ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ

Энциклопедия

Том 1

Инфокоммуникационные сети:
классификация, структура, архитектура,
жизненный цикл, технологии

С. П. Воробьев, А. Е. Давыдов, В. В. Ефимов, В. И. Курносов

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

для руководителей и специалистов предприятий,
преподавателей, аспирантов и студентов ВУЗов
отрасли инфокоммуникаций

Инфокоммуникационные сети

Том 1

Инфокоммуникационные сети: классификация, структура, архитектура, жизненный цикл, технологии

Под редакцией
Лауреата Государственной премии СССР
и премии Правительства Российской Федерации
профессора С. П. Воробьева

Светлой памяти
профессора Г. П. Захарова
посвящается

Наукоемкие технологии
Санкт-Петербург
2019

УДК 004.7
ББК 32.88
И74

Редакционная коллегия энциклопедического издания:
С. П. Воробьев, А. Н. Буренин, П. А. Будко, А. Е. Давыдов, Е. Б. Давыдов, В. В. Ефимов, И. А. Кулешов, В. И. Курносов, С. И. Макаренко, В. В. Масановец, С. П. Присяжнюк

Авторы и составители
первого тома энциклопедии:
С. П. Воробьев (ответственный редактор), *А. Е. Давыдов*, *В. В. Ефимов* (ответственный секретарь), *В. И. Курносов*

Рецензенты первого тома энциклопедии:
доктор технических наук, профессор *Е. Б. Давыдов*,
доктор технических наук, профессор *С. П. Присяжнюк*

И74 Инфокоммуникационные сети: энциклопедия. Том 1: Инфокоммуникационные сети: классификация, структура, архитектура, жизненный цикл, технологии / С. П. Воробьев, А. Е. Давыдов, В. В. Ефимов, В. И. Курносов; Под ред. С. П. Воробьева. – Изд. 2-е, перераб и доп. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2019. – 739 с.

ISBN 978-5-6042710-9-4

УДК 004.7
ББК 32.88
В75

Первый том энциклопедии знакомит читателя с классификацией инфокоммуникационных сетей по признаку уровня интеграции телекоммуникационных служб и дает достаточно полную характеристику этих сетей на различных этапах их развития. Впервые в описание системы включен жизненный цикл как объект исследования ее эффективности. Подробно рассмотрены инфокоммуникационные технологии, разделенные на две категории: информационные и телекоммуникационные. Последние главы знакомят читателя с опытом отечественных исследований и разработок инфокоммуникационных сетей.

Книга предназначена для широкого круга специалистов, занимающихся научными исследованиями, разработками, проектированием и эксплуатацией инфокоммуникационных сетей. Она будет полезна студентам, аспирантам и преподавателям профильных вузов, а также руководителям телекоммуникационных и IT-компаний.

© Коллектив авторов, 2019.

ISBN 978-5-6042710-9-4

Предисловие к второму изданию энциклопедии

Конвергенция информационных и телекоммуникационных технологий вызвала появление нового термина «Инфокоммуникационная сеть», который за последние 15 лет хорошо «прижился» в технических журналах и книгах, а материалы и наработки по новой тематике позволили поставить вопрос о необходимости их обработки и упорядочивания в рамках первого и второго энциклопедического издания.

Энциклопедия (от греческого enkykliospaideia – обучение по всему кругу знаний) – научное или научно-популярное справочное издание, содержащее наиболее существенную информацию по всем (универсальные энциклопедии) или отдельным (отраслевые энциклопедии) областям знания или практической деятельности (Большая советская энциклопедия, том 30, 1978 г.).

Предлагаемый труд относится к категории отраслевых энциклопедий, а именно, к отрасли инфокоммуникаций, охватывая при этом, в основном, общесистемную, общесетевую тематику, так необходимую для разработчиков и эксплуатационников общегосударственных, ведомственных, корпоративных и частных сетей инфокоммуникаций.

Энциклопедия будет хорошим учебным пособием для студентов, аспирантов и преподавателей телекоммуникационных университетов. Она должна стать настольной книгой для руководителей подразделений самого разного ранга, занимающихся организацией разработок, проектирования и эксплуатации инфокоммуникационных сетей.

Воспитать хороших «пловцов» в бескрайнем море инфокоммуникаций – вот амбициозная задача энциклопедии.

Одна из главных целей авторов – подготовка нового поколения системных разработчиков, способных поднять уровень отечественных разработок систем и сетей инфокоммуникаций до мировых стандартов с решением проблем безопасности передачи и хранения информации.

С сожалением приходится констатировать, что поколение отечественных разработчиков, стоявших у истоков современной инфокоммуникационной революции, находится на грани вымирания, а новое поколение в 90-е годы XX в. – начало XXI столетия по известным причинам сформироваться не могло.

Открытие западного телекоммуникационного рынка для России позволило в короткий срок решить проблемы телефонизации, внедрить совершенно новые услуги Интернет и мобильной связи, но собственную промышленность и собственных разработчиков (основную интеллектуальную мощь промышленности) мы потеряли.

С полок книжных магазинов исчезли книги по радиотехнике, электросвязи и другим техническим дисциплинам, так как спрос на них резко упал. Причина – исчезновение довольно мощного слоя инженеров-разработчиков, которым нужны были эти книги. Вместо серьезной технической литературы появилось множество пособий для «чайников», чтобы обучить их основам работы на персональных компьютерах (ПК) и увеличить сбыт этих самых ПК.

Возникшие огромные индустрии электронных развлечений и самых разных компьютерных игр постоянно стимулируют спрос на такую продукцию и ПК. Говорить в этих условиях о какой-то справедливой конкуренции не приходится.

В последнее время появилась надежда, что высшие круги, принимающие в стране государственные решения, начинают осознавать эту проблему и, судя по выступлениям Президента РФ, поворачиваются к ней лицом. Хочется надеяться, что предлагаемая энциклопедия хоть в какой-то мере будет способствовать осуществлению новых разумных планов возрождения отрасли инфокоммуникаций.

Не претендуя на полный охват всех проблем инфокоммуникационных сетей, теория которых находится сегодня в начальной стадии становления, авторы назвали энциклопедию «Инфокоммуникационные сети».

В формировании содержания и структуры энциклопедии авторам существенно помогли замечательные издания: книга отечественных авторов В. Олифера и Н. Олифера «Компьютерные сети» (4-е издание) и переводная книга под таким же названием Э. Танненбаума и Д. Уэзеролла (5-е издание).

В этих книгах авторы – «коренные» компьютерщики – представили свой подход к рассмотрению коммуникационных сетей как средства взаимосвязи компьютеров, а полученные, во многом фундаментальные, решения по передаче речи, телевизионных сигналов и пр. – как некоторые побочные результаты замечательных свойств компьютерных сетей. Это довольно распространенный подход, который развивается уже более 50-ти лет, в какой-то мере дистанцирован от связи, представляя ее как некоторое связное ядро своих компьютерных систем.

Авторы энциклопедии, «коренные» связисты, начинавшие вхождение в профессию с изучения телеграфных стартстопных аппаратов и телефонных декадно-шаговых станций, являются представителями другого подхода к исследованию и проектированию коммуникационных сетей, история которого началась еще с первой половины XIX века, когда появился первый электромагнитный телеграф барона Шиллинга (1832 г.). С этим подходом связаны все этапы развития проводной, беспроводной, спутниковой и космической связи, сетей телефонной, телеграфной, факсимильной связи, радио- и телевизионного вещания.

Основное отличие этих двух подходов заключалось в следующем. «Компьютерщики» исследовали и проектировали коммуникационные сети с учетом передачи одного вида информации – компьютерных данных. Задача «связистов» – обеспечить общение людей через передачу всех других видов информации, включая документальную (телеграф), речевую (телефония), факсимильную, телевизионную, а начиная с 60-х годов прошлого столетия, и передачу данных для взаимодействия человек – ЭВМ, ЭВМ – ЭВМ. Все эти виды информации отличаются разными требованиями к системам передачи, поэтому первоначально для каждого вида строилась своя автономная сеть: телеграфная, телефонная, факсимильная, радио- и телевещания и др. И только после «брака» вычислительной техники и средств связи в 70-х годах XX в. и изобретения метода передачи и коммутации пакетов, оказавшегося универсальным для всех видов информации, стало возможным приблизиться к главной цели «связистов»: начать процесс интеграции различных сетей, в том числе компьютерных, в единую цифровую сеть, которую мы назвали инфокоммуникационной сетью, объединив в ней функции информационных и телекоммуникационных служб.

С некоторой оговоркой можно считать, что метод коммутации пакетов был почти одновременно и независимо предложен «компьютерщиками» Л. Клейнроком и П. Бэрэном в США (начало 60-х гг. XX в.) и сотрудником Британского почтового ведомства («связисты») Д. Дэйвисом. При этом и Д. Дэйвис и П. Бэрэн, независимо друг от друга, выбрали одинаковую для пакетов длину – 128 байт! Почти одновременно велись и работы по созданию первых компьютерных сетей с коммутацией пакетов в США (Арпанет, 70-е годы XX в.) и ведомственной сети с коммутацией пакетов для передачи документальной информации в СССР («Родник-2», конец 70-х годов XX в.).

Каждый из подходов внес свой большой вклад в процессы информатизации общества. Представляется логичным, что настало время для объединения этих подходов с целью формирования единой концепции и теории построения инфокоммуникационных сетей следующих поколений. Представляемая энциклопедия рассматривается авторами как их посильный вклад в решение этой глобальной задачи.

По мере накопления новых знаний предполагаются последующие издания энциклопедии без изменения наименований первых томов, но с возможностью увеличения их числа. Учитывая, что каждый том отражает большую и достаточно самостоятельную область проблем, решение которых не поддается регулированию и точному планированию, предполагается также, что тома могут издаваться независимо во времени.

Учитывая, что пока еще не существует единой теории анализа и оптимизации инфокоммуникационных сетей, авторы приняли решение формировать тома по этой тематике в виде сборников трудов разных авторов, как это сделано в третьем томе энциклопедии.

Авторы приглашают к сотрудничеству ученых и специалистов отрасли инфокоммуникаций для формирования и выпуска следующих изданий энциклопедии.

Первое издание энциклопедии разрабатывалось, формировалось и издавалось только за счет энтузиазма и средств самих авторов, что, как показывает опыт многих поколений, не может долго продолжаться. Поэтому предложения по решению проблемы издания энциклопедии от будущих авторов, руководства отраслевых организаций, издательств, спонсоров любого ранга будут приняты с глубокой благодарностью.

Авторы глубоко признательны рецензентам: Лауреату Ленинской премии СССР доктору технических наук, профессору Е. Б. Давыдову и Заслуженному деятелю науки РФ доктору технических наук, профессору С. П. Присяжнюку, ценные замечания и рекомендации которых способствовали улучшению содержания энциклопедии.

Также авторы выражают благодарность сотрудникам АО «НИИ «Рубин» Т. А. Якобсон и Ю. В. Павлович за помощь в подготовке и оформлении энциклопедии.

Отзывы, замечания и предложения авторы просят направлять по электронной почте: vi-kurnosov@mail.ru.

* * *

«Слово – это Информация

И Информация – вездесущая.

Бог – это информация

И Информация – это

Бог вездесущий.

Информация – это Вселенная

И Вселенная – это информация

Вакуумная, материзованная

И дематеризованная…»*

*Юзвишин И. И. Информациологический словарь. –
М.: Информациология, 1998.

Том 1

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……...18

ЧАСТЬ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Глава 1. Глобальная информационная инфраструктура……..21

1.1. Информационное общество……...……..21
1.2. Информатизация……...26
1.3. Концепция Глобальной информационной инфраструктуры…….....29
1.4. Телекоммуникационные сети следующего поколения …….....32
1.5. Основные положения концепции NGN…….....35
1.6. Нормативные документы NGN……...36
1.7. Место NGN в составе Единой сети электросвязи РФ…….....38
1.8. NGN и бизнес…….....40
1.9. Проблемы NGN…….....42
Литература…….....44

Глава 2. Инфокоммуникационные сети…….……46

2.1. Сети связи России…….……46
2.1.1. Взаимоувязанная сеть связи России...…….……46
2.1.2. Система управления связью Российской Федерации……48
2.2. Роль и место понятия «данные», при описании технологий построения современных инфокоммуникационных сетей…….……..52
2.3. Основные понятия и определения…….……57
2.4. Классификация сетей электросвязи…….……...58
2.5. Классификация инфокоммуникационных сетей…….……..62
2.6. Классификация инфокоммуникационных технологий…….……64
2.7. Службы и услуги инфокоммуникационных сетей…….……...65
2.7.1. Телекоммуникационные службы инфокоммуникационных сетей……...66
2.7.2. Информационные службы инфокоммуникационных сетей……..69
Литература…….……72

Глава 3.Тенденции развития инфокоммуникаций…….……..74

3.1. Этапы эволюции информационных технологий…….……..74
3.2. Вычислительная техника и передача данных……...78
3.3. Цифровизация систем и оборудования электросвязи……..79
3.4. Эволюция методов коммутации……80
3.4.1. Кроссовая коммутация и коммутация каналов……...81
3.4.2. Коммутация сообщений……....83
3.4.3. Коммутация пакетов……..84
3.4.4. Гибридная коммутация……..87
3.5. Интеграция сетей и служб электросвязи……...88
3.6. Развитие Интернета……89

3.7. Мобильная связь...……92
3.8. Услуги мультимедиа……93
Литература…….94

ЧАСТЬ 2. СТРУКТУРА, АРХИТЕКТУРА И ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Глава 4. Структура инфокоммуникационных сетей на последовательных этапах интеграции...……..…..95

4.1. Системы связи нулевого этапа интеграции....……..……..95
4.1.1. Общая структура инфокоммуникаций нулевого этапа....……...95
4.1.2. Системы телеграфной связи…....……...…97
4.2. Развитие служб документальной электросвязи…….....…99
4.3. Системы связи первого этапа интеграции……....…104
4.3.1. Телефонная сеть общего пользования России……...……104
4.3.2. Сети междугородной телефонной связи «Искра» и подвижной радиотелефонной связи…….…...…112
4.3.3. Узкополосные сети интегрального обслуживания N.ISDN..…….……..113
4.4. Инфокоммуникационные сети с интеграцией факсимильных, телеграфных, телематических служб и передачи данных (сети класса ИКС-2)..……116
4.5. Инфокоммуникационные сети с интеграцией телефонных служб и передачи данных (сети класса ИКС-3)……...……...……118
4.5.1. Предпосылки к интеграции пакетной передачи речи и данных…...…….....…118
4.5.2. Отечественные разработки по интеграции пакетной передачи речи и данных……...……....119
4.5.3. СетиVoIP – сети класса ИКС-3-ПД……...……..120
4.5.4. Структура Интернета……...……..……..122
4.6. Инфокоммуникационные сети с интеграцией аудио-, видеослужб и передачи данных (сети класса ИКС-4)……...…...…125
4.6.1. Проблемы сжатия информации……...…….……...…125
4.6.2. Технология IPTV……..……....128
4.6.3. Услуги Triple Play……..……...131
4.6.4. Инфраструктура инфокоммуникаций 4-го этапа интеграции…..……133
4.7. Инфокоммуникационные сети с интеграцией служб передачи всех видов информации (сети класса ИКС-5)……..……...…134
4.8. Уровневый подход к построению инфокоммуникационных сетей……..……138
4.8.1. Географическая уровневая структура……..……...138
4.8.2. Функциональная уровневая структура……..……140
4.8.3. Классификация компьютерных сетей по признаку размерности…..……..141
4.8.4. Структурные элементы Интернета…….....143
4.8.5. Различие уровневых структур традиционных и современных сетей…….....145
Литература…….....147

Глава 5. Архитектура инфокоммуникационных сетей……..……149

5.1. Понятие архитектуры инфокоммуникационных сетей…….....149
5.2. Уровневый подход к построению архитектуры……..…150
5.3. Использование ЭМВОС для описания архитектуры инфокоммуникационных сетей…….....151
5.4. Уровневая организация ЭМВОС…….....152

5.5. Понятие профиля стандартов……...…155
5.6. Функции уровней ЭМВОС……...…157
5.7. Эталонная модель TCP/IP……..162
5.8. Стеки протоколов……..…..165
Литература……..…..168

Глава 6. Жизненный цикл инфокоммуникационных сетей……..…..170

6.1. Понятие жизненного цикла системы…….……...170
6.1.1. Жизнеописание системы…….……..170
6.1.2. Проектирование систем…….……....173
6.1.3. Опытно-конструкторские работы…….……....176
6.1.4. Производство, установка и эксплуатация системы…….……...179
6.2. Структура и модели жизненного цикла инфокоммуникационных сетей…..……....180
6.2.1. Этапы жизненного цикла инфокоммуникационных сетей……..…...181
6.2.2. Структура жизненного цикла инфокоммуникационных сетей…….…....184
6.2.3. Модели структуры жизненного цикла инфокоммуникационных сетей……....187
6.2.4. Модели структуры жизненного цикла инфокоммуникационных сетей с расширением и развитием служб и услуг……..…189
6.3. Жизненный цикл как объект исследования эффективности инфокоммуникаций……..…....192
6.4. Основные принципы повышения эффективности инфокоммуникационных сетей…….....197
6.5. Социально-финансовая база как решающий фактор повышения эффективности жизненного цикла инфокоммуникационных сетей……..…….....199
6.5.1. Авторский подход к оценке социально-финансовой базы……...…....200
6.5.2. Зачем нужны инфокоммуникации? Мнение зарубежных специалистов……..…....208
6.6. Задачи исследования жизненного цикла инфокоммуникационных сетей…….....…...210
Литература……..…....212

Глава 7. Качество обслуживания в инфокоммуникационных сетях……..……..214

7.1. Качество обслуживания: основные понятия и определения……...…..…214
7.2. Анализ параметров, характеризующих QoS в пакетных сетях……...…..…215
7.3. Классы обслуживания…….....….216
7.3.1. Классы обслуживания, определенные МСЭ-Т…….....….216
7.3.2. Классы обслуживания, определенные IETF……..…...…...218
7.4. Методы и механизмы поддержки качества обслуживания…….……..…219
Литература……..……....…226

ЧАСТЬ 3. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Глава 8. Информационные технологии инфокоммуникационных сетей……...…...…...227

8.1. Основные определения……...…...227
8.2. Базовые информационные технологии…….....228
8.3. Информационная служба инфокоммуникационной сети…….....230
8.4. Банки информации инфокоммуникационных сетей……...…231

8.5. Порталы как средство организации информационных служб инфокоммуникационных сетей……...232
8.5.1. Определение и классификация порталов…….....232
8.5.2. Корпоративные порталы…….……...…233
8.5.3. Телевизионные порталы…….…...…234
8.5.4. Концепции построения телевизионных порталов…….....…..235
8.6. Информационные службы государственных и административных структур…….……...…..…236
8.6.1. Понятие электронного правительства…….....….236
8.6.2. Формирование электронного правительства в США……..….....…236
8.6.3. Электронное правительство в Европе……..….....……238
8.6.4. Электронное правительство в России…….....……239
8.6.5. Государственные порталы…….....…..240
8.6.6. Портал министерства/ведомства, не имеющего территориальных подразделений……...….....242
8.6.7. Портал крупного министерства/ведомства…….....……243
8.6.8. Портал правительства…….....….....244
8.7. Информационные технологии в системе образования…….....246
8.7.1. Информатизация в системе образования…….....246
8.7.2. Дистанционное и электронное обучение…….....…250
8.7.3. Предложения корпорации Microsoft по использованию информационных технологий в образовании…….....252
Литература……...…...255

Глава 9. Телекоммуникационные технологии построения глобальных сетей…..…...…..257

9.1. Технологии цифровой сети интегрального обслуживания (N.ISDN)……...……257
9.2. Технологии широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания (B.ISDN) ……...……262
9.3. Технологии Интернета……...……269
9.4. Технологии мультисервисных сетей кабельного телевидения…….……...…..273
Литература……...…281

Глава 10. Протоколы передачи и коммутации в технологиях построения глобальных сетей…….…...…..282

10.1. Протокол пакетной передачи и коммутации X.25……...……282
10.2. Протокол передачи и коммутации кадров Frame Relay……...……289
10.3. Стек протоколов TCP/IP……..……...…….297
10.4. Технология коммутации и мультиплексирования ячеек в асинхронном режиме передачи (ATM)……...……315
10.5. Технология быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях (MPLS)……..…...…..325
Литература……..…...….331

Глава 11. Технологии построения локальных сетей……..…….....…332

11.1. Стандартизация технологий локальных сетей…….……....…332
11.2. Общие принципы построения локальных сетей…….…….....…….334
11.2.1. Топологии локальных сетей……..…….....…..334

11.2.2. Методы распределения сообщений……..……..…..…..335
11.2.3. Уровень управления логическим каналом…….…….....…337
11.3. Архитектура и технологии построения сетей Ethernet…….....…343
11.3.1. Ethernet…….…….....….344
11.3.2. Fast Ethernet…….....……351
11.3.3. Gigabit Ethernet…….…….....…..354
11.4. Архитектура и технологии построения сетей Token Ring…….…….....……357
11.5. Архитектура и технологии построения сетей FDDI…….…….....……..362
Литература…….…….....……368

Глава 12. Транспортные технологии…….....……369

12.1. Развитие транспортных технологий…….....……369
12.2. Плезиохронная цифровая иерархия…….....……372
12.3. Синхронная цифровая иерархия…….....……375
12.3.1. Структура синхронной цифровой иерархии…….....……375
12.3.2. Эволюция аппаратуры SDH…….....…….379
12.3.3. Возможности технологии SDH…….....……380
12.4. Технология NGSDH…….....…….381
12.4.1. Характеристика VCAT…….....…….381
12.4.2. Регулировка пропускной способности линии LKAS…….....……382
12.4.3. Процедура разбиения на кадры GFP…….....……..382
12.5. Оптические технологии в транспортных сетях…….....……386
12.5.1. Общие сведения о волоконной оптике…….....……..386
12.5.2. Этапы развития и внедрения оптических технологий…….....…….388
12.5.3. Компоненты волоконно-оптических систем передачи…….....……390
12.5.4. Технология DWDM…….....…….396
12.5.5. Технологии оптических транспортных сетей…….....……401
12.6. Технология отказоустойчивого пакетного кольца RPR…….....……404
12.6.1. Назначение RPR…….....……..404
12.6.2. Принцип работы отказоустойчивого пакетного кольца…….....….404
12.6.3. Управление полосой и QoS…….....……405
Литература…….....……406

ЧАСТЬ 4. СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

Глава 13.Основы построения сетей абонентского доступа…….....……407

13.1. Концептуальные положения построения сетей абонентского доступа….....……407
13.2. Пути решения проблемы «последней мили»…….....…..410
13.3. Прогноз трафика сетей абонентского доступа…….....……413
13.4. Типовые схемы удаленного абонентского доступа…….....……414
13.4.1. Универсальные схемы удаленного доступа…….....…….414
13.4.2. Коммутируемый аналоговый доступ через телефонную сеть.....……416
13.4.3. Доступ к сети с коммутацией пакетов через ISDN…….....……416
13.4.4. Доступ через сети КТВ…….....……..418
13.5. Построение сетей абонентского доступа на базе унифицированных комплексов каналообразующей аппаратуры…….....……..420
13.6. Беспроводный доступ…….....……424
Литература…….....……427

Глава 14. Технологии проводных сетей абонентского доступа……428

14.1. Проблемы проводного абонентского доступа и пути их решения…..428
14.1.1. Модель среды передачи…….428
14.1.2. Методы формирования сигналов…….429
14.1.3. Методы обеспечения помехоустойчивости…….433
14.2. Классификация технологий проводных сетей абонентского доступа.....434
14.3. Технологии локальных сетей (группа LAN)…….436
14.3.1. Технология Ethernet в сетях доступа…….436
14.3.2. Форматы кадров технологии Ethernet…….437
14.3.3. Стандарт IEEE 802.3ah…….439
14.4. Технологии сетей коллективного доступа…….442
14.4.1. Достоинства и недостатки технологии PLC…….442
14.4.2. Области применения технологии PLC…….443
14.4.3. Принципы работы системы PLC…….445
14.5. Технологии группы DSL-доступа…….447
14.5.1. Понятия и определения…….447
14.5.2. Классификация технологий доступа к телекоммуникационным сетям по медному проводу…….451
14.5.3. Технологии симметричного DSL-доступа…….453
14.5.4. Технологии ассиметричного DSL-доступа…….458
14.5.5. Опыт США во внедрении и эксплуатации технологий DSL…….474
14.6. Технологии группы КТВ…….484
14.7. Оптические технологии группы OAN…….485
14.7.1. Группа технологий FTTx…….485
14.7.2. Пассивные оптические сети…….487
14.7.3. Активные оптические сети Ethernet…….489
Литература…….490

