

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой Шатамбетов Р. Д.
кандидат технических наук
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
« » 20 г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Организация беспроводной радиодоступа на базе стандарта Wi Max в городе Жандыкордин

Специальность Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) Аукеебаев Самат Досмуканович МТС - 10-4
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Кондратович А. П. ст. преп. ТКС Дер
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Боканова Т. И. - доцент каф. ЭО, УИ
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
«18» 06 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Эмсебаев М. К. д.т.н. профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
«19» июня 2014 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:

Арлохин А. В. ст. преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
«19» июня 2014 г.
(подпись)

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

Нормоконтролер: ст. препод ТКС Кондратович А. П.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
«19» 06 2014 г.
(подпись)

Рецензент: Муромов А. Б. ведущий инженер
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
«19» 06 2014 г.
(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехника, электроника и связи
Специальность Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Аукбаев Амант Досмуханович
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Организация беспроводной радиосвязи на базе стандарта WiMax в городе Талдыкорган

утверждена приказом ректора № ____ от «__» сентября 20__ г.

Срок сдачи законченной работы «__» 20__ г.

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

Основные технические характеристики оборудования WiMax

Описание доступной нагрузки базовой станции
Число абонентов обслуживаемых одной БС

Переходный период передачи данных между абонентами
локальными серверами

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

Математическая модель SDN

Сеть доступа

Разработка сети WiMax для реализации функции
ЦАП в интернет

Протоколы и методы мониторинга сети

Механизм безопасности сети WiMax

Бизнес план

Безопасность информации





Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Схема конфигурации протоколов сети Ethernet
 Список уровней модели взаимодействия Ethernet
 Структура сменного мультиконнектора
 Структура виртуального мультиконнектора
 Схема пространственного - временного кодирования
 по схеме MISO
 Кривые для определения дальности связи

Рекомендуемая основная литература

Горюнов С. П. Теоретико-информационные основы
 системы широкополосного беспроводного доступа М. 2004г.
 В.В.Васильев В.М. Широкополосные беспроводные
 сети передачи информации М. 2005г.
 Романов П. Митри В. Основы построения беспроводной
 локальной сети стандарта 802.11 М. 2005
 В.Васильев, С.Горюнов, И.Шоколов - Антенны для
 WiMax, Глава 46

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
БП	Бонанин М.	25.04-25.05.14	
Общ.	Дюсеебаев И.К.	17.03-19.05.14	
Основная часть	Кадратов А.А.	30.3-26.05	
Всп. тематика	Артамонов А.В.	12.05-19.06.14	

Г Р А Ф И К

подготовки дипломного проекта

[illegible]

Дата выдачи задания «03» февраля 2014 г.

Заведующий кафедрой

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

Руководитель

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

~~Задание принял к исполнению~~
студент _____

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе рассмотрен план и обоснование построения сети беспроводной связи на основе стандарта WiMax (IEEE-802.16) в городе Талдыкорган.

В дипломе так же представлены характеристики стандарта, отличие его от других стандартов, схема построения сети и состав оборудования.

В проекте также описаны меры безопасности жизнедеятельности.

Разработано технико-экономическое обоснование внедрения данного проекта.

АНДАТПА

Берілген дипломдық жұмысында Талдыкорган қаласында WiMax (IEEE-802.16) стандартының негізінде сымсыз кең жолақты байланыс желісін құру жоспары мен негіздемесі қарастырылған.

Жобада стандарттың сипаттамалары, оның басқа стандарттардан ерекшеліктері, желіні құру сұлбасы және жабдықтардың құрамы ұсынылған.

Жобада, сондай-ақ, жабдықтарды пайдалану кезіндегі өміртіршілік қауіпсіздігі мәселелері қарастырылған.

Осы жобаны енгізудің техник-экономикалық негіздемесі жасалды.

ABSTRACT

Current diplom work is based on observing the switches that will check the WiMax of the standart IEEE-802.16 port they received the frame on and because all switches now have an entry in their address table for the address.

Verifies if frames from a host have reached this switch and received on the correct inbound interface. During troubleshooting, always check to see if the table is full.

This can be concluded from the fact that the designated are the same. This is further confirmed by the fact that the designated path cost is reported as a cost.

Содержание

Введение.....	8
1 Магистральная сеть SDH.....	10
1.1 Методы конкатенации в SDH	10
1.1.1 Смежная конкатенация.....	11
1.1.2 Виртуальная конкатенация	13
1.2 Методы пакетизации трафика Ethernet для передачи по SDH	15
1.2.1 Процедура (протокол) LAPS (Link Access Procedure - SDH)	15
1.2.2 Процедура GFP.....	18
1.2.3 Формат клиентского GFP-кадра	20
1.2.4 Управляющие кадры GFP	23
1.3 Инкапсуляция кадров GFP во фреймы SONET/SDH	24
2 Сеть доступа	26
2.1 Обзор технологии WiMAX	26
2.2 Модуляция QAM.....	38
2.3 Топология сети доступа Mesh-сеть	48
3 Разработка сети WiMAX для реализации услуги широкополосного доступа в интернет.....	57
3.1 Выбор характеристик радио интерфейса.....	57
3.2 Расчет частотных каналов	58
3.3 Определения размерности кластера.....	58
3.4 Расчет частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов БС	61
3.5 Расчет доступной нагрузки БС	61
3.6 Расчет числа абонентов, обслуживаемых одной БС	62
3.7 Расчет количества БС	62
3.8 Расчет радиуса зоны обслуживания БС.....	62
4 Проверочный расчет помехоустойчивости сети.....	63
4.1 Расчет величины защитного расстояния	63
4.2 Расчет уровня сигнала на входе приемника	63
4.3 Расчет вероятности ошибки	63
4.4 Расчет эффективности использования.....	64
5 Мультисервисность сети WiMAX.....	65
5.1 Перечень предоставляемых услуг	65
6 Бизнес-план.....	68
6.1 Описание предприятия	68
6.2 Описание продукции	68
6.3 Конкурентоспособность услуги.....	68
6.4 Производственный план.....	69
6.5 Организационный план	69
6.6 Финансовый план	70
6.6.1 Расчет капитальных затрат.....	70
6.6.2 Расчет эксплуатационных расходов.....	70

6.6.3 Прибыль и окупаемость предприятия.....	73
6.6.3 Срок окупаемости	74
7 Безопасность жизнедеятельности.....	76
7.1 Анализ условий труда.....	76
7.1.1 Краткая характеристика условий труда.....	76
7.1.2 Травмобезопасность.....	78
7.1.3 Освещение.....	81
7.1.4 Пожарная безопасность	84
Заключение	87
Список литературы	88
Приложение А. Проектируемая система базовых станций в г.Талдыкорган	89
Приложение Б. Структурная схема проектируемой системы связи	90
Приложение В. Листинг программы расчета дальности связи	91
Приложение Г. Размещение стоечного оборудования	92

Введение

В данном дипломном проекте рассмотрено построение мультисервисной сети беспроводного радиодоступа на основе технологии WiMAX. Планируется установка четырех шестисекторных базовых станций радиодоступа производства Aperto Networks на территории города Тараз, которые будут объединены кольцом SDH. Для маршрутизации трафика и конвертирования интерфейсов будет использоваться оборудование Cisco Systems. В приложениях приведены конфигурационные файлы оборудования – базовой станции и маршрутизатора для выхода в Интернет.

Структурная схема проектируемой системы связи приведена на рисунке 1.1.

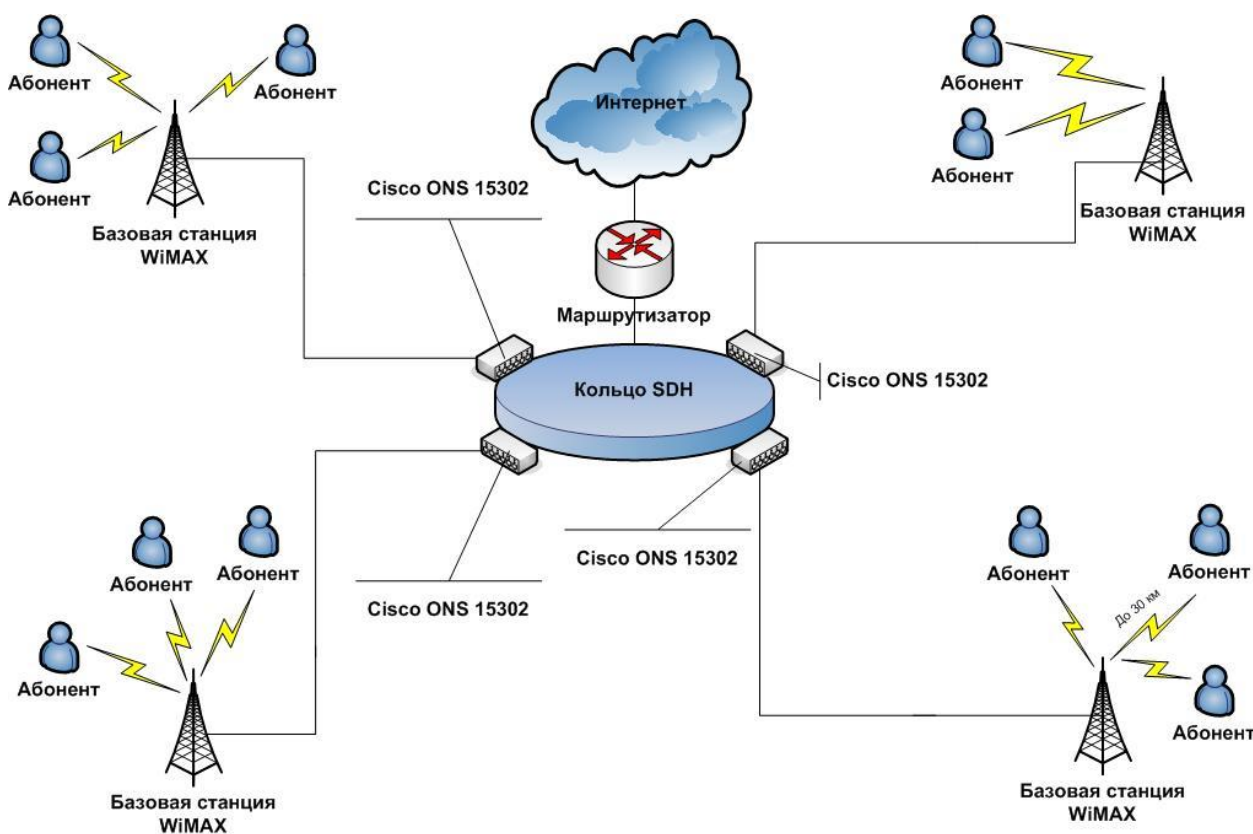


Рисунок 1.1 – Структурная схема проектируемой системы связи

Кольцо SDH объединяет территориально распределенные базовые станции WiMAX. Это решение позволяет увеличить число абонентов, так как для взаимосвязи базовых станций не требуется занимать полосу пропускания радиоканалов. Пограничные маршрутизаторы отвечают одновременно за сбор абонентского трафика по восходящему каналу и дальнейшую его маршрутизацию, распределение трафика по нисходящим каналам к абонентам, а также за конвертирование интерфейсов, т.е. осуществляют преобразование

оптического сигнала в электрический и обратно. В качестве пограничных маршрутизаторов выступают Cisco ONS 15302.

На абонентском участке сеть имеет топологию «звезда» - каждый абонент соединен с базовой станцией.

1 Магистральная сеть SDH

Технология SDH поддерживает традиционные интерфейсы PDH: E1, E3, E4 (2,34,140 Мбит/с), упаковывая указанные потоки в виртуальные контейнеры VC-1, 3 и 4, соответственно, которые затем загружаются в синхронный транспортный модуль STM-1 (155 Мбит/с) и передаются по оптоволоконной сети SDH. Эта технология предложила новую иерархию скоростей и модулей STM-n, которые соответствовали базовой скорости STM-1, умноженной на коэффициент из ряда: 1,4, 16, 64, 256. Максимальная достигнутая скорость соответствует последнему коэффициенту и равна 40 Гбит/с.

Кроме указанных трех стандартных PDH-интерфейсов, предлагавших каналы соответствующей емкости, а также SDH-интерфейсов STM-n, позволяющих организовать более емкие каналы типа пЕ1, пЕ3 и пЕ4 (п зависит от уровня модуля STM-n), технология допускала процедуру логической конкатенации (бесшовной стыковки) нескольких виртуальных контейнеров в один большой мультиконтейнер, например VC-4-Xc (где X - коэффициент кратности), для размещения в нем нагрузки, не помещающейся ни в один из стандартных VC-n. Это было сделано для того, чтобы иметь возможность в будущем передавать по сети трафик, генерируемый другими технологиями, и в первую очередь технологией АТМ. Так, в рекомендации предусматривались конкатенации с X=4 и 16 для размещения АТМ-трафика в мультиконтейнерах типа VC-4-Xc емкостью 2340X байт, позволяющих формировать каналы порядка 600 Мбит/с (X=4) и 2,4 Гбит/с (X=16). При этом сама процедура упаковки ячеек АТМ (длиной 53 байта) позволяла полностью использовать емкость полезной нагрузки контейнеров и допускала (учитывая, что 53 не кратно 2340) дробление ячеек, указывая длины последней загруженной и переносимой в другой контейнер мелких частей.

Однако оптимизированная под трафик пЕ1, пЕ3, пЕ4 и АТМ сеть SDH была в то время крайне неэкономна при передаче трафика других технологий локальных сетей, и в первую очередь Ethernet.

1.1 Методы конкатенации в SDH

В 2000 году появилась новая редакция стандарта ITU-T G.707, в которой возможности конкатенации виртуальных контейнеров SDH были существенно расширены. Для традиционного варианта конкатенации, названного позднее смежной конкатенацией (contiguous concatenation), был расширен набор коэффициентов X: 4, 16, 64 и 256 с учетом появления новых модулей STM-64 (10 Гбит/с) и STM-256 (40 Гбит/с). Кроме этого был предложен новый вариант конкатенации, названный виртуальной конкатенацией (virtual concatenation - VCAT), позволяющий использовать для конкатенации не один, а все типы

виртуальных контейнеров и значительно расширить диапазон использования возможных коэффициентов X . Более того, в поддержку новых возможностей в новой редакции стандарта ITU-T G.783 описывался механизм конвертирования между виртуальной и смежной конкатенацией на базе контейнеров VC-4. Рассмотрим новые возможности конкатенации. Теперь для конкатенации можно использовать контейнеры:

VC-3/VC-4, если полезная нагрузка требует большей емкости, чем может дать один VC-3/VC-4; VC-2, если полезная нагрузка требует большей емкости, чем обеспечивает VC-2 (вариант годится только для технологии SONET/SDH, учитывая, что VC-2 отсутствует в схеме мультиплексирования SDH);

VC-11/VC-12, если полезная нагрузка требует емкости, превышающей возможности VC-11/VC-12 (вариант VC-11 годится только для технологии SONET/SDH).

Оба метода конкатенации обеспечивают пропускную способность, в X раз большую, чем исходная емкость контейнеров VC- n . Различие между ними заключается в том, что смежная конкатенация поддерживает требуемую емкость смежных контейнеров на всем пути их транспортировки, тогда как виртуальная конкатенация оперирует емкостями отдельных VC- n , транспортирует их отдельно и собирает вместе до требуемой смежной емкости только в конечной точке передачи. Как указывалось, можно конвертировать типы конкатенации, но пока только на уровне контейнеров VC-4.

1.1.1 Смежная конкатенация

Структура мультиконтейнера VC-4- X с при смежной конкатенации показана на рис. 2. Она состоит из составного маршрутного заголовка РОН (9 - X), в котором используется только РОН первого VC-4 (9 - 1), а остальные составляют фиксированное заполнение размера 9 -(X -1). Формируемое поле полезной нагрузки равно X -260 и состоит из смежных полей административных блоков AU-4 модуля STM- N . Так как структура смежных полей рассматривается как целое, то для определения ее местоположения достаточно одного РОН первого VC-4, всегда расположенного в первом AU-4. Указатель этого AU-4 определяет позицию байта Л первого VC-4 в мультиконтейнере VC-4- X с. Указатели остальных смежных блоков AU-4 установлены в положение "конкатенированный" с использованием байтов заполнения. Полученные емкости (скорости) мультиконтейнеров приведены в таблице-1.1.

Т а б л и ц а 1.1 – Скорости мультиконтейнеров при смежной конкатенации.

Уровень STM- N	STM-4	STM-16	STM-64	STM-256
Коэффициент X	4	16	64	256

Скорость VC-4-X _c , Мбит/с	599,040	2396,160	9584,640	38338,560
--	---------	----------	----------	-----------

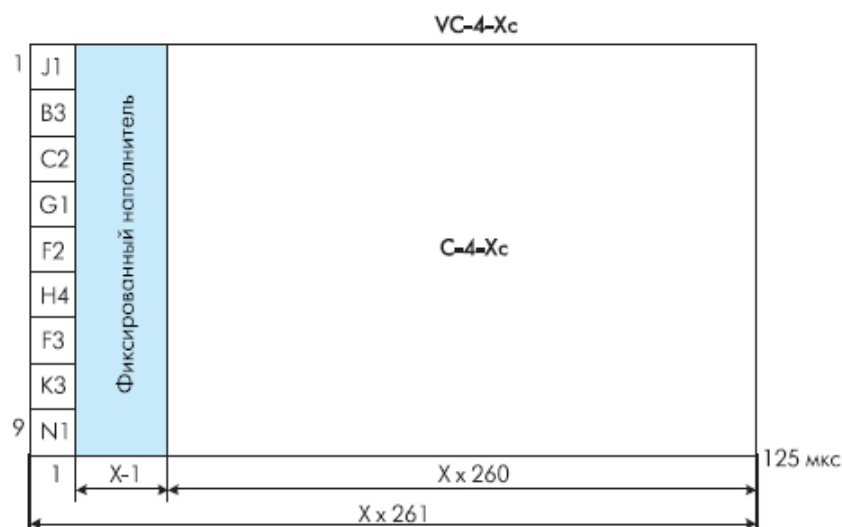


Рисунок 1.2 – Структура смежного мультиконтейнера верхнего уровня VC-4-X_c

Указанные емкости могут использоваться без ограничений при схеме передачи точка-точка. Если же используется кольцевая схема защиты MSSPRing, то скорости VC-4-X_c могут быть ограничены (например, $X \leq 64$), если возникнет необходимость резервирования 50% полосы STM-N для схемы защиты.

Для сетей SONET и SONET/SDH, поддерживающих формат контейнера VC-2, допустимо объединение X смежных контейнеров VC-2. При этом формируется мультиконтейнер нижнего уровня VC-2-X_c (рисунок 1.2) с емкостью полезной нагрузки $(X \times 106) = X \times 424$ байта и структурой фрейма, повторяемого с частотой 2000 Гц (1/500 мкс). Учитывая, что коэффициент X может изменяться от 1 до 7 (в соответствии со схемой мультиплексирования SONET), окончательно получаем, что допустимая емкость мультиконтейнера может изменяться от 6,784 до 47,488 Мбит/с с шагом 6,784 Мбит/с. Этот мультиконтейнер располагается в X смежных трибных блоках контейнера VC-3 так, что 1-й столбец VC-2-X_c располагается в первом TU-2, а его начало (байт V5) определяется указателем этого TU-2 (указатели остальных смежных TU-2 фиксируют факт использования конкатенации).

Таблица 1.2 – Скорости мультиконтейнеров VC-3-X_v при виртуальной конкатенации

Тип контейнера	Упакован в модуль STM-N	X	Скорость, Мбит/сек	Шаг, Мбит/сек
VC-3-X _v	STM-4	1-4	48,384-193,536	48,384
VC-3-X _v	STM-16	1-16	48,384-774,144	48,384
VC-3-X _v	STM-64	1-64	48,384-3996,546	48,384
VC-3-X _v	STM-256	1-256	48,384-12386,304	48,384

VC-4-Xv	STM-4	1-4	149,76-599,04	149,76
VC-4-Xv	STM-16	1-16	149,76-2396,16	149,76

Продолжение таблицы 1.2

VC-4-Xv	STM-64	1-64	149,76-9584,64	149,76
VC-4-Xv	STM-256	1-256	149,76-38338,56	149,76

1.1.2 Виртуальная конкатенация

Рассмотрим особенности виртуальной конкатенации с использованием контейнеров верхнего уровня: VC-3 и VC-4. Использующие их виртуальные мультиконтейнеры обозначаются как VC-3/4-Xv (т.е. VC-3-Xv или VC-4-Xv). Эти контейнеры сформированы путем последовательного логического (виртуального) объединения (конкатенации) X отдельных контейнеров VC-3/4, как показано на рисунке 1.2. Факт объединения и номер в последовательности контейнеров указаны в байте H4 заголовка РОН каждого контейнера VC-3/4.

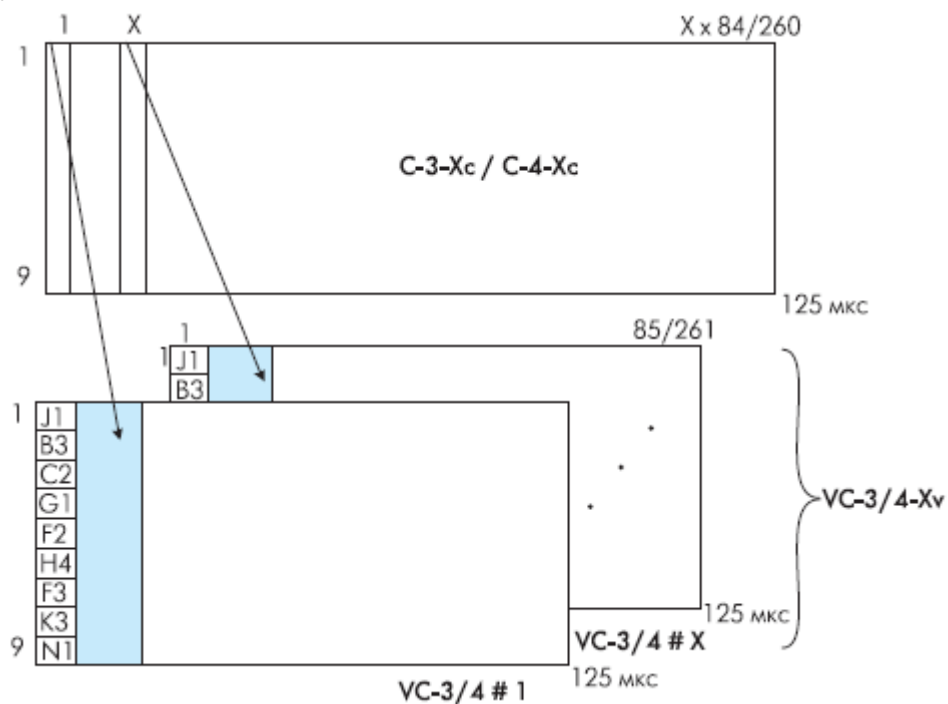


Рисунок 1.3 – Структура виртуальных мультиконтейнеров верхнего уровня VC-3/4-Xv

В соответствии с рисунком 1.3 и учитывая, что фреймы контейнеров VC-3/4 (9 S4 и 9 -260 байт) повторяются с частотой 8 кГц, формируются мультиконтейнеры верхнего уровня VC-3/4-Xv с полезной нагрузкой емкостью 48.384X (VC-3-Xv) и 149,760 (VC-4-Xv) Мбит/с. Множитель X при этом может меняться от 1 до 4/16/64/256 в зависимости от максимального уровня иерархии используемого оборудования SDH. Формируемые при этом емкости полезных нагрузок мультиконтейнеров VC-3/4-Xv приведены в

таблице 1.2 (максимальная емкость VC-4-Xv такая же, как и VC-4-Xc, таблица 1.1).

Как отмечалось выше, каждый из контейнеров VC-3/4 виртуального мультиконтейнера транспортируется по сети отдельно, что приводит к различным задержкам при их распространении, которые должны быть скомпенсированы в точке терминирования для формирования единого поля полезной нагрузки мультиконтейнера. Компенсируемая разница в задержках должна быть, по крайней мере, не меньше 125 мкс. Детальная структура байтов H4, схема формирования 4-битных индикаторов мультифреймов (MFM, MFI2) и указателей номеров в последовательности (SQ).

Рассмотрим особенности виртуальной конкатенации с использованием контейнеров нижнего уровня: VC-2, VC-12 и VC-11. Использующие их виртуальные мультиконтейнеры обозначаются как VC-2/1 -Xv (т.е. VC-2-Xv, VC-12-Xv или VC-11 -Xv). Эти контейнеры сформированы путем последовательного логического объединения X отдельных контейнеров VC-2/12/11, как показано на рис.4 (он совмещен для всех трех типов контейнеров, параметры которых указаны через разделительную черту). Факт объединения и номер в последовательности контейнеров указаны в байтах V5 и K4 заголовка РОН каждого контейнера VC-2/1.

Как и в отношении VC-3/4, каждый из контейнеров VC-2/12/11 виртуального мультиконтейнера также транспортируется по сети отдельно, и это приводит к различным задержкам при их распространении. Эти задержки должны быть скомпенсированы в точке терминирования для формирования единого поля полезной нагрузки мультиконтейнера. Компенсируемая разница в задержках должна быть также не меньше 125 мкс. Формируемые при этом емкости полезной нагрузки мультиконтейнеров приведены в таблице – 1.3.

Т а б л и ц а 1 . 3 – Скорости мультиконтейнеров нижнего уровня при виртуальной конкатенации

Тип контейнера	Упакован в модуль STM-N	X	Скорость, Мбит/сек	Шаг, Мбит/сек
VC-11-Xv	VC-3*	1-28	1,600-44,800	1,600
VC-11-Xv	VC-4	1-64**	1,600-102,400	1,600
VC-11-Xv	Не определено	1-64	1,600-102,400	1,600
VC-12-Xv	VC-3	1-21	2,176-45,696	2,176
VC-12-Xv	VC-4	1-63	2,176-137,088	2,176
VC-12-Xv	Не определено	1-64	2,176-139,264	2,176
VC-2-Xv	VC-3	1-7	6,784-47,448	6,784
VC-2-Xv	VC-4	1-21	6,784-142,464	6,784
VC-2-Xv	Не определено	1-64	6,784-434,176	6,784

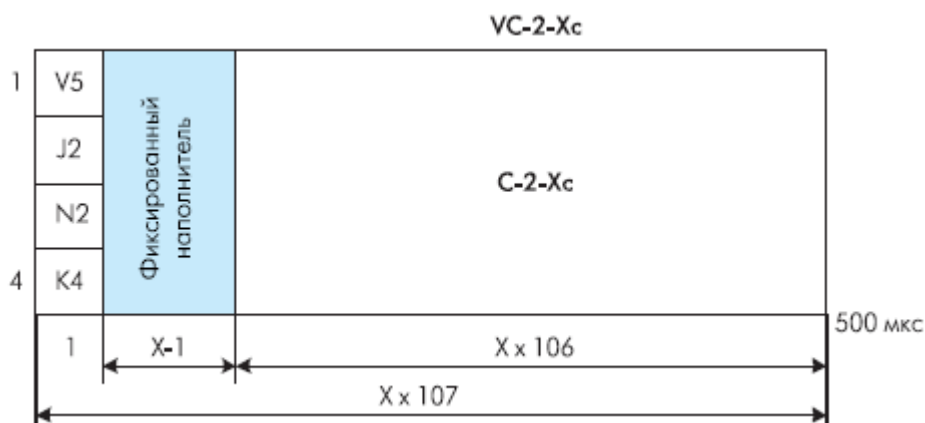


Рисунок 1.4 – Структура смежного мультиконтейнера нижнего уровня $VC-2-X_c$

Для сетей SDH из таблицы 1.3 можно воспользоваться только опциями мультиконтейнеров $VC-12-X_v$, объединяющих контейнеры $VC-12$. При этом формируется полезная нагрузка $(X4-34) = X-136$ байт со структурой фрейма, повторяемого с частотой 2000 Гц (1/500 мкс). В результате формируется поток со скоростью $X-2,176$ Мбит/с.

