы повысит безопасность и эффективность систем мобильной связи, уменьшит количество аварийных ситуаций и увеличит доходы. Показатели экономической эффективности проекта достигают следующих значений: NPV =41787190,85 тенге, DPP = 1,468 года, PI = 3,05 %. Помимо этого, внедряемое оборудование позволяет более широко пользоваться связью на территории Алмалы.

Заключение

В своем дипломном проекте я произвел обоснование проекта «Проектирование indoor сети для комплекса Алмалы на базе оператора Теле2».

В работе был сделан подробный расчет планируемого покрытия беспроводной сетью комплекса. В качестве выбора оборудования для реализации проекта было отдано предпочтение таким компаниям как Huawei, Katrein, как поставщиков, специализирующихся на производстве оборудования сотовой связи с высоким уровнем качества. Обоснование выбора оборудования производилось с учетом: технических характеристик, возможностии применения, стоимостии и так далее. В технической части проекта рассмотрен вариант построения корпоративной сети с установлением 4 базовых станций 2G и 4 базовых станций стандарта 3G. Выбор обусловлен условиями технических параметров оборудования. В расчетной части дипломного проекта произведены частотно-территориальное планирование, расчеты эффективной изотропной излучаемой мощности и зона покрытия сети.

В разделе безопасности жизнедеятельности были проведены: анализ потенциально опасных и вредных факторов, воздействующих на обслуживающий персонал при монтаже и эксплуатации проектируемого объекта, расчет защитного заземления базовой станции сотовой связи.

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

Список литературы

1. Вымпелком. Обзор системы GSM. Корпоратиивный тренинг. - М. 2004. - 125с.

2. M.Mouly, M.B.Pautet. The GSM System for Mobile Communications. 2002. p.p. 702.

3. Ю.А. Громаков. Сотовые системы подвижной радиосвязи. Технологии электронныхкоммуникаций. Том 48. "Эко-Трендз". Москва. 2004.

4. Ю.А. Громаков. Структура TDMA кадров и формирование сигналов в стандарте GSM. "Электросвязь". N 10. 1993. с. 9-12.

5. Невдяев Л. М. Мобильная связь 3-го поколения. – М.: Связь и бизнес, 2000. - 208 с.

6. Карташевский В. Г., Семенов С. Н. Сети подвижной связи. – М.: Эко-трендз, 2001. – 299 с.

7. Lee, J. and Miller, L., CDMA Systems Engineering Handbook, Artech House, 1998.

8. Ojanpera, T. and Prasad, R., Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications, Artech House, 1998.

9. Сайт http://huawei.com/products. Сфера телекоммуникаций

10. Сайт http://www.mikrolink.com.tr/kategoridetay_en. Мобильная связь 3-го поколения

11. Вестник АИЭС №4 (7), 2009

12. К. Веселовский; пер. с польск. И.Д. Рудинского. Системы подвижной радиосвязи.- М. : Горячая линия-Телеком, 2006. - 536 с.

13. COST/Action 231. Digital Mobile Towards Future Generation Systems. Final Report, EUR 18957, 1999.

14. Муравей Л.А., Кривошеин Д.А. Экология и безопасность жизнедеятельности. - 2000

15. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание,2000 - 364с