Глава 15. Технологии беспроводных сетей абонентского доступа……491

15.1. Отличительные особенности беспроводного доступа…….492
15.2. Стандартизация беспроводных технологий…….496
15.2.1. Технологии беспроводного доступа к ТФОП и Интернет…….497
15.2.2. Технологии беспроводного доступа к сетям радио- и телевизионного вещания…….499
15.3. Области применения беспроводных технологий…….502
15.4. Классификация технологий беспроводного доступа…….504
15.5. Технологии обеспечения локальной мобильности абонентов ТФОП (группаCLL)…….506
15.6. Технологии расширения зон обслуживания АТС (группа WLL)…….517
15.7. Технологии беспроводного доступа к услугам передачи речи, данных и видео (группа FBWA)…….521
15.7.1. Стандартизация технологий FBWA…….521
15.7.2. Архитектура и протоколы стандарта 802.16…….525
15.7.3. Технология Wi-MAX…….527
15.8. Технологии беспроводной высокоскоростной реализации локальной сети Ethernet (группа WLAN)…….531
15.8.1. Технология Wi-Fi…….532
15.8.2. Концепция Mesh…….540
15.8.3. Стандарт 802.11 в приложении Wi-Fi Mesh-сетей…….541

15.8.4. Сравнение технологийWi-Fi и Wi-MAX……543
15.8.5. Стандарты HiperLAN……544
15.9. Технологии создания пикосетей для интеллектуальных домов, офисов, автомобилей (группа WPAN)……548
15.9.1. История и стандарты технологий группы WPAN……548
15.9.2. Структура и характеристики системы Bluetooth……549
15.9.3. Архитектура и профили Bluetooth……553
15.10. Группа технологий сотового телевидения……556
15.11. Группа спутниковых технологий……560
Литература……563

ЧАСТЬ 5. СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Глава 16. Технологии построения сетей подвижной радиосвязи……565

16.1. Принципы построения и направления развития сетей подвижной радиосвязи……565
16.1.1. Классификация и тенденции развития сетей подвижной Радиосвязи……565
16.1.2. Концептуальная модель зоновых сетей подвижной радиосвязи……567
16.1.3. Частотно-территориальное планирование зоновых сетей связи……570
16.2. Технологии построения сотовых сетей связи……576
16.2.1. Классификация стандартов сотовой связи……576
16.2.2. Технологии построения сотовых сетей связи стандарта GSM……579
16.2.3. Технологии построения сотовых сетей связи стандарта IS-95……583
16.3. Технологии построения транкинговых сетей связи……585
16.3.1. Особенности технологий транкинговой связи……585
16.3.2. Характеристики стандартов транкинговой связи……589
16.3.3. Технологии построения транкинговых сетей связи стандартов MPT1327, TETRA, APCO25……589
16.4. Технологии построения пейджинговых сетей связи……592
16.4.1. Особенности технологий пейджинговой связи……592
16.4.2. Характеристика стандартов пейджинговой связи……594
16.4.3. Технологии построения пейджинговых сетей связи стандартов POCSAG, ERMES, FLEX, RDS……594
16.5. Технологии построения спутниковых сетей связи и навигации……597
16.5.1. Особенности технологий спутниковой связи и навигации……597
16.5.2. Характеристики стандартов спутниковой связи……601
16.5.3. Технологии построения спутниковых сетей связи стандартов Inmarsat, Iridium, Globalstar, GMR……601
16.5.4. Технологии построения спутниковой системы навигации стандартов Navstar, ГЛОНАСС……609
Литература……610

Глава17. Требования к перспективным системам подвижной радиосвязи и тенденции их развития……611

17.1. Из истории развития технологий подвижной радиосвязи……611
17.1.1. Первое поколение мобильных телефонов……612
17.1.2. Второе поколение мобильных телефонов: цифровая передача голоса (G2)……612

17.1.3. Третье поколение мобильной связи……616
17.2. Общие требования к перспективным радиотехнологиям……621
17.3. Место радиотехнологии в системе связи……623
17.4. Критерии оценки радиотехнологии……624
17.5. Требования ITU к радиотехнологиям подвижных систем IMT-2000……627
17.6. Радиотехнология UTRA……630
17.6.1. Обобщенная архитектура и интерфейсы сети……630
17.6.2. Трехуровневая архитектура радиоинтерфейса……633
17.6.3. Услуги и функции канального и сетевого уровней……635
17.6.4. Структура и параметры каналов в режимах FDD и TDD……637
17.6.5. Синхронизация и обеспечение хэндовера……644
17.6.6. Методы борьбы с замираниями……648
17.6.7. Сетевые технологии и услуги на базе UTRA……651
Литература……657

ЧАСТЬ 6. СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ

Глава 18. Тенденции развития спутниковой связи……658

18.1. Спутники связи……658
18.1.1. Геостационарные спутники……660
18.1.2. Средне- и низкоорбитальные спутники……660
18.2. Рынок услуг спутниковой связи и вещания……661
18.2.1. Общая оценка рынка……661
18.2.2. Рынок услуг подвижной спутниковой связи……662
18.2.3. Рынок вещательных услуг спутниковой связи……663
18.2.4. Российский рынок спутниковой связи и вещания……664
18.3. Анализ развития технологий спутниковой связи……665
18.4. Ключевые технологии перспективных спутниковых систем связи……668
18.5. Технологии освоения новых диапазонов частот в системах спутниковой связи……672
18.6. Радиотехнологии создания систем мобильной спутниковой связи 3-го поколения в программе IMT-2000……672
18.7. Концепция глобальной многофункциональной наземно-космической системы……677
18.7.1. Стратегия развития системы……678
18.7.2. Структура наземно-космической системы……680
18.7.3. Концепция эксплуатируемой системы……683
Литература……684

ЧАСТЬ 7. ОПЫТ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Глава 19. Краткий обзор исследований и разработок инфокоммуникационных сетей……685

19.1. Исследования методов анализа и оптимизации инфокоммуникационных сетей……685
19.2. Исследования методов коммутации и их применение……689
19.3. Исследования и разработки мультисервисных сетей кабельного телевидения……691

19.4. Исследования и разработки телекоммуникационных сетей следующего поколения……693
Литература……696

Глава 20. Развитие инфокоммуникаций в России: опыт проектирования и внедрения……699

20.1. Из истории зарождения отечественной техники передачи данных……700
20.1.1. Первые разработки аппаратуры передачи данных……700
20.1.2. Групповое оборудование передачи данных……702
20.1.3. Сети и системы передачи данных……704
20.2. Опыт организации успешных разработок инфокоммуникационных сетей……713
20.3. Телекоммуникации и национальная безопасность……718
20.4. Предложения по возрождению промышленности средств инфокоммуникаций в России……720
Литература……722

Список условных обозначений и аббревиатур……723
Сведения об авторах и составителях……734
Г. П. Захаров – воин, ученый, организатор……735

Введение

Первый том энциклопедии вводит читателя в объединенный мир инфокоммуникаций, хорошо знакомый ему по традиционным услугам телефона, телеграфа, факсимиле, радио и телевидения, но пока не совсем еще привычный всвоем новом интегральном виде, обеспечивающем все эти услуги одновременно в одном месте «через одну розетку».

Инфокоммуникационные сети как результат конвергенции информационных и телекоммуникационных технологий, продемонстрировали свою эффективность на примере Интернет, которая поражает нас всех своей необычайной популярностью, темпами и масштабами развития «всемирной паутины».

Суть успеха Интернет проста – она предоставляет пользователю не просто телекоммуникационные услуги, а, в первую очередь, услуги информационные. Она открыта для пользователя: любой пользователь может оставить свою информацию в серверах Интернет и получить любую информацию из серверов. При этом практически не важно, какая телекоммуникационная среда используется для организации связи между пользователями: это могут быть телефонные сети, N.ISDN, B.ISDN, сети ПД X.25, FR и другие.

Первый том энциклопедии разбит на семь частей, в каждую из которых входит одна или несколько глав, объединенных единой тематикой, но имеющих сквозную нумерацию.

Часть 1 (главы 1, 2, 3) подготовлена профессором С. П. Воробьевым.

В этой части даются определения и характеристики информационного общества, обсуждаются его проблемы, тревожащие здравомыслящих людей, рассматриваются концепции Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ) и телекоммуникационных сетей следующего поколения (NGN) в свете рекомендаций МСЭ-Т. Предлагается структура Глобального информационного пространства как взаимоувязанная совокупность традиционных сетей электросвязи и перспективных инфокоммуникационных сетей (ИКС).

Предлагается определение инфокоммуникационной сети как результат конвергенции информационных и телекоммуникационных технологий иклассификация ИКС по признаку уровня интеграции телекоммуникационных служб. Этот признак замечателен тем, что характеризует как все существующие, так и перспективные телекоммуникационные сети и охватывает практически все этапы развития инфокоммуникаций.

Предлагается также классификация инфокоммуникационных технологий, включающая в себя подмножество телекоммуникационных и подмножество информационных технологий ИКС, причем к информационным технологиям ИКС относятся только те технологии, которые используются для создания информационных служб ИКС и к услугам которых обеспечивается доступ пользователей этих сетей.

Далее обсуждаются тенденции развития инфокоммуникаций, которые и привели к созданию множества современных инфокоммуникационных технологий, в том числе технологий Интернет.

В связи с этим достаточно подробно рассмотрена история изобретения метода коммутации пакетов и его внедрение в проекты телекоммуникационных сетей США и СССР.

Часть 2 подготовлена профессором С. П. Воробьевым (главы 4, 5, 6) и доктором технических наук А. Е. Давыдовым (глава 7). Она посвящена описанию трех основных составляющих ИКС: структуры, архитектуры и жизненного цикла сети.

Впервые в отечественной технической литературе в описание системы включен ее жизненный цикл как объект исследования конечной, интегральной эффективности системы в результате всей ее жизнедеятельности. Таким образом, к двум разделам теории

инфокоммуникационных сетей, касающимся методов анализа и оптимизации физической структуры и архитектуры сетей (том 3 энциклопедии), добавится еще один раздел по методам анализа и оптимизации жизненного цикла ИКС.

В главе 7 рассматриваются понятия и определения качества обслуживания в ИКС, анализируются параметры, характеризующие QoS в пакетных сетях, и классы обслуживания, предложенные международными организациями МСЭ-Т и IETF.

Значительное место в книге уделено описанию информационных и телекоммуникационных технологий, которые занимают 3, 4 и 5 части данного тома.

Материалы 3-й части подготовлены профессором С. П. Воробьевым, кандидатом технических наук В. В. Ефимовым (главы 8, 9, 10) и профессором В. И. Курносовым (главы 11, 12).

Существенный вклад в раскрытие роли информационных технологий ИКС внес профессор Б. Я. Советов, материалы которого были использованы при подготовке главы 8.

В главах 9, 10 рассматриваются технологии глобальных сетей и применяемые в них протоколы передачи и коммутации. Технологии наиболее распространенных локальных сетей, а также транспортные технологии описаны в главах 11 и 12.

Основы построения сетей абонентского доступа и их технологии представлены в части 4 данного тома (главы 13, 14, 15). Материалы подготовлены совместно профессором С. П. Воробьевым и профессором В. И. Курносовым.

В части 5 (главы 16, 17) рассмотрены технологии построения, требования и тенденции развития сетей подвижной радиосвязи, подготовленные также совместно профессором С. П. Воробьевым, профессором В. И. Курносовым и кандидатом технических наук В. В. Ефимовым. Авторы выражают глубокую благодарность профессору А. А. Сахнину (ВНИИ «Эталон», г. Москва), который в процессе совместных работ по НИР «Перспектива» предоставил чрезвычайно ценные материалы по целому ряду проблем подвижной радиотелефонной связи, использованные в главах 16, 17.

Часть 6 (глава 18), посвященная спутниковой связи и тенденциям ее развития, подготовлена профессором С. П. Воробьевым с использованием материалов профессора А. А. Сахнина и его коллег. Эта глава знакомит читателя с характеристиками различных спутников связи и их орбит, с рынками услуг спутниковой связи в мире и в России. В результате анализа развития технологий спутниковой связи определяются ключевые технологии перспективных ССС. Предлагается концепция глобальной многофункциональной наземно-космической системы, создание которой откроет эру систем, эксплуатируемых в космосе.

Завершающая том часть 7 (главы 19, 20) знакомит читателя с опытом отечественных исследований и разработок инфокоммуникационных сетей, проводимых в Ленинградском научно-производственном объединении (ЛНПО) «Красная Заря» – головном предприятии Министерства промышленности средств связи СССР, а позднее – в его правопреемниках НИИ «Рубин» и НИИ «Масштаб».

В главе 19, подготовленной профессором С. П. Воробьевым, дается краткий обзор исследований методов анализа и оптимизации инфокоммуникационных сетей, а также разработок мультисервисных сетей кабельного телевидения и телекоммуникационных сетей следующего поколения, практические результаты которых были удостоены Ленинской и Государственной премий СССР (1987 г.) и премии Правительства Российской Федерации (2002 г.).

Глава 20 подготовлена профессором С. П. Воробьевым совместно с доктором технических наук А. Е. Давыдовым, которые выражают глубокую благодарность Лауреату Ленинской премии, доктору технических наук, профессору Е. Б. Давыдову за предоставленные материалы по первым отечественным разработкам аппаратуры передачи данных (АПД) (раздел 20.1).

В этой главе авторы показывают историю зарождения отечественной техники передачи данных (ПД), которая по времени совпадает с аналогичными событиями в передовых странах Запада, а уровень разработок не уступал зарубежному, по крайней мере, до середины 80-х годов XX в. Отставание началось в конце 70-х годов XX в. в части реализации аппаратурных комплексов, когда промышленность никак не могла уйти от ферротранзисторных ячеек, а в США уже полным ходом заработала «Кремниевая долина».

Не отставала страна и в разработках крупномасштабных систем ПД. Не рассматривая более ранние по срокам разработки специальных систем ПД, следует упомянуть сеть передачи данных «Погода», разработанной и внедренной в эксплуатацию в 1967-1975 годах на объектах Гидрометеослужбы СССР, которая стала региональной сетью глобальной сети Всемирной метеорологической организации, и сеть специального назначения с коммутацией пакетов «Родник-2», принципы построения которой были близки к идеологии американской системы «Арпанет», ставшей в дальнейшем базой для создания и развития Интернет.

Авторы сочли возможным представить читателю фамилии и краткие характеристики основных руководителей и главных конструкторов разработок, которые внесли наибольший вклад в неизведанную тогда область построения первых в стране систем и аппаратуры ПД. Было бы несправедливым забыть эту часть нашей истории.

В последнем разделе главы даются предложения по возрождению промышленности средств инфокоммуникаций в России. Эти предложения авторы уже публиковали в журнальных статьях и в последней книге 2012 года «Жизненный цикл инфокоммуникационных сетей».

В приложении к первому тому энциклопедии приведен список условных обозначений и аббревиатур. Завершают том сведения об авторах и краткая биография крупного ученого в области инфокоммуникационных сетей, заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора военных наук, профессора Г. П. Захарова, памяти которого посвящается эта книга.

В книге применена двойная нумерация рисунков и таблиц: первая цифра соответствует номеру главы, а вторая – порядковому номеру рисунка или таблицы в главе. В конце каждой главы представлен список используемой литературы.

ЧАСТЬ 1
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

ГЛАВА 1. ГЛОБАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

Информационная революция, начавшаяся в конце XX века, играет ключевую роль в определении путей развития цивилизации. Это не просто технологическая, это социотехнологическая революция, в ходе которой формируется новый доминирующий тип социальной организации – информационное общество [1]. Идея Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ) для информационного общества была определена в рекомендациях МСЭ-Т серии Y, специально выделенной для ГИИ.

В 1998–2000 гг. было разработано 6 рекомендаций по ГИИ: Y.100, Y.101, Y.110, Y.120, Y.130 и Y.140. В 2004 году эта серия пополнилась еще одной новой рекомендацией Y.140.1(03/2004).

В данной главе авторы проводят анализ основных концептуальных положений ГИИ, предварительно рассмотрев основополагающие понятия «информационное общество» и «информатизация».

1.1. Информационное общество

Первый век текущего тысячелетия войдет в историю человечества как век завершения перехода из индустриального общества в общество информационное. Процесс перехода, получивший название информатизации, интенсивно реализуется во всех странах мира. Исчерпывающей характеристики информационного общества не существует, но предполагается, что в таком обществе будут полностью удовлетворены информационные потребности населения [2]. В [3] дается следующее определение информационного общества: «*информационное общество* – это такое общество, в котором производство и потребление информации является важнейшим видом деятельности, а информация признается наиболее значимым ресурсом, новые информационные и телекоммуникационные технологии и техника становятся базовыми технологиями и техникой, а информационная среда наряду с социальной и экологической – новой сферой обитания человека».

Информационное общество имеет следующие отличительные признаки [2–4]:

информационная экономика;

высокий уровень информационных потребностей всех членов общества и фактическое их удовлетворение для основной массы населения;

высокая информационная культура;

свободный доступ каждого члена общества кинформации, ограниченный только информационной безопасностью личности, общественных групп и всего общества.

Информационному обществу присуще:

единое информационное пространство;

доминирование в экономике новых технологических укладов, базирующихся на массовом использовании сетевых информационных технологий, перспективных средств вычислительной техники и телекоммуникаций;

ведущая роль информационных ресурсов в обеспечении устойчивого поступательного развития общества;

возрастание роли телекоммуникационной инфраструктуры в системе производства и усиление тенденций к совместному функционированию в экономике информационных и денежных потоков;

фактическое удовлетворение потребностей общества в информационных продуктах и услугах;

высокий уровень образования, обусловленный расширением возможностей систем информационного обмена на международном, национальном и региональном уровнях и, соответственно, повышенная роль квалификации, профессионализма и способностей к творчеству как важнейших характеристик труда;

высокая значимость проблем обеспечения информационной безопасности личности, общества и государства, наличие эффективной системы обеспечения прав граждан и социальных институтов на свободное получение, распространение и использование информации.

В соответствии с [3] дадим краткую характеристику терминам, используемым при определении информационного общества.

Под *информационным пространством* понимается пространство, в котором циркулируют информационные потоки. Размер и топологические свойства такого пространства задаются информационной инфраструктурой. Информационный поток – это информация, перемещаемая в пространстве и времени, а информационная инфраструктура – часть структуры информационного пространства, которое обеспечивает создание и циркуляцию информационных потоков в пространстве.

Информационная инфраструктура характеризуется:

качественным и количественным составом элементов инфраструктуры;

информационной производительностью и пропускной способностью элементов и всей информационной инфраструктуры в целом.

К основным элементам информационной инфраструктуры относятся:

телекоммуникации;

информационные ресурсы;

системы информационного обслуживания;

системы обеспечения, развития и функционирования информационной инфраструктуры.

Информационным ресурсом называется информация, пригодная для удовлетворения информационных потребностей какого-либо лица и доступная этому лицу, а информационным продуктом – информация, представляющая собой результат деятельности какого-либо лица. К информационным продуктам относятся:

информация (данные, знания);

носители информации;

информационные средства итехника;

продукты, обеспечивающие информационную деятельность.

Информационное общество в теоретическом плане характеризуется высокоразвитой информационной сферой (инфосферой), которая включает деятельность человека по созданию, хранению, переработке, передаче, накоплению информации.

Инфосферу можно рассматривать как третий после техносферы и энергосферы этап преобразования, в соответствии с учением В. И. Вернадского, биосферы в ноосферу – сферу разума. Этот этап неизбежен, т. к. у человечества нет другой альтернативы, которая позволила бы не только сохранить человека как биологический вид, но иобеспечить возможность дальнейшего поступательного развития общества [5].

Информационное общество обладает своими особенностями, которые следует рассматривать в экономическом, технико-технологическом, политическом и социальном планах.

В экономическом плане информационное общество характеризуется тем, что информация становится одним из основных ресурсов общества. Сегодня человечество практически исчерпало экстенсивные пути своего развития. Применение традиционных технологий, способов производства, а также образ жизни современного человека приводят к

быстрому истощению ресурсов Земли и резкому ухудшению экологической обстановки и здоровья человека. Поэтому поиск и включение в мировое производство новых ресурсов стали одной из важнейших проблем второй половины XX-го века.

Таким ресурсом сегодня стала информация, которая:

пока еще является экологически чистым ресурсом;

представляет собой неисчерпаемый ресурс, учитывая естественную информационную сферу Природы и Мирового пространства;

обладает ресурсосберегающими свойствами, т. к. позволяет сократить потребление других видов ресурсов.

В техническом и технологическом плане информационное общество характеризуется массовым применением высокопроизводительных информационных средств и соответствующих информационных технологий, высокой степенью развития телекоммуникационных сетей. Эти средства и технологии являются основой превращения информации в информационный ресурс и его эффективного использования.

В социальном плане информационное общество способно обеспечивать намного более высокий уровень и качество жизни всех членов общества, лучшие условия труда во всех сферах деятельности по сравнению с индустриальным обществом.

Обеспечение в информационном обществе возможности связи «каждого с каждым» и доступа ко всему информационному фонду изменит характер, стиль и интенсивность общения между людьми, поднимет его на более высокую ступень и значительно повысит уровень информированности каждого члена общества. Это, несомненно, повлияет на социальную природу человека и социальную организацию общества.

В развитых и многих развивающихся странах разработаны и реализуются стратегии или комплексные программы информационного развития. Во всех стратегиях отмечается ведущая роль государства в консолидации всех слоев общества на основе партнерских отношений для реализации информационных программ. Опыт стран, вступивших на путь информационного развития, показывает, что в них опережающими темпами происходит не только развитие новой экономики, но и нового социального уклада – за счет непосредственного использования интеллектуальных и информационных ресурсов, а также качественно новых свойств информационной среды для расходования таких традиционных ресурсов, как природные, финансовые, трудовые. При этом человеческий ресурс становится основным капиталом страны.

В настоящее время информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) заняли важное место в хозяйстве многих стран. Так, например, в Китае доходы сектора ИКТ растут вдвое быстрее валового национального продукта (ВНП) и его доля в структуре ВНП – 4–5 % [6]. В итоге инфокоммуникации приносят стране 10 % прироста ВНП, что позволяет считать эту сферу лидером национальной экономики. Китайские эксперты отмечают значительное влияние мобильной связи на малый и средний бизнес. Увеличение проникновения мобильной связи на 10 % в масштабах страны обеспечивает прирост ВНП на 0,6 %.

В [l] предлагается шесть приоритетных стратегических направлений информационного развития страны, реально обеспеченных ресурсами российского общества и государства в ближайшей перспективе.

1. Развитие и совершенствование информационно-коммуникационной инфраструктуры (ИКИ), что должно привести к формированию единого информационного пространства страны, преодолению информационного неравенства центра и регионов, созданию инструментального фундамента для удовлетворения информационных потребностей граждан, общества и государства.

2. Совершенствование инфраструктуры производства и использование информации и знаний на основе применения современных ИКТ.

Должна быть сформирована специализированная инфраструктура производства и представления информационных и коммуникационных услуг в таких областях, как электронная коммерция, трудоустройство, дистанционное обучение, телемедицина, справочно-информационные услуги местных, региональных и центральных органов власти и др. Конечным результатом должно стать действительное превращение человеческих ресурсов России в ее основной и самый ценный капитал.

3. Широкомасштабное использование ИКТ в сфере государственного управления.

Основные задачи: переход на электронный документооборот, интеграция в единую сеть корпоративных сетей министерств и ведомств, создание регулярно обновляемых баз данных управленческой информации внутри каждого ведомства и на этой основе функциональное и структурное реформирование аппарата государственного управления.

4. Обеспечение информационной безопасности страны и ее граждан.

Должна быть создана единая многоуровневая общероссийская система обеспечения информационной безопасности – с едиными правовыми нормами и механизмами защиты информационных ресурсов, ИКИ и информационных прав граждан.

5. Международное сотрудничество в информационной сфере.

Международное сотрудничество заключается в активном участии в разработке и практическом формировании концепции глобального информационного общества, в работе международных ИКТ-организаций, в телекоммуникационных форумах и т. п.

6. Совершенствование и развитие нормативно-правового регулирования процессов информационного развития.

Его основу составляет российское информационное законодательство, требующее корректировки, прежде всего, в плане закрепления правовых гарантий по реализации конституционных прав граждан на получение информации и доступ к информации о деятельности органов власти.

Национальная стратегия информационного развития России может быть успешно реализована только совместными усилиями государственной власти, научного и образовательного сообщества, бизнеса, общественных объединений и всех граждан страны. Чтобы это случилось, к шести стратегическим направлениям необходимо добавить еще одно: организация широкой пропаганды через радио, телевидение, газеты и журналы, публицистическую литературу основ организации информационного общества и путей его построения в доступной для широкого читателя форме.

Как будут организованы и какие возможности дадут телемедицина, телеобразование, электронная торговля, электронный документооборот, электронное правительство, другие инфокоммуникационные службы и услуги, какие достижения в этой области уже есть у нас и за рубежом – такая информация должна публиковаться каждый день во всех средствах массовой информации, а для чиновников верхнего уровня, в первую очередь, региональных целесообразно издавать специальные газеты и журналы.

Вместе с тем переход к информационному обществу, как и любой другой цивилизационный феномен, порождает комплекс новых угроз и возможных негативных последствий как внутриполитического, так и геополитического характера.

Это «цифровое неравенство» как на внутри-, так и на межгосударственном уровне. Растущий разрыв между технологически передовыми и отсталыми странами, между богатыми и бедными, создают новые источники нестабильности. Видимо, не удастся избежать усреднения культур, вызванного глобализацией. За этим может последовать колоссальный кризис в человеческом развитии, т. к. сила человечества – в многообразии культур, а не в их одинаковости.

Проблема еще и в том, что ресурсы для производства информации неисчерпаемы, а возможности человека для ее восприятия ограничены. Видимо, эта проблема еще долго не будет решена. Однако, тенденция к объединению информационных технологий и биологии, развитие нанотехнологий могут фантастически расширить границы восприятия чело-

веком информации (наука считает, что пока учеловека активно задействовано в среднем 10–20 % массы мозга) [6, 7].