Для сетей SONET и SONET/SDH, поддерживающих форматы контейнеров $VC-11$ и $VC-2$, допустимо объединение X смежных контейнеров $VC-11$ и $VC-2$. При этом для $VC-11$ формируется мультиконтейнер $VC-11-X_v$ с полезной нагрузкой $(X4-25) = X-100$ байт и структурой фрейма, частота повторения которого 2000 Гц (1/500 мкс). Сформированный в результате этого поток имеет скорость $X-1,600$ Мбит/с. При использовании $VC-2$ получаем мультиконтейнер $VC-2-X_v$ с аналогичной мультиконтейнеру $VC-2-X_c$ емкостью полезной нагрузки, формирующей поток со скоростью $X-6784$ кбит/с.

1.2 Методы пакетизации трафика Ethernet для передачи по SDH

Для передачи трафика по сети SDH традиционно использовались несколько методов упаковки трафика (кадров) Ethernet во фреймы SDH:

- процедура доступа к звену передачи для SDH (упаковка с помощью LAPS);
- передача Ethernet поверх SDH или упаковка с помощью процедуры EOS;

1.2.1 Процедура (протокол) LAPS (Link Access Procedure - SDH)

LAPS – процедура доступа к звену передачи для SDH - протокол уровня 2 семиуровневой модели OSI, разработанный для технологии SDH сначала для передачи пакетного трафика IP (ITU-T X.85), а затем Ethernet (ITU-T X.86) и других пакетных технологий. Этот протокол, как и другие процедуры типа LAPx, основанные на протоколе HDLC, использует поле данных для инкапсуляции MAC-кадра Ethernet (IEEE 802.3), как показано на рис.5, для последующей дуплексной передачи в сети SDH с топологией точка-точка.

Здесь MAC-кадр Ethernet соответствует кадрам различных вариантов Ethernet: IEEE 802.3 (E), 802.3u (FE), 802.3ab (GE) или 802.3ae (10GE). MII/GMII/XGMII - Media/Gigabit Media/10 Gigabit Media Independent Interface - интерфейс/гигабитный интерфейс/10-гига-битный интерфейс, независимый от среды передачи - спецификация подуровня физического уровня для высокоскоростных (100 Мбит/с и выше), гигабитных (1 Гбит/с) и 10-гигабитных (10 Гбит/с) технологий Ethernet (на момент публикации версия LAPS, обслуживающая ЮСЕ, отсутствовала).

Общий стек протоколов/уровней модели взаимодействия Ethernet-LAPS-SDH показан на рис.6. В этой модели со стороны SDH могут быть использованы как виртуальные контейнеры верхнего уровня VC-3/VC-4, так и нижнего уровня VC-11, VC-12 и VC-2, причем в последнем случае они могут быть ориентированы не только на стандартные скорости модулей STM-N в соответствии с рекомендацией ITU-T G.707, но и на скорости субмодулей sSTM-n в соответствии с рекомендацией ITU-T G.708. Этот факт позволяет использовать на физическом уровне не только электрические и оптические секции (E/O), но и радиорелейные (E/O/R).

Указанный стек протоколов соответствует трехуровневой модели OSI и может быть представлен развернутой моделью взаимодействия сетей ЛВС Ethernet (пограничный узел А с пограничным узлом Б) через сеть SDH, представленную двумя узлами (рисунок 1.6).

MAC-кадр Ethernet (IEEE 802.3xx)		← Ethernet-последовательности
Протокол LAPS		
LO/HO VC-n	VC-11/VC-12/VC-2	← G.707/Y.1322
Мультиплексная секция SDH		← G.707(STM-N)/G.708(sSTM-n)
Регенераторная секция SDH		
E/O-секции SDH	E/O/R-секции SDH	← G.703/G.957(STM-N)//G.708(sSTM-n)

Рисунок 1.6 – Стек протоколов/уровней модели взаимодействия Ethernet

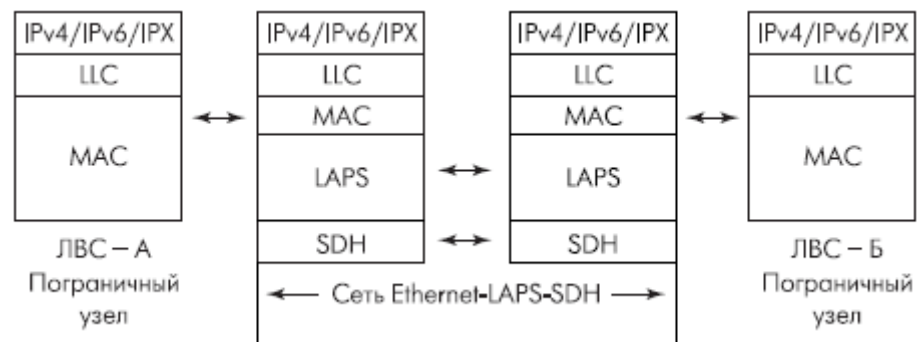


Рисунок 1.7 – Конфигурация протоколов сети Ethernet-LAPS-SDH

Сопоставление рисунков 1.6 и 1.7 показывает, что физический уровень, представленный SDH, фактически состоит из четырех подуровней модели SDH: подуровня виртуальных контейнеров VC-n, подуровней мультиплексной и регенераторной секций и секции конвертации фреймовой SDH-последовательности в электрический, оптический или радиосигнал, подаваемый в линию связи.

Скорость передачи в линии связи определяется несколькими факторами: типом используемого стандарта Ethernet; скоростью синхронного модуля STM-N или субмодуля sSTM-n; выбранной схемой конкатенации контейнеров, описанной выше; коэффициентом избыточности схемы шифрования/дешифрации, используемой при вводе/выводе информации в поле/из поля полезной нагрузки.

Протокол LAPS фактически функционирует как подуровень физического кодирования, обеспечивающего передачу в режиме "точка-точка" виртуальных контейнеров через сеть SDH и требуемые интерфейсные скорости. Как и другие протоколы типа LAPx (например, LAPD), он поддерживает сервис передачи информации без подтверждения приема (Unacknowledged Information Transfer Service - UITS), характерный для децентрализованных сетей (ЛВС), и использует адаптацию по скорости между LAPS и SDH, а именно: согласование скорости на интерфейсе Ethernet MAC МП (см. рис.5) и скорости контейнеров SDH VC. Такое согласование нужно, чтобы предотвратить возможность записи MAC-кадра в заголовок модуля SDH, учитывая различный характер функционирования SDH (синхронизируемая периодическая последовательность модулей) и Ethernet MAC-уровня (монополярная пакетная передача).

Всякое согласование скоростей требует, как известно, использования процедур стаффинга (в PDH/SDH это добавление битов/байтов наполнителей, а здесь кадров паузы - PF), что вызывает негативную реакцию у специалистов, записывающих штрафные очки данному методу/протоколу упаковки трафика Ethernet при его передаче по сети SDH. Этот метод, однако, широко используется и в оборудовании SDH новой генерации (см., например, карты X8PL мультиплексора SDH новой генерации компании Lucent) наряду с протоколом GFP.

Формат кадра протокола LAPS. Кадр Ethernet стандарта IEEE 802.3 имеет переменную длину поля данных и состоит из 8 полей, из которых первые два: преамбула - 1 байт и ограничитель начала кадра (SFD) - 1 байт, отбрасываются при инкапсуляции в поле протокола LAPS. Максимальная длина остальных (инкапсулируемых) шести полей равна 1518 байтам: по 6 байт - адрес назначения (DA) и адрес источника (SA), 2 байта - длина поля данных (L), 46-1500 - поле данных (Data) с фиксированным наполнителем поля данных до минимальной длины: 46 байт (PAD), если требуется, и 4 байта последовательности контроля кадра (FCS).

Флаг (7e: 01111110)	1 байт
Адрес HDLC (04: 00000100)	1 байт
Управление HDLC (03: 00000011)	1 байт
SAPI LAPS	2 байта
MAC-кадр: адрес назначения (DA)	6 байт
MAC-кадр: адрес источника (SA)	6 байт
MAC-кадр: длина поля данных	2 байта
MAC-кадр: поле данных	46–1500 байтов
MAC-кадр: байты дополнения (PAD)	
MAC-кадр: поле FCS	4 байта
Поле FCS LAPS	4 байта
Адаптация скорости (стаффинг) (7d,dd)	переменной длины
Флаг (7e: 01111110)	1 байт
Межкадровый зазор	1 байт

Рисунок 1.8 – Формат кадра JAPS с упакованным Ethernet MAC-кадром

Кадр протокола LAPS (рисунок 1.8) имеет переменную длину и состоит из 7 полей: первое и последнее поля - флаги (по 1 байту), второе поле - адрес (1 байт), третье - управление (1 байт), четвертое - идентификатор точки доступа к сервису - SAPI (2 байта), пятое - поле данных, куда и упаковывается кадр Ethernet (после отбрасывания преамбулы и SFD) максимальной длины 1518 байт, шестое - поле FCS, используемое для контроля LAPS (4 байта). Максимальная длина кадра LAPS при этом 1528 (1518+10) байт.

Можно констатировать, что при отсутствии адаптации скорости кадр протокола LAPS отличается от кадра Ethernet всего на 2 байта (1528 против 1526). Однако при необходимости выравнивания (адаптации) скоростей процедура LAPS вставляет последовательности (7d,dd), или (01111101, 11011101), перед конечным флагом, прежде чем отправить кадр LAPS в сеть SDH. Эти вставки и есть тот стаффинг.

1.2.2 Процедура GFP

Процедура GFP (Generic Framing Procedure – основная процедура фреймирования), согласно, была разработана для того, чтобы обеспечить общий механизм адаптации трафика пользователя, передаваемого через транспортную сеть с верхних уровней модели OSI (MBOC), перед тем, как инкапсулировать его в полезную нагрузку фреймов SDH.

Термин фреймирование понимается здесь обобщенно как отображение потока данных на поле полезной нагрузки кадра-переносчика (GFP) или как отображение кадра GFP на поле полезной нагрузки фрейма-переносчика (SONET/SDH).

Трафик пользователя может быть двух типов, которые требуют соответственно два различных режима инкапсуляции:

- GFP-F (Frame-Mapped GFP) - основная процедура фреймирования с отображением кадров - режим инкапсуляции GFP, ориентированный на использование протокольного блока данных (PDU) кадров типа IP/PPP или MAC-кадров Ethernet (типа E, FE и GE). В этом случае отдельный кадр клиентского (пользовательского) трафика инкапсулируется, т.е. отображается, или упаковывается, в полезную нагрузку одного кадра GFP;

- GFP-T (Transparent GFP) – прозрачная основная процедура фреймирования.

Режим инкапсуляции GFP, ориентированный на применение блочного кодирования потока данных с постоянной битовой скоростью, например потоков, формируемых для прохождения через интерфейсы типа Fiber Channel, ESCON/FICON, или же потоков данных, формируемых технологиями Ethernet (GE и 10GE). В этом случае последовательность символов-данных пользователя отображается в эффективные кодовые блоки, инкапсулируемые в полезную нагрузку одного GFP-кадра.

Так как нас интересует прежде всего передача пакетного трафика Ethernet (E, FE и GE), учитывая, что трафик 10GE хорошо приспособлен для передачи по сети SDH (см. ниже), то ограничимся рассмотрением только режима GFP-F. Он ориентирован на PDU и дает возможность обрабатывать как Ethernet-, так и IP-трафик, и может быть представлен функциональной моделью, приведенной на рис.1 (рассматривается только один клиент и топологическая схема передачи "точка-точка").

В рамках этой модели функция инкапсуляции (и предшествующая ей функция адаптации скорости) потока клиента/пользователя в GFP может работать на уровне звена передачи данных (или на более высоких уровнях). Это значит, что клиентский PDU должен быть получен из сети уровня звена передачи данных (от IP-маршрутизатора или коммутатора Ethernet; см. интерфейсные точки C/C' на рис.1) или через функцию моста/коммутатора/маршрутизатора в транспортном сетевом элементе (TNE - Transport Network Element). В этом последнем случае клиентский PDU принимается, например, через интерфейс Ethernet (интерфейсные точки A/A' на рисунке 1.1). Используя эту модель, можно установить соединение между портами A и A'; C и C'; A и C'; C и A'.

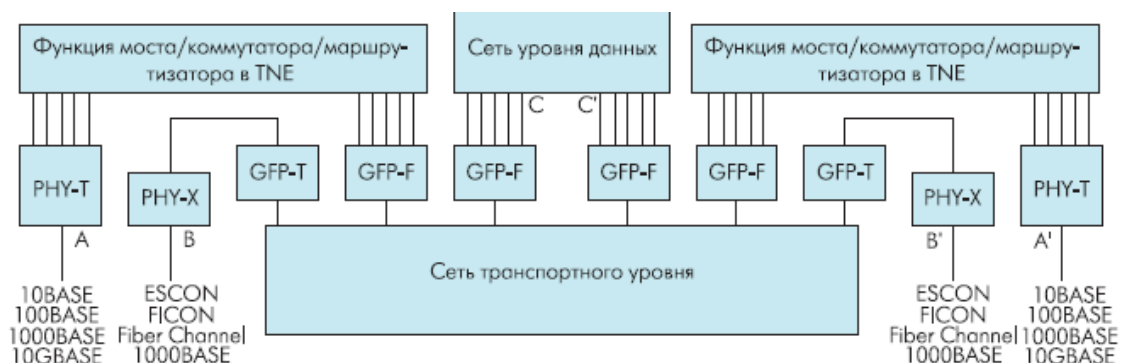


Рисунок 1.9 – Функциональная модель процедуры GFP-F

1.2.3 Формат клиентского GFP-кадра

В составе клиентского GFP-кадра можно выделить (грубо) два блока: основной заголовок и область полезной нагрузки (рис.2, левый пунктирный столбец). Заголовок состоит из двух полей: индикатора длины клиентского PDU - PU (Payload Indication) и поля контроля ошибок основного заголовка - сHEC (Header Error Control), фактически реализующего хорошо известную процедуру CRC-16. Полезная нагрузка состоит из трех полей: заголовка полезной нагрузки -PLH (Payload Header), поля клиентской полезной нагрузки - CPL (Client Payload), куда в нашем случае загружается MAC-кадр Ethernet, и необязательного поля контрольной последовательности кадра - FCS (Frame Check Sequence), фактически реализующего известную процедуру CRC-32. Основной заголовок допускает независимое от содержимого PDU верхних уровней выравнивание кадра GFP.

Поле PLI (2 байта) содержит двоичный эквивалент числа байтов (октетов), определяющих емкость полезной нагрузки. Минимальная емкость PL равна 4 байтам, она может содержать только PLH.

Поле сHEC (2 байта) содержит код контроля ошибок основного заголовка CRC-16, позволяющего исправлять его одиночные ошибки и обнаруживать кратные ошибки. Кроме этого основной заголовок дополнительно кодируется (скремблируется) для улучшения устойчивости процедуры выравнивания кадра GFP и обеспечения достаточного числа переходов 0-1 и 1-0 при передаче пустых кадров IF (Idle Frame).

Область полезной нагрузки служит для передачи протокольных данных верхних уровней и имеет переменную длину от 4 до 65535 байтов. Она состоит из двух общих полей: заголовка PLH (4-64 байта) и полезной нагрузки длиной от 0 до 65535-X байтов, которая зависит от переносимых приложений и должна быть не меньше 1600 байтов.

Заголовок PLH имеет переменную длину (4-64 байта), чтобы поддержать процедуры административного управления (менеджмента), характерные для верхних уровней клиентских приложений. PLH состоит из двух обязательных полей длиной 2 байта: поля тип заголовка (Type) и поля контроля его ошибок (tHEC), а также дополнительного поля расширения заголовка (EXH) переменной длины (0-58 байтов) и поля контроля его ошибок (eHEC) длиной 2 байта (рисунок 1.2).

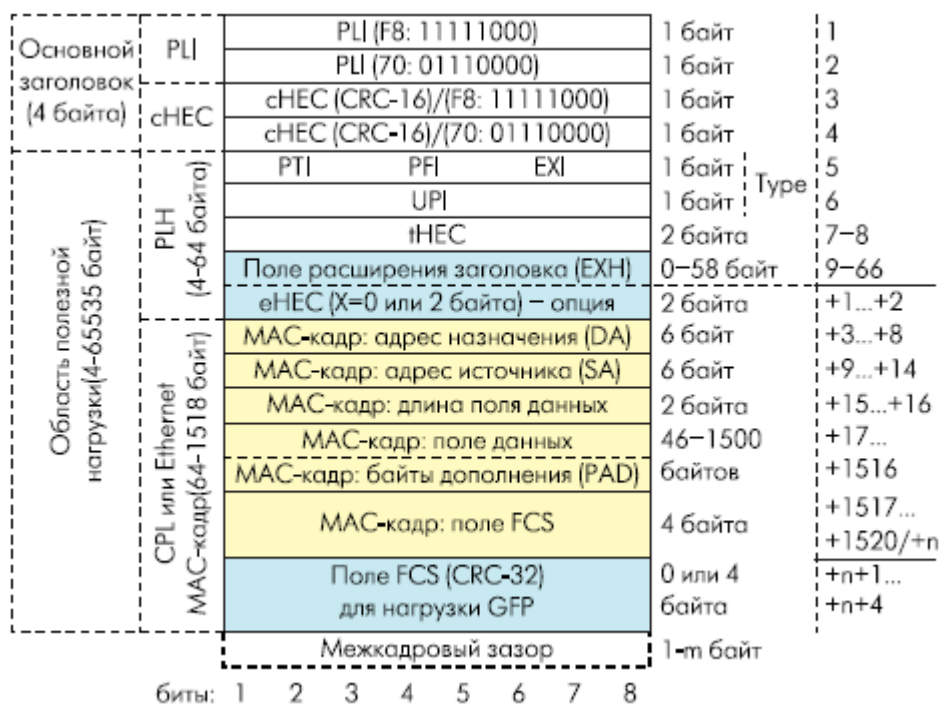


Рисунок 1.10 – Формат клиентского GFP-кадра

Поля tHEC и eHEC содержат стандартные циклические коды CRC-16 для защиты целостности контролируемых ими полей Type и EXH и позволяют корректировать все одиночные и выявлять множественные ошибки (пачки).

Наличие поля расширения заголовка (его общий формат имеет длину 0-60 байтов) и поля FCS для нагрузки GFP определяется полем Type, которое, в свою очередь, делится на несколько полей, описывающих не только типы кадров GFP, но и различные сервисы в случае мультисервисного обслуживания.

Эти поля: PTI, PFI, EXI и UPI (рисунок 1.9) несут следующую функциональную нагрузку:

- PTI (Payload Type Identifier) - идентификатор типа нагрузки (3 бита) - определяет в настоящее время только два типа нагрузки: РТИООО для кадров

данных пользователя (UD) и PT1=100 для кадров административного управления со стороны пользователя (CM);

- PFI (Payload FCS field Identifier) - указатель наличия поля FCS для нагрузки GFP (1 бит): PFI=1, если FCS присутствует, и PFI=0, если FCS отсутствует;

EXI (Extension head Identifier) - идентификатор расширенного заголовка (4 бита) - определяет в настоящее время только три типа расширенного заголовка: EXNOOOO для нулевого расширения, EXN0001 для кадра с топологией "линейная цепь" и EXN0010 для кадра кольцевой топологии;

UPI (User Payload Identifier) - идентификатор нагрузки пользователя (8 битов) - определяет тип нагрузки, переносимой в поле информационной полезной нагрузки GFP. Этот тип нагрузки зависит от типа кадра данных пользователя, инкапсулируемого в GFP, а он, в свою очередь, определяется полем PTI.

Определяемые идентификатором UPI значения кадров данных пользователя (т.е. кадров, соответствующих значению PTNOOO) приведены в таблице 1.4.

Т а б л и ц а 1 . 4 – Типы полезной нагрузки кадра GFP, определяемые по коду UPI, для PTI=000

Идентификатор UPI (двоичный)	Полезная нагрузка кадра GFP
00000000 1111 1111	Зарезервированы и не используются
00000001	Фреймированный Ethernet
00000010	Фреймированный PPP - протокол последовательной связи типа "точка-точка", Интернет-протокол уровня 3 OSI
00000011	Прозрачный Fiber Channel - интерфейс волоконно-оптического канала ввода/вывода для работы на скорости до 1700 Мбит/с
00000100	Прозрачный FICON - стандартный волоконно-оптический интерфейс IBM для архитектуры SAN (850 Мбит/с)
00000101	Прозрачный ESCON - интерфейс систем с архитектурой ESCON (IBM), скорость передачи 160 Мбит/с
00000110	Прозрачный Gigabit Ethernet
00000111	Зарезервировано для последующего использования
00001000	Фреймированный MAPOS - технология передачи протокола множественного доступа через SDH

00001001	Прозрачный DVB ASI - асинхронный последовательный интерфейс для передачи цифрового видеовещания
от 0000 1010 до 11101111	Зарезервированы под будущие стандарты
от 1111 0000 до 1111 1110	Зарезервированы для частного использования

Определяемые идентификатором UPI значения кадров административного управления со стороны пользователя (т.е. кадров, соответствующих значению PT1=100) приведены в таблице 1.2.

Поле расширения заголовка PLH вместе с полем eHEC имеет переменную длину (0-60 байтов) и предназначено для поддержки специфичных для разных технологий заголовков звена передачи данных, таких как идентификаторы виртуальных звеньев, адреса источника/назначения, номера портов, классы сервиса, контроль ошибок расширенного заголовка. Тип расширенного заголовка указывается битами поля EXI. В настоящее время определены только три варианта расширенного заголовка. Они используются для поддержки данных, передаваемых по логическому кольцу (EXN0010), линейной цепи (EXN0001) и звену связи точка-точка (EXN0000).

Т а б л и ц а 1.5 – Управляющая информация кадра GFP, определяемая по коду UPI, для PT1=100

Идентификатор UPI (двоичный)	Управляющая информация кадра GFP
00000000 и 1111 1111	Зарезервированы и не используются
00000001	Потеря клиентского сигнала
00000010	Потеря символа синхронизации

Стандарт фактически проработан только для двух последних топологий. При этом под звеном связи "точка-точка" подразумевается, фактически, выделенный канал для одного пользователя, что не требует какой-то дополнительной идентификации. Это означает, что поле расширения отсутствует, а PLH минимально и состоит из четырех байтов: два первых байта (5-й и 6-й) поля типа Туре, два последующих (7-й и 8-й) - типа tHEC (рисунок 1.2).

Топология "линейная цепь" рассматривается этим стандартом применительно к отдельному пользователю, как та же логическая "точка-точка", но пользователей может быть несколько. Это значит, что требуется процедура их агрегации (объединения, например, с помощью мультиплексирования) в один транспортный канал и дополнительная идентификация отдельного пользователя внутри этого транспортного канала. В результате такой кадр состоит из минимального PLH (4 байта: 5-8, рисунок 1.2) и 4-байтного расширения: байта идентификации канала - CID (байт 9),

резервного байта (10) и двух байтов eHEC (11-12), содержащих CRC-16 для контроля ошибок поля расширения заголовка. Байт CID позволяет идентифицировать 256 (28) каналов пользователей в агрегатном (транспортном) канале.

Кольцевая топология в стандарте пока не проработана и отложена для последующего рассмотрения.

1.2.4 Управляющие кадры GFP

Для управления GFP-соединением должны использоваться управляющие кадры. В настоящее время описан только один тип такого кадра - пустой кадр IF. Он имеет длину четыре байта и фактически имитирует основной заголовок GFP, в котором поля PLJ и sHEC (рисунок 1.2) установлены нулевыми (область полезной нагрузки отсутствует).

Пустые кадры используются как кадры заполнения в процессе адаптации скорости (емкости) источника данных при инкапсуляции потока данных в GFP, если емкость транспортного канала среды передачи выше, чем требуется для размещения клиентского сигнала. Учитывая процедуру скремблирования Баркера, фактически пустой кадр представлен последовательностью из четырех байтов вида (16-ричное значение байтов показано в нумерации справа налево):

EO	31	AB	B6
----	----	----	----

Другие типы управляющих кадров с PU=1,2,3 находятся в стадии разработки.

Процедура фреймирования данных пользователя в кадр GFP на входе может быть в общем случае представлена как процедура мультиплексирования потока байтов клиентских сигналов и пустых кадров (при отсутствии сигналов), управляемая процессом адаптации скорости сигналов и менеджментом со стороны клиента. На выходе мультиплексора агрегированный поток скремблируется отдельно для основного заголовка и полезной нагрузки. На выходе осуществляется логически обратный процесс.

При наличии множества портов и множества типов клиентского трафика мультиплексирование осуществляется в режиме покадрового (кадры GFP) интерливинга.

1.3 Инкапсуляция кадров GFP во фреймы SONET/SDH

Поток кадров GFP упаковывается в контейнер C-л, где $p = 11, 12, 2$ (SONET), 3, 4, 4-Xc, 11/12/2/3/4-Xv, причем так, что границы байтов кадров GFP оказываются выровненными с границами такого контейнера C-л. Этот контейнер затем упаковывается в виртуальный контейнер VC-л, к которому

добавляется соответствующий заголовок POH. Однако, учитывая, что емкость контейнера С-л не является целым кратным длины кадра GFP, какой-то из кадров может пересечь границу одного из фреймов С-л (аналогично тому, что имеет место при упаковке ячеек АТМ во фреймы SDH). Вместе с тем, благодаря процедуре адаптации, основанной на вставке пустых кадров, емкость прибывающего потока кадров GFP идентична емкости полезной нагрузки VC-мультиконтейнера.

Еще раз подчеркнем, что процедура адаптации скорости и скремблирование осуществляется на первом этапе - этапе фреймирования потока Ethernet в кадры GFP, а не на втором этапе - этапе упаковки кадров GFP во фреймы SONET/SDH. Этим, главным образом (если забыть о гибкости и универсальности), и отличаются процедуры GFP и LAPS, а не тем, что GFP позволяет избежать процедуры стаффинга. Вставка пустых ячеек на этапе адаптации мало чем отличается от стаффинга, используемого в процедуре LAPS. Весь вопрос в том, для каких технологий, когда и как это делается и что получается в результате!

Наиболее важным преимуществом процедуры GFP является ее гибкость и универсальность, позволяющие дополнительно поддерживать трафик данных, использующий интерфейсы типа: FICON, ESCON/SBCON, а также трафик цифрового видеовещания (DVB).

Т а б л и ц а 1 . 6 – Сравнение эффективности работы с VCAT и без нее

Сервис	Скорость передачи	Без виртуальной конкатенации (унаследованная SDH)	С виртуальной конкатенацией (SDH нового поколения)
Ethernet	10 Мбит/с	VC-3 (20%)	VC-12-5v (~100%)
Fast Ethernet	100 Мбит/с	VC-4 (67%)	VC-3-2v (~100%)
Gigabit Ethernet	1 Гбит/с	VC-4-16c (42%)	VC-4-7v (95%)
Frame Channel	1 Гбит/с	VC-4-16c (42%)	VC-4-7v (95%)

Как видим, контейнер VC-4 для Fast Ethernet задействует лишь 67% пропускной способности в 150 Мбит/с. Конкатенация двух контейнеров VC-3, напротив, дает пропускную способность в 100 Мбит/с, т. е. достигается ее 100-процентное использование.

2 Сеть доступа

В данном дипломном проекте будет рассмотрена беспроводная технология WiMAX. Выбор этой технологии обусловлен тем, что для оптимальной доставки услуг потребителю нет необходимости прокладывать кабель. Отсутствие привязки к кабелю – основа мобильности абонентов, и например при переезде в новое здание нет необходимости прокладывать туда кабель.

2.1 Обзор технологии WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) в дословном переводе звучит как "глобальная совместимость для микроволнового доступа". Так называется международный отраслевой Консорциум, который намерен способствовать достижению совместимости всего оборудования, применяемого для широкополосного беспроводного доступа (ШБД). Сюда вошли такие известные производители чипсетов, как Intel, Fujitsu и примкнувшая к ним Nokia, а также известные на российском рынке компании Asiros, Airspan, Alvarion, Aperto, Proxim и Wi-LAN. Сегодня Консорциум WiMAX объединяет 96 компаний.

IEEE 802.16 - это первый стандарт, предназначенный для создания территориально распределенных сетей широкополосного беспроводного доступа (Broadband Wireless Access) в масштабе города (Wireless MAN). В стандарте описывается интерфейс для систем ШБД типа "точка-многоточка", работающих в диапазонах частот 2-11 ГГц и 10-66 ГГц и осуществляющих связь на расстояниях в десятки километров.

Под WiMAX, прежде всего, понимается технология операторского класса, которая практически не имеет на сегодняшний день альтернативы по предоставлению населению высококачественных услуг мультисервисного ШБД.

Именно мультисервисность и, как следствие, широкополосность характеризуют современные тенденции развития беспроводного доступа. В идеале, современный пользователь не должен испытывать ограничения на любые виды услуг, доступные в настоящее время через кабельные соединения, такие как SDH или Ethernet. Предполагается, что новейшие системы с сертификацией Wi-MAX позволят операторам сетей широкополосного доступа не только предоставить пользователям разнообразные типы сервисов как IP, так и E1, но и заменить инфраструктуру ADSL-доступа и выделенных линий в целом.

Краткое описание стандарта 802.16. Стандарт регламентирует два уровня - уровень доступа к среде (Media Access Control, MAC) и физический уровень (PHY) - применительно к базовым станциям и абонентским комплексам.

Т а б л и ц а 2 . 1 – Основные технические данные стандарта 802.16 и его расширения 802.16а

	802.16	802.16а
Диапазон	10 - 66 ГГц	2 - 11 ГГц
Условия работы	Только прямая видимость	Возможность работы в не прямой видимости для абонентов ближней зоны
Скорость	32,0 - 134,4 Мбит/с	1,0 - 75,0 Мбит/с
Модуляция	QPSK, 16 QAM, 64 QAM Одна поднесущая	QPSK, 16 QAM, 64 QAM (256 QAM) Одна поднесущая OFDM 256 поднесущих OFDMA 2048 поднесущих
Дуплексный режим	TDD/FDD	TDD/FDD
Полоса частот	20, 25 и 28 МГц	От 1,25 до 20 МГц
Радиус соты	Типичный: 2 - 5 км	Типичный: 4 - 6 км

В стандарте особое внимание уделяется планированию пользовательских потоков данных (Service Flow), на которых строится весь информационный обмен между базовой станцией и абонентскими устройствами, а также средствам защиты пользовательских данных (privacy sub layer) и безопасности связи.

Передача трафика от абонентских устройств к базовой станции (так называемое восходящее направление, uplink) основывается на комбинации двух методов многостанционного доступа: DAMA (доступ по запросу) и TDMA (доступ с временным разделением каналов). Структура пакетов физического уровня поддерживает переменную длину пакета MAC-уровня. Передатчик осуществляет рандомизацию, помехоустойчивое кодирование и модуляцию по алгоритмам QPSK, 16 QAM и 64 QAM (два последних метода модуляции предусмотрены в качестве опции).

Передача трафика от базовой станции к абонентским устройствам (так называемое нисходящее направление, downlink) ведется в режиме временного дуплекса (TDD) в едином потоке для всех абонентских устройств одного сектора. Передатчик осуществляет рандомизацию, помехоустойчивое кодирование и модуляцию в соответствии с алгоритмами QPSK, 16 QAM и 64 QAM (последний вариант предусмотрен для базовых станций в качестве опции).

Модуляция. Особенности распространения радиоволн частотного диапазона 10 - 66 ГГц ограничивают возможности работы систем условиями прямой видимости. В типичной городской среде это позволяет подключить примерно половину абонентов, находящихся в пределах рабочей дальности от базовой станции. Для остальных 50% прямой видимости, как правило, нет. В этой связи институт IEEE разработал дополнение к стандарту 802.16, которое

относится к частотам 2 - 11 ГГц и, помимо одночастотной передачи (Single Carrier, SC), предусматривает режимы ортогонального частотного мультиплексирования (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) и множественного доступа на основе такого мультиплексирования (OFD Multiple Access, OFDMA).

В режиме OFDM допускается одновременная передача на 256 поднесущих. За счет увеличения (примерно в такое же число раз) длительности элементарного символа можно одновременно принимать прямой и отраженные от препятствий сигналы, либо вообще работать только на отраженных сигналах вне пределов прямой видимости базовой станции.

Безопасность. В стандарте IEEE 802.16 каждый абонентский комплекс подписан цифровым сертификатом X.509, который "защит" производителем оборудования и не может быть изменен даже после окончания срока действия сертификата - 10 лет. На основании цифровой подписи происходит аутентификация абонентского комплекса на базовой станции, при этом базовая и абонентская станции обмениваются зашифрованными ключами и устанавливают безопасное (зашифрованное) соединение. Множество ключей для шифрования и сам алгоритм - 3-DES - обеспечивают сложность расшифровки даже при перехвате. Механизм шифрования трафика работает одновременно с двумя ключами для каждого виртуального соединения, что обеспечивает синхронизацию в среде с возможными потерями пакетов, а перекрывающиеся времена жизни ключей - надежность соединения.

Структура и особенности стандарта IEEE 802.16-2004. Новый документ - это компиляция уже существовавших стандартов, однако с достаточно серьезными изменениями и уточнениями в отдельных разделах. Главным образом они затронули главы, входившие ранее в IEEE 802.16a. Стандарт описывает принципы построения сетей регионального масштаба в диапазонах до 66 ГГц - точнее, их физический и MAC-уровни. Для этого предусмотрено пять режимов (табл.1). Из них только WirelessMAN-SC предназначен для работы в диапазоне 10-66 ГГц. Он ориентирован на магистральные сети ("точка-точка", "точка-многоточка"), работающие в режиме прямой видимости (ибо затухание столь высокочастотных сигналов при отражении очень велико) с типичными скоростями потока данных (bit stream) 120 Мбит/с и шириной канала порядка 25 МГц. Это фактически описанный в документе IEEE 802.16-2001 радиоинтерфейс широкополосного доступа с модуляцией одной несущей на канал (SC - single carrier), который рассмотрен в публикации.

Остальные режимы разработаны для диапазонов менее 11 ГГц. Один из них - WirelessMAN-SCa - это "низкочастотная" вариация WirelessMAN-SC (с рядом дополнительных механизмов, в частности допускается 256-позиционная квадратурная модуляция 256-QAM). Другой, WirelessHUMAN, предназначен для работы в безлицензионных диапазонах (главным образом в США). Зато два оставшихся режима - WirelessMAN-OFDM и WirelessMAN-OFDMA - это принципиально новые по отношению к IEEE 802.16-2001 методы.

Отметим, что все режимы диапазона ниже 11 ГГц отличают три характерных детали - это механизмы автоматического запроса повторной передачи (ARQ - automatic repeat request), поддержка работы с адаптивными антенными системами (AAS - adaptive antenna system) и пространственно-временное кодирование (STC - space time coding) при работе с AAS. Кроме того, помимо централизованной архитектуры "точка-многоточка", в диапазоне ниже 11 ГГц предусмотрена поддержка архитектуры Mesh-сети ("сетки" - децентрализованной сети взаимодействующих друг с другом систем). Фактически Mesh-сеть является аналогом локальных ad-hoc-сетей стандарта IEEE 802.11. Примечательно, что если в документе IEEE 802.16a речь шла о диапазоне 2-11 ГГц, то в новом стандарте нижняя граница так четко не оговаривается (упоминается "как правило, не ниже 1 ГГц").

Режим	Частотный диапазон, ГГц	Опции	Метод дуплексирования
WirelessMAN-SC	10–66		TDD / FDD
WirelessMAN-SCa	< 11	AAS / ARQ / STC /	TDD / FDD
WirelessMAN-OFDM	< 11	AAS / ARQ / STC / Mesh	TDD / FDD
WirelessMAN-OFDMA	< 11	AAS / ARQ / STC /	TDD / FDD
WirelessHUMAN	< 11, безлицензионный диапазон*	DFS / AAS / ARQ / Mesh / STC	TDD

*В США и Европе.

Рисунок – Основные режимы в стандарте IEEE 802.16-2004

Еще одна особенность стандарта - режим WirelessHUMAN (Highspeed Unlicensed Metropolitan Area Network). Фактически он представляет собой адаптацию описанных в стандарте IEEE 802.16-2004 режимов для работы в безлицензионных диапазонах частот (видимо, в зоне 5-6 ГГц). Основные отличия WirelessHUMAN - это использование только временного дуплексирования, режим динамического распределения частот (DFS - dynamic frequency selection) и механизм сквозной нумерации частотных каналов. Однако поскольку в России безлицензионных диапазонов в гигагерцовой области нет, и ничего подобного нам не грозит, подробно останавливаться на данном режиме не будем.

Принципиально, что существенное внимание в стандарте IEEE 802.16-2004 уделено качеству обслуживания (QoS), а также механизмам защиты данных и соединений. Учитывая, что IEEE 802.16 принципиально ориентирован на работу в лицензируемых диапазонах, а также его фактически общемировое признание (в Европе он принят ETSI под именем HiperMAN) и поддержку ведущих производителей СБИС и телекоммуникационного оборудования (объединившихся в WiMAX Forum), можно с большой степенью уверенности предположить, что в ближайшие годы нас ожидает новая волна "беспроводной революции"*. И по своему размаху она может превзойти волны, порожденные появлением персональных компьютеров и сотовых телефонов.

Описание MAC-уровня. Стандарт IEEE 802.16 регламентирует работу на физическом и канальном уровнях. Для поддержки протоколов верхнего уровня (ATM, IP и др.) предусмотрен подуровень "преобразования сервиса", основная задача процедур которого - распознать и классифицировать тип данных для эффективной их передачи через сети IEEE 802.16. Для оптимизации транслируемых потоков предусмотрен специальный механизм удаления повторяющихся фрагментов заголовков PHS (Payload Header Suppression) пакетов или ATM-ячеек верхних уровней. Механизм PHS позволяет избавиться от передачи избыточной информации: на передающем конце пакеты приложений в соответствии с определенными правилами преобразуются в структуры данных MAC-уровня IEEE 802.16, на приемном - восстанавливаются.

Весь поток данных в сетях IEEE 802.16 - это поток пакетов. На основном подуровне MAC формируются пакеты данных (MAC PDU - MAC Protocol Data Unit, блоки данных MAC-уровня), которые затем передаются на физический уровень, инкапсулируются в физические пакеты и транслируются через канал связи. Пакет MAC PDU (далее - PDU) включает заголовок и поле данных (его может и не быть), за которым может следовать контрольная сумма CRC. Заголовок PDU занимает 6 байт и может быть двух типов - общий и заголовок запроса полосы пропускания. Общий заголовок используется в пакетах, у которых присутствует поле данных. В этом заголовке указывается идентификатор соединения (CID), тип и контрольная сумма заголовка, а также приводится информация о наличии в поле данных подзаголовков и сообщений ARQ.

Заголовок запроса полосы (также 6 байт) применяется, когда АС просит у БС выделить или увеличить ей полосу пропускания в нисходящем канале. При этом в заголовке указывается CID и размер требуемой полосы (в байтах, без учета заголовков физических пакетов). Поля данных после заголовков запроса полосы нет.

Поле данных может содержать: подзаголовки MAC, управляющие сообщения и собственно данные приложений верхних уровней, преобразованные на CS-подуровне. MAC-подзаголовки могут быть пяти типов - упаковки, фрагментации, управления предоставлением канала, а также подзаголовки Mesh-сети и подзаголовки канала быстрой обратной связи (Fast Feedback).

Управляющие сообщения - это основной механизм управления системой IEEE 802.16. Всего зарезервировано 256 типов управляющих сообщений, из них используются 48. Формат управляющих сообщений прост - поле типа сообщения (1 байт) и поле данных (параметров) произвольной длины.

Описание профилей пакетов, управление доступом, механизмы криптозащиты, динамическое изменение работы системы и т.д. (т.е. все функции управления, предоставления доступа, запроса и подтверждения) реализуются через управляющие сообщения. Рассмотренные ниже карты входящего/нисходящего каналов (UL-/DL-MAP) также являются управляющими сообщениями.

Доступ к каналу предоставляется исключительно базовой станцией по предварительному запросу. Начальная инициализация АС и запрос канала происходят на основе механизма конкурентного доступа в специально отведенных для этого временных интервалах. БС назначает АС время и длительность доступа к каналам в зависимости от типов данных и приоритетов. Канальный ресурс конкретной АС может изменяться посредством опроса (поллинга) со стороны БС (т.е. БС предоставляет АС окно для запроса ресурсов) или специальных управляющих сообщений со стороны АС при очередной передаче данных.

Режим WirelessMAN-OFD. На физическом уровне стандарт IEEE 802.16 предусматривает три принципиально различных метода передачи данных: метод модуляции одной несущей (SC, в диапазоне ниже 11 ГГц - SCa), метод модуляции посредством ортогональных несущих OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) и метод мультиплексирования (множественного доступа) посредством ортогональных несущих OFDMA (orthogonal frequency division multiple access).

Режим OFDM - это метод модуляции потока данных в одном частотном канале (шириной 1-2 МГц и более) с центральной частотой f_c . Деление же на каналы, как и в случае SC - частотное. Напомним, что при модуляции данных посредством ортогональных несущих в частотном канале выделяются N поднесущих так, что $f_k = f_c + k\Delta f$, где k - целое число из диапазона $[-L/2, L/2]$ (в данном случае $k \neq 0$). Расстояние между ортогональными несущими $\Delta f = 1/T_b$, где T_b - длительность передачи данных в символе.

Помимо данных OFDM-символ включает защитный интервал длительностью T_d , так что общая длительность OFDM-символа $T_s = T_b + T_d$. Защитный интервал представляет собой копию оконечного фрагмента символа. Его длительность T_d может составлять 1/4, 1/8, 1/16 и 1/32 от T_b .

Каждая поднесущая модулируется независимо посредством квадратурной амплитудной модуляции. Общий сигнал вычисляется методом обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ) как показано на рисунке.

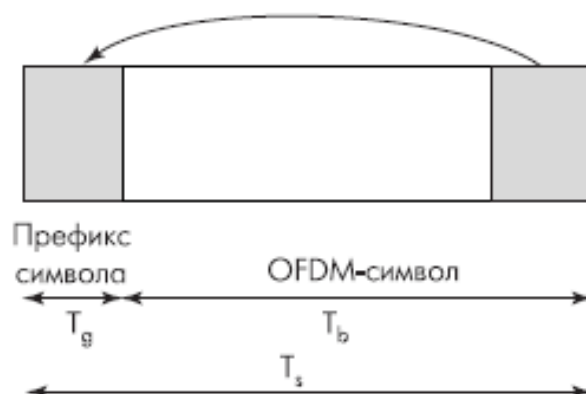


Рисунок 2.1 - OFDM-символ

($0 < f < 7''s$), где s_a - комплексное представление символа квадратурной модуляции (QAM-символа). Комплексное представление удобно, поскольку генерация радиосигнала происходит с помощью квадратурного модулятора в соответствии с выражением $s^*(t) = I_k \cos(2\pi f_c t) - Q_k \sin(2\pi f_c t)$, где I_k и Q_k - синфазное и квадратурное (целое и мнимое) значения комплексного символа, соответственно.

Для работы алгоритмов БПФ/ОБПФ желательно, чтобы количество точек соответствовало 2^t . Поэтому число несущих выбирают равным минимальному числу $N_t = 2^t$, превосходящему N . В режиме OFDM стандарта IEEE 802.16 $N = 200$, соответственно $N_{FFT} = 256$. Из них 55 ($k = -128 \dots -101$ и $101 \dots 127$) образуют защитный интервал на границах частотного диапазона канала. Центральная частота канала ($k = 0$) и частоты защитных интервалов не используются (т.е. амплитуды соответствующих им сигналов равны нулю).

Из остальных 200 несущих восемь частот - пилотные (с индексами $\pm 88, \pm 63, \pm 38, \pm 13$), остальные разбиты на 16 подканалов по 12 несущих в каждом, причем в одном подканале частоты расположены не подряд. Например, подканал 1 составляют несущие с индексами -100, -99, -98, -37, -36, -35, 1, 2, 3, 64, 65, 66. Деление на подканалы необходимо, поскольку в режиме WirelessMAN-OFDM предусмотрена (опционально) возможность работы не во всех 16, а в одном, двух, четырех и восьми подканалах - некий прообраз схемы множественного доступа OFDMA. Для этого каждый подканал и каждая группа подканалов имеют свой индекс (от 0 до 31).

Длительность полезной части T_u OFDM-символа зависит от ширины полосы канала BW и системной тактовой частоты (частоты дискретизации) F_s ; $F_s = N/T_u$. Соотношение $F_s/BW = n$ нормируется, и в зависимости от ширины полосы канала принимает значения 86/75 (BW кратно 1,5 МГц), 144/125 (BW кратно 1,25 МГц), 316/275 (BW кратно 2,75 МГц), 57/50 (BW кратно 2 МГц) и 8/7 (BW кратно 1,75 МГц и во всех остальных случаях).

Защитный интервал при OFDM-модуляции - мощное средство борьбы с межсимвольными помехами (межсимвольной интерференции, МСИ), возникающими вследствие неизбежных в городских условиях переотражений и многолучевого распространения сигнала. МСИ приводит к тому, что в приемнике на прямо распространяющийся сигнал накладывается переотраженный сигнал, содержащий предыдущий символ. При модуляции OFDM переотраженный сигнал попадает в защитный интервал и вреда не причиняет. Однако этот механизм не предотвращает внутрисимвольную интерференцию - наложение сигналов с одним и тем же символом, пришедших с фазовой задержкой. В результате информация может полностью исказиться или (например, при фазовом сдвиге на 180°) просто исчезнуть. Для предотвращения потери информации при пропадании отдельных символов или их фрагментов стандарт IEEE 802.16 предусматривает эффективные средства канального кодирования.

Кодирование данных на физическом уровне включает три стадии - рандомизацию, помехозащитное кодирование и перемежение. Рандомизация -

это умножение блока данных на псевдослучайную последовательность (ПСП), которую формирует генератор ПСП с задающим полиномом вида $1 + x^{14} + x^{15}$.

В нисходящем потоке генератор ПСП инициализируется с началом кадра посредством кодового слова 4A8016. Начиная со второго пакета кадра генератор ПСП инициализируется на основе идентификационного номера базовой станции BSID, идентификатора про файла пакета DIUC (downlink interval usage code) и номера кадра. В восходящем потоке все происходит аналогично, с той лишь разницей, что инициализация генератора ПСП по схеме, происходит с первого пакета (вместо DIUC используется UIUC - uplink interval usage code).

Кодирование данных предполагает каскадный код с двумя стадиями - кодер Рида-Соломона из поля Галуа GF (256) и сверточный кодер. В базовом виде код Рида-Соломона оперирует блоками исходных данных по 239 байт, формируя из них кодированный блок размером 255 байт (добавляя 16 проверочных байт). Такой код способен восстановить до 8 поврежденных байт. Поскольку реально используются блоки данных меньшей длины К, перед ними добавляются (239 - К) нулевых байт. После кодирования эти байты удаляются. Если необходимо сократить число проверочных слов, так чтобы уменьшить число восстанавливаемых байт Т, используются только 2 Т первых проверочных байтов. Обязательные для поддержки в IEEE 802.16 варианты каскадного кода приведены на рисунке.

Моду- ляция	Блок дан- ных до ко- дирования, байт	Кодер Рида-Соло- мона	Скорость ко- дирования сверточного кодера	Суммарная скорость кодирования	Блок данных после коди- рования, байт
BPSK	12	(12,12,0)	1/2	1/2	24
QPSK	24	(32,24,4)	2/3	1/2	48
QPSK	36	(40,36,2)	5/6	3/4	48
16-QAM	48	(64,48,8)	2/3	1/2	96
16-QAM	72	(80,72,4)	5/6	3/4	96
64-QAM	96	(108,96,6)	3/4	2/3	144
64-QAM	108	(120,108,6)	5/6	3/4	144

Рисунок – Основные режимы в стандарте IEEE 802.16-2004



Рисунок 2.2 – Формирование вектора инициализации генератора ПСП для рандомизации нисходящего потока OFDM

После кодера Рида-Соломона данные поступают в сверточный кодер с порождающими последовательностями (генераторами кода) $G_1 = 1718$ (для выхода X) и $G_2 = 1338$ (для Y) - так называемый стандартный код NASA. Его базовая скорость кодирования - $1/2$, т.е. из каждого входного бита он формирует пару кодированных бит X и Y. Упуская из последовательности пар элементы X_j или y_j , можно получать различные скорости кодирования. Так, скорости $2/3$ соответствует последовательность (X, Y, Y2), скорости $3/4$ - (X1Y1Y2X3), $5/6$ - (X1Y1Y2X3Y4X5).

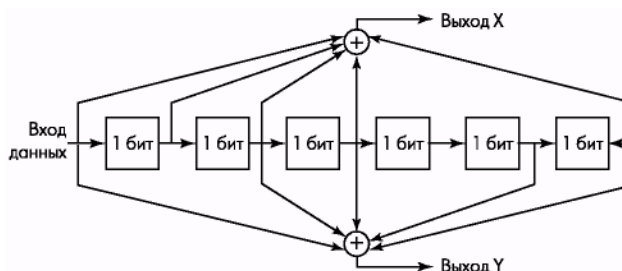


Рисунок 2.3 - Схема сверточного кодера

Кодер Рида-Соломона не используется с двухпозиционной модуляцией BPSK (например, при начальной инициализации АС или запросе полосы). Он также пропускается, когда используется часть субканалов OFDM. В этом случае скорость сверточного кодирования принимается равной общей скорости кодирования (соответственно, размер исходного блока данных умножается на число используемых субканалов, деленное на 16).

Коды Рида-Соломона являются подмножеством кодов БХЧ, следовательно, имеется взаимосвязь между степенью полиномиального генератора и числом контрольных символов. Код Рида-Соломона является циклическим, отсюда кодирование в систематической форме аналогично процедуре двоичного кодирования.

Помимо описанного механизма кодирования стандарт предусматривает опциональное применение блочных турбо-кодов (основанных на кодах Хемминга и контроле четности) и сверточных турбо-кодов.

После кодирования следует процедура перемежения - перемешивания битов в пределах блока кодированных данных, соответствующего OFDM-символу. Эта операция проводится в две стадии. Цель первой - сделать так, чтобы смежные биты оказались разнесенными по несмежным несущим. На второй стадии смежные биты оказываются разнесенными в разные половины последовательности. Все это делается для того, чтобы при групповых ошибках в символе повреждались несмежные биты, которые легко восстановить при декодировании. Перемежение реализуется в соответствии с формулами

$$m_k = (N_{\text{cbps}} / 12) - (k \bmod 12) + \text{floor}(k / 12);$$

$$j_k = s - \text{floor}(m_k / s) + (m_k + N_{\text{cbps}} - \text{floor}(12m_k / N_{\text{cbps}})) \bmod s,$$

$$k = 0 \dots N_{\text{cbps}} - 1,$$

где, m_k и j_k - номер исходного бита после первой и второй стадии перемежения, соответственно; N_{cbps} - число кодированных бит в OFDM-символе (при заданном числе субканалов), s - 1/2 числа бит на несущую (1 / 2 / 4 / 6 бит для BPSK / QPSK / 16-QAM / 64-QAM, соответственно, для BPSK $s=1$). Функция $\text{floor}(x)$ - это наибольшее целое число, не превосходящее x ; функция $(x \bmod r)$ -остаток от x/r .

После перемежения начинается стадия модуляции. Исходя из выбранной схемы модуляции (BPSK / QPSK / 16-QAM / 64-QAM), блок представляется в виде последовательности групп бит, соответствующих модуляционным символам (по 1 / 2 / 4 / 6 бит). Каждой группе ставится в соответствие значения 0 и / из векторных диаграмм Грея, которые затем используются при непосредственной модуляции несущей. Для усреднения амплитуд квадратурных символов используются нормализованные значения 0 и /, т.е. умноженные на коэффициенты c (для QPSK $c = 1/\sqrt{2}$, для 16-QAM $c = 1/\sqrt{10}$, для 64-QAM $c = 1/\sqrt{42}$).