Другой угрозой может быть то, что индустрии развлечения представится возможность удовлетворить, возможно, абсолютно любые потребности любителей острых ощущений в любых реальностях и воплощениях.

Развивая услуги инфокоммуникаций, мы рано или поздно оказываемся в ситуации, когда жизненно важные инфокоммуникационные потребности среднестатистического пользователя в основном удовлетворены. Поэтому в какой-то момент поставщики услуг начинают искусственно формировать интерес к нежизненно важным видам сервиса. Тем более, что нередко поставщики услуг связи также становятся поставщиками приложений, контента. Все это должно как-то продаваться. И если послушать некоторых аналитиков, то успех будущего рынка ГИИ (3G и пр.) во многом связывается с распространением различных игр и всего остального, что обычно называют словом «entertainment». Об этом говорит определенный опыт Интернет.

Для чего используются пользователями, в первую очередь, сверхмощные ПК и высокоскоростной доступ в Интернет? По данным продавцов соответствующего оборудования и услуг – преимущественно для занятия разнообразными играми и просмотра интересных картинок. И еще для погружения в виртуальное пространство. Как и раньше, наркотики, в данном случае информационные, получают предпочтение.

Создание новых наркотиков – занятие, как известно, наиболее хлебное, да и еще помогающее манипулировать потребителем и гражданином в невиданных ранее масштабах. Конечно, деньги «игрунов» одновременно помогают развивать новую инфраструктуру инфокоммуникаций, но не слишком ли это дорогая цена, чтобы построить светлое инфокоммуникационное будущее? И тольколи на развлечениях и уходе в «другую реальность» остановит человек поиск своего предназначения? Ведь это настоящая деградация.

Невольно начинаешь задумываться и вспоминать недалекое прошлое. На заре развития систем передачи данных активно разрабатывались ведомственные системы для Министерства обороны, КГБ, других силовых ведомств. Уже в начале 80-х годов прошлого столетия для одного из силовых ведомств была создана сеть передачи информации с интеграцией телеграфной, факсимильной служб и передачи данных с применением метода коммутации пакетов и с характеристиками, близкими к американской системе Arpanet – прообразу современного Интернет. А вот для населения страны в области услуг передачи данных практически ничего не делалось.

Нет, лозунг создания Общегосударственной системы передачи данных (ОГСПД) скандировался на всех уровнях власти почти 20 лет (начиная с 1970 года), но дальше НИР дело не пошло. Разработчики возмущались таким положением, считая, что правительство просто боится открывать населению дверь Информации, которая, безусловно, приоткрылась бы с созданием ОГСПД. Но сегодня, наблюдая за тем, что творится в Интернет, как ее используют разные черные силы, в том числе криминальные, начинаешь понимать, что тогда, может быть, в Кремле сидели не только старые маразматики, но и настоящие мудрецы, которые понимали, что большая часть населения еще не созрела, не готова к восприятию информационной революции, которую принесла сегодня Всемирная «паутина» Интернет. И вот уже собираются на площадях, в том числе и с помощью Интернет, толпы и звучат уже призывы еще не созревших молодых людей к настоящей кровавой революции. Так может, правы были «кремлевские мудрецы», что выделяли деньги, в основном, на создание инфокоммуникационных систем для управления народным хозяйством страны, причем системы эти были выделенными и хорошо защищенными, куда забраться различным хакерам и воришкам было практически невозможно?

Недавно в США была издана книга под названием «Быстрей!». В ней написано, что человечество, пытаясь получить от жизни больше удовольствий, придумывает все больше различных новшеств. И вот оно несется к полному удовлетворению своих потребностей,

по крайней мере, в Америке и в значительной части мира. Но разве это и есть наше предназначение? История учит, что переход каких-либо общественных институтов к тотальным удовольствиям заканчивался весьма быстро и плачевно. И даже развитые страны могут надолго увязнуть в глубоком кризисе.

Что касается того идеала, к которому нам следует приближать возможности инфокоммуникаций будущего (как технические, так и сервисные), то нетрудно заметить, что наибольший успех выпадает на долю тех изобретений, которые более всего копируют то, что уже давным-давно существует в природе. Собственно, человек только и делает, что повторяет природу, пытаясь создать параллельную ей техногенную среду подручными средствами.

Такова, собственно, и сеть Интернет, копирующая (в малобюджетном варианте) то ли сеть нервных волокон живого существа, то ли так называемое «энергоинформационное поле», из которого черпают информацию духовно развитые личности и через которое все сущее (представляющее собой своеобразный «узел связи») связано между собой невидимыми нам информационными каналами с несоизмеримо большими сервисными возможностями, в том числе интерактивными.

Как представляется, для получения действительно эффективного результата новая инфокоммуникационная сеть, превосходящая сегодняшний Интернет, должна обладать свойствами, еще более приближающими ее к оригиналу как в части организации доступа, так и в части правил работы.

К примеру, масса сегодняшних проблем Интернет связана, мягко говоря, с «нехорошим» поведением пользователей, и все усилия сетевой общественности, производителей и чиновников по оздоровлению обстановки в «супермагистрали» на самом деле сводятся к тому, чтобы заставить пользователей следовать неким правилам, мало чем отличающимися от заповедей Моисея. И пока этого не будет, не будет и глобального явления с единым названием ГИИ (а также и многого другого). Оно просто не получится и скорее не по чисто техническим причинам.

Ситуация с Интернет чем-то схожа с идеей построения коммунизма в нашем отечестве. К отмене частной собственности, к жесткому планированию всего и вся население России не было готово. Только жесткая рука могла заставить людей подчиняться этой идее. Но сущность человека, как существа, созданного Природой и подчиняющегося ее законам, не может измениться ни за столетие и, вероятно, даже за тысячелетие. Генетически современный человек ничем не отличается от охотников за мамонтами [28]. Своя рубашка (шкура) ближе к телу – этот принцип всего живого, общественным отражением которого является частная собственность, нисколько не изменился за 70 лет советской власти, а при смягчении жесткой руки Хрущева-Брежнева расцвел и укоренился в обществе, особенно в его элитной верхушке, которая совершив капиталистическую революцию, бросила страну на откровенное разворовывание. Что сделает с Интернет и с нами неготовность людей к Великой информационной революции, покажет время.

Как сказал посетивший нашу страну писатель Роберт Шекли: «Я не ожидаю, что люди когда-нибудь станут святыми. Номне кажется, что цивилизация постепенно приведет людей к тому, что они станут менее эгоистичными и более щедрыми». Будем надеяться.

1.2. Информатизация

Наука об информации стала интенсивно развиваться сравнительно недавно, поэтому говорить об устоявшейся терминологии в этой области пока преждевременно.

Появились нетрадиционные теории, новые идеи, которые пока, может быть, и не всегда понятны читателю, но они создают почву для размышлений, переосмысления окружающего мира, и, следовательно, дают импульс новым теориям и новым идеям.

Например, автор весьма спорной, но интересной своими идеями книги [8], резко критикует определение информации, данное Шенноном, считая, что ни одна из его формул ни практического, ни теоретического применения для вычисления понятийного (содержательного) и качественного количества информации не получила. Все высказывания и определения информации, существующие в теории информации и в практике информатики, имеют, по его мнению, лишь косвенное отношение к сути рассматриваемого предмета исследования. Он предлагает следующее определение информации: «*Информация* – это фундаментальный генерализационно единый безначально бесконечный законопроцесс резонансно-сотового, частотно-квантового и волнового отношения, взаимодействия, взаимопревращения и взаимосохранения (в пространстве и во времени) энергии, движения, массы и антимассы на основе материализации и дематериализации в микро- и макроструктурах Вселенной».

Далее автор предлагает новое научное направление под названием «информациология» – наука фундаментального исследования всех процессов и явлений микро- и макромиров Вселенной, обобщения практического и теоретического материала физико-химических, астрофизических, ядерных, биологических, космических и других исследований с единой информационной точки зрения. Исходя из этого определения, обосновывается понятийная суть других более узконаправленных терминов, а именно:

информатика – это область знаний, исследований и автоматизированной обработки алфавитно-цифровой информации для нужд общества;

информономия – наука о законах информации;

информатизация – это естественный социально-космический процесс повышения уровня жизни и создания единого мирового информационно-сотового сообщества.

Академик Н. Н. Моисеев, один из авторов математических моделей по расчету последствий ядерной войны, считает, что понятие «информация» до сих пор не имеет четкого и общепринятого определения и любое определение весьма спорно. Он утверждает, что строгого и достаточно универсального определения информации не только нет, но и быть не может, так как это понятие чересчур широко. Его можно применять, когда изучаются объекты, способные к «целенаправленным действиям», так как описать процедуры целенаправленного поведения (в том числе процедуры принятия решений) без использования термина «информация» невозможно. Во всех остальных случаях, в том числе и при описании процессов в неживой природе, можно обойтись без использования этого термина – для этого достаточно языка физики и химии.

В своей книге «Расставание с простотой» [28] он использует термин «информация» в самом простом житейском смысле: как сведения, получаемые субъектом. Определение же, даваемое теорией информации Шеннона является частным случаем, когда эти сведения кодируются и передаются в форме сигналов техническими средствами, что позволяет для этого конкретного случая ввести количественную меру информации – байт, а вот претензии на всеобщность понятия информации, популярную среди философствующих в этой сфере, Н. Н. Моисеев отвергает полностью.

Слово информатика появилось в 1960 г. во Франции как гибрид слов информация и автоматика. В целом к области информатики относится автоматизированная обработка данных, массивов, сведений производственно-технического и социального назначений с использованием вычислительной техники, средств связи и математико-программного обеспечения.

Таким образом, объектом информатики является в основном искусственная информация, создаваемая человеком. Информациология, наоборот, занимается в основном естественной информацией и лишь частично включает в себя искусственную. Соответственно могут рассматриваться два аспекта информатизации: естественная информатизация (автоинформатизация Вселенной) как независимый от нас объект исследований и познания, и искусственная информатизация как предмет преобразований объективных данных для ис-

пользования их во всех сферах человеческой деятельности и обеспечения человечества многообразием информационных ресурсов, неисчерпаемыми источниками которых является информационная сфера Вселенной.

Другой автор в [9] на основе своих исследований в области психофизики зрения и информационной синергетики предлагает единую информационную теорию Вселенной, которая вскрывает информационную, материальную и энергополевуюсуть информационно-распорядительной созидающей системы окружающей Вселенной и описывает инструментарий этой системы в виде Вселенского Кода Информации.

Возможно, что с развитием и обоснованием этих теорий наши взгляды на мир коренным образом изменятся. Пока же, занимаясь прикладными задачами, будем рассматривать только те вопросы, которые касаются искусственной информатизации, направленной на построение информационного общества, и будем по-прежнему опираться на работы [2, 3], которые рекомендуем прочитать любознательному читателю. В частности, в [3] дается следующее определение информации: «*Информация* – пригодные для обеспечения активных действий результаты процесса отражения, протекающего при любом взаимодействии любых объектов, сведения о ком-нибудь, о чем-нибудь».

Величайшая роль информатизации в развитии человеческой цивилизации определена в работах [10–12].

В [10] информатизация определяется как деятельностный процесс все более полного овладения информацией как важнейшим ресурсом развития с помощью средств информатики с целью кардинального повышения интеллектуального уровня человечества, достаточного для решения стратегической задачи выживания и развития цивилизации на гуманистической основе и в конечном итоге – становления ноосферы.

Ноосфера – это такое состояние биосферы, когда ее развитие происходит целенаправленно, когда Разум имеет возможность направлять развитие биосферы в интересах Человека, его будущего [11].

Под ноосферной цивилизацией понимается ее качественно новое состояние,при котором на пути своих интенсивных трансформаций социум войдет в коэволюцию с природой, приоритетными станут гуманитарно-общечеловеческие ценности и интегральный интеллект человечества обеспечит его переход от стихийного сползания к глобальной катастрофе к выживанию и эффективноуправляемому, устойчивому и безопасному во всех отношениях развитию [12].

В соответствии с [3] *информатизация* – это процесс создания, развития и массового применения информационных средств и технологий, обеспечивающий достижение и поддержание уровня информированности всего населения, необходимого и достаточного для кардинального улучшения условий труда и жизни каждого человека.

Данное определение хорошо согласуется с большинством определений информатизации, встречающихся в научной литературе. В частности, в [13] информатизация определяется как организационный, социально-экономический и научно-технический процессы создания оптимальных условий для удовлетворения информационной потребности граждан, органов государственной власти и местного самоуправления, организаций, общественных объединений на основе использования информационных ресурсов. В проекте концепции Федеральной целевой программы «Развитие информатизации в России на период до 2010 года» информатизация – это процесс широкомасштабного использования инфокоммуникаций во всех сферах социально-экономической, политической и культурной жизни общества с целью повышения эффективности использования информации и знаний для управления, удовлетворения информационных потребностей граждан, организаций и государства и создания предпосылок перехода России к информационному обществу.

Под *инфокоммуникациями* понимается комплекс, органически объединяющий современные информационные, компьютерные и телекоммуникационные технологии, реа-

лизующие их системы и средства, предназначенный для предоставления организациям и населению информационных и коммуникационных продуктов и услуг.

1.3. Концепция Глобальной информационной инфраструктуры

На рубеже XX–XXI вв. исследователии разработчики инфокоммуникационных технологий в развитых странах вплотную подошли к реализации так называемых «предельных» задач в области развития телекоммуникаций – глобализации и персонализации связи.

Первая предельная задача – глобализация, реализуется с 1993 г. в рамках Концепции «Глобальная информационная инфраструктура» путем создания Глобальной цифровой телекоммуникационной сети (ГЦТКС). В глобальную ЦТКС предполагается интегрировать большинство национальных и абонентских сетей связи стран мирового сообщества. В свою очередь, все сети, входящие в ГЦТКС, будут строиться на принципах мультисервисных сетей. Это позволит любому абоненту мультисервисных сетей пользоваться различными услугами в любом месте земного шара и в любое время.

В Рекомендации Y.101 МСЭ-Т термин «Глобальная информационная инфраструктура», ГИИ (Global Information Infrastructure, GII) определен как «совокупность сетей, аппаратуры конечного пользователя, информации и человеческих ресурсов, которая может быть использована для доступа к полезной информации, для связи пользователей друг с другом, работы, обучения, получения развлекательной информации из нее в любое время и в любом месте при приемлемой стоимости по некоторой глобальной шкале».

ГИИ рассматривается в качестве будущей инфраструктуры информационного общества, обслуживающей его информационные (науку, образование, средства массовой информации, рекламу и т. д.) и другие структуры. Информация создается и потребляется конечными пользователями, а в ГИИ она хранится, обрабатывается и переносится на расстояние [14].

В [15,16] под *Глобальной информационной структурой* понимается глобальная интегрированная среда телекоммуникационных и информационных сервисов (услуг), характеризующаяся:

«непрерывной» в пространстве и во времени физической доступностью сервисов ГИИ, т. е. возможностью доступа к ГИИ в любой момент времени и в любой точке географического пространства;

технической простотой доступа к ГИИ, реализуемого посредством использования специализированных информационных устройств (приборов, терминалов) ввода/вывода нового поколения (IA– Information Appliances);

всеобщей доступностью сервисов ГИИ, прежде всего по стоимости услуг, что позволяет потенциально каждому человеку за приемлемую плату иметь необходимый доступ к информационным и телекоммуникационным сервисам ГИИ;

обширным ассортиментом выбора предоставляемых прикладных услуг, охватывающих все имеющиеся виды информации: аудио, видео, графическую, динамическую графику, данные, документы гипермультимедиа;

функционированием на основе достижения широкого международного согласия по общим принципам управления доступом кресурсам ГИИ, основанного на соединении взаимосвязанных коммуникационных сетей, компьютерного оборудования, информационных баз иинформационных терминалов.

Основными компонентами Глобальной информационной инфраструктуры, согласно рекомендациям МСЭ-Т, названы:

транспортная сеть в виде широкополосной цифровой сети синтеграцией служб, включающая как фиксированные, так и мобильные сети;

база данных услуг;

сети доступа;

многофункциональные, высокоскоростные терминалы пользователей.

Компонентами сетевой инфраструктуры ГИИ могут быть различные типы современных сетевых технологий, интегрированных в единую всеобъемлющую телекоммуникационную среду. Например, сетевыми компонентами ГИИ могут быть: системы узкополосной и широкополосной цифровой сети с интеграцией служб (N-ISDN, B-ISDN), сети пакетной коммутации (PSDN), сети кабельного телевидения (CATV), современные локальные сетевые технологии (LAN) и пр.

В отчете ITN R60 функции ГИИ предложено разбить на 4 уровня [17]:

Сетевой уровень (Network Level) – самый нижний:

включает сети коммутации, транспортные сети, пользовательские сети;

обеспечивает сервис транспортировки информации между оконечными системами;

обеспечивает поддержку сетевого управления.

Уровень организации работы сетевой инфраструктуры (Networking Level):

моделирует логические сети, включая соответствующие средства административного управления работой сетей, средства управления соединениями и сервисами;

включает средства комплексирования и организации совместной работы разнотипных сетевых технологий;

обеспечивает различные функции для управления работой нижележащего сетевого уровня.

Уровень сервиса (Service Level):

реализует функции обработки, хранения и распределения информации;

предоставляет функции вызова приложений и управления ими;

осуществляет поддержку мультимедиа технологий.

Уровень приложений (Application Level) содержит весь спектр предоставляемых ГИИ прикладных услуг.

Функции ГИИ реализуются в ее элементах, примерами которых могут служить [18]:

оконечное оборудование пользователей (EUE– End User Equipment), как, например, информационные приборы (IA– Information Appliances);

сети доступа к ядру сетевой инфраструктуры ГИИ (Access Network);

сети ядра инфраструктуры ГИИ (Core Network);

пользовательские (домашние) сети (Customer Premises Network);

серверы приложений (Application Server);

серверы брокерских услуг (Brokerage Server) и пр.

На рис. 1.1 в упрощенно-наглядной форме представлена Глобальная информационная инфраструктура, являющаяся частью информационного пространства человечества. От размеров этого пространства, мощности циркулирующих в нем информационных потоков будет непосредственно зависеть степень развития информационного общества.

В информационное пространство кроме ГИИ входят информационные ресурсы, связанные с различными сферами деятельности человека (разные отрасли промышленности, транспорта и др.), пока еще не вошедшие в ГИИ, а также соответствующие информационные потоки. Техническую основу ГИИ составляют различные теле- и инфокоммуникационные сети, а также традиционные телефонные, телеграфные и факсимильные сети. Эти сети будут востребованы, по нашему мнению, еще весь XXI-й век, постепенно уступая место инфокоммуникационным сетям следующего поколения.

Проблемы, возникшие при внедрении сетей с интеграцией служб, поставили под вопрос судьбу N.ISDN и B.ISDN, а вот инфокоммуникационная сеть Интернет становится прообразом инфокоммуникационных сетей (ИКС) следующего поколения, телекоммуникационное ядро которых, называемое сегодня NGN, будет способно передавать смешанные потоки всех видов информации: аудио, видео, данные и др.

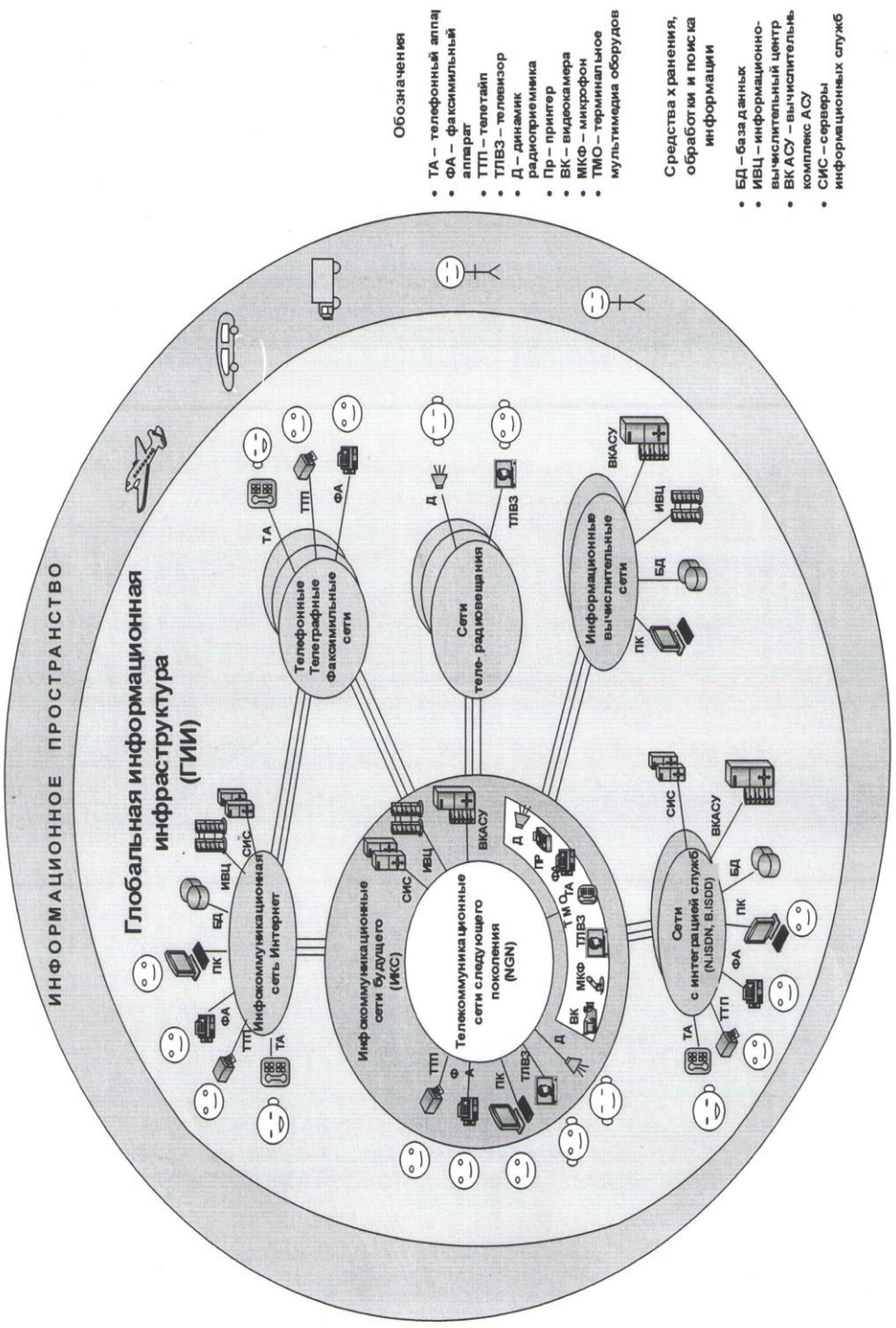


Рис. 1.1. Структура Глобального информационного пространства

На рис. 1.l показано, что на сегодняшний день у человека для взаимодействия с ИКС задействованы: уши для восприятия звуковых сообщений от ИКС; глаза для восприятия текстов и видеоизображений от ИКС; рот для генерации звуковых сообщений для ИКС; руки (не показаны на рисунке) для ввода буквенно-цифровой информации в ИКС. Наиболее полно все органы чувств человека будут задействованы при использовании терминального мультимедиа оборудования, разнообразие типов которого будет очень широким. Не исключено, что в дальнейшем для взаимодействия с ИКС будут задействованы и другие органы чувств человека.

Проведение гарантированных платежей наряду с индивидуальным осмотром товара, появление в будущем информационных потоков типа «синтео» позволит передавать еще и запахи (а быть может и другие ощущения), что в совокупности окажет существенное влияние на сферу торговли. Тому уже есть подтверждение. В частности, как сообщает Интернет-журнал «Membrana», японские ученые из университета Цукуба (University of Tsukuba) сумели виртуализировать вкус и создали «симулятор пищи».

Глава исследовательской группы, доктор Хиру Ивата (Hiroo Iwata), утверждает, что его коллегам удалось сымитировать многие пищевые продукты (а точнее, процесс их потребления), в том числе сыр, крекеры, конфеты и японские снеки. Последним штрихом станет добавление микропульверизатора, который будет доставлять соответствующие запахи до носа.

Такие исследования ведутся не ради забавы. Оказывается, этим изделием очень интересуются производители пищевых продуктов, чтобы «подогнать» качество своей продукции для разных слоев населения. Например, чтобы молодые работники кондитерских фабрик наглядно представляли себе, как с той или иной пищей будут управляться престарелые люди.

1.4. Телекоммуникационные сети следующего поколения

Проблемы перехода к «сетям следующего поколения» (Next Generation Network - NGN) пока еще окончательно не решены и активно обсуждаются телекоммуникационным сообществом. Термин «NGN» у многих маркетологов стал модным словечком, которое, по замыслу компаний, должно действовать на заказчика гипнотически. Так что же NGN – это концепция или маркетинговый ход?

Чтобы ответить на поставленный вопрос, необходимо дать четкое и однозначное определение NGN и показать ее место в Глобальной информационной инфраструктуре.

Анализ показывает, что производители телекоммуникационного оборудования и операторы связи зачастую используют термин NGN как маркетинговый слоган для обозначения новых решений, отличающихся от традиционных на базе технологии TDM (Time Division Multiplexing). При этом NGN означает лишь, что в будущем сети должны быть какими-то другими. В различных странах и в различное время термин NGN наполнялся самым разным содержанием.