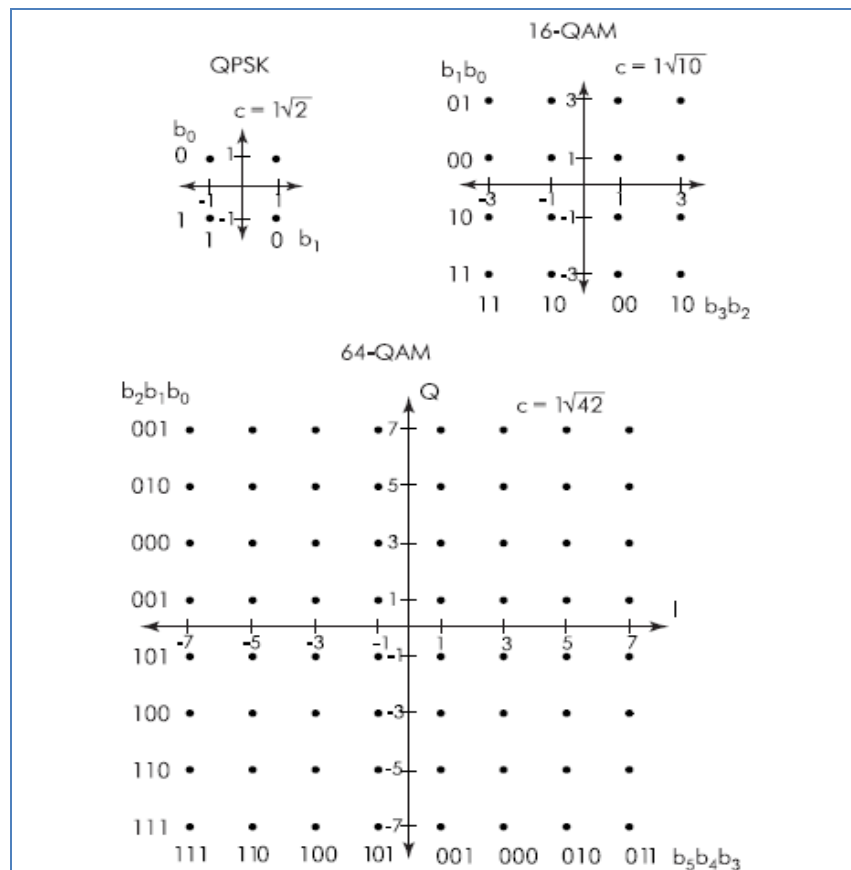


Рисунок 2.4 – Векторные диаграммы Грея (представление модуляционных символов) для BPSK, QPSK, 16-QAM и 64-QAM

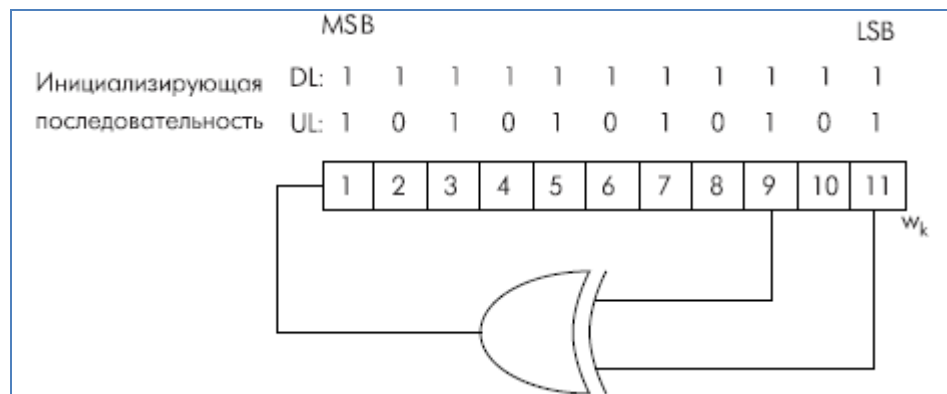


Рисунок 2.5 - Генерация модулирующей последовательности для пилотных несущих.

Пилотные несущие модулируются посредством BPSK. Значения сигналов на этих несущих определяются на основании бинарной ПСП w_k с задающим полиномом $x^{11} + x^9 + 1$, причем в нисходящем субкадре k - номер символа относительно начала кадра, в восходящем

- номер символа относительно начала пакета. Инициализирующие слова генератора ПСП для нисходящего и восходящего потоков различны (8FF16 и 55516, соответственно). Собственно значения BPSK-символов вычисляются как $c_{88}=c_{38}=c_{63}=c_{88}=1-2iy_k$; $c_{63}=c_{i3}=c_{i3}=c_{38}=1-2wk$ в нисходящем канале и $c_{88}=c_{38}=c_{13}=C_{38}=c_{63}=c_{88}=1-2wk$; $c_{63}=c_{13}=1-2wk$ - в восходящем.

После определения модуляционных символов посредством ОБПФ вычисляется сам радиосигнал и передается в передатчик. При приеме все процедуры производят в обратном порядке.

В режиме OFDM на физическом уровне для сетей с архитектурой "точка-многоточка" кадровая структура передачи принципиально мало чем отличается от режима SC. Так же как и в высокочастотной области, информационный обмен происходит посредством последовательности кадров (фреймов). Каждый фрейм делится на два субкадра - нисходящий (DL - от БС к АС) и восходящий (UL - от АС к БС). Разделение на восходящий и нисходящий каналы - как временное (TDD), так и частотное (FDD). В последнем случае DL и Штранслируются одновременно, в разных частотных диапазонах.

Нисходящий субкадр включает преамбулу, управляющий заголовок кадра (FCH - frame control header) и последовательность пакетов данных. Преамбула в нисходящем канале - посылка из двух OFDM-символов (длинная преамбула), предназначенная для синхронизации. Первый OFDM-символ использует

несущие с индексами, кратными 4, второй - только четные несущие (модуляция -QPSK).

За преамбулой следует управляющий заголовок кадра - один OFDM-символ с модуляцией BPSK и стандартной схемой кодирования (скорость кодирования - 1/2). Он содержит так называемый префикс кадра нисходящего канала (DLFP - Downlink Frame Prefix), который описывает профиль и длину первого (или нескольких начальных) пакета в DL-субкадре.

В первый пакет входят широковещательные сообщения (предназначенные всем АС) - карты расположения пакетов DL-MAP, UL-MAP, дескрипторы нисходящего/восходящего каналов DCD/UCD, другая служебная информация. Каждый пакет обладает своим профилем (схема кодирования, модуляция и т.д.) и передается по средством целого числа OFDM-символов. Точки начала и профили всех пакетов, помимо первого, содержатся в DL-MAP.

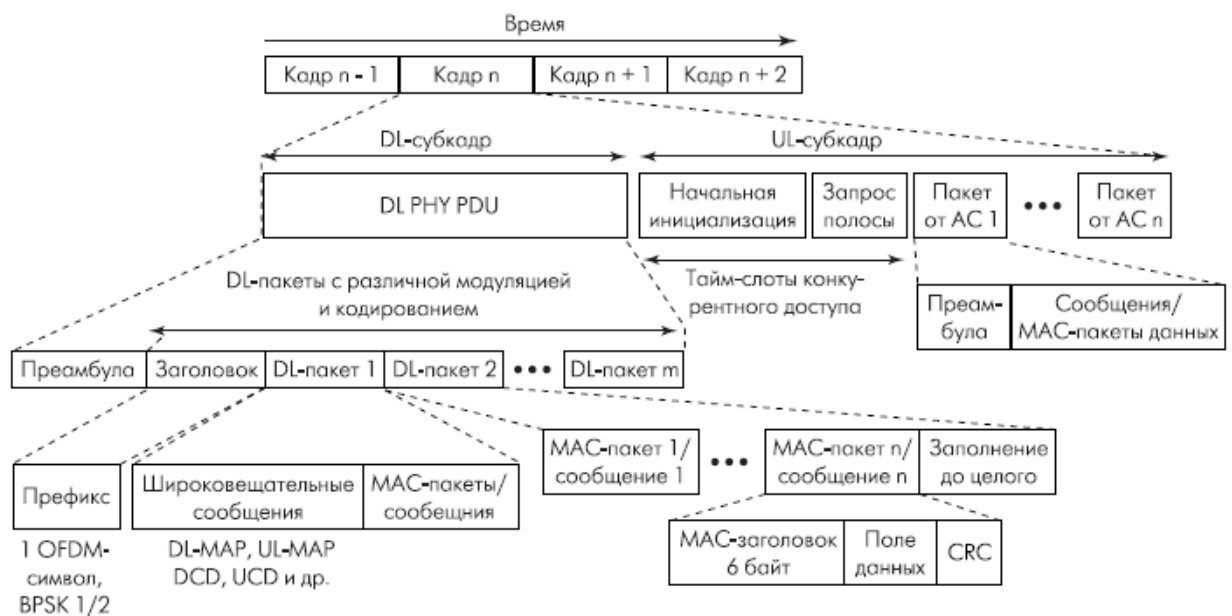


Рисунок 2.6 - Структура OFDM-кадров при временном дуплексировании

Нисходящий субкадр содержит интервал конкурентного доступа, включающий периоды для начальной инициализации АС (вхождение в сеть) и для запроса полосы передачи. Далее следуют временные интервалы, назначенные базовой станцией определенным абонентским станциям для передачи. Распределение этих интервалов (точки начала) содержится в сообщении UL-MAP. АС в своем временном интервале начинает трансляцию с передачи короткой преамбулы (один OFDM-символ, использует только четные несущие). За ним следует собственно информационный пакет, сформированный на MAC-уровне.

Длительность OFDM-кадров может составлять 2,5; 4; 5; 8; 10; 12,5; и 20 мс. Заданный базовой станцией, период построения кадров не может изменяться, поскольку в этом случае потребуется ресинхронизация всех АС.

Запрос на установление соединения не отличается от общепринятого в стандарте IEEE 802.16, за исключением дополнительного режима "концентрированного" запроса (Region-Focused). Он предназначен только для станций, способных работать с отдельными субканалами. В этом режиме в интервалах конкурентного доступа (заданных в UL-MAP) АС может передать короткий 4-разрядный код на одном из 48 субканалов, каждый из которых включает четыре несущих. Всего предусмотрено восемь кодов. Таблица кодов и подканалов приведена в тексте стандарта IEEE 802.16. Код и номера канала АС выбирает случайным образом.

Получив кодовое сообщение, БС предоставляет АС интервал для передачи "обычного" запроса на предоставление доступа (заголовок запроса MAC-уровня) - если это возможно. Однако в отличие от других механизмов, БС в UL-MAP не указывает идентификатор запросившей ее станции, а приводит номера кода запроса, подканала, а также порядковый номер интервала доступа, в течение которого был передан запрос. По этим параметрам АС и определяет, что интервал для запроса полосы передачи предназначен ей. Выбор момента для передачи 4-разрядного кода запроса доступа происходит случайным образом, по описанному выше алгоритму обращения к каналу конкурентного доступа.

Отметим, что в режиме OFDM каналный ресурс может предоставляться не только во временной области, но в отдельных подканалах (группах подканалов), если БС и абонентские станции поддерживают такую возможность. Одно из наиболее важных применений такой опции - Mesh-сеть.

2.2 Модуляция QAM

Алгоритм квадратурной амплитудной модуляции (QAM - Quadrature Amplitude Modulation) представляет собой разновидность многопозиционной амплитудно-фазовой модуляции. Этот алгоритм широко используется в современных модемах для каналов ТЧ (коммутируемые линии).

Описание алгоритма. При использовании данного алгоритма передаваемый сигнал кодируется одновременными изменениями амплитуды синфазной (I) и квадратурной (Q) компонент несущего гармонического колебания (f_c), которые сдвинуты по фазе друг относительно друга на $\pi/2$. Результирующий сигнал Z формируется в результате суммирования этих колебаний. Таким образом, QAM -модулированный дискретный сигнал может быть представлен соотношением:

$$Z_m(t) = I_m * \cos(2\pi f_c t) + Q_m * \sin(2\pi f_c t),$$

где: t - изменяется в диапазоне $\{(m - 1) * \Delta t \text{ } m * \Delta t\}$

m - порядковый номер дискрета времени

t ? - шаг квантования входного сигнала по времени

p - шаг квантования входного сигнала по амплитуде

α_m и β_m модуляционные коэффициенты ($I_m = \alpha_m * p$, $Q_m = \beta_m * p$)

Этот же сигнал также может быть представлен в комплексном виде:

$$Z = I + j * Q, \text{ или}$$

$$Z_m = A_m * \exp (2\pi f_c t + \varphi_m)$$

где: $A_m = \sqrt{Q_m^2 + I_m^2}$ - алгоритм изменения амплитуды модулированного сигнала;

$\varphi_m = \arctg (Q_m/I_m)$ - алгоритм изменения фазы модулированного сигнала.

Таким образом, при использовании квадратурной амплитудной модуляции передаваемая информация кодируется одновременными изменениями амплитуды и фазы несущего колебания. На рисунке представлен принцип формирования результирующего колебания Z (вектор отмечен зеленым цветом) путем суммирования вектора квадратурной составляющей Q (желтый) с вектором синфазной составляющей I (синий).

Амплитуда вектора Z определяется соотношением A_m , а угол, который этот вектор образует с осью абсцисс, определяется соотношением φ_m .

Для данного алгоритма существенно, что при модулировании синфазной и квадратурной составляющей несущего колебания используется одно и то же значение шага изменения амплитуды. Поэтому окончания векторов модулированного колебания образуют прямоугольную сетку на фазовой плоскости действительной - $\text{Re}\{Z\}$ и мнимой - $\text{Im}\{Z\}$ составляющих вектора модулированного сигнала. Число узлов этой сетки определяется типом используемого алгоритма QAM. Схему расположения узлов на фазовой плоскости модулированного QAM колебания принято называть созвездием (constellation).

Для указания типа алгоритма QAM принята следующая схема обозначения:

QAM-<число >

Используемое в обозначении алгоритма числовое значение обычно представляет собой число вида $2N$ и соответствует количеству узлов на фазовой сетке, а также максимальному количеству различных значений вектора модулированного сигнала. Следует отметить, что в данном случае значение N соответствует показателю спектральной эффективности алгоритма.

На рисунке 2.7 приведена упрощенная структурная схема формирователя QAM-модулированного сигнала. На первом этапе преобразования последовательность битов $D \{d_0 d_1, \dots, d_k\}$ от источника сигнала преобразуется в последовательность двумерных модуляционных символов $M \{m_0 m_1, m_j\}$. Число битов в каждом определяется значением N (для алгоритма QAM-16 - $N=\log_2 16=4$).

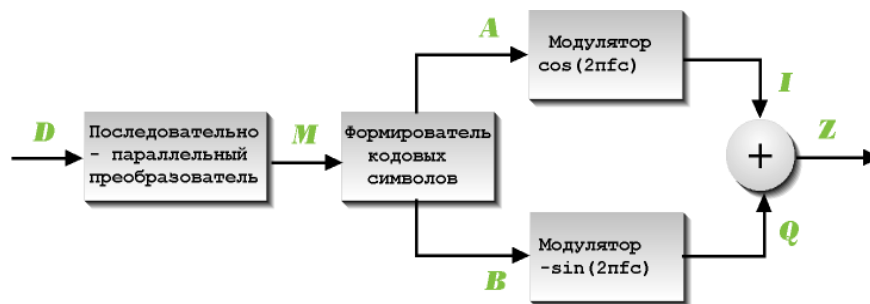


Рисунок 2.7 – структурная схема формирователя QAM-модулированного сигнала

Формирователь кодовых символов преобразует двумерный кодовый символ m_j в пару кодовых символов α_j и β_j . Для алгоритма QAM-16 допустимые значения α_j и β_j принадлежат множеству $\{1, 3, -1, -3\}$ и определяют, соответственно, значения действительной и мнимой координаты вектора модулированного колебания. Сформированные значения $A \{\alpha_j\}$ и $B \{\beta_j\}$ используются для амплитудной модуляции синфазной I и квадратурной Q составляющих несущего колебания. На последнем этапе преобразования выполняется суммирование этих колебаний и формирование результирующего сигнала Z .

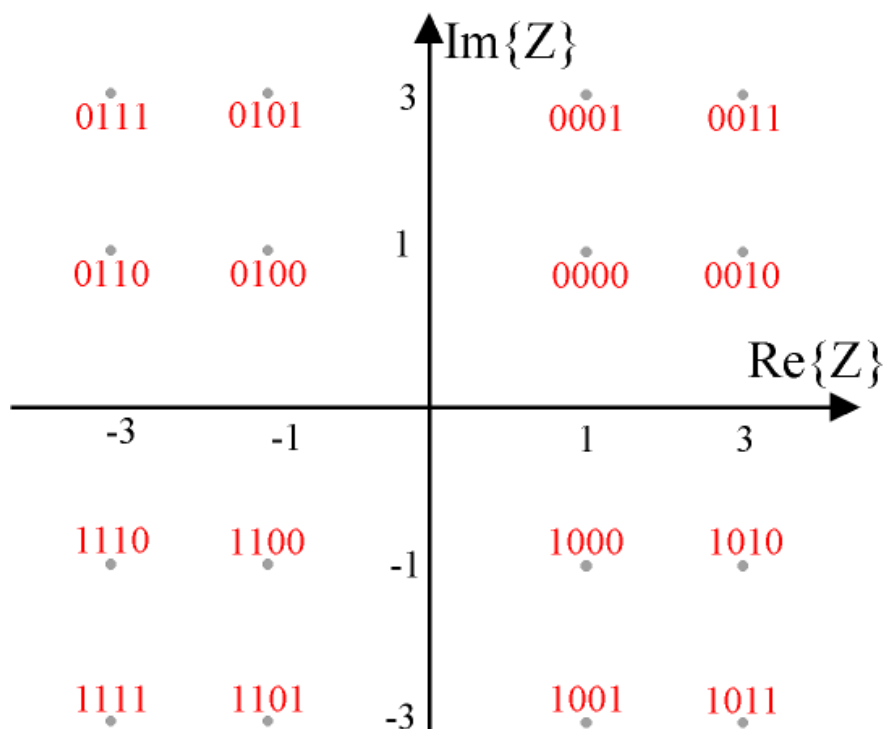


Рисунок 2.8 – координаты вектора модулируемого колебания

На приведенном выше рисунке 2.8 представлено расположение векторов модулированного колебания - созвездие для алгоритма QAM-16. Красным цветом отмечены значения модуляционных символов, которым соответ-ствуют

указанные точки фазовой плоскости модулированного колебания $\{m_3, m_2, m_1, m_0\}$. Для алгоритма QAM-16 пара $\{m_3, m_2\}$ определяет номер квадранта фазовой плоскости или знаки действительной и мнимой координаты вектора модулированного колебания:

- 00 $\text{Sign}(\text{Re}\{Z\})=1, \text{Sign}(\text{Im}\{Z\})=1$
- 10 $\text{Sign}(\text{Re}\{Z\})=1, \text{Sign}(\text{Im}\{Z\})=-1$
- 01 $\text{Sign}(\text{Re}\{Z\})=-1, \text{Sign}(\text{Im}\{Z\})=1$
- 11 $\text{Sign}(\text{Re}\{Z\})=-1, \text{Sign}(\text{Im}\{Z\})=-1$

Для этого алгоритма пара $\{m_1, m_0\}$ определяет значения амплитуды реальной и мнимой координаты вектора модулированного колебания соответственно. В таблице представлены значения кодовых символов α и β , которые соответствуют значениям младших разрядов модуляционного символа $\{m_1, m_0\}$. Преобразование модуляционных символов в кодовые символы выполняется с применением алгоритмов Грея для помехоустойчивого кодирования данных. Так векторам модулированного колебания, которые находятся близко один от другого на фазовой плоскости, ставятся в соответствие значения кодовых символов, которые отличаются значениями только одного бита. В качестве примера могут быть рассмотрены два вектора $Z=1+j$ и $Z=1+3j$, которым соответствуют кодовые символы $\{0,0\}$ и $\{0,1\}$.

Характеристики алгоритма. В настоящее время наибольшее распространение получили несколько вариантов QAM. Алгоритм модуляции QAM-4 кодирует сигнал изменением фазы несущего колебания с шагом $\pi/2$. Этот алгоритм модуляции имеет название QPSK (Quadrature Phase Shift Keying - квадратурная фазовая манипуляция). Широкое распространение получили также алгоритмы QAM-16, 32, 64, 128 и 256. Алгоритм квадратурной амплитудной модуляции, по сути, является разновидностью алгоритма гармонической амплитудной модуляции и поэтому обладает следующими важными свойствами:

- ширина спектра QAM модулированного колебания не превышает ширину спектра модулирующего сигнала;
- положение спектра QAM модулированного колебания в частотной области определяется номиналом частоты несущего колебания.

Эти полезные свойства алгоритма обеспечивают возможность построения на его основе высокоскоростных систем передачи данных с частотным разделением принимаемого (downstream) и передаваемого (upstream) информационных потоков.

Конкретная реализация алгоритма QAM определяет значения следующих параметров:

- размерность модуляционного символа (\log_2 количества точек созвездия) N [бит]
- значение символьной скорости f_{Symbol} [кбод/сек]
- центральная частота (central rate f_c)

Значение информационной скорости V (скорости передачи данных для алгоритма QAM) определяется следующим соотношением:

$$V = N * f_{\text{Symbol}}$$

Таким образом, при использовании символьной скорости 136 кбод, алгоритм QAM-256 позволяет обеспечить передачу данных со скоростью 1088 Кбит/сек.

Центральная частота f_c для конкретной реализации алгоритма модуляции определяется соотношением:

$$f_H + f_{\text{symbol}} / 2 \leq f_c \leq f_B - f_{\text{symbol}} / 2$$

где, f_H - нижняя граница спектра модулированного сигнала

f_{symbol} - значение символьной скорости

f_B - верхняя граница спектра модулированного сигнала

Расчет ожидаемой дальности связи БС – абонент. Произведем расчет дальности связи между антенной центральной станции ЦС и абонентского блока (SS) на стороне абонента.

Исходные данные для расчета:

- Блок ЦС (BS)
- Мощность передатчика - 30 дБм
- Минимальный порог уровня на входе приемника - 8 дБм;
- Средняя частота приема и передачи - 5400 МГц;
- Затухание в фильтрах и антенных разделителях – 7 дБ;
- Диаграмма направленности антенны - 60°;
- Коэффициент усиления антенны ЦС - 19 дБ;
- Высота расположения антенны - 50, 100, 150 м;
- Блок АБ (SS)
- Диаграмма направленности - 60°;
- Требуемая напряженность поля сигнала в пункте приема АС,

$E_C = 15$ дБ

- Коэффициент усиления антенны - 34 дБм.

Выбираем тип кабеля. Кабель выбирается таким образом, чтобы его затухание на данной частоте было минимальным.

Тип кабеля: РК-75-17-11 Параметры:

- волновое сопротивление $\rho_\phi = 75$ Ом;
- затухание $\alpha = 0,043$ дБ/м.

Определим дополнительное затухание фидера, связанное с увеличением его длины сверх 50 м на ЦС для всех высот.

$$\Delta B_\phi = \alpha * (l_\phi - 50), \text{ дБ}$$

где, $l_\phi = 50, 100, 150$ м.- длина фидера.

Длина фидера выбирается из того условия, что аппаратура располагается у основания мачты антенны и принимается равной высоте антенны.

$$\Delta B_{\phi} = 0,043 * (50 - 50) = 0 \text{ дБ.}$$

$$\Delta B_{\phi} = 0,043 * (100 - 50) = 2,15 \text{ дБ.}$$

$$\Delta B_{\phi} = 0,043 * (150 - 50) = 4,3 \text{ дБ.}$$

Т а б л и ц а 2 . 1 – Полученные данные

Высота передающей антенны h_1 , м	Затухание фидера $\alpha * l_{\phi}$, дБ	Дополнительное затухание для $l_{\phi} > 50$ м, дБ
50	2.15	0
<i>Продолжение таблицы 2.1</i>		
100	4.3	1.95
150	6.45	3.9

Выбираем тип антенны ЦС. Антенна: полуволновой вибратор.

Параметры:

- раскрыв диаграмма направленности $\Theta_E = 60^\circ$
- коэффициент усиления $D_y = 0$ дБ.

Рассчитаем поправку, которая учитывает отличие номинальной мощности передатчика от мощности 1кВт.

$$B_{p.n.} = 10 * \lg \frac{1000}{P_n} = 10 * \lg \frac{1000}{30} = 15,23 \text{ дБ.}$$

Рассчитаем поправку, учитывающую высоту приемной антенны отличную от 1,5 м.

$$B_{h_1} = 10 * \lg \frac{1,5}{h_2} = 10 * \lg \frac{1,5}{1,2} = 0,969 \text{ дБ.}$$

Определим поправку, учитывающую рельеф местности следующим образом. График для определения поправки, учитывающей рельеф местности, приведен на рисунке 2.9. Чтобы определить колебание уровня местности Δh , рисуют рельеф местности и определяют колебание Δh (пример на рисунке 2.9 а.). Когда Δh отличается от 50 м в ту или другую сторону, следует вносить поправки, определяемые по графикам рисунка 2.9 б. и рисунка 2.9 в. Причем коэффициент $B_{\text{рел}}$ определим, интерполируя между графиками рисунка 2.1 б. и рисунка 2.1 в для $r < 100$ км.

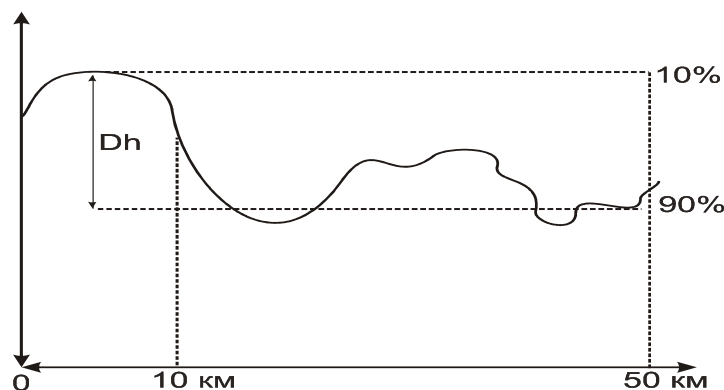


Рисунок 2.9 - График для определения поправки, учитывающей рельеф местности.

Продолжение рисунка 2.9

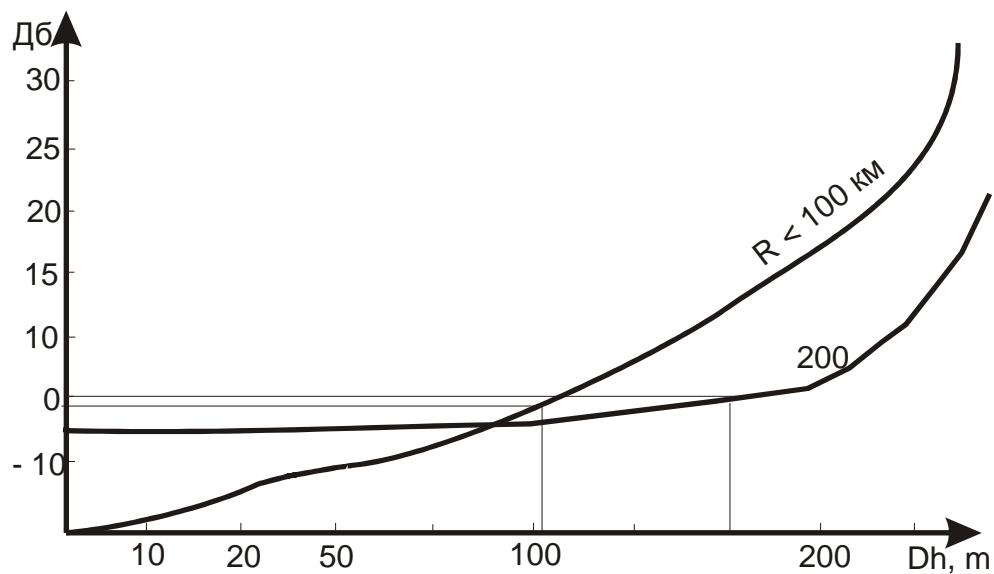
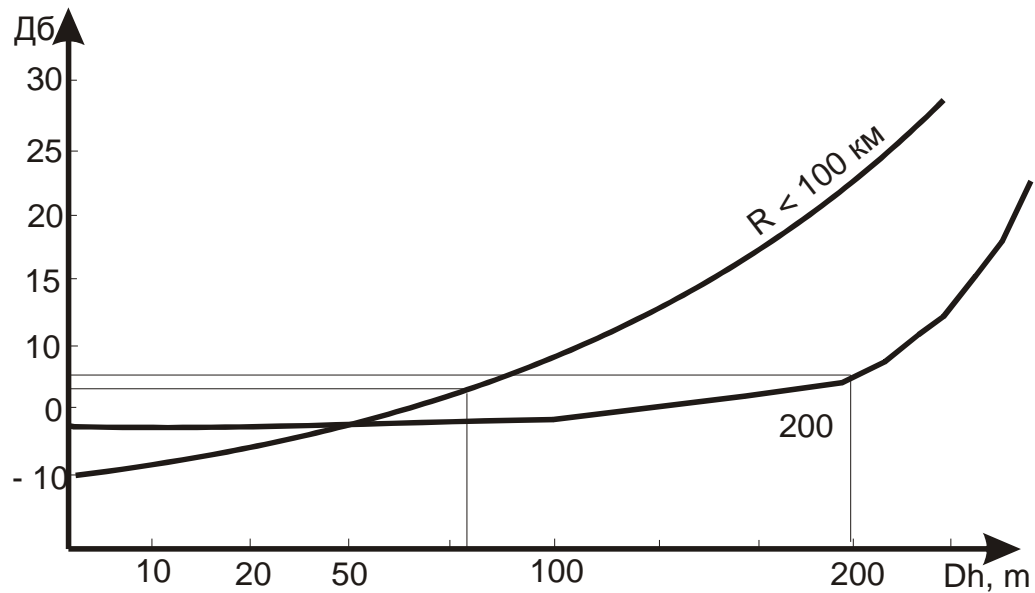


Рисунок 2.9 - График для определения поправки, учитывающей рельеф местности

Тогда поправки для данного случая будут равны:

$$B_{\text{рел}\Delta h1} = -6,5 \text{ дБ.}$$

$$B_{\text{рел}\Delta h1} = -2 \text{ дБ.}$$

Напряженность поля реально создаваемая передающей станцией ЦС в пункте приема АБ.

Основная расчетная формула:

$$E = E_c + B_{рн} + B_{\phi} + B_{h2} + B_{рел} + (\alpha * l_{\phi}) - D_y.$$

Расчет ведется для всех высот передающей антенны ЦС и результаты расчета сводятся в таблицу 2.2.

$E_1(50) = 20 + 15,23 + 7 + 0,969 + (-6,5) + 0 - 0$	$E_1(50) = 36.699$
$E_2(50) = 20 + 15,23 + 7 + 0,969 + (-2) + 0 - 0$	$E_2(50) = 41.199$
$E_1(100) = 20 + 15,23 + 7 + 0,969 + (-6,5) + 2.15 - 0$	$E_1(100) = 38.849$
$E_2(100) = 20 + 15,23 + 7 + 0,969 + (-2) + 2.15 - 0$	$E_2(100) = 43.349$
$E_1(150) = 20 + 15,23 + 7 + 0,969 + (-6,5) + 4.3 - 0$	$E_1(150) = 40.999$
$E_2(150) = 20 + 15,23 + 7 + 0,969 + (-6,5) + 4.3 - 0$	$E_2(150) = 45.499$

По графику на рисунке 2.10 определяем ожидаемую дальность связи для рассчитанных напряженностей поля при различных высотах передающей антенны ЦС. Результаты заносим в таблицу 2.4.

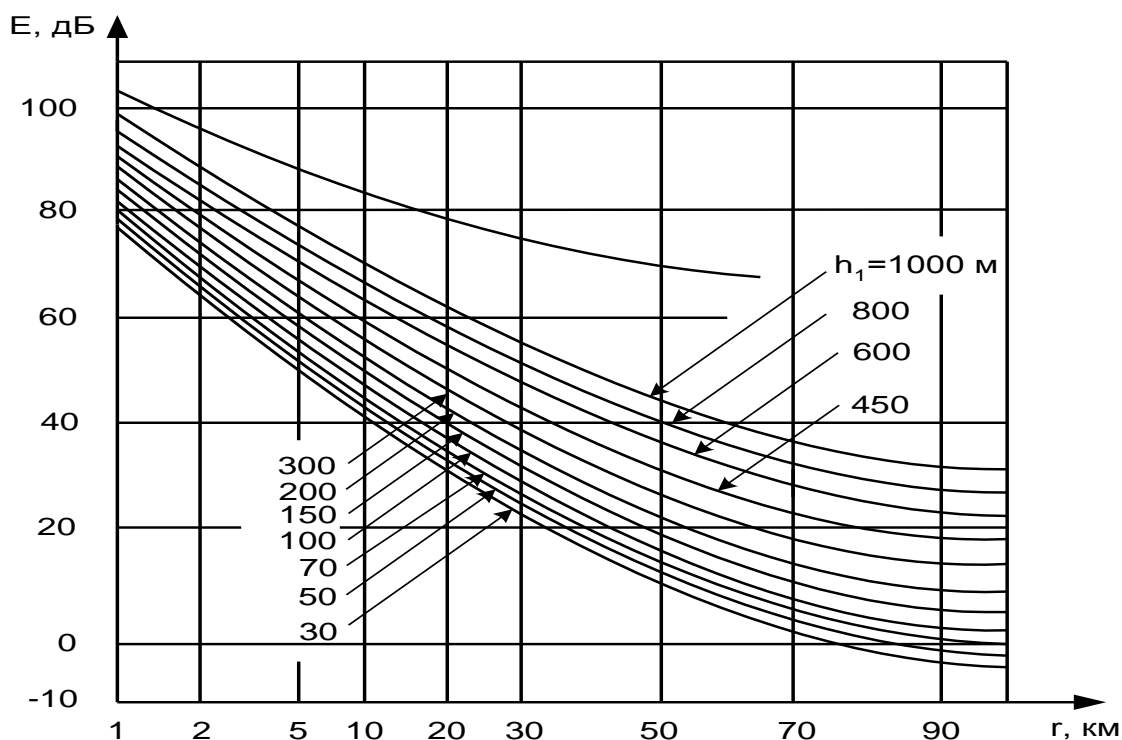


Рисунок 2.10 - Кривые для определения дальности связи

Таблица 2.4 - Полученные данные

Высота	Δh_1	Δh_2
--------	--------------	--------------

передающей антенны h_1 , м	Напряженность поля E , дБ	Ожидаемая дальность связи r , км	Напряженность поля E , дБ	Ожидаемая дальность связи r , км
50	36.699	19,5	41.199	15,5
100	38.849	32	43.349	18,5

Продолжение таблицы 2.4

150	40.999	23	45.499	26,5
-----	--------	----	--------	------

Высота антенны h_1 выбирается таким образом, чтобы при лучшем варианте Δh_1 и при худшем Δh_2 получить оптимальную дальность связи, при условии, что расстояние между ЦС и АС стремится к максимуму, а затраты на кабельное оборудование незначительны.

При расчете принимаем, что оборудование ЦС остается у основания опоры, а длина антенного фидера l_f увеличивается с ростом h_1 , увеличивая общее затухание фидера.

Из выше изложенных условий выбираем высоту антенны:

$h_1 = 100$ м, при этом дальность связи составляет 32 км в случае, когда рельеф местности $\Delta h_1 = 16$ м.

Продолжаем рассчитывать для $h_1 = 100$ м учитывая, что напряженность поля E_{c2} в пункте приема на 9дБ меньше:

$$E_{c2} = E_{c1} - 9 = 20 - 9 = 11 \text{ дБ}$$

Полученное значение подставим в формулу (2.6) и получим искомое значение напряженности поля реально создаваемая передающей станцией ЦС в пункте приема АС и ожидаемая дальность связи (определенная по графику рисунка 2.2) будут равны.

Т а б л и ц а 2 . 5 - Полученные данные

Высота передающей антенны h_1 , м	Δh_1		Δh_2	
	Напряженность поля E , дБ	Ожидаемая дальность связи r' , км	Напряженность поля E , дБ	Ожидаемая дальность связи r' , км
200	31,999	39	36,499	29

Ширину зоны определяется по формуле:

$$r'' = r' - r$$

Для Δh_1 : $r'' = 39 - 32 = 7$

Для Δh_2 : $r'' = 29 - 18,5 = 10,5$

Т а б л и ц а 2 . 6 - Полученные данные

r'' , км	
Δh_1	Δh_2
7	10,5

Расчет ожидаемой дальности связи БС – АБ. Определим зону покрытия одной БС по той же методике. Определим поправку V_{h_2} , учитывающую высоту приемной антенны отличную от 1,5 м, по формуле:

$$V_{h_2} = 10 * \lg\left(\frac{1,5}{h_2}\right) = 10 * \lg\left(\frac{1,5}{1,7}\right) = -0,5436 \text{ дБ},$$

где, h_2 - высота приемной антенны, $h_2 = 1,7$ м.

Поправка, учитывающая реальный рельеф местности $V_{\text{рел}}$ в зоне действия системы радиодоступа, определяется следующим образом. Графики зависимости дальности связи от напряженности поля при различных высотах передающих антенн БС составлены на основании обработки статистической информации об изменениях в условиях среднeperесеченной местности. Среднeperесеченной считается такая местность, на которой среднее колебание отметок высот на расстоянии 10 - 15 км от БС не превышает 50 м. График для определения рельефа местности, приведен на рисунке 2.1. Для определения колебания уровня местности Δh , рисуют рельеф местности и определяют колебание Δh . Когда Δh отличается от 50 м в ту или иную сторону, следует вносить поправки, определяемые по графикам рисунка 2.1.а и рисунка 2.1.б для $g < 100$ км. Антенна БС системы BreezeACCESS имеет секторную конструкцию, один сектор имеет зону охвата 60° , то для охвата зоны в 360° используется шесть секторов. Дальность связи на каждом секторе определяется из рельефа местности, наличия строений, или других препятствий для прохождения сигнала в прямой видимости.

По графикам на рисунке 2.1 определим поправку $V_{\text{рел}}$ с учетом рельефа и строений для каждого сектора:

- первый и второй сектора: Характеризуется наличием строений высотой до 10м. Поправка $\Delta h_1 = 10$ м. Поправка на рельеф $V_{\text{рел}} = -10$ дБ;
- третий и четвертый сектора: Характеризуется наличием зданий высотой до 20 м. Поправка $\Delta h_2 = 20$ м. Поправка на рельеф $V_{\text{рел}} = -5$ дБ;
- пятый и шестой сектора: Характеризуется наличием зданий до 30 м. Поправка $\Delta h_3 = 30$ м. Поправка на рельеф $V_{\text{рел}} = -2$ дБ;

Рассчитаем поправку ΔV_θ , учитывающую уменьшение восприимчивости к помехам по сравнению с четвертьволновым штырем.

$$\Delta V_\theta = 10 * \lg\left(\frac{\theta_E}{360}\right) = 10 * \lg\left(\frac{60}{360}\right) = -7,773 \text{ дБ}, \quad (2.10)$$

где, θ_E - угол диаграммы направленности принимающей антенны, $\theta_E = 60^\circ$

Подставляя значения в формулу, определим напряженность поля, создаваемое, передающей базовой станцией (БС) в пункте приема абонентской станцией:

Для первого и второго секторов:

$$E = 20 + 15,23 + 7 + 0,969 - 10 + 0,5476 + 7,773 = 41,52 \text{ дБ}.$$

Для третьего и четвертого секторов:

$$E=20+15,23+7+0,969-5+0,5476+7,773=46,52 \text{ дБ.}$$

Для пятого и шестого секторов:

$$E=20+15,23+7+0,969-2+0,5476+7,773=49,52 \text{ дБ.}$$

По полученным значениям напряженности поля создаваемого БС в пункте приема, определим дальность связи для каждого сектора по графику на рисунке 2.3. Дальность связи каждого сектора составляет:

На первой: 24 км при $E = 41,52$ дБ;

На втором: 19 км при $E = 46,52$ дБ;

На третьем: 16 км при $E = 49,52$ дБ.

Полученные результаты могут отличаться от реальных значений. Сравнивая полученные данные дальности связи можно определить что, средняя дальность связи составляет 16 км, что соответствует средней дальности связи по технической документации.

2.3 Топология сети доступа Mesh-сеть

Формально Mesh-сеть - это вид топологии сети IEEE 802.16 в режиме OFDM, и ее физический уровень - это OFDM. Поэтому различия Mesh-сети с уже рассмотренными режимами проявляются не только, да и не столько на физическом уровне. Основное отличие Mesh-сети от рассматриваемой до сих пор архитектуры "точка-многоточка" - в том, что если в последнем случае АС может общаться только с БС, то в Mesh-сети возможно взаимодействие непосредственно между АС. Поскольку сети стандарта IEEE 802.16 ориентированы на работу с широкими частотными каналами, Mesh-сети вошли в стандарт вовсе не с целью создания одноранговых локальных сетей - для этого есть стандарты группы IEEE 802.11. Причина в ином - необходим инструмент построения широкополосной сети, в которой трафик может передаваться по цепочке из нескольких станций, ликвидируя тем самым проблемы передачи при отсутствии прямой видимости. Соответственно и все механизмы управления, в принципе позволяющие построить децентрализованную распределенную сеть, ориентированы все же на древовидную архитектуру, с выделенной базовой станцией (корневой узел) и доминирующими потоками БС-АС.

В Mesh-сети все станции (узлы) формально равноправны. Однако практически всегда обмен трафика Mesh-сети с внешним окружением происходит через один определенный узел. Такой узел называют базовой станцией Mesh-сети, именно на него возлагается часть необходимых для управления Mesh-сетью функций. При этом управление доступом может происходить либо на основе механизма распределенного управления, либо централизованным способом, под управлением БС. Возможна и комбинация этих методов.

Базовое понятие в Mesh-сети - соседи. Под соседями определенного узла понимают все узлы, которые могут устанавливать с ним непосредственное соединение. Все они образуют соседское окружение. Узлы, связанные с заданным узлом через соседские узлы, называют соседями второго порядка. Могут быть соседи третьего порядка и т.д.

В Mesh-сети нет понятия восходящих/нисходящих каналов. Весь обмен происходит посредством кадров. Станции передают сообщения либо в отведенные им временные интервалы (в соответствии с предшествующим назначением каналов), либо получают доступ к каналам произвольным (случайным) образом. Каждый узел имеет уникальный 48-разрядный MAC-адрес. Кроме того, для идентификации внутри Mesh-сети станциям присваивается 16-разрядный сетевой идентификатор. Каждый узел постоянно хранит список данных обо всех своих соседях (с указанием удаленности, сектора для направленной антенны, примерной необходимой мощности передатчика для связи, задержки распространения сигнала и т.п.) и транслирует его в сеть с заданной периодичностью. На основании совокупности этих списков от каждого из узлов и происходит управление сетью.

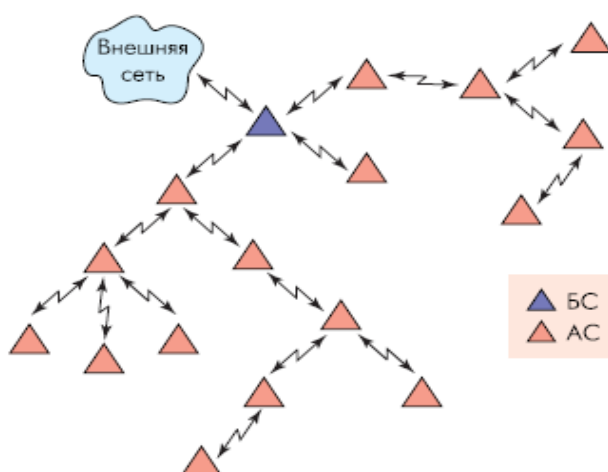


Рисунок 2.11 - Пример Mesh-сети.



Рисунок 2.12 - Структура кадра Mesh-сети.

Кадр Mesh-сети делится на управляющий субкадр и субкадр данных. Длина управляющего субкадра - переменная величина, задаваемая БС. Управляющий субкадр представляет собой набор пакетов MAC-уровня с тем отличием, что сразу после общего заголовка MAC-пакета следует подзаголовок Mesh-сети. Управляющий субкадр, в зависимости от реализуемых функций, может быть двух типов - управления сетью (network control) и управления очередностью доступа к каналам связи (schedule control). В субкадрах всегда используется модуляция QPSK со скоростью кодирования 1/2.

Субкадры управления включают интервалы для подключения к сети новых устройств (Network entry - "сетевой вход") и следующие за ними сообщения "конфигурация сети". Сообщения типа "конфигурация сети" содержат всю необходимую информацию о составе сети. Они же реализуют процедуры управления. Эти сообщения генерирует каждый узел и транслирует по сети через свое соседское окружение. Среди передаваемой информации - списки соседей каждого узла, идентификационный номер БС и число ее соседей, номер логического канала для передачи графика доступа к каналам, удаленность узла (ранг соседства) от БС и т.д. Посредством таких сообщений с заданной периодичностью транслируется дескриптор сети - таблица, полностью описывающая текущие параметры сети. Среди них - длительность кадров, длина управляющего субкадра, число интервалов для сообщений децентрализованного распределения ресурсов, периодичность следования субпакетов распределения ресурсов, профили пакетов, тип кодирования, соответствие логических каналов физическим и т.п. Дескриптор сети передается от базовой станции ее соседскому окружению, от него - узлам со следующим рангом соседства и т.д. Периодичность передачи дескриптора сети нормирована.

"Сетевой вход" - это интервал, в течение которого новый узел может послать сообщение (NENT) о своем намерении подключиться к сети (аналог интервала конкурентного доступа в сети "точка-моготочка"). Перед этим он должен принять сообщение о конфигурации сети, выбрать узел для подключения, синхронизироваться с ним и лишь затем отправлять запрос. В ответ узел либо откажет в доступе, либо назначит новому узлу сетевой идентификатор, канал и временной интервал для проведения процедур аутентификации.

Распределение канальных ресурсов в Mesh-сети может быть централизованным и децентрализованным (распределенным). В свою очередь децентрализованное распределение бывает координированным с БС и не координированным. Децентрализованное распределение ресурсов подразумевает, что распределение происходит в пределах одной группы соседей (т.е. между станциями, способными непосредственно связываться друг с другом). При координированном децентрализованном распределении узлы обмениваются между собой специальными сообщениями управления распределением (distributed scheduling - DSCH). Координированность заключается в том, что период выдачи таких сообщений каждой станцией определен и известен ее соседям. Координированные DSCH-сообщения передаются в субкадрах управления очередностью доступа в оговоренных в сетевом дескрипторе интервалах. Некоординированные DSCH-сообщения передаются в субкадре данных.

DSCH-сообщения - это запросы на получение канального ресурса и ответные сообщения с предоставлением (подтверждением) свободного ресурса (временного интервала в субкадре данных). Ресурс предоставляется соседом под конкретное соединение.

Централизованное распределение ресурсов подразумевает древовидную топологию сети с БС в вершине. Оно реализовано посредством двух типов сообщений - централизованного конфигурирования CSCF и централизованного планирования CSCH. Эти управляющие сообщения размещаются в начале субкадра управления графиком доступа. Используя сообщения централизованного планирования CSCH, каждый узел определяет потребность в трафике своих дочерних узлов (т.е. трафик которых от (к) БС проходит через данный узел) и сообщает свою потребность вышестоящему узлу - вплоть до БС. Проанализировав потребность, БС рассылает сообщение CSCH, информируя каждый узел о выделенной ему полосе пропускания (в бит/с) в восходящем и нисходящем направлениях. Исходя из этих данных, каждый узел уже сам запрашивает (или назначает) расположение пакетов в субкадре данных у (для) своих соседских узлов посредством сообщений децентрализованного планирования DSCH.

Сообщения централизованного конфигурирования CSCF формируются БС и транслируются по сети для информирования всех ее узлов о текущем состоянии. CSCF включает такую информацию, как число доступных логических каналов и их перечень, перечень узлов в сети с указанием числа

дочерних узлов для каждого из них, а также профили восходящих/нисходящих пакетов для каждого дочернего узла.

Поддержка адаптивных антенных систем. Важнейшая особенность стандарта IEEE 802.16, принципиально отличающая его, скажем, от стандартов IEEE 802.11 a/b/g, - это наличие встроенных средств поддержки адаптивных антенных систем (AAS). Разумеется, применение AAS - это не обязательное требование стандарта. AAS - это системы с секторными направленными антеннами (метод формирования диаграмм направленности антенн в стандарте не оговаривается), т.е. антенные системы с несколькими антенными элементами. Применение AAS существенно увеличивает потенциальную емкость сети стандарта IEEE 802.16, поскольку в разных секторах БС возможна работа в одних и тех же каналах (частотных и OFDMA). Кроме того, направленные антенны позволяют существенно уменьшать общую излучаемую мощность. В результате снижается и межканальная интерференция. Не менее важно применение многоэлементных антенных систем для улучшения прохождения сигналов в каналах с замираниями - так называемых методов пространственно-временного кодирования (разнесения) STC.

Поддержка ASS в спецификации IEEE 802.16 означает модификацию протоколов на физическом и MAC-уровнях, наличие специальных управляющих и контролирующих сообщений для работы с адаптивными антеннами.

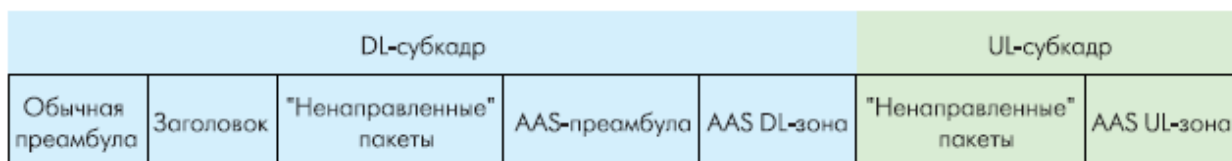


Рисунок 2.13 - Структура кадров с зоной AAS

Работа с направленными AAS. Стандарт допускает в рамках одного кадра транслировать как ненаправленный, так и направленный (посредством AAS) трафик. Для разграничения зон не-AAS и AAS-трафика используются специальные сообщения. Принцип применения AAS в режимах OFDM и OFDMA (равно как и в SCa) достаточно схож. Наиболее полно он описан в стандарте для случая OFDMA, поэтому остановимся именно на нем.

Механизм Diversity-Map Scan. В режиме OFDMA предусмотрено два метода работы с AAS - с распределенными несущими в подканале (FUSC, PUSC) и с последовательными несущими (AMC). Каждый из методов в начале AAS-зоны предусматривает передачу OFDMA-символа преамбулы AAS-зоны и заголовка с префиксом AAS-зоны. Для передачи этих сообщений в AAS-зоне нисходящего субкадра выделены специальные подканалы (два старших для FUSC/PUSC и четвертый с начала и четвертый с конца подканалы в AMC). Сообщения в этих подканалах могут повторяться несколько раз - с тем, что если используется не широковещательная трансляция, а передача с

переключением лучей, сообщения с префиксом дошли бы до всех АС. В префиксе указывается код луча антенны, тип и размеры преамбулы ASS-зоны (в восходящем и нисходящем каналах), область для начальной инициализации/запросов полосы, а также области в кадре для каждого AAS-соединения. Префикс, как и в штатном режиме, передается посредством QPSK со скоростью кодирования 1/2 и двухкратным повтором (в пределах одного символа). Основное назначение префикса - сообщить АС о том, как будут переданы карты DL/UL-каналов для разделенных по направлениям лучей групп пользователей (очевидно, что распределение канальных ресурсов может происходить независимо в каждом луче).

Для работы в режиме AMC-AAS кадры могут объединяться в суперкадр длительностью не менее 20 обычных кадров. В суперкадр входит по крайней мере один широковещательный кадр, содержащий дескрипторы и карты DL/UL-каналов. Смысл такого объединения - обеспечить минимум управляющих сообщений для группы кадров.

Перечисленные методы работы с AAS используют так называемый механизм Diversity-Map Scan - сканирование (абонентскими станциями) разнесенных карт распределения канальных ресурсов. В режиме OFDMA предусмотрен и другой способ работы с AAS -метод прямой сигнализации (Direct Signaling Method).

Метод Direct Signaling использует механизм последовательного распределения несущих AMC. Его особенность - в каждом кадре в AAS-зоне выделяется от одного до четырех каналов доступа /распределения ресурсов (BWAA -bandwidth allocation/access). Каждый BWAA-канал состоит из двух субканалов, расположенных в верхней и нижней частях диапазона симметрично относительно центральной частоты (если BWAA-канал один, то он включает самый верхний и самый нижний подканалы). В этом канале передаются префикс нисходящего субкадра (для режима Direct Signaling Method), карты UL-MAP и DL-MAP для каждой из пространственно разделенных АС или групп АС. Благодаря точной пространственной настройке AAS данный метод позволяет в одном кадре передавать сообщения множеству пользователей.

В методе прямой сигнализации предусмотрены четыре специальных кодовых сообщения - обучения обратного соединения RLT (reverse link training), доступа в обратном соединении RLA (reverse link access), обучения прямого соединения FLT (forward link training) и инициирования прямого соединения FU (forward link initiation). Первые два сообщения использует АС, вторые два - БС. Для начальной инициализации или запроса полосы АС посылает сообщение RLA в канале BWAA. Оно предшествует сообщениям запроса полосы или начального доступа и используется БС для точной настройки своей антенной системы на данную АС. В ответ БС передает сообщение FLJ - уникальный код для каждой АС (БС может сама инициировать соединение, послав FLJ). FLJ транслируется в подканале, выделенном для данной АС. Каждая абонентская станция сканирует все подканалы и,

обнаружив по кодовой последовательности адресованное ей сообщение начальной инициализации, отправляет в ответ в том же самом канале (в отведенном для нее временном интервале) последовательность RLT, предназначенную для точной настройки антенн БС на АС в данном подканале. В результате, выполнив все необходимые подстройки, БС и АС устанавливают соединение, в течение которого происходит обмен данными. Причем пакетам данных предшествуют тренировочные последовательности FLT (со стороны БС) и RLT (со стороны АС).