Как отмечается в отчете «Перспективы российского рынка мультисервисных транспортных сетей нового поколения NGN», подготовленного аналитической компанией «Современные Телекоммуникации» (www.modetel.ru), сложность исследования рынка NGN заключается в том, что его участники, в том числе и российские, исходя из своих конкретных интересов, под решениями нового поколения зачастую подразумевают и предлагают не только комплексные (полные) системы класса NGN, но и отдельные их компоненты.

В интересной своей амбициозностью книге [29] автор дает такое определение NGN: «Сети NGN – это технические решения, появившиеся на этапе развития цифровой связи, когда трафик данных оказался важнее речевого трафика, а компьютеры – важнее телефонов». Тут же автор признает, что это определение не блещет ни оригинальностью, ни конкретностью, но отражает понимание автором специфики темы исследования. Автор не по-

ясняет, что такое «важнее», но тезис «трафик данных важнее речевого, а компьютеры – важнее телефонов», который мы считаем ложным, проходит красной нитью через всю книгу, а ложная отправная точка, как правило, является началом ложного пути. Тем не менее, книга читается с большим интересом, хотя и вызывает много вопросов.

Некоторые компании, пытаясь прикрыться модным словом NGN, предлагают в качестве NGN тот же ISDN или передачу Ethernet по традиционным TDM-сетям, аргументируя это тем, что данная служба позволяет передавать голос и данные. Было бы правильным по этому поводу обратиться к документам международных организаций по стандартизации, которые уже выпускают рекомендации по NGN.

Хороший анализ первых рекомендаций по ГИИ и NGN дан в [14].

Идея разработки сетей следующего поколения предложена Европейским институтом стандартов электросвязи (ETSI) в 2001 году и поддержана МСЭ-Т. За это короткое время специалисты еще не пришли к единому мнению о будущих принципах построения NGN, однако, учитывая важность проблемы, МСЭ-Т в конце 2004 года утвердил две первые рекомендации по NGN в новой серии Y.2000, в которых сформулированы требования к NGN и задачи изучения, а не конкретные решения.

Предшественниками NGN можно считать концепции ISDN (цифровая сеть с интеграцией служб) и B.ISDN' (широкополосная ISDN), которые подробно изложены в рекомендациях МСЭ-Т и реализованы на практике.

В рекомендации МСЭ-Т Y.2001 сеть следующего поколения (NGN) определяется как «сеть на базе пакетов, которая способна предоставлять службы/услуги электросвязи и возможность использовать несколько широкополосных, обеспечивающих качество обслуживания, транспортных технологий и в которой функции, относящиеся к службам, независимы от нижележащих технологий, относящихся к транспортировке. Она обеспечивает свободный доступ для пользователей, по их выбору, к сетям и конкурирующим поставщикам служб и/или к службам/услугам. Она поддерживает обобщенную подвижность, которая будет давать возможность постоянного и повсеместного обеспечения служб для пользователей».

Продолжая дискуссию, автор [30] приводит еще одно определение NGN, данное на семинаре МСЭ-Т в 2003 году: «всеохватывающее понятие для инфраструктуры, реализующей перспективные услуги, которые в будущем должны быть предложены операторам мобильных и фиксированных сетей, одновременно с предложением поддержки всех существующих на сегодняшний день услуг».

Это определение раскрывает понятие NGN через ассортимент и качество услуг, которые предоставляют NGN своим пользователям и тем самым отличается от первого определения, которое раскрывается через основные принципы построения NGN.

По мнению автора [30] оба определения не дают ответа на вопрос, что же такое сеть следующего поколения? Автор считает, что большинство специалистов видят NGN как совокупность всего нового, что зарождается или проектируется в настоящее время, а также ряда нерешенных проблем обеспечения широкого ассортимента услуг высокого качества.

Проблеме качества обслуживания в сетях с коммутацией пакетов посвящена глава 7 настоящей книги.

Более краткое определение сформулировано ETSI, которая под NGN понимает «сеть связи на базе технологии коммутации пакетов, способную обеспечивать предоставление услуг связи и пригодную для использования различных транспортных высокоскоростных технологий, и обеспечивающих качество обслуживания, в которой функции, связанные с предоставлением услуг, не зависят от технологии транспортной сети».

Сравнение первых двух рекомендаций МСЭ-Т по NGN с рекомендациями по ГИИ показывает их близость (таблица 1.1) [14].

Существенно, что ГИИ рассматривается как инфокоммуникационная сеть, а NGN – как телекоммуникационная.

Из рис. 1.1 видно место NGN в Глобальной информационной инфраструктуре. Она является телекоммуникационной сетью инфокоммуникационной сети будущего, работающей в ГИИ совместно с Интернет и телекоммуникационными сетями предыдущих поколений.

Таблица 1.1

Взаимоотношение NGN и ГИИ

Показатель	**ГИИ**	**NGN**
Тип связи	Инфокоммуникационная сеть	Телекоммуникационная сеть
Общая архитектура сети электросвязи	Федерация сетей	Федерация сетей
Транспортная сеть	Могут последовательно соединяться сети с разными технологиями	Могут последовательно соединяться сети с разными технологиями, предпочтительными являются IP-сети
Сети доступа	Могут применяться сети с разными технологиями	Могут применяться сети с разными технологиями

Отличительной чертой модели NGN, предлагаемой сектором стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т), является функциональное деление на два уровня: услуг и транспортный. Уровень услуг реализует прикладные функции, связанные с востребованными услугами, например организацией передачи речи, видеоизображения или их комбинации. Транспортный уровень обеспечивает выполнение функции доставки дискретной информации любого типа между любыми двумя географически разнесенными точками. В общем случае на транспортном уровне может использоваться любая технология коммутации пакетов. Однако МСЭ-Т считает, что IP-протокол является предпочтительным для организации услуг NGN, так как обладает наибольшей полнотой для реализации задач сетей следующего поколения [20].

Согласно рекомендациям МСЭ-Т NGN должны осуществлять конвергенцию услуг передачи данных, речи, видео и визуальных данных в индивидуальном, групповом и широковещательном режимах.

NGN также должны:

поддерживать идентификацию и определение местоположения абонента для достижения мобильности услуг;

взаимодействовать с имеющимися телекоммуникационными сетями;

обеспечивать информационную безопасность и предоставлять различные уровни качества обслуживания.

Согласно «Концептуальным положениям по построению мультисервисных сетей на Взаимоувязанной сети связи (ВСС) России», утвержденным в 2001 г. Минсвязи РФ, «сети NGN должны обеспечивать предоставление неограниченного набора услуг с гибкими возможностями по их управлению, персонализации и созданию новых услуг за счет унификации сетевых решений».

Этим документом также определены следующие свойства NGN:

мультисервисность, под которой понимается независимость способов предоставления услуг от транспортных технологий;

широкополосность, т. е. возможность гибкого и динамичного изменения скорости передачи информации в широком диапазоне в соответствии с текущими потребностями пользователя;

мультимедийность – способность сети передавать многокомпонентную информацию (речь, данные, видео) с необходимой синхронизацией этих компонентов в реальном времени и использование сложных конфигураций соединений;

интеллектуальность, т. е. возможность управления услугами, вызовом и соединением со стороны пользователя или поставщика услуг;

инвариантность доступа – возможность организации доступа к услугам независимо от используемой технологии;

«многооператорность», под которой понимается участие нескольких операторов в процессе предоставления услуги и разделения между ними ответственности в соответствии с областями деятельности.

Таким образом, *NGN (сеть следующего поколения)* представляет собой универсальную многоцелевую сеть, предназначенную для передачи речи, изображений и данных с использованием коммутации пакетов. Сеть NGN обеспечивает качество обслуживания, необходимое для различных видов телекоммуникационного трафика.

1.5. Основные положения концепции NGN

В материалах Европейского института стандартов связи ETSI рассматриваются два предельных варианта развития NGN. В первом случае NGN – это самостоятельная глобальная сеть, конкурирующая с телефонной сетью общего пользования (ТфОП), Интернет и вещательными сетями. Во втором случае глобальная сеть отсутствует, а технология NGN используется для модернизации ТфОП и, возможно, Интернет и сетей вещания.

В соответствии содной из концепций NGN является результатом слияния Интернет и телефонных сетей, объединяя в себе их лучшие черты. На практике это означает гарантированное качество голосовой связи и передачи данных, включая критически важные приложения. При этом NGN имеет степень надежности, характерную для ТфОП, и обеспечивает низкую стоимость передачи в расчете на единицу объема информации, приближенную к стоимости передачи данных по Интернет.

По любой из нынешних концепций на транспортном уровне NGN должна обеспечивать создание полносвязной инфраструктуры для пакетной передачи данных разного типа с поддержкой QoS. Вместо принятой в традиционных телефонных сетях канальной парадигмы, в рамках которой соединения между абонентами строятся по принципу «точка-точка», в NGN реализуется переход к идеологии виртуальных частных сетей (VPN), организующих доставку сервисов конечному пользователю поверх протокола IP. Следовательно, фундаментом NGN является мультипротокольная/мультисервисная транспортная сеть связи на основе пакетной передачи данных, обеспечивающая перенос разнородного трафика с использованием различных протоколов передачи.

На более высоких уровнях модели OSI сети следующего поколения открывают массу возможностей построения наложенных сервисов поверх универсальной транспортной среды – от пакетной телефонии (VoIP) до интерактивного телевидения и Web-служб. NGN характеризуется доступностью сервисов вне зависимости от местоположения пользователя и применяемых им интерфейсов (Ethernet, xDSL, Wi-Fi и т. д.). Таким образом, любой сервис, созданный в любой точке NGN, становится доступным любому потребителю.

В настоящее время существует также концепция NGN, в которой ключевое место отведено понятию «услуга» – NGS (New Generation Services). Зависимость сетевой инфраструктуры от новых услуг нашла отражение в работах форума 3GPP (3-rd Generation Partnership Project), предложившего в развитие идеологии NGN концепцию IMS (IP Multimedia Subsystem). В соответствии с этой концепцией платформа IMS становится центром сетей следующего поколения, вокруг которого будут формироваться другие уровни функциональной модели NGN.

Функционально концепция NGN на текущий момент может быть представлена тремя уровнями:

первый уровень – транспортный (выполняются задачи коммутации и передачи информации);

второй уровень – управление коммутацией и передачей информации (выполняются задачи обработки информации сигнализаций, маршрутизации вызовов и управления потоками);

третий уровень – управление услугами и приложениями (позволяет создавать множество независимых виртуальных сетей со своими наборами услуг, различными технологиями, внутренней системой адресации и своими абонентами).

В число основных технологических возможностей NGN для оказания услуг входит:

предоставление мультимедиасоединений с необходимым качеством (видео, голос, многопользовательские приложения и т. д.);

широкополосный доступ (Download и Streaming) к ресурсам сети («контент по запросу»);

широкополосное вещание (аудио, видео, ТВ, рассылка контента) в сети (broadcast);

выделение виртуальных подсетей как для отдельного пользователя, так и для группы корпоративных пользователей;

возможность использования распределенных IP-Soft Switch и операторских SIP-платформ с современными алгоритмами сжатия голосового трафика для предоставления услуг IP-телефонии (Web-телефонии, Интернет-телефонии и т. д.);

предоставление клиенту возможности самостоятельно активизировать и изменять параметры услуг (услуги по запросу).

Широко обсуждается и внедряется концепция построения NGN на базе мультисервисных сетей кабельного телевидения (МСКТВ). Эта идеология, включающая всебя транспортную высокоскоростную сеть набазе ВОЛС и технологий IP, MPLS, SDH и др., сети доступа, базы данных услуг (узлы служб, серверы и т. д.), многофункциональные, высокоскоростные терминалы пользователей, достаточно подробно рассмотрена в [21–25] и нашла практическое воплощение в многофункциональной интерактивной системе массового информационного обслуживания, созданной в Москве и получившей высокую оценку научной общественности.

1.6. Нормативные документы NGN

Созданием международных стандартов NGN занимаются ITU, ETSI и 3GPP. И хотя ведутся они уже не первый год, эта деятельность все еще находится на начальном этапе.

МСЭ-Т рассматривает NGN в качестве конкретной реализации идеи Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ), которая определена в рекомендациях МСЭ-Т серии Y, специально выделенной для ГИИ, однако в этих рекомендациях отсутствуют технические решения для обеспечения увязки имеющихся сетей в «единую федерацию сетей» и обеспечения связи «в любом месте». Эти задачи идолжны быть решены в концепции NGN, причем одним из главных направлений развития сетей связи должны быть признаны пакетные сети.

В 1998–2000 годах МСЭ-Т было разработано шесть рекомендаций по ГИИ: Y.100, Y.101,Y.110, Y.120,Y.130 иY.140. В 2004 году эта серия пополнилась еще одной рекомендацией МСЭ-Т – Y.140.1 (03 / 2004): ГИИ – «Руководящие указания по V атрибутам/требованиям к взаимодействию между операторами сети электросвязи общего пользования и поставщиками служб, участвующими в обеспечении служб электросвязи».

Двумя первыми рекомендациями по NGN являются Y.2001 (12/2004), новая, «Общий обзор NGN» и Y.2011 (10/2004), новая, «Общие принципы и общая эталонная модель сетей следующего поколения».

В Y.2001 дано определение термина «сеть следующего поколения», приведенное выше. В рекомендации Y.2011 приведены модели, основанные на принципах клиент-сервер-функция-ресурс-услуга, меж- и внутриуровневого взаимодействия, многоуровневого построения отдельных плоскостей. По сравнению с базовой эталонной моделью ВОС в NGN нашел применение только общий принцип деления на уровни, а детальные предписания рекомендации X.200 не используются (таблица1.2)

Таблица 1.2

Взаимоотношения NGN и ВОС

Показатель	**ВОС**	**NGN**
Деление на уровни	Применяется	Применяется
Системы и интерфейсы	Открытые	Открытые
Число уровней	7	Не обязательно 7
Протоколы	Определены протоколы уровней ВОС	Не обязательно протоколы ВОС

По оценке экспертов, эти рекомендации только контурно очерчивают облик NGN, ставят больше задач для изучения, чем предлагают технических решений. В секторе МСЭ-Т намечена широкая программа стандартизации NGN, опирающаяся на большой задел в виде действующих рекомендаций (по оптическим сетям, IP-сетям, мультимедийным службам, качеству обслуживания и др.).

Ключевым принципом NGN является отделение функций образования служб/услуг от транспортных функций. В транспортной сети могут использоваться сети разных операторов и разные типы сетевых технологий, реализующих функции уровней 1–3 ВОС. Будут поддерживаться связи как с установлением соединения (connectionoriented), так и без установления соединения (connectionless).

Функции служб реализуют различные службы/услуги для конечных пользователей, например, видео, аудио, передача данных и их сочетания (мультимедийные службы). Некоторые поставщики служб будут предоставлять своим абонентам возможность формировать собственные службы/услуги.

Для абонента необходимо обеспечить разные скорости – от нескольких килобит до сотен мегабит в секунду.

NGN должна поддерживать как существующие терминалы (телефонные и факсимильные аппараты, сотовые телефоны, компьютеры и т. п.), так и специализированные NGN-терминалы.

В NGN предполагается поддерживать широкий диапазон классов качества обслуживание (КО), с гарантированным или негарантированным КО. За основу нормирования пакетной сети берется Рекомендация Y.1541. Система сигнализации NGN (на основе существующих или новых протоколов) должна обеспечивать передачу сведений о заказанном КО.

Предусматривается обеспечивать безопасность связи, как в транспортных сетях, так и в службах NGN. Намечено разработать эксплуатационные руководства по безопасности.

Предусматриваются также средства обеспечения приоритетной связи для районов бедствий и чрезвычайных ситуаций.

Предполагается, что в ближайшие годы серия рекомендаций Y.2000 будет пополняться, а на рынке появятся технические средства NGN, удовлетворяющие этим рекомендациям.

Следует отметить, что разработка стандартов IMS для конвергентных (фиксированных и мобильных) сетей нового поколения, осуществляемая ETSI (комитетом TISPAN – TheTelecom & Internetconverged Services & Protocol for Advanced Networks) с учетом рекомендаций 3GPP/3GPP2 (3GP Project-2), также находится на начальном этапе. В декабре 2005 года был опубликован первый, базовый стандарт – ETSI NGN Release 1.

И хотя нормативная база сетей следующего поколения пока развита слабо, внедрение NGN/NGS во всем мире идут полным ходом. По прогнозам Yankee Group, с 2005 по 2008 гг. объем рынка сетевых инфраструктур и услуг нового поколения вырос с 3,5 до 6,7 млрд. долл., а ежегодные темпы роста составляли 24 %.

В нашей стране разработка нормативной правовой базы отрасли по проблематике NGN ведется с учетом российской специфики и действующих международных стандартов, предлагаемых МСЭ, ETSI и 3GPP. Основными отраслевыми организациями, занятыми созданием нормативно-правовой базы для NGN, являются ЦНИИС в Москве и ЛО ЦНИИС в Санкт-Петербурге.

В России действует ряд документов концептуального уровня по вопросам внедрения NGN. Они приняты в разное время, начиная с 2001 г., и, по оценкам экспертов, по ряду позиций уже расходятся с современными международными концепциями и рекомендациями. Тем не менее, при реализации проектов NGN участникам нашего рынка приходится учитывать кроме базового материала «Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России» требования еще двух документов концептуального уровня – руководящих технических материалов «Модернизация сетей доступа» (2003 г.) и «Принципы построения мультисервисных местных сетей электросвязи» (2005 г.).

До настоящего времени развитие законодательной базы РФ по вопросам связи проходило, в основном, с учетом традиционной архитектуры сетей. Закон «О связи» и принятые в 2004-2005 гг. на его основе подзаконные акты не учитывают изменения телекоммуникационного ландшафта и, в частности, процессы конвергенции услуг сетей связи и информационных услуг.

Как отмечают эксперты «Современных телекоммуникаций», настало время для разработки российского закона «Об инфокоммуникациях», призванного упорядочить отношения при оказании современных инфокоммуникационных услуг.

1.7. Место NGN всоставе Единой сети электросвязи РФ

Единая сеть электросвязи страны состоит из расположенных на территории РФ сетей связи общего пользования (ССОП); выделенных сетей связи; технологических сетей, присоединенных к ССОП; сетей специального назначения и других сетей связи, образующих класс сетей ограниченного пользования ОгП (рис. 1.2).

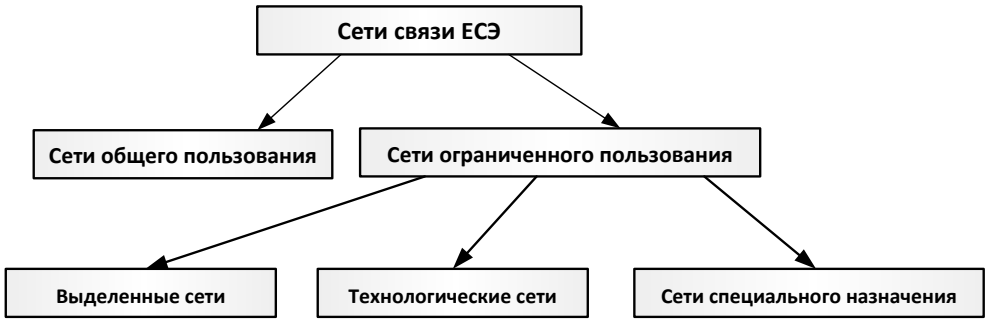


Рис. 1.2. Классификация сетей связи ЕСЭ по категориям

В июне 2003 года Государственной Думой принят новый Федеральный закон «О связи», который ознаменовал завершение предыдущего этапа развития электросвязи в России (взаимоувязанная сеть электросвязи – ВСС) и начало нового (Единая сеть электросвязи – ЕСЭ). Новый этап связан с началом преобразования российского общества на базе конвергентного объединения информационных и телекоммуникационных технологий в электронно-информационное общество.

ЕСЭ входит в Федеральную связь Российской Федерации (рис. 1.3) и объединяет все сети электросвязи, расположенные на территории России. Совместно со средствами вычислительной техники и информационных технологий она составляет техническую основу инфраструктуры информатизации российского общества. ЕСЭ должна занять важное место в мировом информационном пространстве и в развивающейся глобальной информационной инфраструктуре.

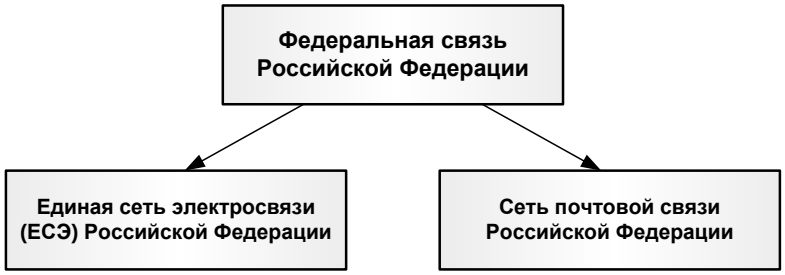


Рис. 1.3. Федеральная связь Российской Федерации

Категории сетей в ЕСЭ имеют следующие назначения. Сети связи общего пользования предназначены для предоставления услуг электросвязи любому пользователю на территории Российской Федерации. ССОП представляет собой комплекс взаимодействующих сетей связи, включая сети для распространения программ телевизионного и радиовещания. ССОП РФ имеют присоединение к сетям связи общего пользования иностранных государств.

Перспективой развития ССОП является построение мультисервисных сетей с предоставлением любому пользователю, как общедоступных универсальных услуг, так и новых, перспективных.

Выделенные сети связи предназначены для предоставления услуг ограниченному кругу пользователей. Они могут взаимодействовать между собой, но не имеют присоединения к ССОП ЕСЭ, а также к ССОП иностранных государств.

Технологические сети связи предназначены для обеспечения производственной деятельности организаций и управления технологическими процессами. Сети связи специального назначения предназначены для обеспечения нужд государственного управления, обороны, безопасности и охраны правопорядка в Российской Федерации. Они не могут использоваться для возмездного оказания услуг.

Выделенные, технологические сети и сети специального назначения, образующие группы сетей ограниченного пользования (ОгП), представляют собой сетевую инфраструктуру хозяйствующих субъектов, органов государственной власти и местного самоуправления, государственных структур в сфере обороны, безопасности и правопорядка. Они, наряду с ССОП, участвуют в создании технической базы информатизации общества, в формировании рынка инфокоммуникационных услуг.

В соответствии с [26] на 3-м этапе развития ЕСЭ (2011-2015 гг.) предусматривается:

полное удовлетворение спроса на традиционные и новые инфокоммуникационные услуги;

создание и распространение мультисервисных сетей общего пользования на всей территории России, использование на междугороднем и международном уровнях, в основном, метода коммутации пакетов;

внедрение систем подвижной связи 4-го поколения;

полный переход к цифровому звуковому и телевизионному вещанию, внедрение телевидения высокой четкости;

использование на базе мультисервисных сетей для развития сетей ОгП услуг «виртуальная частная сеть»;

достижение заданных качественных и количественных показателей ЕСЭ, обеспечивающих развитие Российской информационной инфраструктуры и переход России к развитому информационному обществу.

Таким образом, цели и задачи ЕСЭ, перспективы ее развития не противоречат концептуальным положениям NGN, а ее структура совместно с информационной составляющей должна соответствовать структуре, показанной на рис. 1.2.

Развертывание NGN в РФ будет происходить на двух уровнях – региональном и магистральном (включая межрегиональную составляющую).

На региональном уровне (уровень субъектов РФ и городов) создаются сети нового поколения, призванные обеспечивать подключение абонентов и предоставление им как транспортных, так и прикладных услуг. Кроме того, они могут стыковаться с инфокоммуникационными службами других региональных сетей.

На магистральном уровне (федеральном, уровне федеральных округов РФ) любая создаваемая NGN должна отвечать за прозрачный транзит конвергентного трафика, получаемого от региональных сегментов.

При этом главная архитектурная особенность NGN заключается в том, что передача и маршрутизация пакетов и базовые элементы транспортной инфраструктуры (каналы, маршрутизаторы, коммутаторы, шлюзы) физически и логически отделены от устройств и механизмов управления вызовами и доступом к услугам. Следовательно, в общей архитектуре сетей связи следующего поколения транспортные сети входят в состав NGN и на региональном, и на магистральном уровнях.

В выработке современных подходов к построению транспортных сетей NGN в равной мере заинтересованы операторы как сетей связи общего пользования (стационарных и мобильных), так и технологических сетей связи – ведомственных и корпоративных. Не смотря на то, что технологические сети связи, как правило, имеют определенную профессиональную ориентацию, при их развитии также учитывается идеология NGN.

1.8. NGN ибизнес

Внедрение NGN откроет новые возможности в развитии бизнес-моделей операторов.

Будет сформирован новый класс сервис-провайдеров (так называемых виртуальных операторов), не имеющих телекоммуникационной инфраструктуры, но предоставляющих услуги клиентам.

Бизнес будет развиваться все больше в сторону предоставления потребителям готовых информационных продуктов с уменьшением объема продаж по транспорту гигабайт и мегаминут. Использование более дешевых распределенных IP-телефонных станций вместо традиционных узловых АТС, применение единой сети для предоставления всего комплекса услуг, унификация оборудования снизят удельные расходы на строительство и эксплуатацию сетей операторов и обеспечат высокую экономическую эффективность внедрения NGN.

Для получения прибыли на конкурентном рынке операторам придется внедрять новые высокодоходные услуги связи, такие как доступ в Интернет и VPN, видеотелефония, а также широковещательная передача видеоинформации (IP-телевидение, видео по запросу, интерактивное телевидение). Интеграция мобильных (GSM, 3G, 4 G), беспроводных и фиксированных сетей связи даст новый толчок бизнесу.

Однако наиболее востребованной и прибыльной услугой операторов по-прежнему останется телефония и сопутствующие ей сервисы.

Одной из наиболее перспективных и доходных услуг связи может стать организация «виртуальных» АТС для корпоративных заказчиков – услуга Centrex.

Centrex – это решение для предприятий малого и среднего бизнеса (где число абонентов обычно не превышает ста человек), в рамках которого оператор связи предостав-

ляет заказчику услуги офисной телефонии и дополнительные голосовые сервисы на базе собственного коммутационного оборудования, избавляя заказчика от необходимости приобретать офисные АТС. Решение позволяет эффективно проводить телефонизацию бизнес-центров и предприятий, снижать эксплуатационные затраты и централизованно реализовывать единый комплекс услуг для абонентов.

Операторам решение Centrex позволяет расширить спектр предоставляемых услуг, выделить свои услуги на фоне предложений конкурентов, но что самое важное – «привязать» заказчика к собственным услугам, так как смена провайдера офисной телефонии гораздо сложнее, чем смена оператора, предоставляющего городскую и междугороднюю телефонную связь.

Высокодоходными являются телефонные услуги населению, особенно в новостройках и нетелефонизированных местностях. Важно также увеличение спроса на видеокоммуникации и видеоуслуги. При этом набор таких сервисов, как доступ в Интернет, телефония и видеоприложения, можно предоставлять домашнему абоненту по единому высокоскоростному интерфейсу доступа к IP-сети. Часто набор мультимедийных сервисов связывают в единую услугу Triple Play.

Операторы прилагают немалые усилия для продвижения видеокоммуникаций, так как с их развитием многие прогнозируют очередную революцию на телекоммуникационном рынке, которая резко повысит качество удаленного общения между пользователями, а вместе с тем приведет к росту трафика и повышению доходов операторов связи и производителей оборудования.

Инфраструктура коммуникаций в большинстве случаев позволяет реализовать видеосвязь, а основной проблемой является малая распространенность видеотерминалов. В настоящее время стоимость IP-видеотелефонов опустилась до приемлемого уровня: недорогие аппараты можно приобрести за 200–300 долл. Чтобы повысить привлекательность этой услуги, некоторые операторы (в основном зарубежные, например France Telecom) предоставляют пару видеотелефонов со значительной скидкой с той целью, чтобы пользователь, приобретя комплект, мог тут же убедиться в преимуществах видеосвязи.

Важным фактором, повышающим привлекательность видеокоммуникаций, являются также дополнительные сервисы – видеопочта, интерактивные приложения, видеоконференции. Для их реализации производители предлагают различные видеоплатформы. Такого рода решения есть в портфелях RAD Vision (Scopia 1000), IP-Unity (Mereo 6000) и других производителей.

Для бизнес-клиентов внедрение NGN имеет несомненные преимущества – это снижение себестоимости связи и повышение эффективности бизнеса.

Снизить расходы на связь можно засчет снижения затрат на поддержание и управление телекоммуникационной инфраструктурой, минимизации инвестиций в оборудование, сокращения капитальных затрат на развертывание сети.

Развертывание сети на основе телекоммуникационной инфраструктуры различных бизнес-приложений, интегрирование инфраструктуры с различными имеющимися на предприятии информационными системами, возможность оперативного перемещения рабочих мест, поддержка мобильных сотрудников и возможность оперативного расширения сети для большего числа сотрудников может качественно повысить эффективность управления бизнесом.

Также стоит отметить возможность организации распределенного управления услугами, пользователями, конфигурацией, алгоритмами обработки вызовов и обращений.

В результате кардинально повышается эффективность и оперативность голосовой связи в корпоративной сети. «Сеть» может одновременно «работать» со множеством операторов, переключаясь с оператора на оператора, выбирая у каждого из них наиболее привлекательные по цене и качеству трафик и услуги, при этом конфигурация корпоративной IP-телефонной станции может изменяться за несколько минут.

Примером успешного бизнеса являются услуги широкополосного доступа. На его основе строятся многочисленные услуги Triple Play. Широкополосный доступ необходим в дистанционном обучении, консалтинге, телемедицине, в организации полноценных рабочих мест на дому. Разнообразие способов его использования ограничено не столько техническими возможностями, сколько фантазией потребителя. При этом телефония является лишь одним из составных элементов всего пакета услуг.

Рынок услуг для корпоративных пользователей также имеет высокий потенциал. Наиболее распространенный сервис сегодня – построение защищенных корпоративных сетей (VPN).

Новым услугам пророчат неплохие перспективы. Например, уже сейчас по темпам развития рынка видеоконференцсвязи (30-40 % в год) Россия занимает одно из первых мест в Европе, отставая по уровню распространения ВКС от мировых держав на 3-4 года. Российским бизнес-пользователям открываются новые возможности, например, при проведении корпоративных совещаний и бизнес-встреч, организации удаленных форм работы и дистанционного обучения. При этом сфера применения ВКС непрерывно расширяется – помимо прочего, в последнее время такие решения стали использоваться при проведении рекламных и маркетинговых акций.

При разработке концепции NGN для конкретного проекта очень важно определиться со сценарием перехода от существующей сети к «сетям следующего поколения». Как правило, рассматриваются два основных сценария перехода:

Построение NGN-сетей «с нуля» и полная замена TDM-систем на IP-решения;

эволюционный путь: последовательная модернизация существующих сетей общего пользования (телефонных и передачи данных).

Переход на новые технологии ряда крупных телекоммуникационных компаний в России по второму сценарию, по пессимистичным оценкам, может затянуться до 2015 г. При этом не ясно, на какую версию концепции NGN планируется переход в 2015 г. Кроме того, гибридное соединение старых и новых технологий может привести не к ожидаемому эффекту суммирования лучших характеристик используемых технологий, а к умножению худших показателей и, соответственно, к суммарному снижению качества услуг и эффективности проектов. С другой стороны, некоторые эксперты считают, что второй сценарий перехода к «сетям следующего поколения» является наименее болезненным с точки зрения сохранения сделанных ранее инвестиций в старые технологии.

1.9. Проблемы NGN

В [27] авторы попытались сделать некоторые оценки развития сетевых технологий и тех изменений, которые могут возникнуть в обществе при внедрении NGN в повседневную жизнь каждого человека. Они начали с проблем Интернет как предшественника NGN.

Сегодня кажется, что развитие Интернет может продолжаться до бесконечности. На 1 июля 2003 г. в Internet Engineering Task Force (IETF) зарегистрировано 3582 RFC документа, которые, так или иначе регулируют развитие глобальной сети. Ежемесячно появляется в среднем от 30 до 40 новых документов, и данный процесс продолжается.

Однако кризис IT-индустрии оказал непосредственное воздействие и на IETF. Изначально IETF создавалась как небольшая организация с ясной миссией по созданию и развитию технологии компьютерных коммуникаций. Но за 15 лет своего существования IETF превратилась в очень большую организацию.Следствием увеличения штата и расширения области использования технологий (по признанию самой IETF) со временем стало то, что потеряны цели. То есть в настоящее время специалисты не знают, куда должно быть направлено развитие сети Интернет, и это очень тревожное знамение.

Отсутствие общей миссии, по словам IETF, имеет много последствий, основными из которых считаются:

IETF не уверен, чего следует достигать;

IETF не уверен (не определился), кто может управлять рабочими группами (WG) и определить важность вклада каждого на выходе;

в WG потенциально могут похищаться частные интересы в ущерб IETF;

IETF не способен определить ожидаемый эффект на рынке;

IETF должен избегать сосредоточения на узких возможностях технологии;

отсутствие миссии ведет WG к плохо продуманным схемам и требованиям, которые не соответствуют общей архитектуре;

туманное видение целей сдерживает разработку целых сетевых областей, поскольку имеются ограничения видения сопутствующих архитектурных контуров.

Будущее сети Интернет становится неопределенным еще и потому, что появилось всеобщее движение в сторону NGN. И хотя определения «сети связи следующего поколения» являются уникальными не только в разных странах, но и у разных операторов, многие видят ее как единую сеть (инфраструктуру), которая обеспечивает многочисленные услуги связи (от телефонии до двухстороннего реального видео) и приложения на различные терминальные устройства, как стационарные, так и мобильные.

При этом весь сервисный набор может предоставляться через общий канал доступа на все терминалы пользователя, а для организации доступа может использоваться любая среда передачи: медь, стекло и эфир. Поэтому основным критерием для выбора схемы обслуживания будет потребность пользователя в ширине полосы пропускания канала, и его готовность все это оплачивать.

Казалось бы, Интернет-протокол (IP) поддерживает эту идею будущего, ибо весьма прост в реализации и способен обеспечивать доставку любых услуг, делает сеть «прозрачной» от одного пользователя до другого и т. п. Да и приложений под него наработано достаточно, и их создание превратилось в целую индустрию.

Однако простота и массовость идут в ущерб характеристикам качества, в результате чего упор часто делается на организацию виртуальных частных сетей (IP-VPN), т. е. на решение проблем качества обслуживания для «некоторых» за счет ущемления интересов «всех остальных». Однако такая сегрегация, вероятно, пригодна лишь для обслуживания корпоративного сектора. Для выхода же на глобальный рынок пришлось бы серьезно увеличивать пропускную способность глобальной транспортной сети NGN или продолжать усовершенствовать протокол передачи, архитектуру и пр. Кстати, привычный «общедоступный Интернет», по сути, выносится за рамки NGN и соединяется с нею шлюзами с соответствующей защитой, ибо «слаб» по части сопротивления разному несознательному элементу (вплоть до откровенно криминального), да и как-либо модернизироваться в глобальном масштабе он не способен. Скорее всего, по мнению автора [10], современный Интернет, представляющий собой по меткому выражению одного коллеги «малобюджетный вариант мультисервисной сети будущего», придется «бросить» на произвол судьбы и он будет рассматриваться лишь как одно изприложений некоей будущей сети NGN. Но хватит ли сил и, главное, желания для построения альтернативной сети, скрывающейся за термином NGN?

Предлагается несколько вариантов действий.

Во-первых, с точки зрения вопросов лицензирования, сертификации, взаимодействия, нормотворчества и пр. необходимо сразу же начинать относиться к NGN (или ее первым фрагментам), как к глобальной сети.

Во-вторых, необходимо провести четкую границу между сетевыми и прикладными технологиями. А провести данную границу без определения понятия «информации», «информационной услуги», «информационной безопасности» и т. п. нельзя.

В-третьих, сетевые технологии должны стандартизоваться, а оборудование сертифицироваться. В свою очередь, прикладные технологии в эпоху NGN должны иметь глобальный характер и потому, скорее, должны поддерживаться общественными организаци-

ями (консорциумами и т. п.), а не теми, кто выдает лицензии. Наиболее востребованные услуги не будут иметь государственных границ.

В-четвертых, рентабельность действующей инфраструктуры NGN должна поддерживаться, не смотря на постоянное расширение набора услуг и улучшение качества, что требует особых бизнес-моделей ее функционирования. Поэтому необходимо создавать новые источники прибыли, в частности, своевременно заменять услуги, не пользующиеся спросом.

В-пятых, поддержка конкурентоспособности компаний-операторов NGN должна осуществляться засчет расширения зоны их обслуживания до национальных масштабов.

И последнее, самое главное. На все это нужно найти деньги. И если мультисервисный доступ к сетям NGN не удастся сделать дешевле, чем это делают операторы традиционных сетей связи, они станут ненужными, а инвестиции в них – потерянными.

Таким образом, в данной главе рассмотрены основные концептуальные положения построения Глобальной информационной инфраструктуры и ее телекоммуникационного ядра – сетей следующего поколения (NGN), основанные на материалах и рекомендациях международных организаций по стандартизации.

Здесь не приводятся конкретные решения по построению ГИИ и NGN, т. к. сегодня идет интенсивный процесс разработки и апробации множества вариантов таких решений, который в конце концов должен завершиться некоторым унифицированным и общепризнанным результатом.

В следующей главе рассматривается понятие инфокоммуникационной сети как технической базы ГИИ, являющейся результатом конвергенции информационных и телекоммуникационных сетей. В предложенной далее классификации этих сетей NGN относится к четвертому и пятому классам, основными характеристиками которых является метод коммутации пакетов, трафик трех основных видов информации: видео, аудио, данные и высокие гигабитные и терабитные скорости передачи.

Литература

1. Нисневич Ю. А., Черешкин Д. С. России нужна национальная стратегия информационного развития // ИнформКурьерСвязь. – 2005. № 7.

2. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Информационные технологии. – М: Высшая школа. 2003.– 263 с.

3. Юсупов Р. М., Заболотский В. П. Научно-методологические основы информатизации.– СПб.: Наука, 2000.– 455 с.

4. Воробьев С. П., Шибанов В. С. Введение в инфокоммуникационные сети // Телекоммуникационные технологии. 2001. Вып. 2. С. 3–17.

5. Советов Б. Я., Юсупов Р. М. Развитие инфосферы региона // I-я Санкт-Петербургская Международная конференция «Региональная информатика» РИ-92.– СПб, 1992.

6. Сюй Синьцюань. Нерасторжимое единство природы и человека – идеальная модель будущего // ИнформКурьерСвязь, 2005. № 6.– С. 83–85.

7. Воробьев С. П. Информационная гипотеза избыточности человеческого мозга // X-я Санкт-Петербургская Международная конференция «Региональная информатика-2006». Материалы конференции. Тезисы докладов. – СПб, 2006.

8. Юзвишин И. И. Информациология.– М.: Радио и связь, 1996. – 515 с.

9. Двойрин Б. Г. Единая информационная теория Вселенной. Энергополевая информационная голографичность природы, мира и Вселенной – вечная и единая духовная, физическая и математическая сущность мироздания // Тезисы доклада на II-й Санкт-Петербургской Международной конференции «Региональная информатика-93».– СПб, 1993.

10. Пароджанов В. Д. Кризис цивилизации и нерешенные проблемы информатизации // НТИ. Сер. 2. Информатизационные процессы и системы. 1993. № 12.

11.Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. – М.: Молодая гвардия. 1990.

12. Урсул А. Д. Путь в ноосферу. Концепция выживания и устойчивого развития человечества. – М.: Луч, 1993.

13. Основные положения развития взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года. Справочное приложение 2. Словарь основных терминов и определений. – М.: НТУОТ Минсвязи России, 1996.

14. Етрухин Н. Н. Первые рекомендации МСЭ-Т о сетях следующего поколения // ИнформКурьерСвязь. 2005. № 6. - С.86–89.

15. P. A. Young, R. B. Mouldin. Multiply connected Survivable Network Architectures for Dynamic, on the Move, Tactical Environments, IEEE MILCOM'93, Vol. 2, Bedford. 1993.

16. Robert J. Bonometti, Bob Steele and Carl Berglund. The future information infrastructure and its implication for satellite communications. IEEE MILCOM'93, Vol. 2, Bedford. 1993.

17. Raymond D. Jennings. Hybrid Digital Networks Using High-Speed Optical Fiber and Advansed Satellite Systems. IEEEMILCOM'93, Vol. 2, Bedford. 1993.

18. Блахнов Л. Л., Игнатенков В. Г., Кузнецов В. Е., Лихачев А. М., Сахнин А. А. Инфокоммуникационные сети: архитектура, технологии, стандартизация. – М.: Радио и связь, 2004.– 208 с.

19. Шехтман Л. И. Концепция создания и развития телекоммуникационных систем. Препринт № 993. РТИ РАН, 1993.– 56 с.

20. Чачин П. NGN: От концепции к проектам // PC Week. № 37 / 2006.

21. Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. и др. Развитие кабельных сетей для предоставления услуг широкополостной связи // Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика-96»: Тезисы докладов. Ч. 1. СПб, 1996.

22. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. – СПб.: Наука,2000. –336 с.

23. Барабаш П. А., Советов Б. Я., Шибанов В. С. и др. Концепция создания мультисервисной сети интерактивного кабельного телевидения // Санкт-Петербургская Международная конференция «Региональная информатика-2000»: Тезисы докладов. Ч. 1. СПб, 2000.

24. Барабаш П. А. Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения, 2-е издание. СПб.: Наука, 2004. – 405 с.

25. Воробьев С. П., Махровский О. В. О выборе технологии для сетей следующего поколения // Век качества, 2006. № 4.– С. 46–49

26. Москвитин В. Д. От взаимоувязанной сети связи к Единой сети электросвязи России // Вестник связи, 2003. № 8.– С. 33–48

27. Валов С. Г., Голышко А. В. Инфокоммуникационные сети будущего: проблемы и выводы // Вестник связи, 2003.№ 8.– С. 68-71

28. Моисеев Н. Н. Расставание с простотой. – М.: Аграф, 1998.– 474 с.

29. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации. – М.: ЭКОТРЕНДЗ, 2008. – 400 с.

30. Шварцман В. О. Качество услуг сетей следующего поколения // Электросвязь, 2006. № 3.– С. 6–10.

ГЛАВА 2. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ

До недавнего времени сети связи были представлены, в основном, телефонными и телеграфными сетями, предоставляющими услуги обмена речевой и текстовой информацией между людьми, а также сетями радио- и телевизионного вещания. Разработка и развитие систем факсимильной и видеосвязи добавили возможность предоставления услуг обмена графическими документами и видеоизображениями, в том числе, в реальном времени и сразу со многими абонентами (видеоконференции).

Появление сетей передачи данных (СПД) позволило решить задачу обмена информацией между человеком и компьютером, а также между компьютерами. Передача данных дополнилась такой формой обслуживания пользователей, как удаленная обработка данных и дистанционный доступ к банкам данных, например, в информационно-вычислительных системах, автоматизированных системах управления (АСУ) различного назначения. Появилось новое понятие «мультимедийных» услуг, обозначающих комплекс услуг одновременного обмена речевой, графической, видео и текстовой информацией.

Возможность представления любой передаваемой информации в цифровом виде хорошо согласуется с цифровой компьютерной обработкой информации и ее передачей по цифровым каналам связи в виде так называемых «данных». Поэтому особенности построения и тенденции развития современных ИКС наиболее тесно связаны именно с развитием технологий передачи и обработки данных.

2.1. Сети связи России

В качестве введения к этой главе читателю представлены общие сведения о сетях связи современной России, которые предоставлены кандидатом технических наук, доцентом А. Н. Дегтяревым, длительный период плодотворно работавшим в территориальных надзорных органах Минкомсвязи РФ.

2.1.1. Взаимоувязанная сеть связи России

Связь, которую чаще называют информационно-коммуникационной отраслью, является неотъемлемой частью производственной и социальной инфраструктур Российской Федерации и функционирует на ее территории как взаимоувязанный производственно-хозяйственный комплекс, предназначенный для удовлетворения нужд граждан, органов государственного управления, обороны страны, безопасности государства, обеспечения правопорядка, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей в услугах электрической и почтовой связи [1].

На заседании Президиума Государственного совета Российской Федерации по вопросам развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), проходившем в г. Нижний Новгород, было отмечено, что высокие технологии – основа роста экономики и модернизации управления страны. В информационных коммуникациях страны работает более миллиона человек, производительность труда здесь самая высокая в российской экономике. Если в 2000 году доля сферы информационных технологий во внутреннем валовом продукте (ВВП) России составляла около 2 %, то, начиная уже с 2005 года, этот показатель был не ниже 5 %.

Многие годы отрасль ИКТ сохраняет свое динамичное развитие. Так, в 2006 году общий объем сектора ИКТ составил свыше 1 трлн. 160 млрд. рублей, а объём рынка информационных технологий оценивался в сумму 361,5 млрд. рублей. Отечественные инвестиции в основной капитал по данным за 2006 год составили около 150 млрд. рублей, а объем иностранных инвестиций составил 110 млрд. рублей**.** Доход от услуг электросвязи в

2006 году составил 745,6 млрд. рублей, а доход от услуг почтовой связи – 54,4 млрд. рублей [2].

Федеральную связь образуют организации и государственные органы, обеспечивающие электросвязь и почтовую связь на территории Российской Федерации. На территории России организации и предприятия связи осуществляют свою деятельность на основе единства экономического пространства, в условиях конкуренции и многообразия форм собственности. Государство обеспечивает организациям связи равные условия добросовестной конкуренции на рынке услуг связи, независимо от форм собственности.

Материально-техническую основу федеральной связи составляют единая сеть электросвязи (ЕСЭ) Российской Федерации и сеть почтовой связи Российской Федерации. При условии реализации на всей территории страны системных требований целостности, устойчивости функционирования и безопасности эти сети можно рассматривать как взаимоувязанную (единую) сеть связи России (рис. 2.1, 2.2) [1].

Все эти сети являются сетями электрической связи (электросвязи) и обеспечивают на основе использования электрических и электромагнитных сигналов излучение (передачу) и (или) прием знаков, сигналов, голосовой информации, письменного текста, изображений, звуков или сообщений любого рода по радиосистемам, проводным, оптическим и другим электромагнитным системам [1]. Сети электросвязи создаются для решения функционально различных задач.

Сеть связи общего пользования представляет собой комплекс взаимодействующих сетей электросвязи, в том числе сетей для распространения программ телевизионного и радиовещания, и предназначена для возмездного оказания услуг электросвязи любому пользователю услугами связи на территории Российской Федерации. Сеть связи общего пользования имеет присоединение к сетям связи общего пользования иностранных государств.

Под присоединением сетей электросвязи понимают установление технико-технологического взаимодействия средств связи двух сетей связи, при котором становится возможным пропуск трафика между этими сетями, минуя другие сети.

Трафик - нагрузка, создаваемая потоком вызовов, сообщений и сигналов, поступающих на средства связи.

Средства связи - технические и программные средства, используемые для формирования, приема, обработки, хранения, передачи, доставки сообщений электросвязи, а также иные технические и программные средства, используемые при оказании услуг связи или обеспечении функционирования сетей связи.

Сеть связи общего пользования включает [3] телефонные сети и сети связи, определяемые по технологии реализации оказания услуг связи (рис. 2.3).

Телефонная сеть связи включает:

сети фиксированной телефонной связи, определяемые географически в пределах обслуживаемой территории и использующие ресурс нумерации географически определяемых зон нумерации и

сети подвижной связи (подвижной спутниковой радиосвязи, подвижной радиосвязи, подвижной радиотелефонной связи, которые ранее называли сетями сотовой связи), не определяемые географически в пределах территории Российской Федерации и использующие ресурс нумерации географически не определяемых зон нумерации.

Сети связи, определяемые по технологии реализации оказания услуг связи, включают:

сети передачи данных;

телеграфные сети связи (включая сети "Телекс");

сети связи для распространения программ телевизионного и радиовещания.

Сети связи "Телекс" позволяют установить временное соединение для приема и передачи текстовых сообщений телеграфной связи между пользовательским (оконечным) оборудованием [4].