Пространственно-временное кодирование. Еще одна важная особенность применения многоэлементных антенных систем - это возможность использовать пространственно-временное разнесение каналов (Space-Time Coding, STC) для улучшения прохождения радиосигналов. Идея метода - разнести в пространстве и времени источник одного и того же сигнала, т.е. несколько изменить условия его прохождения. В результате существенно возрастает вероятность безошибочного приема такого сигнала (после соответствующей первичной обработки в приемнике).

В стандарте IEEE 802.16 используется схема пространственно-временного разнесения, предложенная Аламоути. Суть метода проста - выходной поток символов разбивается на два субпотока (например, четные и нечетные символы), обрабатываемые параллельно. В передатчике используется два антенных канала, использующих общий тактовый генератор (что обеспечивает синхронность). Таким образом, реализуется так называемая схема канала MISO (Multiple Input / Single Output) - несколько входов и один выход (по отношению к каналу).

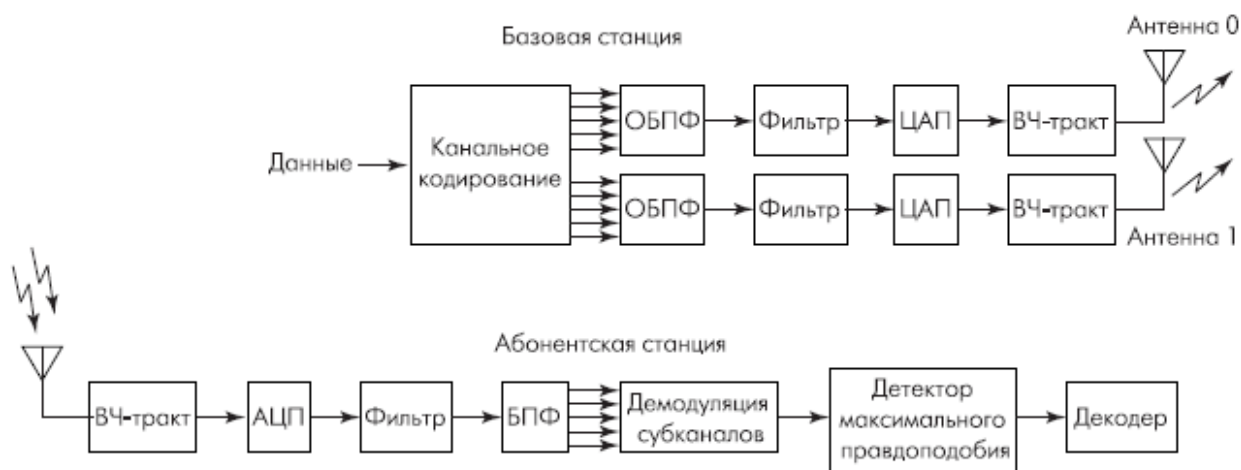


Рисунок 2.14 - Метод пространственно-временного кодирования по схеме MISO

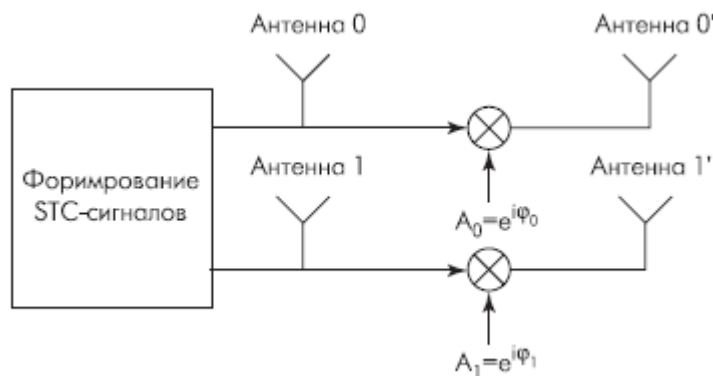


Рисунок 2.15 - Схема STC с четырьмя передающими антеннами

Сначала антенна 0 (рисунок 2.15) транслирует символ S_0 , антенна 1 - символ S_1 . В следующий символьный интервал антенна 0 передает символ - S_0^* , антенна 1 - символ S_1^* (S^* означает комплексное дополнение к S). Приемник работает с одной антенной и в каждом символьном интервале принимает сигналы r_0 и r_1 . Зная передаточные характеристики каналов (h_0 и h_1), в приемнике можно восстановить переданные сигналы S_0 и S_1 согласно формулам (разумеется, вычисленные значения являются некоторым приближением к исходным значениям S_0 и S_1):

$$S_0 = h_0^* r_0 + h_1 r_1^*$$

$$S_1 = h_1^* r_0 - h_0 r_1^*.$$

Предполагается, что за время передачи двух символов передаточные характеристики не изменяются.

С точки зрения протоколов физического уровня, применение STC не требует особых действий. Зона, транслируемая посредством STC, помечается в DL-MAP каждого кадра.

Особенности STC в методе OFDMA. В методе OFDMA предусмотрен ряд особенностей реализации STC. Прежде всего, при формировании OFDMA-символов набор пилотных частот зависит от четности символа и номера антенного канала. Кроме того, поскольку в OFDMA разделение каналов - не частотное, в дополнение к пространственно-временному разнесению используется и частотное, посредством частотных скачков (frequency hopping diversity coding - FHDC). Суть данного механизма в следующем. Допустим, несущие в субканале X модулируются сигнальным вектором S_0 , в субканале $X + 1$ - вектором S_1 . Именно такой сигнал передает антенна 0. Антенна 1 транслирует сигнал, в котором несущие подканала X модулируются вектором - S_0^* , несущие подканала $X + 1$ - вектором S_1^* . Восстановление в приемнике происходит аналогично уже рассмотренному варианту STC, только вместо передаточных характеристик двух антенных каналов используются характеристики, связанные с субканалами X и $X + 1$. Под принятыми сигналами r_0 и r_1 , понимают принятые сигналы в субканалах X и $X + 1$, соответственно. Из них восстанавливают S_0 и S_1 .

Очевидно, что данную методику можно перенести на пары субканалов - т.е. все субканалы OFDMA-символа разбиваются на смежные пары ($X, X + 1$; $Y, Y + 1$;...). В антенне 0 они передаются без изменений, в антенне 1 в каждой паре происходит описанное преобразование.

Все изложенные схемы преобразования можно описать матрицей

$$A = \begin{bmatrix} S_0 & -S_1^* \\ S_1 & S_0^* \end{bmatrix}.$$

Однако, возможна и упрощенная схема:

$$B = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \end{bmatrix},$$

обеспечивающая, однако, двукратный выигрыш в скорости. Вид матрицы преобразования задается базовой станцией в картах соответствующих каналов.

Метод OFDMA допускает применение STC/FHDC не только в нисходящем, но и в восходящем канале. Кроме того, возможно применение STC на базе не только двух, но и четырех антенных элементов. В последнем случае помимо базовых антенн 0 и 1, добавляются антенны 0' и 1', сигнал в которых смещен по фазе (например, сигнал в антенне 0' $S_0' = S_0 e^{-j\phi}$).

Выбор схемы модуляции. Предполагается поток данных со скоростью 16 Мбит/с на сектор базовой станции с использованием двухполосной схемы модуляции. Предполагается фильтрация по Найквисту и наличие двухсторонней полосы 8 МГц. При таких параметрах спектральная эффективность будет равна:

$$\frac{R}{W} = \frac{16 \text{ Мбит/с}}{8 \text{ МГц}} = 2 \text{ бит/с/Гц}$$

Вероятность битовой ошибки при модуляции QAM.

Для прямоугольного множества, гауссова канала и приема с помощью согласованных фильтров, вероятность появления битовой ошибки при модуляции M-QAM, где $M = 2^k$ и k – четное число, выражается так:

$$P_B = \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} Q \left[\sqrt{\left(\frac{3 \log_2 L}{L^2 - 1} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right].$$

$$P_B = \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} Q \left[\sqrt{\left(\frac{3 \log_2 L}{L^2 - 1} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right]$$

3 Разработка сети WiMAX для реализации услуги широкополосного доступа в интернет

3.1 Выбор характеристик радио интерфейса

Базовая станция WiMAX представляет собой модульное решение, которое может по мере необходимости дополняться различными блоками, например, модулями для связи с магистральной сетью провайдера. В минимальной конфигурации устанавливается модуль радиоинтерфейса и модуль соединения с проводной сетью.

При выборе оборудования WiMAX кроме его технических характеристик и цены важное и зачастую определяющее значение представляет такой фактор, как специфические для России трудности оформления частотных разрешений. Дело в том, что в России практически не существует «безлицензионных» диапазонов. Для разных типов оборудования предусмотрен различный порядок получения частотных разрешений. Для работы в любых диапазонах операторы связи должны получить достаточно сложные и многоуровневые разрешения как частотных служб, так и служб надзора за связью.

Очевидно, что в нашей стране главным фактором, влияющим на скорость внедрения систем WiMAX, являются вопросы регулирования спектра, так как развитие рынка услуг WiMAX напрямую зависит от выделения операторам необходимого частотного ресурса. Сегодня наиболее перспективными с точки зрения будущего развития технологии WiMAX являются диапазоны в районе 2,4, 3,5 и 5,6 ГГц.

Следует учитывать, что распространение радиоволн в различных участках спектра имеет свои особенности, которые во многом определяют дальность действия оборудования, а также устойчивость к многолучевости.

Оборудование должно производиться специализированной компанией, имеющий опыт разработки и производства беспроводного оборудования, что является некоторой гарантией качества.

Технические характеристики оборудования, предоставляемые производителем, должны быть достаточно полными, для того чтобы по ним можно было сделать вывод о его возможностях. Представление таких характеристик говорит о профессионализме сотрудников и в определенной мере гарантирует, что речь идет об оригинальном продукте, а не о перепродаже малоизвестного бренда под торговой маркой продавца.

Желательно, чтобы базовая станция имела возможность секторизации и поэтапного наращивания производительности, для чего она должна иметь возможность подключения внешней антенны. Тогда на первом этапе достаточно одной базовой станции с всенаправленной антенной, на следующем двух, с антеннами с шириной диаграммы 180°, и так далее.

Оборудование должно быть сертифицировано.

Должна быть возможность получения разрешения на использование частот в диапазонах, используемых оборудованием.

Система должна обладать приемлемой стоимостью, причем в первую очередь важна минимальная стоимость абонентского оборудования.

Принцип действия Mobile WiMAX идентичен сетям сотовой связи: несколько рядом расположенных базовых станций Mobile WiMAX образуют соту, соты объединяются между собой и обеспечивают непрерывное покрытие целого города. Оборудование Mobile WiMAX обеспечивает большую скорость передачи данных, по сравнению с сотовыми сетями, и сравнима со скоростью доступа в проводных сетях. Основные характеристики WiMAX устройства:

Технические характеристики WiMax:

- Дальность действия: до 50 км;
- Максимальная скорость передачи данных: до 70 Мбит/с на сектор одной базовой станции;
- Рабочая частота: 2-11 ГГц;
- Спектральная эффективность: до 5 бит/сек/Гц;
- Покрытие: расширенные возможности работы вне прямой видимости значительно улучшают качество покрытия обслуживаемой зоны;
- Скорость доступа в интернет в пределах сектора базовой станции на клиентских устройствах – до 10 Мбит/с;
- Зона действия одного сектора базовой станции в условиях плотной застройки – от 800 до 1500 метров;

Мобильность: мгновенное переключение клиентского Mobile WiMAX оборудования между базовыми станциями на скорости движения до 120 км/ч.

3.2 Расчет частотных каналов

Общее число частотных каналов, выделенных для развертки сотовой сети связи в данном месте, определяется по формуле

$$N_k = \text{int}(\Delta F / F_k), \quad (10)$$

$$N_k = \text{int}\left(\frac{2,4 \cdot 10^6}{1500}\right) = 128.$$

где, $\text{int}(x)$ – целая часть числа x ;

F_k – полоса частот, занятая одним частотным каналом системы (частотный разнос между каналами).

3.3 Определения размерности кластера

Для определения необходимой размерности кластера C при заданных значениях p_0 и p_t используют соотношение

$$p(C) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_1}^{\infty} \exp\left(-x^2/2\right) dx \right] \cdot 100, \quad (11)$$

где $p(C)$ – процент времени, в течение которого соотношения мощность сигнала/ мощность помехи на входе приемника MS будет находиться ниже защитного отношения ρ_0 .

Интеграл представляет собой табулированную Q-функцию:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_1}^{\infty} \exp\left(-x^2/2\right) dx. \quad (12)$$

Нижний предел этого интервала имеет вид:

$$X_1 = \frac{10 \lg(1/\beta_e) - \rho_0}{\alpha_p}, \quad (13)$$

где ρ_0 и α_p выражены в дБ;

β_e – определяется соотношением

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^M \beta_i \right) \exp \left[\frac{\gamma^2 (\alpha^2 - \alpha_e^2)}{2} \right]. \quad (14)$$

В свою очередь значения α_p и α_e определяются по формулам

$$\alpha_p^2 = \alpha^2 + \alpha_e^2, \quad (15)$$

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp(\gamma^2 \alpha^2) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^M \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^M \beta_i \right)^2} \right\}, \quad (17)$$

α – параметр, который определяет диапазон случайных флуктуаций уровня сигнала в точке приема:

$$\gamma = 0,1 \ln 10 \quad (18)$$

Коэффициент β_i в (17) представляет собой медианное значение затухания радиоволн на i -му направлении увеличении помехи. Эти коэффициенты обратно пропорциональны четверти ступени расстояния до источника помехи. Величина M обозначает число базовых станций, которые «мешают», расположенных в соседних кластерах.

Сначала рассмотрим случай, для всенаправленной антенны, где

$$\varphi = 360^\circ, N_S = 1, M = 6 \text{ и } \beta_1 = \beta_2 = (q-1)^{-4},$$

$$\beta_3 = \beta_4 = q^{-4}, \beta_5 = \beta_6 = (q+1)^4;$$

где N_S - число секторов.

Выберем значение $C=3$

$$\gamma = 0,1 \ln 10 = 0,23.$$

$$q = \sqrt{3 \cdot C}, (19)$$

$$q = \sqrt{3 \cdot 3} = 3.$$

Определим α_e^2

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0,23^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(0,23^2 \cdot 5^2 \right) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^6 \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^6 \beta_i \right)^2} \right\} = 16,364 \text{ дБ.}$$

Вычислив квадратный корень, из получившегося значение получаем

$$\alpha_e = \sqrt{16,364} = 4,045 \text{ дБ.}$$

Отсюда следует

$$\alpha_p = \sqrt{5^2 + 4,045^2} = 6,431 \text{ дБ.}$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^6 \beta_i \right) \exp \left[\frac{0,23^2 (5^2 - 4,045^2)}{2} \right] = 643,908 \text{ дБ.}$$

Теперь вычислим нижнюю границу Q-функции:

$$X_1 = \frac{10 \lg(1/643,908) - 10}{6,431} = -5,922.$$

Этому значению в таблице соответствует величина, равная $1 - 0,161 \cdot 10^{-8}$, это значение приблизительно равно единице. Считая по формуле (3.2), получаем

$$p(C) \approx 1 \cdot 100 = 1.$$

Получившееся значение явно больше $\frac{P_c}{P_{III}}(\rho_0)$, которое из задания равно 10.

Отсюда следует, что данный тип антенны и выбранное значение кластера не подходит для указанного стандарта.

Теперь рассмотрим случай для направленной антенны, у которой угол диаграммы направленности $\varphi = 120^\circ$, $N_S = 3$, $M=2$ и $\beta_1 = (q + 0,7)^{-4}$, $\beta_2 = q^{-4}$.

Выберем значение $C=4$.

$$q = \sqrt{3 \cdot 4} = 3,464.$$

Определим α_e^2

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{0,23^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp \left(0,23^2 \cdot 5^2 \right) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^2 \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^2 \beta_i \right)^2} \right\} = 17,682 \text{ дБ}.$$

Вычислив квадратный корень из получившегося значение получаем

$$\alpha_e = \sqrt{17,682} = 4,025 \text{ дБ}.$$

Отсюда следует:

$$\alpha_p = \sqrt{5^2 + 4,025^2} = 6,533 \text{ дБ}.$$

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^2 \beta_i \right) \exp \left[\frac{0,23^2 (5^2 - 4,025^2)}{2} \right] = 0,012 \text{ дБ}.$$

Теперь вычислим нижнюю границу Q-функции:

$$X_1 = \frac{10 \lg(1/0,012) - 10}{6,533} = 1,384.$$

Этому значению в таблице соответствует величина, равная 0,0838. Считая по формуле (3.2), получаем

$$p(C) \approx 0,0838 \cdot 100 = 8,38.$$

Получившееся значение немного меньше $\frac{P_c}{P_{III}}(\rho_0)$, отсюда вытекает, что данный тип антенны является наиболее оптимальным.

3.4 Расчет частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов БС

Число частотных каналов, которые используются для обслуживания абонентов в одном секторе, определяется по формуле:

$$n_S = \text{int}(N_k / C \cdot N_S) \quad (20)$$

$$n_S = \text{int}\left(\frac{128}{4 \cdot 3}\right) = 10.$$

где N_S - число секторов.

3.5. Расчет доступной нагрузки БС

Величина допустимой нагрузки в одном секторе определяется соотношением:

$$A = n_0 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(P_B \sqrt{\pi \cdot n_0 / 2} \right)^{\frac{1}{n_0}}} \right]. \quad (21)$$

при условии, что

$$P_B \leq \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot n_0}},$$

где, $n_0 = n_S \cdot n_a$;

n_a – число абонентов, которые могут одновременно использовать один частотный радиоканал. В данном случае величина $n_a = 1$, т.к. используется аналоговый стандарт.

$$\sqrt{\frac{2}{\pi \cdot 10}} = 0,252.$$

Подкоренное выражение больше, чем величина P_B , т.к. $0,11 < 0,252$.

$$A = 10 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(0,11 \cdot \sqrt{\pi \cdot 10 / 2} \right)^{\frac{1}{10}}} \right] = 7,117 \text{ Эрл.}$$

3.6 Расчет числа абонентов, обслуживаемых одной БС

При заданной активности одного абонента в час наибольшей нагрузки можно рассчитать число абонентов, которые обслуживаются одной БС по формуле

$$N_{aBTS} = \text{int}(A/\beta) \cdot N_S, \quad (23)$$

$$N_{aBTS} = \text{int}(7,17/0,026) \cdot 3 = 828.$$

3.7 Расчет количества БС

Необходимое число базовых станций на заданной территории обслуживания определяется соотношением:

$$N_{BTS} = \text{int}(N_a / N_{aBTS}), \quad (24)$$

$$N_{BTS} = \text{int}(3600/828) = 4,34$$

где N_a – заданное число абонентов, которых обслуживает сотовая сеть связи.

3.8. Расчет радиуса зоны обслуживания БС

Величину радиуса можно определить, используя выражение

$$R = \sqrt{1,21 \frac{S_0}{N_{BTS} \cdot \pi}}, \quad R = \sqrt{1,21 \frac{280}{43 \cdot \pi}} = 1,584. \text{ км} \quad (25)$$

4. Проверочный расчет помехоустойчивости для обеспечения работы сети

4.1 Расчет величины защитного расстояния

Величина защитного расстояния между BTS с одинаковыми частотными каналами определяется соотношением

$$D = R\sqrt{3 \cdot C}, \quad (26)$$

$$D = 1,584\sqrt{3 \cdot 4} = 5,486 \text{ км.}$$

4.2 Расчет уровня сигнала на входе приемника

Необходимую мощность на входе приемника P_{npMS} при $h_{BST} = const$ и $P_{ndBTS} = const$ определяют, пользуясь так называемым первым уравнением передачи.

$$\begin{aligned} P_{npMS} &= P_{ndBTS} + G_{BTS} - 70 - 26,16 \lg(f, \text{ МГц}) + \\ &+ 13,82 \lg(h_{BTS}, \text{ м}) - [45 - 6,55 \lg(h_{BTS}, \text{ м})] \cdot \lg(R, \text{ км}) - \alpha_{\phi BTS}, \text{ дБ}, \end{aligned} \quad (27)$$
$$\begin{aligned} P_{npMS} &= -110 + 11 - 70 - 26,16 \lg(950) + \\ &+ 13,82 \lg(30) - [45 - 6,55 \lg(30)] \cdot \lg(1,584) - 2 = 15,536 \text{ дБВт.} \end{aligned}$$

где G_{BTS} – коэффициент усиления антенны базовой станции, дБ;

f – средняя частота выделенного диапазона частот;

P_{ndBTS} – мощность передатчика BTS, дБВт;

$\alpha_{\phi BTS} = l_{\phi} \cdot \alpha_0$ – потери в фидере BTS, дБ;

l_{ϕ} – длина фидера, которая может быть равной или больше высоты подвеса антенны BTS;

α_0 – погонное ослабление фидера, дБ/м.

4.3 Расчет вероятности ошибки

Для определения вероятности ошибки, когда MS находится на границе зоны обслуживания BTS, необходимо использовать соотношение

$$P_{ош} \approx \frac{1}{(\sqrt{3} \cdot C - 1)^{2 \cdot k}}, \quad (28)$$

$$P_{out} \approx \frac{1}{(\sqrt{3} \cdot 4 - 1)^2 \cdot 3} = 2,304 \cdot 10^{-5}$$

4.4 Расчет эффективности использования

Важным параметром сотовой сети связи является эффективность использования радиоспектра γ , обусловленная числом активных абонентов на 1 МГц полосы частот на передачу (или прием) BTS, то есть

$$\gamma = \frac{N_a}{\Delta F}, \quad (29)$$

где полоса частот на передачу (или прием) $\Delta F = F_k \cdot N_{KBTS} \cdot C$, число активных

$$\text{абонентов } N_a = N_{KBTS} \cdot N_{BTS} = N_{KBTS} \cdot 1,21 \cdot \left(\frac{R_0}{R} \right)^2.$$

$$\gamma = 1,21 \cdot \frac{R_0^2}{R^2 \cdot F_K \cdot C}, \quad (30)$$

где R_0 – радиус территории,

которая обслуживается

Отсюда

$$\gamma = 1,21 \frac{280}{\pi \cdot 1,584^2 \cdot 2,5 \cdot 10^4 \cdot 4} = 4,3 \cdot 10^{-4}.$$

5 Мультисервисность сети WiMAX

5.1 Перечень предоставляемых услуг

Мультисервисная сеть абонентского доступа предлагает своим абонентам широкий спектр телекоммуникационных услуг: передача данных, доступ в Интернет, организация виртуальных частных сетей, передача голоса, видео по запросу, видеонаблюдение.

Передача данных – услуга, в которой нуждаются все категории абонентов – как частные лица, так и малые предприятия. Также в рамках услуги «передача данных» возможна организация прозрачных каналов для банков, государственных учреждений и других крупных клиентов.

Доступ в Интернет предоставляется по разным тарифным планам.

Виртуальные частные сети (VPN) – мощный инструмент для объединения в одну сеть территориально распределенных абонентов. Посредством VPN можно объединить в одну сеть несколько филиалов в разных концах города, а также сотрудников, работающих на дому.

Передача голоса осуществляется на основе протоколов H.323 или G.703. Базовые станции могут обеспечить должный уровень качества обслуживания.

Видео по запросу предоставляется на основе разных тарифов. Определенные сложности связаны с биллинговой системой, однако видео создает максимальную загрузку каналов.

Видеонаблюдение – перспективная услуга как для частных, так и для корпоративных клиентов. Постоянная передача видеосигнала создает постоянную загрузку канала.

Прогноз трафика

В беспроводной сети передачи данных на каждую базовую станцию предполагается до 50 абонентов. В сети предоставляются услуги передачи данных (между абонентами и локальными серверами), выхода в сеть Internet, IP-телефония, видео по запросу и работа с виртуальными частными сетями.

В таблице 1 приведены полосы пропускания, занимаемые каждой услугой. В таблицу 2 сведены примерные процентные соотношения пользования услугами.

Т а б л и ц а 5 . 1 – Ширина полосы пропускания для каждой услуги

Услуга	Полоса пропускания, кбит/с
Передача данных	512
Internet	128
VoIP	64
Видео по запросу	8192
VPN	128
Всего	9024

Т а б л и ц а 5.2 – Прогнозируемая нагрузка базовой станции по услугам

Услуга	Доля абонентов данной услуги от общего числа абонентов	Число абонентов данной услуги	Полоса пропускания на всех абонентов (кбит/с)	Полоса пропускания на всех абонентов данной услуги (Мбит/с)
ПД	0,3	15	7680	7,5
Internet	0,4	20	2560	2,5
VoIP	0,1	5	320	0,3125
VoD	0,04	2	16384	16
VPN	0,16	8	1024	1
Всего	1	50	27968	27,3125

Из таблицы 5.2 видно, что предполагается следующая схема распределения абонентов по видам услуг. Из 50 абонентов, обслуживаемых одной базовой станцией, 15 абонентов (30% от общего их числа) пользуются передачей данных, 20 абонентов (40%) выходят в Интернет, 5 абонентов (10%) совершают звонки при помощи технологии VoIP, 2 абонента (4%) просматривают видео по запросу и 8 абонентов (16%) работают посредством виртуальной частной сети. Подобная схема распределения абонентов по видам услуг приближена к реальным показателям работы мультисервисных сетей.

Суммарное значение трафика, генерируемого всеми абонентами одной базовой станции, составляет 27,3 Мбит/с. Такой поток данных может инкапсулироваться в поток ЕЗ. Трафик, поступающий с абонентов по радиоканалу, на узле связи преобразуется, упаковывается в виртуальные контейнеры SDH и далее передаются по оптической магистральной сети.

Для обеспечения должного качества услуг (QoS) будет производиться разделение по классам обслуживания. Критичные к задержкам услуги – передача голоса и видео – будут обслуживаться по высокому приоритету. ПД,

Для того, чтобы задать разные приоритеты, необходимо формировать как минимум два потока SDH. Один поток будет использоваться для критичных к задержкам услуг (видео по запросу и IP-телефония), другой – для остальных приложений. Пограничные маршрутизаторы RAD RIC-155 занимают половину ячейки в 1U в стойке, их можно поставить рядом. Тогда будут сформированы два потока с прогнозируемым трафиком, предоставленным в таблицах 5.2 и 5.3.