Современные сети связи общего пользования обеспечивают широкий спектр услуг связи, оказание которых требует обязательного оформления оператором связи лицензий на осуществление деятельности в области связи [5-8]:

услуги местной телефонной связи, за исключением услуг местной телефонной связи с использованием таксофонов и средств коллективного доступа;

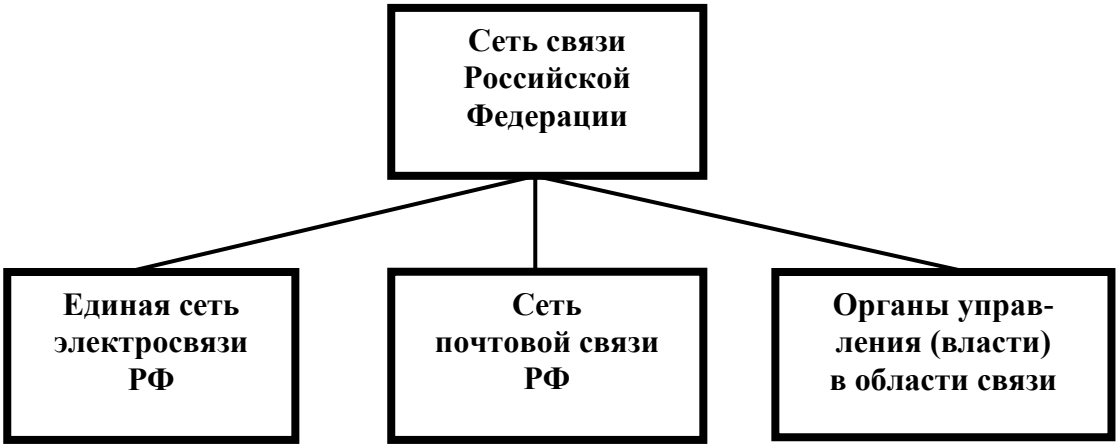


Рис. 2.1. Взаимоувязанная сеть связи России

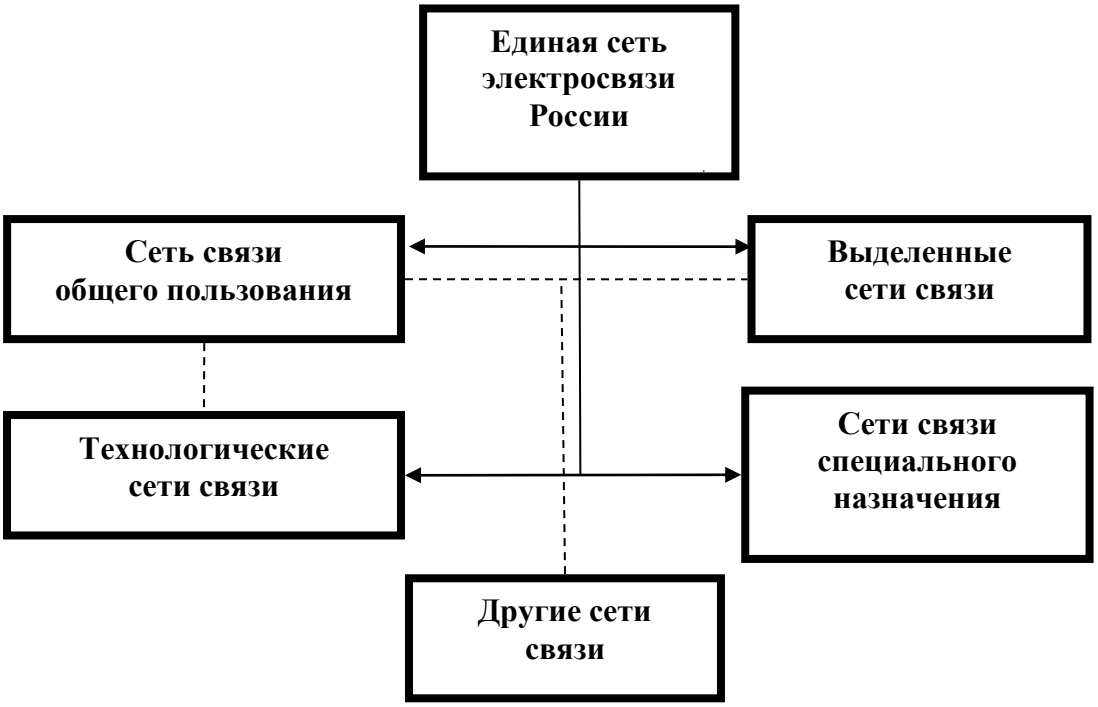


Рис. 2.2. Единая сеть электросвязи Российской Федерации

Рис. 2.3. Сеть связи общего пользования

услуги междугородной и международной телефонной связи;
услуги телефонной связи в выделенной сети связи;
услуги внутризоновой телефонной связи;
услуги местной телефонной связи с использованием таксофонов;
услуги местной телефонной связи с использованием средств коллективного доступа;
услуги телеграфной связи;
услуги связи персонального радиовызова (пейджинговая и твейджинговая связь);
услуги подвижной радиосвязи в сети связи общего пользования;
услуги подвижной радиосвязи в выделенной сети связи;

услуги подвижной радиотелефонной связи в сети связи общего пользования;

услуги подвижной спутниковой радиосвязи;

услуги связи по предоставлению каналов связи;

услуги связи в сети передачи данных, за исключением передачи голосовой информации;

услуги связи по передаче голосовой информации в сети передачи данных;

телематические услуги связи;

услуги связи для целей кабельного вещания;

услуги связи для целей эфирного вещания;

услуги связи проводного радиовещания.

Под телематическими услугами понимают услуги:

передачи факсимильных сообщений;

передачи сообщений электронной почтой;

доступа к информации мировых и региональных информационно-телекоммуникационных сетей, в том числе к сети Интернет [9].

Доступ пользователей к информационным ресурсам обеспечен разнообразными службами (сервисами):

службой доступа к информации, размещенной на Web-серверах сети Интернет;

службой доступа к новостям (News Groups) сети Интернет;

службой доступа к аудиоинформации, размещенной на специализированных аудио-серверах;

службой «Видеотекст»;

службой «Видео по запросу»;

службой электронных объявлений (Bulletin Board System - BBS) и др.

Выделенными сетями связи (рис. 2.2) называют сети электросвязи, предназначенные для возмездного оказания услуг электросвязи ограниченному кругу пользователей или группам (корпорациям) таких пользователей. Выделенные сети связи не имеют присоединения к сети связи общего пользования, а также к сетям связи общего пользования иностранных государств, однако выделенные сети связи могут взаимодействовать между собой. Технологии и средства связи, применяемые на выделенных сетях связи, а также принципы их построения устанавливаются владельцами этих сетей.

Выделенная сеть связи может быть присоединена к сети связи общего пользования с переводом в категорию сети связи общего пользования, если выделенная сеть связи соответствует требованиям, установленным для сети связи общего пользования.

Оказание услуг связи операторами выделенных сетей связи осуществляется на основании соответствующих лицензий.

Технологические сети связи (рис. 2.2) предназначены для обеспечения производственной деятельности организаций и управления технологическими процессами в производстве. Технологии и средства связи, применяемые для создания технологических сетей связи, а также принципы их построения устанавливаются владельцами этих сетей.

Технологические сети связи могут быть присоединены к технологическим сетям связи иностранных организаций только для обеспечения единого технологического цикла.

При наличии свободных ресурсов часть технологической сети связи может быть присоединена к сети связи общего пользования с переводом в категорию сети связи общего пользования для возмездного оказания услуг связи любому пользователю на основании соответствующей лицензии. Такое присоединение допускается, если часть технологической сети, предназначаемая для присоединения к сети связи общего пользования, может быть технически, программно или физически отделена от технологической части и если присоединяемая часть технологической сети связи соответствует требованиям функционирования сети связи общего пользования. Собственник или иной владелец технологической сети связи после присоединения ее части к сети связи общего пользования обязан

вести раздельный учет расходов на эксплуатацию технологической сети связи и ее части, присоединенной к сети связи общего пользования.

По сетям связи специального назначения обеспечивается государственное управление (в том числе президентская и правительственная связь), а также управление органами обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка. Эти сети не могут использоваться для возмездного оказания услуг связи.

Подготовка и использование ресурсов ЕСЭ РФ для обеспечения функционирования сетей связи специального назначения осуществляются в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

Взаимодействие сетей связи специального назначения с другими сетями единой сети электросвязи Российской Федерации обеспечивается через специальные центры управления в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти в области связи.

Обеспечение связи для нужд органов государственной власти, в том числе президентской связи, правительственной связи, связи для нужд обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка является расходным обязательством Российской Федерации [10].

2.1.2. Система управления связью Российской Федерации

Управление связью России осуществляют государственные федеральные и региональные органы исполнительной власти в области связи.

Федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере информационных технологий (включая использование информационных технологий при формировании государственных информационных ресурсов и обеспечение доступа к ним), электросвязи (включая использование и конверсию радиочастотного спектра), почтовой связи, массовых коммуникаций и средств массовой информации, в том числе электронных (включая развитие сети Интернет, систем телевизионного (в том числе цифрового) вещания, радиовещания и новых технологий в этих областях), печати, издательской и полиграфической деятельности, обработки персональных данных, является Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации (Минкомсвязи России).

Минкомсвязи Россиивыступает в качестве почтовой администрации РФ и выполняет функции администрации связи РФ при осуществлении международной деятельности в области связи [11].

Минкомсвязи России осуществляет координацию и контроль деятельности находящихся в его ведении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Федерального агентства связи (Россвязь), Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям (Роспечать), а также подведомственных Министерству организаций.

Роскомнадзор является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере информационных технологий и связи, средств массовой информации, в том числе электронных, массовых коммуникаций, функции по контролю и надзору за соответствием обработки персональных данных требованиям законодательства РФ в области персональных данных, а также функции по организации деятельности радиочастотной службы.

Организационно Роскомнадзор состоит из центрального аппарата и территориальных управлений, размещенных и осуществляющих свои полномочия в субъектах РФ. Часть территориальных органов осуществляют надзор на территориях нескольких субъектов РФ и имеют статус межрегиональных управлений. Федеральную службу возглавляет руководитель, а территориальные органы – руководители управлений.

Руководителю Роскомнадзора подчиняется государственная радиочастотная служба, включающая Главный радиочастотный центр (ГРЧЦ) и радиочастотные центры (РЧЦ) федеральных округов.

Роскомнадзор осуществляет свою деятельность во взаимодействии с другими федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов РФ, органами местного самоуправления, общественными объединениями и иными организациями.

Россвязь является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по управлению государственным имуществом и оказанию государственных услуг в сфере электросвязи и почтовой связи, в том числе в области создания, развития и использования сетей связи, спутниковых систем связи, систем телевизионного вещания и радиовещания.

В субъектах РФ сформированы региональные органы исполнительной власти в области связи, например, Министерство информационных технологий и связи Ростовской области, Министерство транспорта и связи Чеченской Республики и др.

Региональные органы исполнительной власти в области связи проводят государственную политику, оказывают государственные услуги и управляют государственным имуществом в сфере связи. Они участвуют в разработке проектов региональных нормативных правовых актов, предложений по формированию государственной научно-технической, экономической и инвестиционной политики в установленной сфере деятельности, анализируют состояние и прогнозируют тенденции развития связи на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную перспективы. Им подведомственны региональные государственные унитарные предприятия, осуществляющие деятельность в сфере связи и информатизации [12].

Региональные органы исполнительной власти в области связи взаимодействуют с другими органами исполнительной власти и местного самоуправления субъекта РФ, органами государственной власти иных субъектов России, федеральными органами государственной власти.

2.2. Роль и место понятия «данные» при описании технологий построения современных инфокоммуникационных сетей

Не смотря на более чем вековой опыт развития телефонных сетей связи, основу построения современных информационных и телекоммуникационных сетей составляют относительно недавно появившиеся сети передачи данных, являющиеся преемниками телеграфных стартстопных сетей (еще более «древних», чем телефонные сети). Абонентскими устройствами (АУ) для СПД, как правило, являются компьютеры (не так давно называемые по-русски электронно-вычислительными машинами (ЭВМ)), поэтому информационные сети, построенные на основе таких СПД, обычно именуют «компьютерными».

Понятие «данные» широко используется в компьютерном лексиконе для обобщенного формализованного именования того, с чем оперирует компьютер. Прежде всего, за этим словом прячутся числа, с которыми работает компьютер как вычислительное устройство (например, исходные, входные, промежуточные, обрабатываемые, итоговые, выходные и др. данные). А поскольку числами кодируются также буквы и слова, то «данными» стали часто именовать и сведения (информацию) «обрабатываемую» компьютером (как зародышем искусственного интеллекта) для получения решений, уже не обязательно числовых, но и логических или смысловых.

В настоящее время существует несколько определений понятия «данные», закрепленных в российских ГОСТ и международных стандартах (ГОСТ 17657-79, ISO 2382/1-84, Рекомендации В.13 МСЭ):

данные – это сведения, являющиеся объектом обработки в информационных человеко-машинных системах (ГОСТ 17657-79);

данные – это факты, понятия и команды, представленные в формализованном виде, позволяющем осуществлять их передачу, интерпретацию или обработку как вручную, так и с помощью средств автоматизации (ISO 2382/1–84).

Следует отметить, что также, как в ЭМВОС различают понятия взаимосвязь (как услуга нижних уровней верхним) и взаимодействие (как функция одного уровня), также различаются понятия «передача данных» и «обмен данными».

Кроме того, также, как «взаимосвязь» – это услуга для обеспечения «взаимодействия», так и «передача данных» – это услуга для «обмена данными». При этом «взаимосвязь» осуществляется с помощью «передачи данных», а «взаимодействие» – с помощью «обмена данными». Официально эти понятия отражены в ГОСТ в следующем виде.

Передача данных – пересылка данных при помощи средств связи из одного места для приема их вдругом месте (ГОСТ 24402-88).

Обмен данными – передача данных между логическими объектами уровня в соответствии с установленным протоколом (ГОСТ 24402-88).

В сетях специального назначения различие понятий «передача данных» и «обмен данными» уже давно нашло отражение в различии названий «сети передачи данных (СПД)» и «сети обмена данными (СОД)».

В последние годы понятие «данные» приобрело гораздо более широкий смысловой оттенок в связи с массовой «цифровизацией» и интеграцией телекоммуникационных и информационных сетей. Наиболее полно современному толкованию понятия «данные» соответствует следующее определение:

Данные – это информация, представленная в формализованном цифровом виде, пригодном для обработки и передачи с помощью технических средств.

Такое определение данных указывает, что это неспецифичный вид информации, а только способ представления любого вида информации в технической системе при ее хранении, обработке и передаче, и подчеркивает необходимость формализованного цифрового представления информации. И действительно, в существующих ИКС фактически любая информация, включая речь и видео, в конечном итоге представляется в виде данных.

Приведенные определения, с одной стороны, отражают существующие в настоящее время взгляды о том, что передача данных осуществляется средствами СПД, а обмен данными – средствами СОД, а с другой стороны, подчеркивают, что передача данных выполняется на нижних (до четвертого) уровнях ЭМВОС, а «обмен данными» охватывает все семь уровней (и выше) и является более общим понятием, чем «передача данных».

Архитектура инфокоммуникационной сети также охватывает все семь уровней ЭМВОС и поэтому она больше соответствует понятию «СОД», а вся информация, передаваемая и обрабатываемая в ИКС в формализованном цифровом виде соответствует выше приведенному понятию «данные».

В эволюционном процессе развития телекоммуникационных технологий можно наблюдать извечное противостояние и в то же время неразрывное единство философских категорий дискретного и непрерывного (см. рис. 2.4).

Первые информационные сигналы, которые люди научились передавать на расстояние, имели вид дискретных знаков (условных сигналов, цифр, букв и т. п.), но передавались через среду передачи, имеющую непрерывные параметры (яркость света, громкость звука, сила тока, частота колебаний и т. п.). В то же время, исходная информация могла быть непрерывной (звук, изображение, результаты измерений аналоговых величин), но ее дискретизация осуществлялась вне систем связи, в том числе сознательно или подсознательно – самим человеком.

После изобретения электричества основным переносчиком дискретной информации на большие расстояния в начале девятнадцатого века стали телеграфные каналы (ТГ).

Затем во второй половине девятнадцатого века научились отображать в аналоговых параметрах среды передачи аналоговую информацию. Проще говоря, изобрели телефонную связь

(ТФ). И с тех пор до недавнего прошлого системы связи развивались, в основном, как аналоговые системы передачи (каналы тональной частоты – ТЧ и широкополосные каналы – ШК), прежде всего, аналоговой информации, сначала, такой как речь, а затем и такой как изображение (телевидение – ТВ).

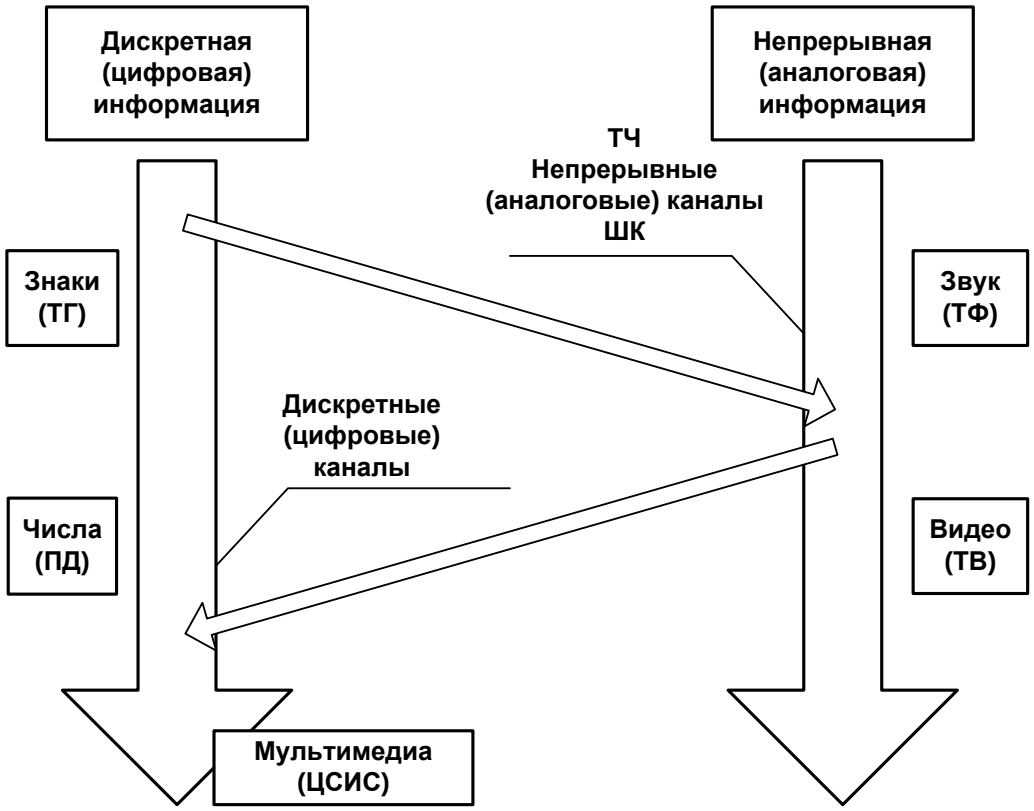


Рис. 2.4. Виток эволюции систем передачи дискретной и непрерывной информации

При этом продолжали совершенствоваться системы передачи дискретной (телеграфной) информации, подсказавшие в дальнейшем пути «цифровизации» аналоговых каналов ТЧ и ШК для передачи данных, а затем и для передачи оцифрованной речи и цифрового видео.

В результате перехода на чисто цифровые каналы связи в последнее время сложилась ситуация противостояния инициатив интеграции со стороны цифровых систем передачи аналоговой информации (прежде всего, в ТФОП) и со стороны цифровых систем передачи дискретной информации (прежде всего, в компьютерных СПД).

Вырвавшиеся в семидесятые годы прошлого века вперед по темпам внедрения новых технологий цифровые телефонные сети общего пользования «захватили» в свою сферу понятие «цифровых сетей с интеграцией служб» (ЦСИС), позволяющих наряду с передачей речи (аналоговой информации) передавать дискретную компьютерную информацию.

Как бы «в отместку» в конце восьмидесятых – начале девяностых годов 20 в. рванувшие вперед за счет освоения высокоскоростных систем передачи и коммутации пакетов новые технологии построения компьютерных сетей и сетей передачи данных стали претендовать на свою трактовку понятия высокоскоростных «широкополосных» ЦСИС (Ш-ЦСИС), позволяющих наряду с передачей больших объемов дискретной информации в реальном времени передавать любую оцифрованную аналоговую информацию.

В современных компьютерных системах управления, используемых как для поддержки принятия важных служебных решений, так и для простых развлечений, интеграция услуг (служб) охватывает и информационные, и телекоммуникационные услуги. При этом терминологически сливаются понятия *«пользователь»* и *«абонент»*, традиционно используемые раздельно в компьютерном и телекоммуникационном лексиконе. В дальнейшем

будем использовать оба понятия как синонимы, при необходимости отдавая предпочтение одному из них как более традиционному в конкретном сочетании с другими словами.

Описанное конкурентное развитие ТФОП и СПД на пути к их интеграции происходило и происходит в виде появления различных новых сетевых технологий, постоянно перенимающих опыт другу друга.

В целом в развитии современных технологий построения ИКС на базе цифровых методов передачи и обработки информации можно выделить пять десятилетних этапов развития новых сетевых технологий (НСТ), начиная с 60-х годов XX-го века (см. табл. 2.1).

Таблица 2.1.

Этапы развития технологий построения телекоммуникационных сетей

Этапы	По инициативе СПД	По инициативе ТФОП	В России
I **1960 –1970**	Появились первые компьютерные сети с использованием передачи данных по каналам ТЧ	Появились первые электронные АТС с цифровой обработкой речи и компьютерным управлением	Первые СПД Минобороны СССР и КГБ. Сеть с коммутацией блоков информации Гидрометеослужбы СССР
II **1970–1980**	Появляются первые стандарты глобальных и локальных СПД. Появились глобальные СПД общего пользования на базе стандартизованных протоколов *X.25.* Для построения локальных компьютерных сетей разработана технология *Ethernet.* Сформировался стек протоколов ***TCP/IP,*** поддерживающий глобальные и локальные сети	Внедряются цифровые методы передачи и коммутации. Появились интегральные цифровые сети (ИЦС/IDN), в которых осуществлена интеграция коммутационного и каналообразующего оборудования, опирающегося на плезиохронные системы передачи *(ПЦИ/PDH).* *На* участках сети между АТС на смену аналоговому каналу ТЧ пришел основной цифровой канал (ОЦК) 64 кбит/с	Стендовая отладка оборудования системы ПД с интеграцией телеграфных и факсимильных служб на базе протоколов *X.25.* Первая НИР по разработке протоколов одновременной передачи речи и данных в СПД
III **1980 –1990**	Для передачи неоднородного и неравномерного трафика (в т. ч. телефонного) в глобальных СПД предложена технология ретрансляции кадров РК *(Frame Re1ay).* Появляются первые высокоскоростные технологии *(Токеп Ring, FDDI)*	Разрабатываются технологии построения *ЦСИС/ISDN.* За основу взят канал 64 кбит/с, который должен доходить от АТС до абонентов, и может использоваться как для передачи речи, так и компьютерных данных.	Ввод в эксплуатацию в 1984 г. системы «Родник-2» с интеграций служб ПД, телеграфной и факсимильной, а также СПД АН СССР и более 10 других. Успешное завершение научно-экспериментальной работы по созданию

Этапы	По инициативе СПД	По инициативе ТФОП	В России
	построения локальных сетей. Для унификации архитектуры и технологий построения СПД разработана ЭМВОС.	Появились синхронные системы передачи *(СЦИ/SDH).* Активизировалось распространение открытых аналоговых стандартов подвижной радиосвязи.	образцов системы передачи речи и данных методом КП. Начало цифровизации первичной сети и разработки электронных АТС.
IV **1990 –2000**	Перехват инициативы в создании глобальных широкополосных Ш-ЦСИС (B-ISDN) на основе технологии *ATM.* Появились высокоскоростные технологии локальных сетей *Fast Ethernet, Gigabit Ethernet и 10 Gigabit Ethernet.* «Ренессанс» технологии TCP/IP, на основе которой строится глобальная сеть Интернет поверх других глобальных, а также локальных ТКС. Появление глобальной информационной сети WWW. Развитие технологий управления сетями связи на основе протоколов прикладного уровня SNMP и CMIP. Попытка интеграции технологий построения ИС, ТКС и систем управления ТКС в концепции TINA	Продолжается внедрение узкополосных У-ЦСИС (N-ISDN). Начало бурного развития технологий цифрового проводного и беспроводного абонентского доступа. Появление технологий проводного доступа *xDSL.* Выделение пяти групп технологий построения сетей беспроводного доступа: фиксированных, сотовых, транкинговых, пейджинговых и спутниковых. Появление оптических сетей DWDM. Появление концепции построения универсальной системы сетевого управления TMN. Попытка интеграции систем предоставления услуг в концепции интеллектуальных сетей IN	Прекращение всех перспективных разработок
V **2000–2010**	Появление глобальных и локальных компьютерных сетей, позволяющих передавать речь (IP телефония). Бурное развитие технологий построения беспроводных локальных сетей и пакетных сетей подвижной радиосвязи. Мультипротокольные сети (MPLS)	Появление электронных учрежденческих АТС, интегрированных с локальными компьютерными сетями. Планомерное внедрение технологий построения сетей подвижной радиосвязи поколения 3 G. Мультисервисные сети (NGN)	

2.3. Основные понятия и определения

После заключения «брака» между вычислительной техникой и средствами связи в 70-х годах XX-го столетия прошло не так уж много времени, но уже через двадцать лет в 90-х годах назрела необходимость «бракосочетания» информационно-вычислительных сетей и сетей телекоммуникаций, что и выразилось появлением на мировой сцене *инфокоммуникационной* «паутины» Интернет.

Считаем также необходимым отметить гораздо более скромную «свадьбу», а точнее «гражданский брак» в одном из силовых ведомств СССР в 1984 году. По размаху отечественная система «Родник-2-Исток» не идет ни в какое сравнение с сетью Интернет, которая была нацелена на коммерческий результат и услуги для населения всей планеты.

Отечественная система строилась в узких интересах одного ведомства, которому не надо было бороться за прибыль и услаждать вкусы самой разнообразной публики. Однако, технические характеристики системы были близки к характеристикам американской системы «Арпанет», которая и была родительницей Интернет.

В соответствии с [13], под инфокоммуникациями понимается комплекс, органически объединяющий современные информационные, компьютерные и телекоммуникационные технологии, реализующие их системы и средства, предназначенные для предоставления организациям и населению информационных и коммуникационных продуктов и услуг.

Таким образом, под инфокоммуникационными сетями будем понимать территориально распределенные комплексы технических средств и соединяющие их каналы связи различной физической природы, обеспечивающие генерацию, передачу, прием, хранение, поиск, отображение и обработку информации по заданным человеком алгоритмам и программам и предназначенные для предоставления человеку и его организациям различных информационных и коммуникационных продуктов и услуг.

Инфокоммуникационные сети – это новый этап развития телекоммуникационных и информационных технологий, порожденный выходом человечества к новой фазе своей эволюции – информационному обществу. Суть этого этапа развития – все большая интеграция телекоммуникационных и информационных технологий на пути создания единой инфокоммуникационной сети.

Процесс конвергенции (взаимного притяжения и проникновения) информационных и телекоммуникационных технологий и услуг породил конвергенцию производителей этих технологий и услуг, а именно, производителей средств связи и средств информатики, а также операторов услуг связи и поставщиков информационных услуг, и, наконец, потребовал объединения усилий законодателей и органов исполнительной власти в этих сферах деятельности. Последнее проявилось в образовании в1999 году Министерства Российской Федерации по связи и информатизации, которое было призвано возглавить дальнейшее развитие инфокоммуникаций в России, и создание российской информационной инфраструктуры, не зависимо от изменений в названии за последние годы.

Определение инфокоммуникаций, приведенное выше, достаточно точно отражает суть нового понятия «инфокоммуникационные сети» (ИКС). Здесь необходимо сделать небольшое отступление для определения основополагающих терминов, которые используются сегодня параллельно в научной и технической литературе, в регламентирующих документах. В соответствии с [14], «связь (communication) – обмен информацией или пересылка информации с помощью средств электросвязи или почтовой связи в соответствии с согласованными правилами». «Электросвязь (telecommunication) – передача или прием знаков, сигналов, текстов, изображений, звуков по проводной, радио, оптической или другим электромагнитным системам». Таким образом, связь – это синоним коммуникаций, электросвязь – синоним телекоммуникаций. В СССР и России учеными и специалистами, работающими в структурах Минсвязи, Минпромсвязи и других ведомств, традиционно использовались «более русские» термины «связь» и «электросвязь». С развитием вычис-

лительной техники, информационных сетей, связей с международными организациями по стандартизации, зарубежными фирмами-разработчиками и поставщиками оборудования для российских сетей связи всё чаще стали использоваться термины «коммуникации» и «телекоммуникации», а также множество других англоязычных терминов. При этом зачастую в них вкладываются иные понятия, чем связь и электросвязь.

В данной работе авторы, в зависимости от излагаемого материала, пользуются теми и другими терминами, понимая, что они – синонимы.

Но вернемся к инфокоммуникационным сетям. Этот термин появился сравнительно недавно и стал, по мнению авторов, символом нового подхода к комплексному исследованию, разработке и проектированию систем и средств генерации, передачи, приема, хранения, поиска, обработки и отображения информации.

До сих пор существует определенное разделение между традиционными сетями связи (телефонными, телеграфными) и информационными сетями, как в организационном, так и в научно-техническом плане.

Традиционные сети существуют уже более 100 лет и для их исследования, разработки технических средств, эксплуатации созданы соответствующие организационные структуры, системы эксплуатации, отрасли промышленности и теоретическая база.

Информационные сети, как распределенные структуры, объединяющие автономные территориально распределенные процессы и системы обработки информации с использованием средств связи [15], появились значительно позднее. Теоретические методы их исследований, методы проектирования и даже технологии производства технических средств существенно отличались от соответствующих методов и технологий для традиционных сетей связи.

Инфокоммуникационные сети, как новый результат конвергенции информационных и телекоммуникационных сетей, становятся стимулом для создания и развития теоретической базы этих сетей и новой отрасли инфокоммуникаций.

Задачи исследований нового типа сетей можно сформулировать следующим образом:

исследование характера и параметров информационных потоков на входе ИКС и построение соответствующих математических моделей;

исследование методов анализа и синтеза структуры ИКС с учетом новых моделей входящих потоков, разнородности видов информации, новых требований к качеству обслуживания;

исследование методов анализа и оптимизации архитектуры ИКС с учетом задействования в них всех уровней модели ВОС;

исследование методов анализа и оптимизации жизненного цикла ИКС;

определение параметров и критериев качества обслуживания ИКС;

определение критериев эффективности построения ИКС и разработка соответствующих методов оптимизации;

исследование и анализ методов построения системы управления и эксплуатационно-технического обслуживания ИКС;

оптимизация технических решений на стыке ИКС-человек и др.

Как уже отмечалось, к классу современных инфокоммуникационных сетей относится, в первую очередь, Интернет, который продемонстрировал эффективность конвергенции информационных и коммуникационных технологий темпами и масштабами развития «всемирной паутины».

Суть успеха Интернет проста – сеть предоставляет пользователю не просто телекоммуникационные услуги, а, в первую очередь, услуги информационные. Она открыта для пользователя: любой пользователь может оставить свою информацию в серверах Интернет и получить любую информацию из серверов. При этом практически не важно, ка-

кая телекоммуникационная среда используется для организации связи между пользователями: это могут быть телефонные сети, N.ISDN, B.ISDN, сети ПДХ.25, FR и другие.

К внедряющимся сегодня инфокоммуникационным сетям относятся также мультисервисные сети кабельного телевидения [16].

2.4. Классификация сетей электросвязи

До недавнего времени сети электросвязи классифицировались по некоторому множеству признаков, каждый из которых характеризовал определенное свойство конкретной сети. Чем больше таких признаков, тем более полно эта сеть могла быть охарактеризована. На рис. 2.5 представлена классификация сетей связи, предложенная в [17] и учитывающая положения Федерального закона «О связи». Термины и определения соответствуют, в основном, [14].

В соответствии с [17] сети электросвязи различаются следующим образом.

По назначению – делятся на две большие группы: сети связи общего пользования и сети связи ограниченного пользования.

Сеть связи общего пользования создается для обеспечения услугами связи населения, организаций, учреждений и предприятий по единым требованиям.

Сети связи ограниченного пользования строятся в интересах различных ведомств, имеющих специфические требования к сети.

Внутрипроизводственные сети – сети связи предприятий, учреждений и организаций, создаваемые для управления производственной деятельностью, которые неимеют выхода на сеть связи общего пользования.

По характеру образования и выделения каналов связи сети связи подразделяются на первичные и вторичные [18].

Первичная сеть – совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, образованных на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи. При этом под типовой физической цепью (типовым каналом) понимается физическая цепь (канал передачи), параметры которой (которого) соответствуют принятым нормам.

Сетевой тракт – типовой групповой тракт или несколько последовательно соединенных типовых групповых трактов с включенной на входе и выходе аппаратурой образования тракта.

Вторичная сеть связи – совокупность линий и каналов вторичной сети, образованных на базе первичной сети, станций и узлов переключений, обеспечивающих определенный вид связи.

Главной задачей первичной сети является образование типовых каналов и групповых трактов связи, задача вторичной сети – доставка сообщений определенного вида от источника к потребителю.

По обслуживаемой территории вторичные сети подразделяют на местные (сельские, городские), междугородные, международные, внутризоновые, а первичные сети – на магистральные, зоновые и местные.

Междугородная сеть связи – сеть связи, обеспечивающая связь между абонентами, находящимися на территории разных субъектов РФ или разных административных районов одного субъекта РФ (кроме районов в составе города).

Международная сеть связи – совокупность международных станций и соединяющих их каналов, обеспечивающая международной связью абонентов национальных сетей.

Внутризоновая сеть связи обеспечивает соединение между собой станций и узлов различных местных сетей одной зоны и выход их на междугородную и международные сети. Зона – это часть территории страны, на которой все абоненты сети охватываются

единой n-значной нумерацией. Зона должна, как правило, охватывать территорию административной области (края) [19].

Магистральная сеть электросвязи – междугородная сеть электросвязи между центром Российской Федерации и центрами субъектов Федерации, а также между центрами субъектов Федерации [14].

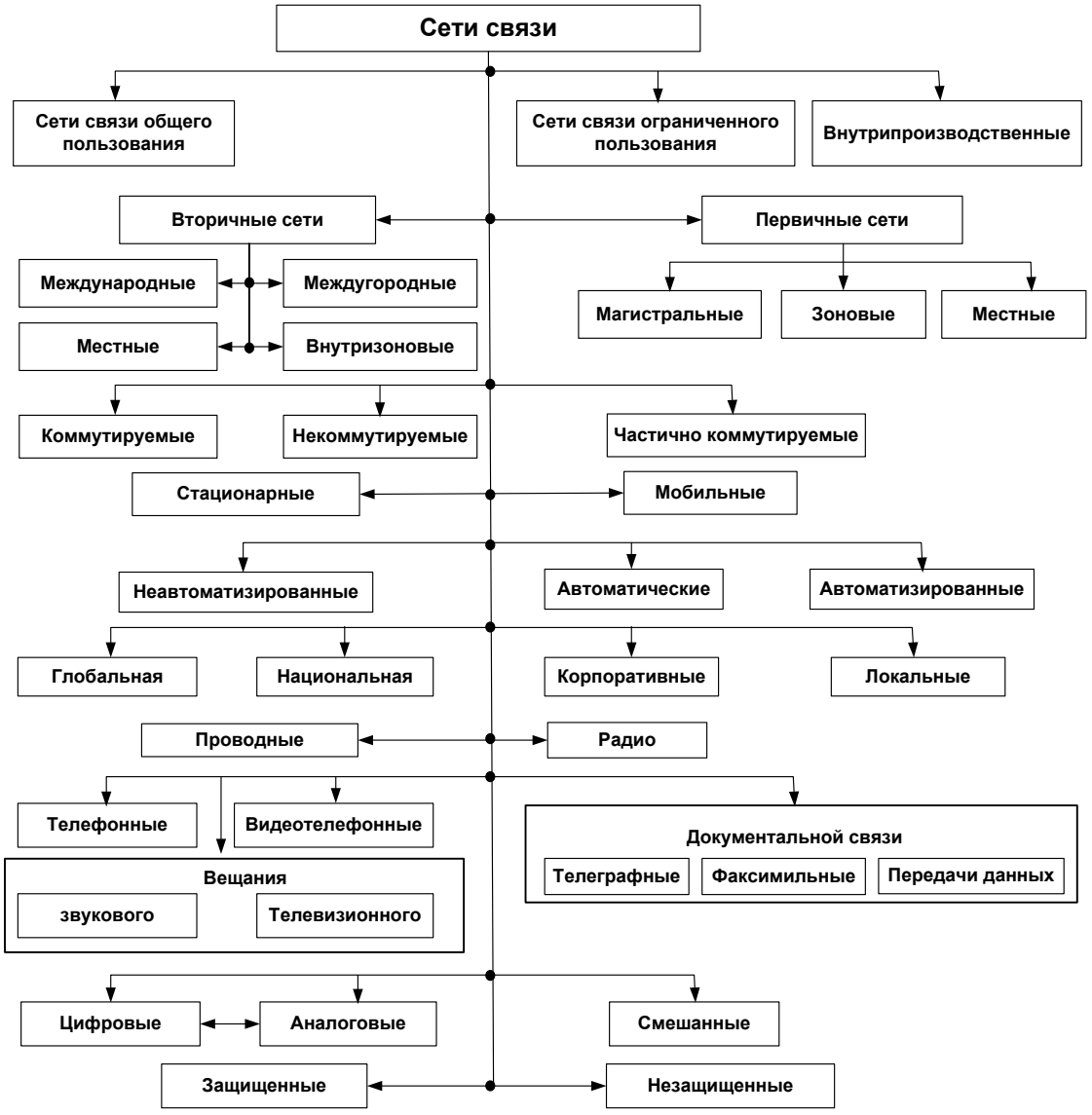


Рис. 2.5. Классификация сетей связи

По типам коммутации сети подразделяются на коммутируемые, частично коммутируемые и некоммутируемые.

Для коммутируемых и частично коммутируемых сетей связи характерно использование различных вариантов коммутации.

Долговременной называется коммутация, при которой между двумя точками сети на длительное время устанавливается постоянное соединение.

Оперативной называется коммутация, при которой между двумя точками сети организуется временное соединение.

К некоммутируемым сетям связи относятся вторичные сети, обеспечивающие долговременные (постоянные и временные) соединения оконечных устройств через канал электросвязи с помощью станций и узлов переключений.

Коммутируемая сеть связи – это вторичная сеть, обеспечивающая соединение по запросу абонента или в соответствии с заданной программой через канал электросвязи оконечных устройств вторичной сети при помощи коммутационных станций и узлов коммутации на время передачи сообщений [14]. Каналы передачи в коммутируемых сетях являются каналами общего пользования.

На частично коммутируемых сетях связи предусматривается использование всех систем долговременной и оперативной коммутации.

По оборудованию и условиям размещения сети связи подразделяются на мобильные и стационарные.

Под *мобильными* понимаются сети связи, элементы которых (концентраторы, линейные средства связи) размещаются на транспортной базе и могут перемещаться.

Стационарные сети связи создаются на базе узлов связи, размещенных в стационарных помещениях;

По степени автоматизации сети связи делятся на неавтоматизированные, автоматизированные и автоматические. На неавтоматизированных сетях связи все или большинство основных операций выполняется человеком. Автоматизированными называются сети, в которых подавляющее число функций осуществляется техническими устройствами. Автоматические сети предусматривают выполнение всех функций по передаче и коммутации сообщений автоматами.

Поохвату территории сети бывают локальными, корпоративными, национальными и глобальными.

Локальная сеть связи – сеть связи, расположенная в пределах территории предприятия, фирмы и т. д. [17].

Корпоративная сеть связи – сеть связи, объединяющая сети отдельных предприятий (фирм, организаций, акционерных обществ и т. п.) в масштабе как одного, так и нескольких государств [17].

Национальная сеть связи – сеть связи данной страны, обеспечивающая связь между абонентами внутри этой страны и выход на международную сеть.

Глобальная сеть связи объединяет сети, расположенные в разных географических областях земного шара. Одним из примеров такой сети может быть Internet.

По роду связи сети могут быть подразделены на проводные (кабельные, воздушные, волоконно-оптические) и радиосети (радиорелейные, тропосферные, спутниковые, метеорные, ионосферные и др.).

По виду связи сети подразделяют на телефонные, телеграфные, передачи данных, факсимильные, видеотелефонные, сети звукового и телевизионного вещания.

П овиду передаваемой информации различают аналоговые, цифровые и смешанные сети связи. Смешанные сети функционируют при переходе от аналоговых сетей связи к цифровым, проходя аналого-цифровой этап эволюционного развития.

*По степени защищенности***.** По этому признаку сети связи делятся на незащищенные (открытые сети телефонной, телеграфной связи и т. д.) и защищенные (сети засекреченной телефонной связи, сети засекреченной телеграфной связи и т. д.).

В рассмотренной классификации фактически отсутствуют сети интегрального обслуживания, мультисервисные, интеллектуальные сети, разработка и внедрение которых интенсивно ведется уже с 90-х годов прошлого столетия. А именно такие сети являются перспективой развития электросвязи. Что касается инфокоммуникационных сетей, являющихся результатом недавней конвергенции сетей электросвязи и информационных сетей, то вопросы их классификации пока практически неосвещены вотечественной технической литературе и ждут своего решения. В следующем разделе авторы делают первую попытку классификации инфокоммуникационных сетей по одному признаку – уровню интеграции инфокоммуникационных служб. Надеемся, что в дальнейшем эта классификация

будет развиваться и совершенствоваться, в том числе с использованием признаков рассмотренной выше классификации сетей электросвязи.

2.5. Классификация инфокоммуникационных сетей

Конвергенция информационных и телекоммуникационных технологий привела к понятию «инфокоммуникационная сеть» (ИКС), которое стало широко использоваться в научно-технической литературе с начала нового тысячелетия для обозначения сетей, обеспечивающих пользователю как информационные, так и телекоммуникационные службы и услуги. Этому понятию соответствуют как ранее созданные телекоммуникационные сети в совокупности с информационными системами, которые они обслуживают, так и современные сети типа Интернет и перспективные сети следующего поколения.

Ядром ИКС являются телекоммуникационные сети (ТКС), в состав которых входят все существующие сегодня и перспективные сети электросвязи. Другой составляющей ИКС являются информационно-вычислительные центры, базы данных и другие средства хранения, поиска и обработки информации. Третья составляющая – абонентские оконечные устройства (терминалы), обеспечивающие непосредственное взаимодействие ИКС с человеком.

По существу, такие системы существовали и раньше, но они разделялись на информационную и телекоммуникационную составляющие.

В СССР информационные и телекоммуникационные технологии развивались достаточно самостоятельно, относясь к разным областям науки и отраслям промышленности. Отрасль «Связь» (телекоммуникации) находилась в ведении двух основных министерств: Министерства связи СССР и Министерства промышленности средств связи. Информационными технологиями, связанными с созданием различных автоматизированных систем, занималось множество организаций, в первую очередь, Министерство радиопромышленности СССР и Министерство электронной промышленности. Научную координацию работ по информационно-вычислительным системам и средствам осуществлял Государственный Комитет по вычислительной технике и информатике (ГКВТИ). Каждая из этих отраслей создавала собственные научные, технологические и производственные базы, которые имеют много различий до сих пор. Эти различия останутся, видимо, и далее, так как большая часть информационных технологий, относящихся, например, к разработке станков с программным управлением, локальных систем управления производством и т. п., вряд ли войдут в копилку объединенных инфокоммуникационных технологий. К информационным технологиям инфокоммуникационных сетей следующих поколений следует относить только те технологии, которые используются для создания информационных служб ИКС, и к услугам которых обеспечивается доступ пользователей этих сетей [21].

Сегодня можно констатировать, что если «брак» вычислительной техники и средств связи привел к созданию систем и сетей передачи данных, то для рождения инфокоммуникационных сетей потребовалось «бракосочетание» информационных и телекоммуникационных сетей, которое и свершилось в конце 80-х годов прошлого столетия с появлением на мировой арене глобальной инфокоммуникационной сети Интернет. Своей популярностью, масштабами, перспективами развития Интернет продемонстрировал преимущества нового подхода к созданию сетей на базе инфокоммуникационных технологий.

Вместе с тем, это понятие нельзя связывать только с современными и перспективными сетями, скорее оно просто вызрело с развитием инфокоммуникаций. По существу, традиционные сети связи (телефонные, телеграфные) отличаются от информационных тем, что в первом случае генерацией, приемом, обработкой и хранением информации занимается человеческий мозг, а в информационных сетях часть этих функций выполняют вычислительные машины. Характерно, что передача техническим средствам различных функций по обработке информации и даже части интеллектуальных функций мозга явля-

ется главным стимулом развития вычислительной техники и техники связи, в силу чего традиционные сети связи становятся все более похожими на комплексы ЭВМ, соединенные каналами связи. Поэтому и традиционные сети связи с их информационными службами мы считаем возможным отнести к классу инфокоммуникационных сетей.

С этих позиций предлагается классификация инфокоммуникационных сетей по признаку уровня интеграции телекоммуникационных служб. Все существующие и перспективные инфокоммуникационные сети различаются, в первую очередь, разным уровнем интеграции этих служб, начиная от сетей для передачи одного вида информации (телефонные, телеграфные, телевизионные и др.) до широкополосных сетей интегрального обслуживания для передачи всех видов информации. Этот признак замечателен еще и тем, что охватывает практически все этапы развития инфокоммуникаций.

По данному признаку можно различать следующие классы инфокоммуникационных сетей.

1. ИКС для передачи одного-двух видов информации (ИКС-0). К этому классу относятся, в первую очередь, телеграфные сети, заменяющие их сети с автоматической коммутацией сообщений, а также некоторые телефонные сети и сети передачи данных, обслуживающие только один-два вида трафика.

2. ИКС с интеграцией голосовых, факсимильных служб и передачи данных на основе метода коммутации каналов (ИКС-1). К этому классу относятся существующие аналоговые и цифровые телефонные сети с коммутацией каналов и подключаемые к ним различные средства информационных служб.

3. ИКС с интеграцией факсимильных, телеграфных, телеметрических служб и передачи данных на основе метода коммутации пакетов (ИКС-2). К этому классу относятся многочисленные аналоговые и цифровые сети передачи данных X.25, FR и др. с подключенными к ним средствами различных информационных служб.

4. ИКС с интеграцией голосовых, факсимильных, телеграфных, телеметрических служб и передачи данных на основе метода коммутации пакетов (ИКС-3). К этому классу относятся некоторые сети FR, ATM и др., а также Интернет с реализацией технологии IP-телефонии, и подключаемые к ним информационные службы.

5. ИКС-4, в которых наряду с услугами ИКС-3 обеспечивается предоставление услуг по доставке видео и различного рода контента (услуги Triple Play). Для их построения используется идеология NGN, ядром которых являются мультисервисные сети высокой пропускной способности.

6. ИКС-5 – дальнейшее развитие ИКС-4, но основным видом трафика в таких сетях становится телевизионная и другая видеоинформация. Пропускная способность транспортных сетей ИКС-5 должна составлять десятки и сотни Тбит/с. Принципы построения таких сетей рассмотрены в [20-22].

В таблице 2.2 показаны некоторые характеристики инфокоммуникационных сетей разных классов.

Таблица 2.2

Характеристики инфокоммуникационных сетей разных классов

	Характеристики сетей	**ИКС-0**	**ИКС-1**	**ИКС-2**	**ИКС-3**	**ИКС-4**	**ИКС-5**
1	Метод коммутации	КК, КС	КК, ГК	КП	КП	КП	КП
2	Тип трафика	ТГ, ТФ, данные	аудио, данные	данные	аудио, данные	видео, аудио, данные	видео, аудио, данные

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Пропускная способность транспортных сетей	от 50 до 1200 бит/с	64 кбит/с	до 2 Мбит/с	до Гбит/с	до десятков Гбит/с	десятки Тбит/с
4	Пропускная способность абонентского доступа	от 50 до 1200 бит/с	64 кбит/с	до сотен кбит/с	до 2 Мбит/с	до 2 Мбит/с	до 30 Мбит/с
5	Технологии передачи и коммутации	КК, КС	КК	X.25, FR, TCP/IP и др.	FR, ATM, TCP/IP и др.	ATM, TCP/IP, MPLS и др.	ATM, MPLS, новые
6	Транспортные технологии		PDH, SDH	PDH, SDH	ATM, TCP/IP и др.	ATM, MPLS и др.	новые оптиче-ские
7	Технологии сетевого управ-ления		ОКС № 7	MOC95 95 9596 и др.	MOC 9595, SNMP и др.	TMN и др.	TMN и др.

2.6. Классификация инфокоммуникационных технологий

Конвергенция информационных и телекоммуникационных сетей, породившая понятие «инфокоммуникационные сети», позволяет выделить новый класс технологий таких сетей, которые мы назвали инфокоммуникационными технологиями. Этот новый класс должен включать все множество телекоммуникационных технологий и подмножество информационных технологий, используемых для создания информационных служб инфокоммуникационных сетей, к услугам которых обеспечивается доступ только пользователей этих сетей.

Соответственно, учитывая исторически сложившуюся ситуацию, предлагается выделить в классификации инфокоммуникационных технологий два класса технологий: информационные и телекоммуникационные (рис. 2.6.)

Перспективы развития информационных технологий с целью создания разнообразных информационных служб и услуг для пользователей практически безграничны. Поэтому для их классификации на данном этапе целесообразно выбрать в качестве признака классификации группы пользователей инфокоммуникационных сетей, которые будут рассмотрены ниже. В соответствии с этим выделяются информационные технологии для организации информационных служб в интересах науки и научных учреждений, телеобразования, телемедицины, государственных и административных структур, индивидуальных пользователей и т. д. (рис. 2.6). Очевидно, что для каждой группы пользователей будет создаваться огромное количество информационных технологий, которые должны отслеживаться, классифицироваться, стандартизироваться.

Класс телекоммуникационных технологий на сегодняшний день изучен намного лучше и их классификация определяется уже сложившейся архитектурой телекоммуникационных сетей. Целесообразно выделить технологии построения глобальных сетей, к которым относятся технологии ISDN, B.ISDN, Интернет и некоторые другие, обширную группу технологий построения локальных сетей, сетевые технологии передачи и коммутации, многие из которых являются основой построения архитектуры глобальных сетей (X.25, FR, ATM и др.), транспортные технологии и технологии сетевого управления, а

также большую группу технологий абонентского доступа и построения сетей подвижной радиотелефонной связи (СПР).

Рис. 2.6. Классификация инфокоммуникационных технологий

В дальнейшем могут появиться какие-то объединенные технологии, которые будет трудно разделить на самостоятельные информационные и телекоммуникационные. Такие технологии целесообразно выделить в отдельный класс.

2.7. Службы и услуги инфокоммуникационных сетей

По аналогии с телекоммуникационными сетями [23] под службами ИКС понимаются все без исключения инфокоммуникационные службы, которые могут быть предоставлены потребителям администрациями ИКС и провайдерами информационных услуг через ИКС общего пользования и частные сети.

Служба ИКС – это совокупность технических средств и сетевых характеристик, предоставляемых операторами ИКС абонентам для удовлетворения их специфических потребностей с помощью интегрального абонентского доступа.

Услуги ИКС предоставляются пользователю с помощью определенных служб.

Услуга ИКС – это любое использование сетевых служб ИКС со стороны абонента. Сетевые службы могут использоваться для оказания абоненту нескольких услуг. Например, в рамках службы «передача данных» услугами являются циркулярная и многоадрес-

ная передача сообщений, задержка передачи сообщения по запросу получателя или отправителя и другие.