Т а б л и ц а 5.3 – Прогнозируемый трафик в потоке данных критичных к задержкам услуг

Услуга	Процент	Число	ПП, kbps	ПП, Mbps
VoIP	0,1	5	320	0,3125
VoD	0,05	2	16384	16
всего				16,3125

Т а б л и ц а 5.4 – Прогнозируемый трафик в потоке данных некритичных к задержкам услуг

Услуга	Процент	Число	ПП, kbps	ПП, Mbps
ПД	0,3	15	7680	7,5
Internet	0,4	20	2560	2,5
VPN	0,15	8	1024	1
Total	0,85	43	11264	11

Таким образом, согласно схеме на рисунке 1, будет происходить мультиплексирование потоков данных в кадры SDH.

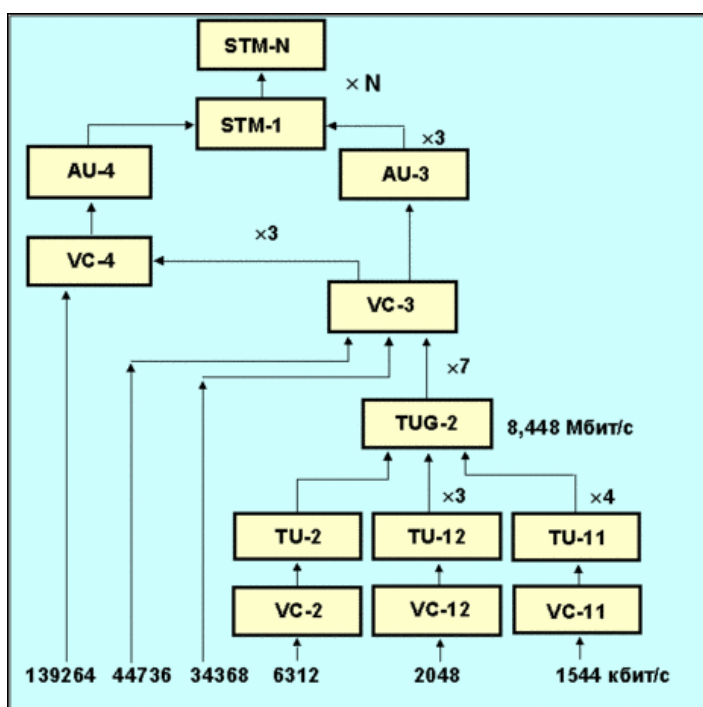


Рисунок 5.1 – Иерархия мультиплексирования SDH

Рассчитаем количество кадров STM-1, формируемых каждую секунду. Размер кадра STM-1 составляет 2430 байт. Суммарный трафик в секунду

$$\text{Трафик}_{\text{секунда.Мбайт}} = \frac{27,3125 \text{ Мбит/с}}{8 \text{ бит}} = 3,414063 \text{ Мбайт} = 3579904 \text{ байт}$$

Каждую секунду формируется

$$N_{\text{кадровSTM-1}} = \frac{\text{Трафик}_{\text{секунда.Мбайт}}}{2430 \text{ байт}} = \frac{3579904 \text{ байт}}{2430 \text{ байт}} = 1474 \text{ кадров/с}$$

6 Бизнес-план

На сегодняшний день спрос на новые и современные информационные технологии в сфере телекоммуникаций возрастает. Многие крупные компании имеют удаленные филиалы которые пытаются объединить в единую корпоративную сеть.

ТОО «Тараз WiMAX» может предложить свои услуги:

- Передача данных;
- Доступ в интернет;
- Телефония (VoIP и TDM);
- организация виртуальных частных сетей (VPN).

Для реализации проекта компания привлекает собственные средства, не прибегая к помощи инвесторов. Часть полученной прибыли с данного проекта пойдет в счет планового обновления оборудования, остальная сумма – в накопительный фонд компании ТОО «Тараз WiMAX».

Монтажно, пуско-наладочные работы производятся собственными силами товарищества не привлекая сторонние организации.

ТОО «Тараз WiMAX» будет предложить свои услуги в соответствии с условиями заключенного с клиентом договора.

6.1 Описание предприятия

Компания ТОО «Тараз WiMAX» находится на рынке телекоммуникаций уже более десяти лет. За это время она стала одним из известным Интернет-провайдеров Казахстана. ТОО «Тараз WiMAX» занимается предоставлением услуг Интернета для юридических и физических лиц. Клиентами компании являются крупнейшие банки, бизнес центры, жилые комплексы.

6.2 Описание продукции

Предоставляемые услуги товарищества позволяют клиентам беспроводной доступ в Интернет; объединить два и более филиала компании в единую локально-вычислительную сеть для обмена данными на базе протокола ТСР/ІР.

При использовании Услуг клиентское оборудование, установленное в офисе или техническом центре Клиента, подключается к порту доступа к Услуге на терминале ближайшей базовой станции.

6.3 Конкурентоспособность услуги

Сегодня на рынке интернет услуг существуют достаточное количество предложений:

Т а б л и ц а 6 . 1 - Тарифы на подключение без учета трафика

Входящая скорость передачи данных, Кбит/с	Исходящая скорость передачи данных, Кбит/с	Ежемесячная абонентская плата без учета трафика, тенге без НДС
1024	64	124 137
2048	64	186 206
1024	128	186 206
2048	128	248 275
1024	256	310 344
2048	256	372 413

Таблица 6.2 – Тарифы на подключение без учета трафика ТОО «Талдыкорган WiMAX»

Скорость доступа, Кбит/с	Размер платы без НДС, тенге			Общая стоимость без НДС, тенге (+ плата за трафик по факту)
	Предоставление в пользование ресурсов сети, за каждое подключение	Предоставление в пользование стационарного оборудования	Предоставление в пользование порта одного	
1024	12 955	7 550	60 338	80 843
2048	12 955	7 550	120 676	141 181

6.4 Производственный план

После заключения договора с клиентом компания ТОО «Тараз WiMAX» дает заявку на оборудование в представительство. Данная компания в течении семи рабочих дней обязана доставить оборудование в офис компании ТОО «Тараз WiMAX». После получения оборудования у компании ТОО «Тараз WiMAX» есть три дня на установку оборудования.

Клиент за свой счет обеспечивает все изменения и приготовления помещения, необходимые для установки оборудования беспроводного доступа (включая внутренний блок, устанавливаемый в помещении Клиента, наружный блок, устанавливаемый на специально подготовленной площадке, и соединительный кабель между внутренним и внешним блоком).

6.5 Организационный план

Для воплощения в жизнь данного бизнес-проекта были привлечены штатные сотрудники компании ТОО «Тараз WiMAX»: менеджер по продажам, менеджер проектного отдела, инженер отдела передачи данных, инженер отдела эксплуатации. Для постоянного наблюдения за работой каналов применяется система iMonitor, установленная в отделе удаленного мониторинга.

6.6 Финансовый план

6.6.1 Расчет капитальных затрат

Рассчитаем объем капитальных вложений, необходимых для организации сети. Стоимость оборудования взята из прайс-листов опубликованных в Интернете и приведена в таблице.

Т а б л и ц а 6.3 – Состав и стоимость основных средств

Наименование	Цена за 1 шт (тенге)	Количество, шт	Сумма, (тенге)
Базовая станция	300 000	4	1 200 000
Маршрутизатор Cisco ONS 15302	70 000	4	280 000
Источник бесперебойного питания	40 000	8	320 000
Общая сумма:			1 800 000

Общие капитальные вложения:

- Монтажные расходы (12% от стоимости оборудования);
- Транспортные расходы (5% от стоимости оборудования);
- Единовременная плата глобальному оператору;
- Затраты на тару и упаковку (0,5% от стоимости оборудования).
- Монтажные работы = $1\,800\,000 \cdot 0,12 = 216\,000$
- Транспортные расходы = $1\,800\,000 \cdot 0,05 = 90\,000$
- Затраты на тару и упаковку = $1\,800\,000 \cdot 0,005 = 9\,000$

Единовременная оплата глобальному провайдеру за подключение клиентом не выплачивается, так как у компании ТОО «Тараз WiMAX» нет такой статьи платежа.

Общие капитальные затраты на систему:

$$K = 1\,800\,000 + 216\,000 + 90\,000 + 9\,000 = 2\,115\,000 \text{ тенге.}$$

6.6.2 Расчет эксплуатационных расходов

В состав эксплуатационных расходов входят следующие статьи затрат:

1) Заработная плата работников. В себестоимость включаются расходы на заработную плату обслуживающего персонала.

2) Амортизационные отчисления, т.е. расходы на возмещение износа основных фондов предприятия в денежной форме.

3) Электроэнергия со стороны для производственных нужд.

4) Прочие производственные расходы. К ним относятся расходы на рекламу, аренда помещения, расходы по охране труда и пр.

Расчет годовых эксплуатационных расходов на содержание оборудования производится по формуле:

$$\Xi_p = \Phi_{от} + O_{сн} + M + P_{эл} + A_o + П$$

где, $\Phi_{от}$ – фонд оплаты труда (основная и дополнительная заработная плата);
 $O_{сн}$ – отчисления, социальный налог;

M – материальные затраты и запасные части (расходы на запасные части и текущий ремонт составляют 2% от капитальных вложений);

$P_{эл}$ – электроэнергия для производственных нужд;

A_o – амортизационные отчисления;

$П$ – прочие расходы.

Для технического обслуживания четырех зон оборудования системы компании ТОО «Тараз WiMAX» потребуется по штатному расписанию два инженера, каждому сотруднику выплачивается ежемесячная заработная плата в размере 90 000 тенге.

Зарплата работников за год составляет:

$$З_{п.сн} = 2 * 12 * 90\,000 = 2\,160\,000 \text{ тенге.}$$

Таким образом, фонд оплаты труда вычисляется по формуле:

$$\Phi OT = З_{п.сн};$$

$$\Phi OT = 2\,160\,000 \text{ тенге.}$$

Отчисления в пенсионный фонд:

$$П_{\Phi} = 0,1 * \Phi OT$$

$$П_{\Phi} = 0,1 * 2\,160\,000 = 216\,000$$

Социальный налог находится по формуле:

$$O_c = 0,11 * (\Phi OT - П_{\Phi})$$

$$O_c = 0,11 * (2\,160\,000 - 216\,000) = 213\,840 \text{ тенге}$$

Прочие производственные расходы не просчитываются, т.к. расходов на рекламу нет, аренды помещений тоже нет.

Сумма амортизационных отчислений начисляется по единым нормам, которые устанавливаются в процентах от стоимости основных фондов:

$$A_o = (H_A * K) / 100$$

где, H_A – норма амортизационных отчислений от среднегодовой стоимости основных производственных фондов, 20%

$$A_0=0,20*2\,115\,000=423\,000 \text{ тенге}$$

Затраты на электроэнергию для производственных нужд рассчитываются на основании мощности в кВт/ч потребляемой оборудованием (W) и тариф на электрическую энергию (12,4 тг. кВт/ч)

$$\mathcal{E}_H=0,124*W$$

Потребляемая мощность оборудования W, кВт/ч

$$W_I=24*365*P_I*n$$

где, n – количество базовых станций

24 и 365 коэффициенты учитывающий расход электроэнергии за сутки и за год

P – потребляемая мощность

Условно можно считать, что пиковая нагрузка электроэнергии на одной базовой станции всего оборудования будет составлять не более 3,5 кВт/ч. В проекте рассматриваются четыре точки с базовыми станциями.

$$W_I=24*365*3,5*4=122\,640 \text{ кВт/ч}$$

$$\mathcal{E}_H=0,124*122\,640=15\,207,36 \text{ тенге}$$

Затраты на материальные затраты и запасные части (расходы на з/ч и текущий ремонт) составляют 2% от капитальных вложений:

$$M=0,02*K_{KB}$$

$$M=0,02*2\,115\,000=42\,300 \text{ тенге}$$

Т а б л и ц а 6 . 4 – эксплуатационных расходов

№ п/п	Наименование расходов	Сумма расходов
1	Фонд оплаты труда	2 160 000,00
2	Социальный налог	213 840,00
3	Амортизационные отчисления	423 000,00
<i>Продолжение таблицы 6.4</i>		
4	Затраты на электроэнергию	15 207,36
5	Материальные затраты и з/ч	42 300,00
	Итого:	2 854 347,36

На рисунке 6.1 приведена диаграмма эксплуатационных расходов в процентном соотношении.



Рисунок 6.1 - диаграмма эксплуатационных расходов

Из расчетов видно, что при оказании услуг беспроводного доступа посредством базовых станций не требует больших расходов на запасные части, ремонтные работы с частичной или полной заменой оборудования. Это связано с тем, что предусмотренное оборудование взятое в расчет обладают высокой надежностью в своей работоспособности.

Общая сумма эксплуатационных расходов:

$$\mathcal{E}_p = \text{ФОТ} + \mathcal{E}_H + A + O_C + M$$

$$\mathcal{E}_p = 2\,160\,000 + 15\,207,36 + 423\,000 + 213\,840 + 42\,300 = 2\,854\,347,36$$

6.6.3 Прибыль и окупаемость предприятия

Банк «Талдыкорган Финанс» запросил для своих филиалов пять точек для организации корпоративной сети IP/VPN. Оборудование клиент будет использовать существующее. Арендная плата одной точки со скоростью 1024 Кбит/сек будет составлять – 15 000 тенге ежемесячно, а так же по заявкам необходимо подключить к беспроводному интернету 100 физических лиц со скоростью 1024 Кбит/сек – 4 000 ежемесячно.

Затраты на аренду по договорам будет составлять:

$$\mathcal{Z}_{\text{AP.П.}} = T_{\text{кан}} + N_{\text{кан}} * 12$$

где, $T_{\text{кан}}$ – тариф за использование канала

$N_{\text{кан}}$ – число каналов

$$З_{\text{АР.П.}}=((15\,000*5)+(4\,000*100))*12=5\,700\,000 \text{ тенге в год}$$

Экономия, полученная в связи с выплатами клиента является дополнительной прибылью для компании:

$$\Delta_{\text{ЭКОНОМ}} = З_{\text{АР.П.}} - Э_{\text{Р}}$$

$$\Delta_{\text{ЭКОНОМ}} = 5\,700\,000 - 2\,854\,347,36 = 2\,845\,652,64 \text{ тенге}$$

Так как экономия является непосредственно прибылью предприятия тогда:

$$\Delta_{\text{ЭКОНОМ}} = \text{Пр}$$

Корпоративный подоходный налог облагается по ставке 20%. Таким образом сумма отчисления на подоходный налог с прибыли составит:

$$Н = 0,20 * \Delta_{\text{ЭКОНОМ}}$$

$$Н = 0,20 * 2\,845\,652,64 = 569\,130,528$$

Сумма прибыли после налогообложения составит:

$$\text{П}_{\text{ЧИСТ}} = \text{Пр} - Н$$

$$\text{П}_{\text{ЧИСТ}} = 2\,845\,652,64 - 569\,130,528 = 2\,276\,522,058$$

6.6.4 Срок окупаемости

Срок окупаемости капитальных вложений – это срок возвратности средств:

$$T_0 = K_{\text{КВ}} / \text{ОЧПДС}$$

где, ОЧПДС – основные чистые поступления денежных средств.

$$\text{ОЧПДС} = A_0 + \Phi_{\text{Н}}$$

где $\Phi_{\text{Н}}$ (фонд накопления) = $0,75 * \text{П}_{\text{ЧИСТ}}$

$$\Phi_{\text{Н}} = 0,75 * 2\,276\,522,058 = 1\,707\,391,54$$

Тогда:

$$\text{ОЧПДС} = 423\,000 + 1\,707\,391,54 = 2\,130\,391,54$$

Следовательно срок окупаемости будет равен:

$$T_0 = 2\,115\,000 / 2\,130\,391,54 = 0,99$$

Коэффициент экономической эффективности находим по формуле:

$$E_{\text{ЭФ}}=1/T_0$$

$$E_{\text{ЭФ}}=1/0,99=1,01$$

Таким образом, средства, вложенные в организацию системы сети, компания ТОО «Тараз WiMAX» окупит за 1 год.

7 Безопасность жизнедеятельности

7.1 Анализ условий труда

7.1.1. Краткая характеристика условий труда

В проекте рассчитано оборудование широкополосной передачи данных телекоммуникационного оборудования в стоечных шкафах. Стоечный шкаф кроссовый оптический предназначен для организации кроссовой коммутации и терминирувания, как магистральных так и внутри объектовых оптических кабелей связи с использованием сварных соединений, механических соединений и оптических шнуров, а так же для соединения волоконных трактов с приемо-передающим оборудованием. В шкафах имеется возможность заземления брони и центрального силового элемента. Наличие нескольких кабельных отводов позволяют осуществить транзит кабеля. Все корпуса выполнены из 1-1,5 мм стали покрыты полимерно-порошковой краской. Стоечный шкаф имеет систему естественной и принудительной вентиляции оборудования. План телекоммуникационного помещения изображен на рисунке 5.1.

Выполняемые мероприятия обслуживающим персоналом инженерного состава – это пуско-наладочные, профилактико-технические работы производятся за пределами стойки.

Основной функционал укомплектованного стоечного оборудования заключается в передаче данных путем приемо-передающего лазерного излучения и при проведении плановых ремонтно-профилактических работах чистке контактов в оптоволоконных кабелях применяются взрывопожарные вещества и смеси.

В процессе труда оказывают воздействия следующие опасные и вредные производственные факторы: повышенные уровни электромагнитного, рентгеновского, ультрафиолетового, инфракрасного излучения, повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; повышенное содержание в воздухе рабочей зоны двуокиси углерода.

Работа характеризуется значительным умственным напряжением и нервно-эмоциональной нагрузкой, высокой напряженностью зрительной работы и достаточно большой нагрузкой на мышцы.

Уровни опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте не превышают значений, установленных по электробезопасности, взрывоопасности, шуму, уровням ионизирующего излучения, концентрации токсических веществ и др.

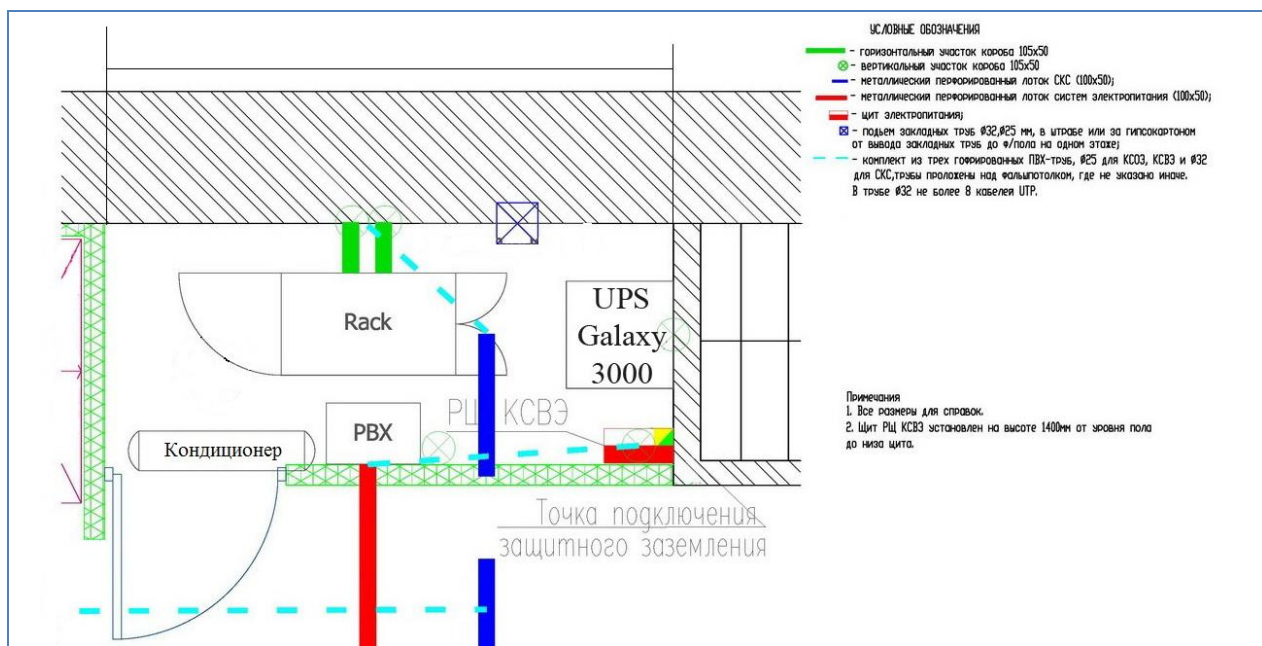


Рисунок 7.1— план размещения оборудования

Помещения, предназначенные для эксплуатации телекоммуникационного оборудования оснащаются отдельным контуром заземления, которое является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В помещениях, где установлено подобного рода оборудование, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата, которые приведены в таблице 7.1. Площадь помещения на одно рабочее место должна быть не менее 6 кв.м. Помещение должно иметь естественное и искусственное освещение.

Т а б л и ц а 7 . 1 – Параметры микроклимата для помещений

Период года	Параметры микроклимата	Величина
Холодный и переходный	Температура воздуха в помещении, °С	22-24
	Относительная влажность, %	40-60
	Скорость движения воздуха, м/с	До 0,1
Теплый	Температура воздуха в помещении, °С	23-25
	Относительная влажность, %	40-60
	Скорость движения воздуха, м/с	0,1-0,2

Объём помещений, в которых размещены работники вычислительных центров, не должен быть меньше 19,5 м³/человека с учётом максимального

числа одновременно работающих в смену. Нормы подачи свежего воздуха в помещениях, где расположены компьютеры, приведены в таблице 5.2.

Т а б л и ц а 7 . 2 – Нормы подачи свежего воздуха в помещения

Характеристика помещения	Объёмный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м ³ /на одного человека в час
Объём до 20м ³ на человека	Не менее 30
20 – 40 м ³ на человека	Не менее 20
Более 40 м ³ на человека	Естественная вентиляция
Помещение без окон и световых фонарей	Не менее 60

Для подачи воздуха в помещение используется система кондиционирования, а также естественная вентиляция.

7.1.2 Травмобезопасность

Оценка травмобезопасности производственных объектов проводится организациями самостоятельно, оформляется по форме 2 ТБ.

Травмобезопасность оценивается исходя из класса профессионального риска в зависимости от уровня травматизма и профессиональных заболеваний и класса профессионального риска в зависимости от технического состояния безопасности оборудования, машин, механизмов.

Класс профессионального риска в зависимости от уровня травматизма определяется на основании среднего показателя (коэффициента риска - Кр), рассчитанного по динамике производственного травматизма на производственном объекте за последние три года, предшествующие аттестации.

Класс профессионального риска в зависимости от технического состояния оборудования, машин, механизмов определяется исходя из уровня сертификации обследуемых технических средств на производственном объекте.

Наличие сертификатов на каждое производственное оборудование, машины, механизмы, правильность ведения и соблюдения требований нормативных документов характеризует степень обеспечения безопасности труда, в этом случае класс профессионального риска считается минимальным.

Для оборудования, машин, механизмов, не имеющих сертификат установленного образца, оценка травмобезопасности может быть осуществлена на основании разработанных и согласованных с местными органами стандартизации и метрологии мероприятий по подготовке к сертификации.

При отсутствии указанных мероприятий органы государственного контроля и надзора рассматривают вопрос о необходимости приостановления эксплуатации оборудования, машин, механизмов производственного объекта, представляющего непосредственную угрозу жизни и здоровью работников.

При полном отсутствии сертификатов на все виды оборудования, машин, механизмов класс профессионального риска в зависимости от технического

состояния оборудования, машин, механизмов производственного объекта оценивается по максимальной шкале.

Оценка травмобезопасности при наличии двух разных показателей классов профессионального риска по травмобезопасности устанавливается по наиболее высокому классу.

Согласно положение «Об аттестации производственных объектов организации по условиям труда» приложение 2 порядок заполнения формы 2ТБ

1) Определение класса профессионального риска в зависимости от уровня жизни:

$$Kp = \frac{(\text{Число травмированных} + \text{число погибших}) * 1000}{\text{среднесписочное число работающих}} \quad (7.1)$$

$$Kp_{1997г} = \frac{(10 + 20) * 1000}{120} = 250$$

$$Kp_{1998} = \frac{(6 + 10) * 1000}{125} = 128$$

$$Kp_{1999} = \frac{5 * 1000}{130} = 38$$

Средний показатель:

$$K_{ср} = \frac{\sum Kp}{3} = \frac{250 + 128 + 38}{3} = 138 \quad (7.2)$$

В таблице 7.3 приведены коэффициент риска от уровня жизни. Для расчета каждого смертельного случая берется цифра 10.

Т а б л и ц а 7.3 – Класса профессионального риска в зависимости от уровня жизни

Класс профессионального риска травматизма	Коэффициент риска (Kp)
1	0,00-1,00
2	1,01-2,00
3	2,01-3,00
4	3,01-4,00
5	4,01-5,00
6	5,01-6,00
7	6,01 и выше

2) Определение класса профессионального риска в зависимости от технического состояния производственного оборудования, машин, механизмов.

Т а б л и ц а 7.4 - Класс профессионального риска в зависимости от технического состояния производственного оборудования

Класс риска травматизма	Уровень сертификации обследуемого оборудования машин, механизмов, %
1	100-85
2	85-75
3	74-65
4	64-55
5	54-45
6	34 и выше

Т а б л и ц а 7.5 – Класс оборудования

Наименование оборудования	Дата сертификации
Коммутатор	2010-02-10
Кондиционер	нет

Т а б л и ц а 7.6 – Определение класса профессионального риска в зависимости от уровня травм

Наименование	Год			Средний показатель
	2009	2010	2011	
Классификация риска	250	128	38	138
Класс профессионального риска	-	-	-	7

По условиям таблицы 7.6 класс профессионального риска равен 7.

Для предотвращения электрических травм, которые могут быть вызваны при касании человеком металлических конструкций или корпусов электрооборудования, оказавшихся под напряжением в следствии повреждения изоляции и для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током на проектируемом объекте применяется защитное заземление. Заземляющее устройство представляет собой совокупность заземлителя – проводников, соединенных между собой и находящихся в непосредственном соприкосновении с землей и заземляющих проводников, соединяющих заземляющие части электроустановки, в частности электропитающего устройства с заземлителем.

При нормировании и проектировании заземляющего устройства учитывают вероятность травмирования человека электрическим током. Известно, что ни в одной области техники и вообще в жизни нельзя обеспечить полной безопасности для людей. Поэтому задачу обеспечения безопасности в зоне заземляющих устройств следует понимать в смысле уменьшения вероятности возникновения условий, при которых человек подвергается опасности травмирования электрическим током.

Нормы на заземляющие устройства устанавливают требования, которым они должны удовлетворять. Основными являются требования определяющие условия электробезопасности.

Согласно ПЭУ в данной электропитающей установке сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом.

Исходя из того, что электрооборудование размещено на первом этаже здания, то целесообразно использовать в качестве заземляющего устройства естественные заземлители. Используются части металлических конструкций, находящиеся в земле.

7.1.3 Освещение

Важным техническим решением по обеспечению безопасности труда является производственное освещение. Освещение помещений, где находятся коммуникационное оборудование должно быть смешанным.

Расчет искусственного освещения произведен точечным методом.

По этому методу при кругло-симметричных точечных излучателях (лампы накаливания и ДРЛ) принимается, что световой поток лампы (или суммарный световой поток лампы) в каждом светильнике равен 1000лм. Создаваемую таким светильником освещенность называют условной. Величина условной освещенности зависит от светораспределения светильника и геометрических размеров: расстояние от точки до проекции освещающего ее светильника (α) и высоты расположения светильника над уровнем освещаемой поверхности (h). Световой поток лампы в каждом светильнике определяется :

$$\Phi = 1000 * E_y * K_z / \mu * \sum E_y, \quad (5.3)$$

где, μ – коэффициент, учитывающий действие «удаленных» светильников (1,1÷1,2);

$\sum E_y$ – суммарная условная освещенность в контрольной точке;

E_y – отдельного светильника.

По полученному световому потоку выбирается лампа, поток которой должен отличаться от требуемого в пределах (-10...+20%).

Исходные данные:

Помещение: Автозал;

Габариты: 40х20х5;

Количество светильников: 15;

Тип светильника: ДРЛ-250;

Разряд зрительной работы: V,a;

Коэффициенты отражения: $R_{\text{пот}} = 70$, $R_{\text{ст}} = 50$, $R_{\text{пон}} = 30$.

Решение:

Разряд зрительной работы V (a) поэтому нормируемая освещенность по таблице – 200 лк.

Точечным методом проверим соответствие данного количества и типа светильников нормируемой величине. См. Рисунок1.

Определение расчетной высоты подвеса:

$$h = H - (h_{\text{раб}} + h_{\text{свеса}})$$

$$h = 5 - (0,5 + 1,0) = 3,5 \text{ м}$$

Расстояние между светильниками (L):

В длину:

$$L = \lambda \cdot h, \text{ где } \lambda = 1.2 - 1.4$$

$$L = 1,4 \cdot 3,5 = 6,3 \text{ м, но так как помещение очень длинное возьмем } L = 8 \text{ м.}$$

2. В ширину:

$$L = \lambda \cdot h, \text{ где } \lambda = 1.2 - 1.4$$

$$L = 1,4 \cdot 3,5 = 6,3 \text{ м, но так как помещение очень длинное возьмем } Z = 7 \text{ м.}$$

Намечаем контрольную точку А. Для нее определяем суммарную условную освещенность всех светильников по следующим образом:

Находим проекцию расстояния на потолок от точки А до светильника- d.

Далее определяем угол между потолком и прямой d. По этому углу находим условную освещенность.

$$d_1 = 8 \text{ м} \quad \alpha_1 = \arctan\left(\frac{d_1}{h}\right) = \arctan\left(\frac{8}{4.5}\right) = 60^\circ \quad e_1 = \frac{I_\alpha \cdot (\cos(\alpha_1))^3}{h^2} = \frac{143 \cdot (\cos(60))^3}{4.5^2} = 0.83 \text{ лк}$$

$$d_2 = 16 \text{ м} \quad \alpha_2 = \arctan\left(\frac{d_2}{h}\right) = \arctan\left(\frac{16}{4.5}\right) = 75^\circ \quad e_2 = \frac{I_\alpha \cdot (\cos(\alpha_2))^3}{h^2} = \frac{80 \cdot (\cos(75))^3}{4.5^2} = 0.07 \text{ лк}$$

$$d_3 = \sqrt{7^2 + 8^2} = 10.63 \text{ м} \quad \alpha_3 = \arctan\left(\frac{10.63}{4.5}\right) = 65^\circ \quad e_3 = \frac{I_\alpha \cdot (\cos(\alpha_3))^3}{h^2} = \frac{101 \cdot (\cos(65))^3}{4.5^2} = 0.38 \text{ лк}$$

$$d_4 = \sqrt{16^2 + 7^2} = 17.46 \text{ м} \quad \alpha_3 = \arctan\left(\frac{17.46}{4.5}\right) = 75^\circ \quad e_3 = \frac{I_\alpha \cdot (\cos(\alpha_3))^3}{h^2} = \frac{80 \cdot (\cos(75))^3}{4.5^2} = 0.07 \text{ лк}$$

Суммарная условная освещенность равна:

$$\sum e = 4 \cdot 0.83 + 4 \cdot 0.38 + 2 \cdot 0.07 + 4 \cdot 0.07 = 5.26 \text{ лк}$$

Определим световой поток по формуле:

$$F = \frac{1000 E_n \cdot k_3}{\mu \cdot \sum e} = \frac{1000 \cdot 200 \cdot 1.5}{1.1 \cdot 5.26} = 51850 \text{ лм}$$

Для светильника ДРЛ-250 $F = 13000 \text{ лм}$, поэтому этот тип светильника не подходит.

Рассчитаем освещение помещения по методу коэффициента использования.

Определение расчетной высоты подвеса:

$$h = H - (h_{\text{раб}} + h_{\text{свеса}})$$

$$h = 6 - (0,5 + 1,0) = 4,5 \text{ м}$$

В длину:

Расстояние между светильниками (L):

$$L = \lambda \cdot h, \text{ где } \lambda = 1,2 - 1,4, Z = 1,3 \cdot 4,5 \approx 6 \text{ м.}$$

Расстояние от светильника до стены:

$$L = 0,3 \cdot Z, L = 0,3 \cdot 6 \approx 2 \text{ м.}$$

В ширину:

Расстояние между светильниками (Z):

$$L = \lambda \cdot h, \text{ где } \lambda = 1,2 - 1,4, Z = 1,2 \cdot 4,5 \approx 5 \text{ м.}$$

Расстояние от светильника до стены:

$$L = 0,5 \cdot Z, L = 0,5 \cdot 5 \approx 2,5 \text{ м.}$$

Для освещения автозала необходимо выбрать лампы накаливания, ДРЛ не подходит из-за своего недостатка.

При $i=3$ для светильников с лампами накаливания по таблице 2.5 находим значение η , которое равно 73%.

Определим коэффициент запаса (K_3):

$$K_3 = 1,3.$$

Количество светильников, которое должно быть установлено в помещении определяется по следующей формуле:

$$F = \frac{S \cdot E_n \cdot k_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{800 \cdot 200 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{28 \cdot 0,73} = 12111 \text{ lm}$$

где, E – заданная минимальная освещенность;

K_3 – коэффициент запаса;

S – площадь потолка;

Z – коэффициент неравномерности освещения;

n – число ламп в светильнике;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток;

η – коэффициент использования;

Разница расчетной величины и паспортной составляет 7%, что допустимо.

7.1.4 Пожарная безопасность

Оснащение предприятия средствами пожаротушения и автоматики определяется по ниже приведенной методике. Время с момента возникновения пожара до начала действий пожарных подразделений по его тушению при условии использования УПС определяется из выражения:

$$\tau_{н.т} = \tau_{ин} + \tau_{т} + \tau_{сб} + \tau_{след} + \tau_{б.р} ,$$

где, $\tau_{б.р}$ – время боевого развёртывания с учётом проведения разведки, мин (согласно существующим нормативам, $\tau_{б.р}=2-6$ мин)

$\tau_{ин}$ – инерционность УПС

$\tau_{т}$ – время с момента обнаружения пожара до передачи сигнала тревоги от сигнализации УПС в пожарную часть, мин., при централизованной системе передачи сигнала $\tau_{т}=0$; при децентрализованной системе извещения $\tau_{т}=2,5$ мин.

$\tau_{сб}$ – время с момента поступления сигнала тревоги в пожарную часть до выезда оперативного подразделения на пожар, мин ($\tau_{сб}=0,5$ мин)

$\tau_{след}$ – время с момента выезда оперативного подразделения до его прибытия к месту пожара, мин.

$$\tau_{след} = \frac{60L}{V} = \frac{60 \cdot 4}{40} = 6 \text{ мин}$$

где, L – расстояние от объекта до пожарной части, км.

V – средняя скорость следования пожарного автомобиля, км/ч

(по статистическим данным, для города равна примерно 34 км/ч, для сельской местности- 40 км/ч)

При выполнении условия неравенства объект подлежит оборудованию УПС, а при невыполнении- АУП

Определение необходимости применения ПА

$As = 1,5$

Вывод: Необходимо оснащение объекта ПА

Определение вида ПА

$$\tau_{н.т} = 0,5 + 2,5 + 0,5 + 6 + 4 = 13,5 \text{ мин.}$$

$$\tau_{кр} = 11 \text{ мин}$$

Объект подлежит оборудованию АУП

В качестве примера, разработаем систему молниезащиты антенны, устанавливаемой на здании (высота с антенной - 25 метров).

В здании расположено коммуникационное оборудование, а также электропитающие установки постоянного и переменного напряжения. В

силу наличия действующих электроустановок, к которым можно отнести и оборудование радиодоступа, то устройство молниезащиты антенны и оборудования разумнее подключить к существующей системе молниезащиты здания и оборудования, с использованием одиночного тросового молниеотвода высотой менее 150 м с опорами. На рисунке 6.1 и рисунке 6.2 показаны схемы установки молниеотвода.

Количество молний в год для здания.наибольшая высота с антенной -15 м (h), ширина - 28 м (S), длина -32 м (L).

$$N = (S+6h) (L+6h) \times 10^{-6}$$

$$N = (28 + 90) (32 + 90) \times 10^{-6} = 0,014$$

Здание относится ко II категории; N1 - зона Б. Здание должно быть защищено от прямых ударов молнии, электрической и электромагнитной индукции и заноса высоких потенциалов через наземные и подземные металлические коммуникации.

Рассчитаем тип молниеотводов и габариты зоны защиты.

Тип молниеотвода — одиночного тросового молниеотвода высотой менее 90м с опорами.

Определим высоту зоны защиты h_0 над землей, м /31/:

$$h_0 = 0.92 h = 0.92 \times 15 = 13,8$$

Радиус торцевых областей зоны защиты r_0 на уровне земли, м:

$$r_0 = 1.7 \times h = 1.7 \times 15 = 25.5$$

Ширина зоны защиты на участке между опорами S1 на уровне земли:

$$S1 = 2r_0 = 51\text{м}$$

Определим радиус торцевых областей зоны защиты r_x на высоте h_x над землей, м:

$$R_x = 1.7 \times (h - h_x / 0.92) = 1.7 \times (37 - 15 / 0.92) = 35,19$$

Ширина зоны защиты на участке между опорами S2 на высоте h_x над землей:

$$S2 = 2R_x = 70,4\text{м}$$

Зоной защиты молниеотвода является часть пространства, внутри которого здание защищено от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности. Наименьшей и постоянной по значению степенью надежности обладает поверхность зоны защиты; по мере продвижения внутрь зоны надежность увеличивается. Зона защиты типа Б обладает степенью надежности — 95% и выше.

Высота одиночного тросового молниеотвода определяется формулой:

$$H = (R_x + 1.85h_x)/1.7 = (35,19 + 1.85 \times 15)/1,7 = 37 \text{ м}$$

В качестве молниеприемника используем стальной многопроволочный оцинкованный трос, с площадью сечения = 35 кв. мм и сечением 7 мм. Электроды заземлителей — сталь сечением 10 мм. На рисунке 6.3 показана схема зон защиты молниеотвода.

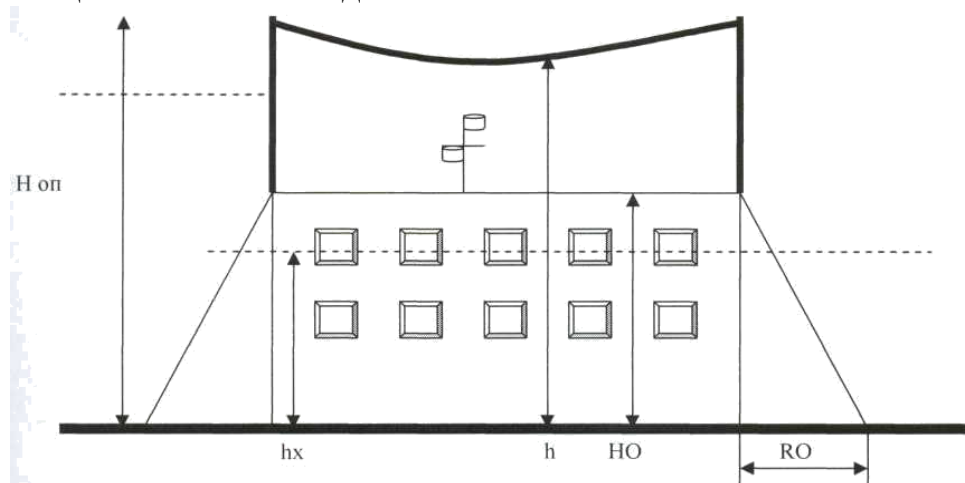


Рисунок 7.2- Схема установки молниеотвода (лицевая сторона).

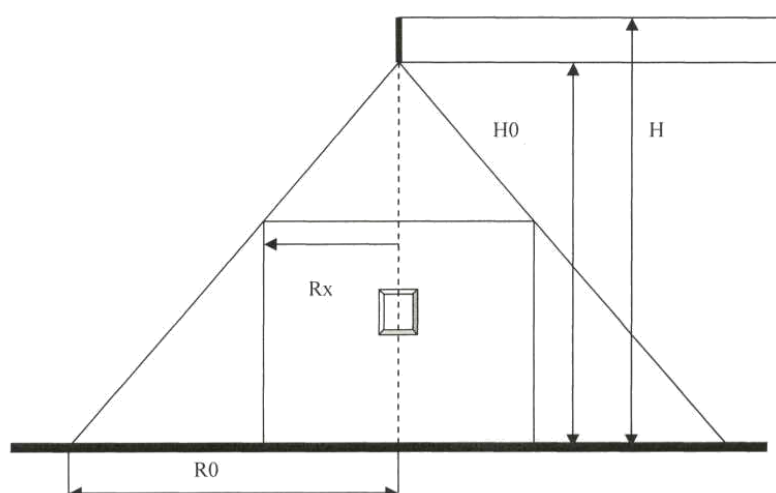


Рисунок 7.3 - Схема установки молниеотвода (торцевая сторона).

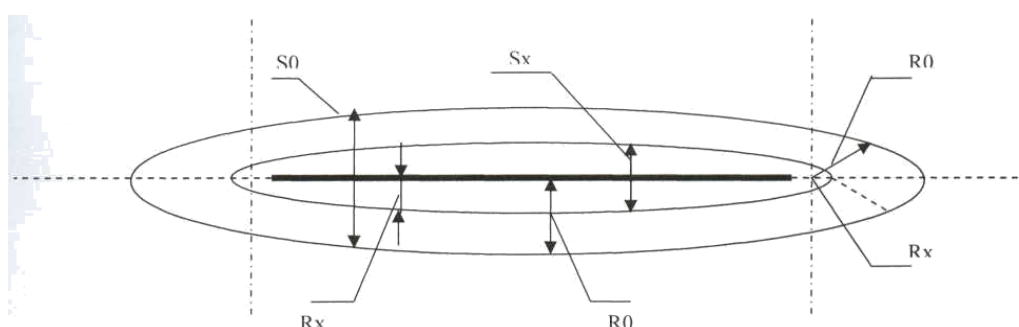


Рисунок 7.4 - Схема зон защиты молниеотвода

Заключение

В выпускной работе рассмотрена возможность построения мультисервисной сети беспроводного доступа на основе технологии WiMAX в городе Тараз. В работе сделано описание технологических процессов оборудования связи, разработана схема организации сети.

Разработана сеть построения для реализации услуг широкополосного доступа передачи данных. Приведены расчеты частотных каналов, нагрузки на сектор базовой станции, помехоустойчивости, вероятности ошибок и эффективности использования радиоспектра.

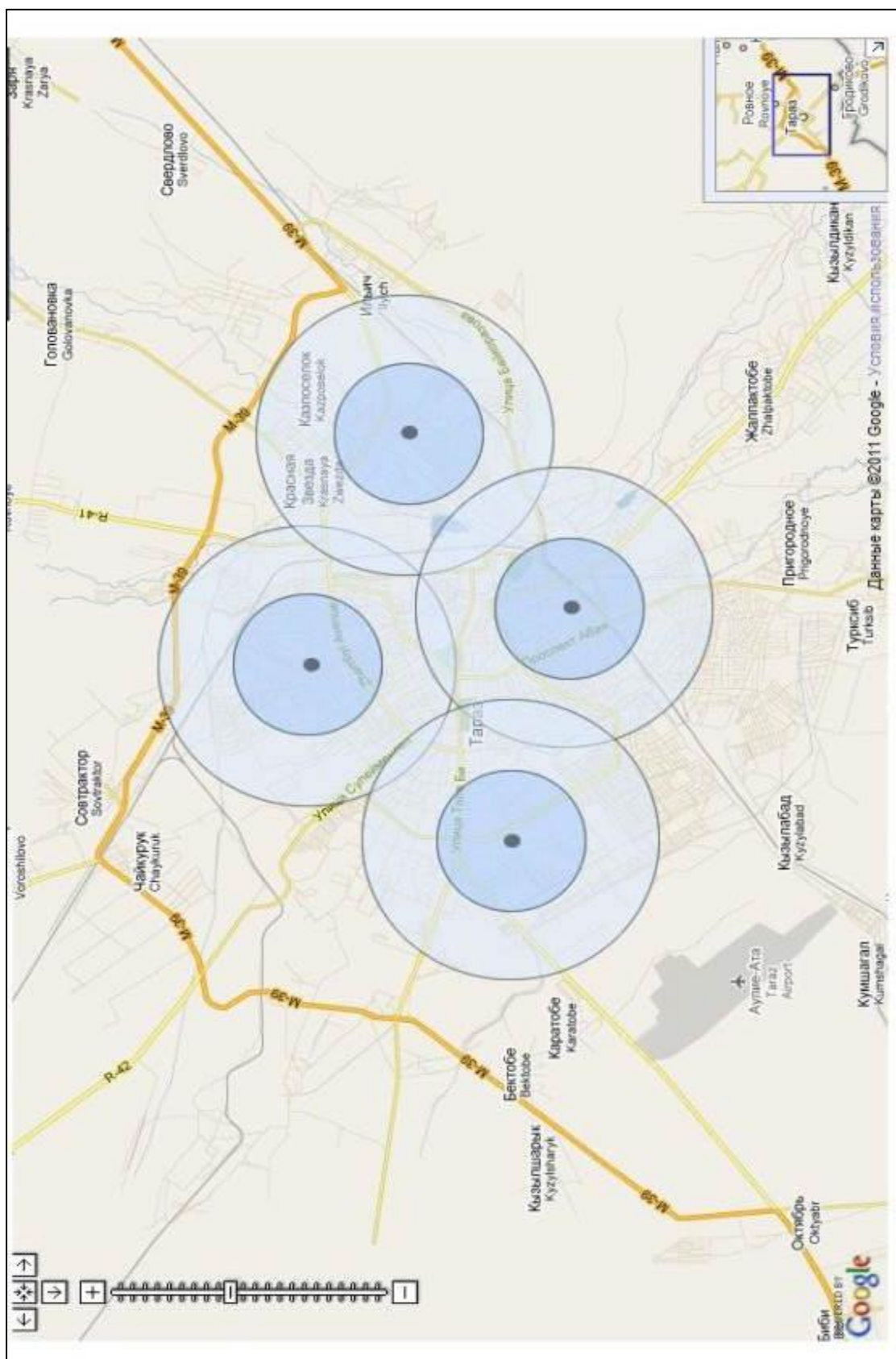
В бизнес плане произведено технико-экономическое обоснование проекта. Приведены ориентировочные тарифы с учетом сравнения других провайдеров. Рассчитанный бизнес план позволяет окупить проект за 1 год. Также приведен расчеты расходов и доходов.

В разделе безопасности жизнедеятельности сделаны расчеты молниезащиты здания и искусственного освещения рабочего места технического обслуживающего персонала.

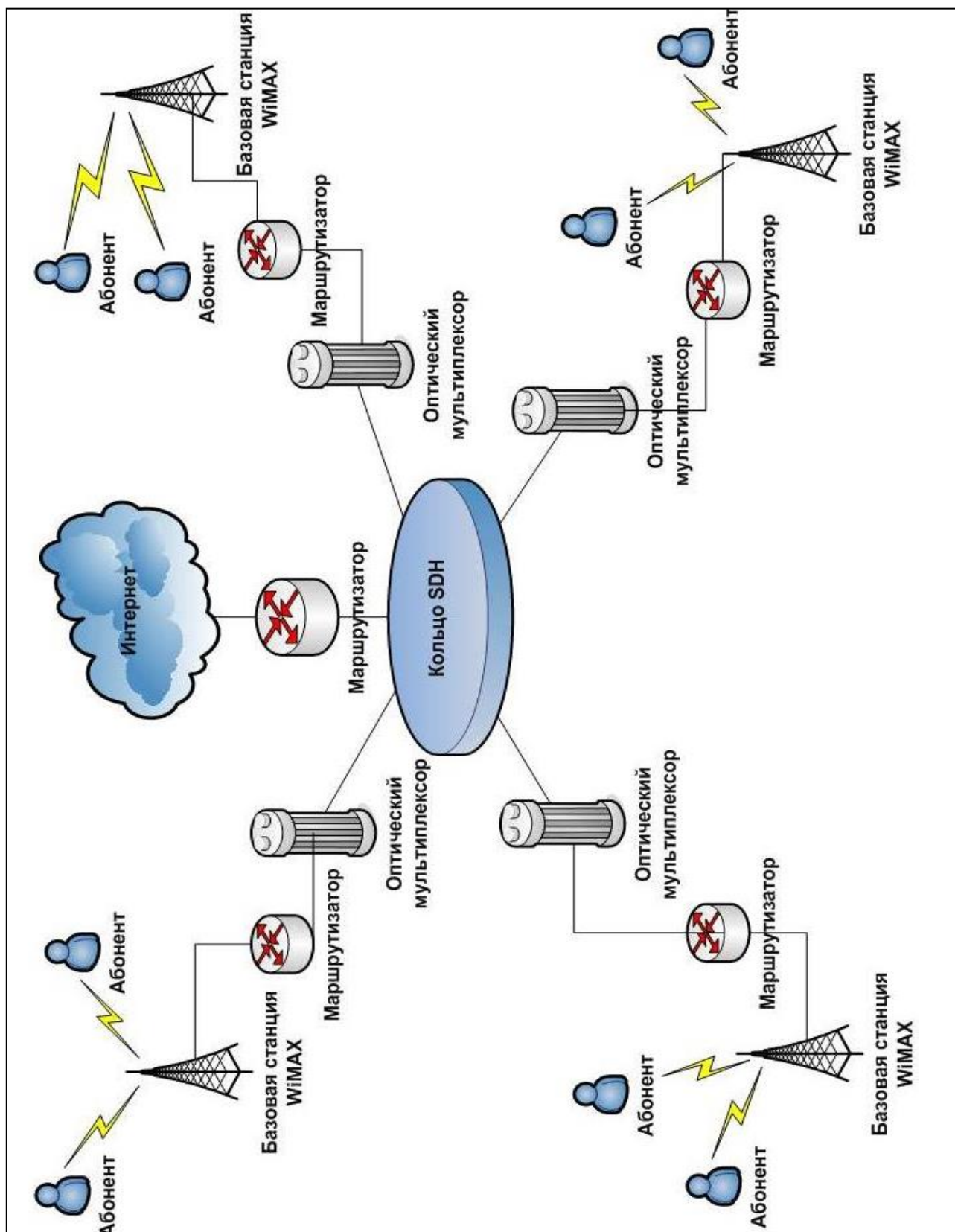
Список литературы

1. <http://ru.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
2. Системы и сети передачи информации, Москва, «Радио и Связь», 2001
3. http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.16
4. http://ru.wikipedia.org/wiki/Wireless_MAN
5. В.Вишневский, С.Портной, И.Шахнович — Энциклопедия WiMax. Путь 4G
6. <http://www.kwm.kz/>
7. <http://www.wimaxforum.ru/>
8. Рошан П. Лиэри Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.16. М. 2005
9. Вишневский В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М. 2005
10. Портной С.Л. Теоретико-информационные основы систем широкополосного беспроводного доступа. М. 2004 г.
11. Златин И. Л. SystemView 6.0 - системное проектирование радиоэлектронных устройств. М. 2006 - 424 с.
12. Разевиг В. Д., Лаврентьев Г. В., Златин И. Л. SystemView - средство системного проектирования радиоэлектронных устройств. М. 2002 - 352 с.
13. Загидуллин Р.Ш. SystemView – системотехническое моделирование устройств обработки сигналов. М. 2005 - 294 с.
14. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности. – М., 2006
15. Баклашов Н.И., Китаева Н.Ж., Терехов Б.Д. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды. – М, 1989
16. Кошулько Л.П., Суляева Н.Г., Генбач А.А. Производственное освещение. Методические указания к выполнению раздела «Охрана труда» в дипломном проекте. – Алматы, 1989
17. Колосков А.А., Добронравов А.С., Стрельчук Е.Н. Организация и планирование радиосвязи и вещания. - М.: Радио и связь, 1985
18. Экономика связи/Под ред. О.С. Срапионова, - М.: Радио и связь, 1992
19. Экономика связи. /под ред. Срапионова О.С. М.:1975
20. Алибаева С.А. Методические указания по дипломному проектированию (для студентов всех форм обучения направления 652400 – Радиоэлектроника и телекоммуникации). – Алматы: АИЭС, 2001
21. Джангозин А. Д. Фирменный стандарт: Работы учебные. – Алматы: АИЭС, 2002

Приложение А. Проектируемая система базовых станций в г.Талдыкорган



Приложение Б. Структурная схема проектируемой системы связи



Приложение В. Листинг программы расчета дальности связи

```
program dalnost;
var
i: integer;
Pn, Ec, Bf, Bh2, Bh22; delBf, Bpn, Breldelh1, Breldelh2, E1, E1, Ec2, h2, E11: real;
begin
Pn:=30;
Ec:=20;
Bf:=7;
Bh2:=0.969;
Breldelh1:=-6.5;
Breldelh2:=-2;
Ec1:=20;
h2:=1.7;
sigE:=60;
for i:=1 to 3 do
begin
delBf[i]:=0.043*(50*i-50);
writeln 'Затухание фидера ', delBf[i];
end;
Bpn:=10*log(1000/Pn);
writeln 'Поправка ', Bpn;
E1:=Ec+Bpn+Bf+Bh2+Brel+Breldelh1-Dy;
E2:=Ec+Bpn+Bf+Bh2+Brel+Breldelh2-Dy;
writeln E1;
writeln E2;
Ec2:=Ec1-9;
writeln Ec2;
Bh22:=10*log(1.5/h2);
writeln h2;
delBsig:=10*log(sigE/360);
writeln delBsig;
E11:=Ec+Bpn+Bf+Bh2+Brel+Breldelh1-Dy;
writeln E11;
end.
```

Приложение Г. Размещение стоечного оборудования