Учитывая предложения по классификации служб в Единой сети электросвязи России [24] службы и услуги ИКС целесообразно разделить надва больших класса (рис. 2.7):

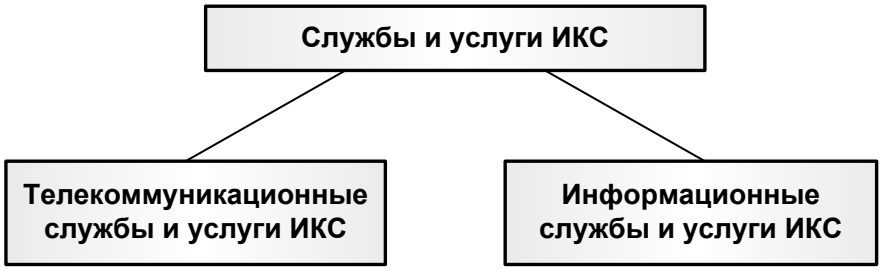


Рис. 2.7. Классы служб и услуг ИКС

телекоммуникационные службы и услуги, ориентированные, в основном, на традиционные виды электросвязи между пользователями;

информационные службы и услуги, ориентированные, в основном, на процессы обработки, хранения и поиска информации, на связь пользователя с поставщиками информации и информационных услуг.

2.7.1. Телекоммуникационные службы инфокоммуникационных сетей

Для определения служб телекоммуникационного ядра ИКС, являющегося широкополосной сетью интегрального обслуживания, могут быть использованы рекомендации, выработанные Международными организациями по стандартизации для перспективных широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания (Ш.ЦСИО) [25]. Классификация телекоммуникационных служб и услуг ИКС представлена на рис. 2.8.

Учитывая рекомендацию ССМСЭ I.211, следует различать две основные группы телекоммуникационных служб ИКС: интерактивные и распределительные. В интерактивных службах происходит двунаправленный обмен информацией между абонентами, либо между вызывающим абонентом и объектом службы, в то время как в распределительных службах такого обмена не происходит.

Интерактивные службы в свою очередь подразделяются на три категории.

Диалоговые (разговорные) службы (Conversational services) – службы, предоставляющие возможность двунаправленного (дуплексного) обмена информацией в реальном масштабе времени между пользователями или между пользователем и специальным устройством (например, для обработки данных).

Службы передачи сообщений (Messaging services) – службы, предоставляющие связь от точки к точке между пользователями через устройства промежуточного хранения информации (электронные почтовые ящики и/или устройства обработки данных). Примерами таких служб являются службы обработки сообщений и службы передачи движущихся изображений или аудиоинформации.

Распределительные службы, в отличие от интерактивных, характеризуются однонаправленным потоком информации от точки к нескольким точкам.

Службы с выборкой (Retrieval services). Абонент службы с выборкой может запросить информацию, предоставляемую для общего пользования и хранящуюся в банке данных или в других информационных центрах. Информация выдается абоненту только по его индивидуальному запросу. Момент начала передачи информации контролируется са-

мим абонентом. Примерами таких служб являются службы, предоставляющие абонентам возможность выборки фильмов, аудио программ, архивной информации и т. п.

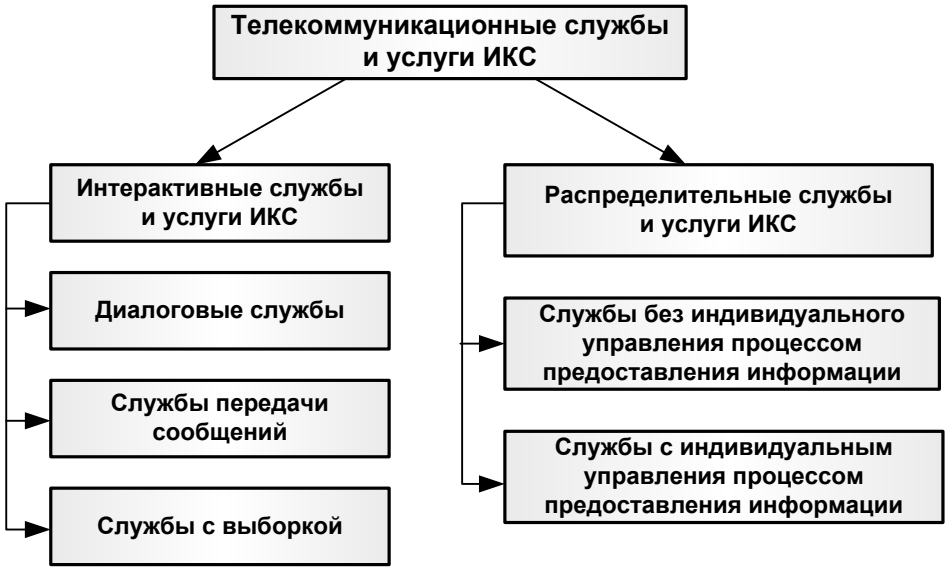


Рис. 2.8. Классификация телекоммуникационных служб и услуг

Распределительные службы подразделяются на два больших класса.

Распределительные службы без индивидуального управления процессом предоставления информации. Эта категория служб включает в себя так называемые вещательные службы. Они поддерживают передачу непрерывных потоков информации от централизованного источника в сторону неограниченного числа правомочных абонентов. При этом пользователь не имеет возможности повлиять ни на начало, ни на порядок предоставления передаваемой ему информации. Примеры таких служб – телевизионное вещание и передача аудиопрограмм.

К категории распределительных служб с индивидуальным управлением процессом предоставления информации относятся вещательные службы, в которых, в отличие от предыдущей категории служб, поток информации, предоставляемой абоненту, подразделяется на циклически повторяемые фрагменты или блоки. При этом абонент имеет возможность по своему усмотрению управлять моментом начала, а также порядком следования информационных блоков. Отдельные блоки информации при этом всегда передаются с самого начала. Примером такой службы является широкополосная вещательная видеография.

Большинство широкополосных служб может быть подразделено на совокупность отдельных составляющих их элементов (сетевых возможностей), например, видео- и аудиоэлементы службы видеотелефонной связи. Эти элементы (компоненты служб) могут предоставляться отдельно друг от друга для самых различных применений (с различным качеством).

При использовании в ИКС асинхронного режима переноса – ATM (Asynchronous Transfer Mode) необходимая скорость передачи для различных компонентов служб может меняться. Поэтому для служб и их компонентов требуется различная ширина полосы пропускания, которая определяется видом источника информации.

Источники информации условно делятся на ориентированные на постоянную скорость передачи (CBR) и ориентированные на переменную скорость передачи (VBR). Компоненты служб, относящиеся к непрерывным источникам, в свою очередь, подразделяются на те, в которых применяются кодирование с постоянной скоростью, и те, в которых

скорость может меняться. Компоненты с фиксированной скоростью кодирования (при этом возможно использование различных способов сжатия информации) предъявляют требования к постоянству ширины полосы пропускания или скорости передачи, а компоненты с изменяющейся скоростью для уменьшения объема передаваемых данных и соответствующей требуемой скорости передачи используют более эффективные методы кодирования и компрессии, что, однако, приводит к усложнению детальной спецификации компонентов служб. Поэтому компоненты с изменяющейся скоростью кодирования характеризуются максимальным (или пиковым) и средним значениями требуемой ширины полосы пропускания или скорости передачи.

При асинхронном режиме переноса без жесткого закрепления за источниками информации ресурсов передачи, ширина полосы может быть определена отдельно для каждого направления передачи.

Поэтому различные службы нуждаются в исследовании направленности их потоков от абонента и к абоненту.

В этой связи службы могут быть классифицированы следующим образом:

двунаправленные симметричные (например, телефон);

двунаправленные асимметричные (например, телефакс);

однонаправленные (например, распределение телепрограмм).

Описанные выше службы рассматриваются на уровне пользователей. Для их реализации на сетевом уровне используются базовые службы переноса информации.

Службы переноса информации подразделяются на два класса: широкополосные службы переноса с соединением и службы переноса без соединения.

Служба переноса с соединением обеспечивает передачу цифровой информации посредством виртуального соединения. Перенос сигнальной информации осуществляется через отдельное виртуальное соединение.

Асинхронный режим переноса предоставляет пользователям возможность осуществлять связь различной конфигурации (точка-точка, многоточечная, вещательная и многоадресная) посредством соединений виртуального тракта и соединений виртуального канала в широкополосном тракте ИКС. Связь может осуществляться в двустороннем симметричном, двустороннем асимметричном и одностороннем режимах.

Служба переноса без соединения определяется как служба, которая позволяет своим абонентам обмениваться информацией без необходимости процедуры установления соединений из конца в конец между пользователями. Пакеты данных могут передаваться из одного источника по одному адресу или из одного источника по многим адресам.

В качестве примера представим некоторые реализации рассмотренных служб.

К диалоговым службам относятся:

широкополосная видеотелефония;

широкополосная видеоконференция;

телефонная служба;

службы передачи видео/аудио информации;

многоканальная передача звуковых программ;

служба высокоскоростной передачи цифровой информации;

передача больших объемов данных;

высокоскоростной телефакс;

служба передачи изображений свысоким разрешением;

службы доступа в другие сети (Интернет, X.25 и др.);

служба передачи документов (например, передача смешанных документов текст + графика + подвижные/неподвижные изображения + звук между пользователями) и другие.

К службам передачи сообщений относятся:

видеопочта (например, служба электронной почты для передачи движущихся изоб-

ражений и соответствующего звука);

документальная почта и другие.

К службам с выборкой относятся:

широкополосный видеотекс;

выборка видеопрограмм;

выборка неподвижных изображений с высоким разрешением (например, для передачи изображений в целях диагностики);

служба выборки документов и другие.

К распределительным службам без индивидуального управления процессом предоставления информации относятся:

службы распределения телевизионных программ с существующим качеством, улучшенным качеством, с высоким разрешением;

абонентское телевидение (с платой за просмотр);

служба распределения документов («электронная газета», «электронное издательство») и другие.

Примером распределительной службы с индивидуальным управлением процессом предоставления информации является полноканальная вещательная видеография для образовательных и тренировочных программ, программ новостей, телерекламы.

Каждая служба выполняет определенные функции, которые можно подразделить наосновные и дополнительные. К основным относится минимальный набор функций, необходимый для выполнения службой возложенных нанее задач. Дополнительные функции модифицируют или дополняют основные функции, например, в отношении повышения качества или удобства связи в рамках основной службы. Для абонента они предлагаются не как самостоятельные службы, а как дополнительные услуги в сочетании с основными функциями службы. Одна и та же дополнительная услуга может быть введена в несколько служб.

Дополнительные услуги можно подразделить на три группы:

услуги, связанные с абонентским доступом;

услуги, связанные с соединением;

услуги, связанные с информацией.

Возможными услугами, связанными с абонентским доступом может быть одновременное использование нескольких служб (например, телефонной и передачи данных) или переключение с одной службы на другую (например, с речевой связи на факсимильную). К возможным услугам, связанным с соединением, можно отнести услугу по организации замкнутой группы пользователей или запрещение входящей (исходящей) связи и многие другие.

К возможным дополнительным услугам, связанным с информацией, относятся: информация о плате, информация о сети, различные справки, идентификация и другие.

2.7.2. Информационные службы инфокоммуникационных сетей

Перечень информационных служб и услуг с развитием ИКС будет постоянно расширяться и провести классификацию всего перечня в настоящее время не представляется возможным. Поэтому целесообразно определить некоторые общие признаки, по которым можно разделить различные информационные службы.

Очевидно, что информационные услуги могут обеспечиваться собственными информационными службами ИКС, т. е. службами, организованными в рамках мультисервисной сети, и информационными службами вне сети, к которым ИКС обеспечивает доступ. Таким образом, информационные службы ИКС можно разделить на две группы: собственные и внешние (рис. 2.9).

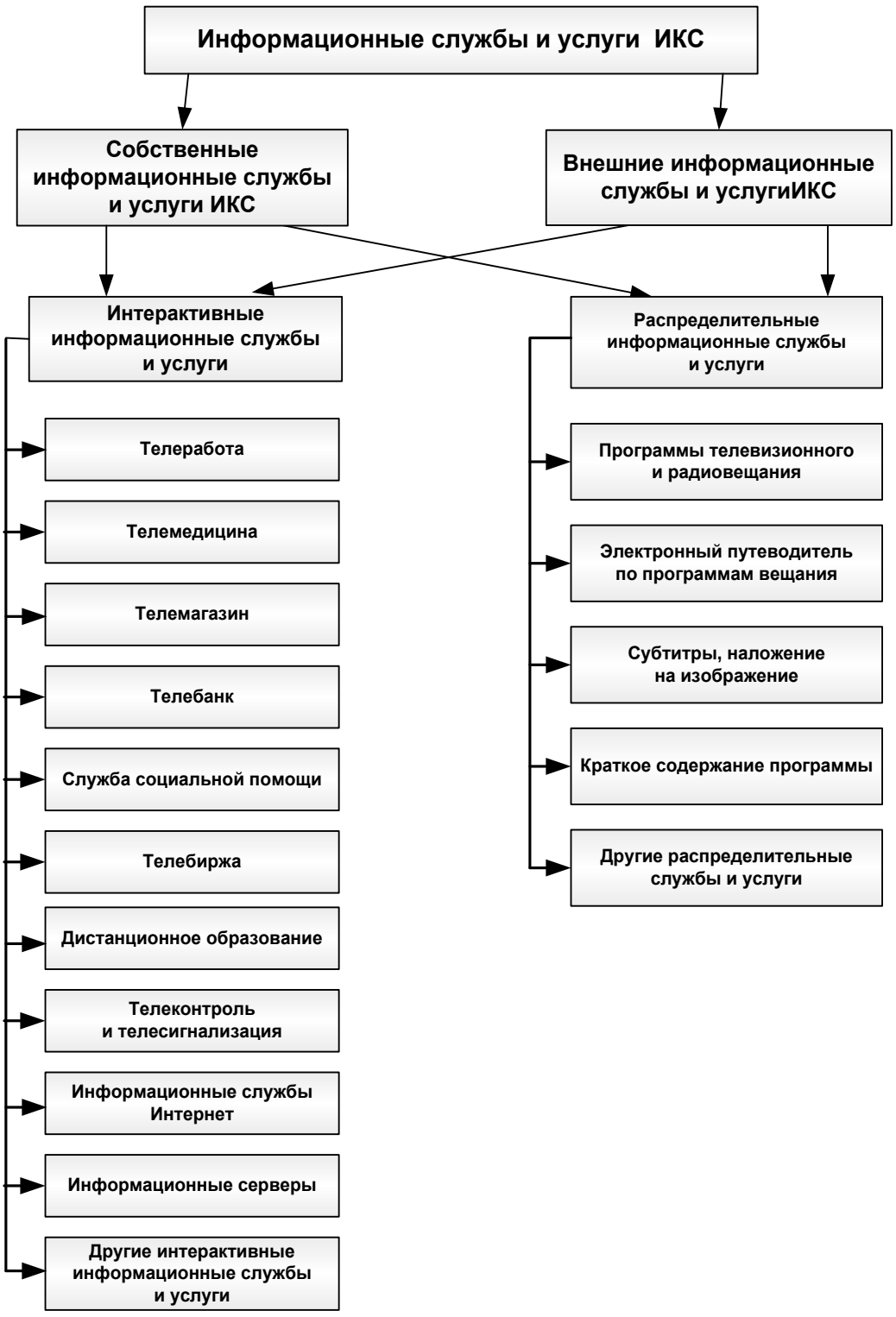


Рис. 2.9. Классификация информационных служб и услуг ИКС

Собственные службы организуются в виде различных серверов и центров информационных служб, которые могут стать основными источниками доходов ИКС. Примерами таких служб могут быть центры вещательных программ (ТВ, радио), серверы коммунальных служб, серверы компьютерных игр и другие.

К внешним информационным службам, к которым ИКС обеспечивает доступ, относятся информационные службы Интернет, телефонных сетей общего пользования, сетей

передачи данных, информационно вычислительных центров и баз данных муниципальных, районных, городских, государственных и международных информационных систем и другие.

Информационные услуги предоставляются пользователю с помощью определенных телекоммуникационных служб. Например, телевизионные и радиопрограммы из центра вещательных программ доставляются пользователю с помощью телекоммуникационных распределительных служб, а информация с серверов компьютерных игр через телекоммуникационные диалоговые службы. Таким образом, следующим признаком классификации информационных служб может быть их привязка к обеспечивающим телекоммуникационным службам.

К информационным службам следует отнести службы, связанные с удаленным обслуживанием пользователей с помощью специально разработанных и установленных в рамках ИКС или вне ее технических систем. Именно такие службы способны в корне изменить условия жизни и деятельности людей.

На сегодняшний день исследуется и внедряется целый ряд таких служб:

телеработа, когда пользователь устанавливает связь через поставщика услуг, активизирует и управляет местными и удаленными средствами, связывается с сотрудниками посредством аудио, видео и данных, не выходя из дома;

телемедицина как служба дистанционного медицинского обслуживания, включая консультации с местными и зарубежными специалистами;

телемагазин как служба, предназначенная для дистанционного проведения торговых операций между покупателями и поставщиками товаров;

телебанк обеспечивает совершение определенных банковских операций электронными средствами;

служба социальной помощи, обеспечивающая личный контакт обслуживающего социального персонала муниципалитета, района, города, например, с пожилыми гражданами, находящимися дома;

телебиржа, с помощью которой можно осуществлять все функции традиционной биржи. При этом обеспечивается одновременная работа нескольких представителей биржи, защита баз данных, предотвращение несанкционированного доступа к системе и др.;

дистанционное образование и обучение с организацией интерактивного обратного канала между преподавателями и учениками. Для имитации обстановки, близкой к условиям учебных заведений, можно использовать «виртуальные классы», «виртуальные аудитории» и т. п.

Целесообразно выделить в отдельную группу службы, связанные с доступом к различным информационным серверам, обеспечивающим такие услуги, как электронные игры, новости по запросу, справочная информация, кино по запросу и т. д. Рынок таких услуг будет постоянно расширяться и обновляться и становиться все более привлекательным для широких слоев населения, а производство этих услуг потребует создания мощной индустрии комплексов технических средств и программного обеспечения.

В качестве примера приведем ряд услуг, связанных с передачей видеосигналов [26]:

Video on Demand (V0D) или видео по запросу – запрос и просмотр видеоконтента, фильмов, ТВ передач и т. п. в заданное пользователем время;

Network Personal Video Recorder (nPVR, PVR) – управляемая пользователем цифровая запись контента на сетевой сервер или STB с целью последующего индивидуального просмотра;

Remote Recording Capabilities – возможность дистанционного управления функциями V0D, PVR и др. с мобильного телефона, ПК, других устройств;

Time Shifting – возможность отлаженного просмотра ТВ передач и замедленный просмотр в ходе передачи понравившегося фрагмента;

Interactive Services – обеспечение двустороннего канала, обратной связи между поль-

зователем и производителем контента, а также другими пользователями в целях интерактивного взаимодействия;

Voice over IP – организация речевого обмена в группах (например, открытый чат для обсуждения в процессе просмотра ТВ передачи, фильма и т. д.);

E-mail on TV – организация электронной почты без использования ПК (на экране ТВ приемника);

Unified Messaging – интеграция голосовых и текстовых сообщений;

Caller ID – идентификация номера звонящего абонента и отображение номера на экране ТВ;

Video Telephony – организация видеотелефонии, видеоконференций между пользователями сети;

Walled Garden Internet – организация доступа к контентным ресурсам и сервисам, размещенным на сети оператора;

Home Surweillance – организация дистанционного домашнего видеонаблюдения и др.

Отдельную группу составят службы, связанные с контролем и сигнализацией различных объектов, таких как охранная и пожарная сигнализация, телеконтроль счетчиков расхода электроэнергии, воды, газа и др., системы телеголосования и т. д.

В [27] предложено выделить комплексы услуг, связанные с программами вещания, вспомогательными данными и сигналами, с применением прямого интерактивного канала и др.

С программами вещания могут быть связаны следующие услуги:

электронный путеводитель по программам вещания в виде каталога и содержания программ. Выбор ТВ-программ из каталога производится по запросу абонента;

субтитры, наложенные на изображение на экране телевизора. Могут передаваться одновременно на нескольких языках;

резюме как краткое содержание программы. Транслируется в процессе передачи программы;

описание передаваемой программы для абонентов с дефектами зрения;

рейтинг программ вещания в соответствии с результатами, полученными от телезрителей или ответами на вопросы, задаваемые источником программ и др.

К услугам, связанным с вспомогательными данными и сигналами относятся:

управление доставкой программы, как дистанционное управление записью ТВ передач на домашний видеомагнитофон. Данные могут использоваться также для обозначения наименования программ, времени окончания передачи и для управления переключением ТВ каналов;

опознавание реклам и объявлений в составе ТВ программ;

опознавание срочной информации, например, экстренных сообщений и прерывание видеозаписи программы на время их передачи;

управление видеозаписью программ вещания, как разрешение или запрет записи принимаемой программы ТВ вещания на видеомагнитофон;

навигационная информация, позволяющая ориентироваться во множестве источников информации.

Литература

1. Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ «О связи».

2. Материалы пресс-конференции Министра информационных технологий и связи 18.12.2006, г. Москва.

3. Постановление Правительства РФ от 28.03.2005 № 161 «Об утверждении правил присоединения сетей электросвязи и их взаимодействия».

4. Постановление Правительства РФ от 15.04.2005 № 222 «Об утверждении Правил оказания услуг телеграфной связи».

5. Постановление Правительства РФ от 18.05.2005 № 310 «Об утверждении Правил оказания услуг местной, внутризоновой, междугородной и международной связи».

6. Постановление Правительства РФ от 25.05.2005 № 328 «Об утверждении Правил оказания услуг подвижной связи».

7. Постановление Правительства РФ от 23.01.2006 № 32 «Об утверждении Правил оказания услуг связи по передаче данных».

8. Постановление Правительства РФ от 18.02.2005 № 87 «Об утверждении перечня наименований услуг связи, вносимых в лицензии, и перечня лицензионных условий».

9. Постановление Правительства РФ от 10.09.2007 № 575 «Об утверждении Правил оказания телематических услуг связи».

10. Федеральный закон от 26.07.2006 № 132-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О связи».

11. Http://minkomsvjaz.ru

12. Http://www.donland.ru/departments

13. Воробьев С. П., Шибанов В. С. Введение в инфокоммуникационные сети // Телекоммуникационные технологии, 2001. Вып. 2. – С. 3–17.

14. Основные положения развития взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года. Справочное приложение 2. Словарь основных терминов и определений. – М.: НТУ ОТ Минсвязи России, 1996.– 27 с.

15. Архитектура, протоколы и тестирование открытых информационных сетей. Толковый словарь. – М.: «Финансы и статистика», 1989.

16. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. 2-е издание. – СПб.: Наука, 2004.– 405 с.

17. Ломовицкий В. В., Михайлов А. И., Шестак К. В., Щекотихин В. М. Системы и сети передачи информации.– Орел: Академия ФСО России, 2009.– 572 с.

18. ГОСТ 22348-86. Сеть связи автоматизированная единая. Термины и определения.

19. Руководящий документ по общегосударственной системе автоматизированной телефонной связи (ОГСТфС). Книга 1. – М.: Прейскурантиздат, 1988.– 448 с.

20. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в Глобальной информационной инфраструктуре. - СПб.: Наука, 2008.– 552 с.

21. Воробьев С. П., Махровский О. В. О выборе технологии для сетей следующего поколения//Век качества, 2006. Вып. 4. – С.46–49.

22. Воробьев С. П., Махровский О. В. Концепция построения мультисервисных инфокоммуникационных сетей следующего поколения//Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика– 2006 (РИ-2006). Материалы конференции. Тезисы докладов. - СПб.: 2006.

23. Боккер П. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы.– М.: Радио исвязь, 1991.– 304 с.

24. Москвитин В. Д. От взаимоувязанной сети связи к Единой сети электросвязи России//Вестник связи, 2003. №8. – С. 33–48

25. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения.– СПб.: Наука. 2000.– 336 с.

26. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации.– М.: ЭКОТРЕНДЗ, 2008.– 400 с.

27. Кривошеев М. И., Федунин В. Г. Интерактивное телевидение.– М.: Радио и связь, 2000.

ГЛАВА 3. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ

К основным тенденциям развития инфокоммуникаций можно отнести:

эволюционный переход к информационным технологиям пятого и шестого поколения;

широкое внедрение средств вычислительной техники во все сферы человеческой деятельности, зарождение и развитие нового направления в электросвязи – передачи данных;

конвергенция («бракосочетание») вычислительной техники итехники средств связи;

цифровизация систем и оборудования электросвязи;

эволюция методов коммутации к наиболее универсальной пакетной технологии;

интеграция сетей и служб электросвязи;

стремительный рост сетей мобильной связи с внедрением и развитием полного набора услуг, включая широкополосные;

стремительный рост Интернет с развитием ее технологий до уровня универсальных;

рост потребностей в услугах мультимедиа;

конвергенция информационных и телекоммуникационных сетей на пути создания единых инфокоммуникационных сетей следующего поколения как технической основы Глобальной информационной инфраструктуры.

Эти тенденции привели к созданию множества современных инфокоммуникационных технологий, которые позволили поставить задачу разработки концепций инфокоммуникационных сетей следующего поколения как технической базы Глобальной информационной инфраструктуры.

3.1. Этапы эволюции информационных технологий

Эволюция информационных технологий наиболее ярко прослеживается на процессах хранения, транспортирования и обработки информации [1].

В управлении данными, объединяющем задачи получения, хранения, управления, анализа и визуализации данных, выделяют шесть временных фаз (поколений), которые представлены на рис. 3.1.

Вначале данные обрабатывались вручную. На следующем шаге использовались оборудование с перфокартами и электромеханические машины для сортировки и табулирования миллионов записей. В третьей фазе данные хранились на магнитных лентах, и сохраняемые программы выполняли пакетную обработку последовательных файлов. Четвертая фаза ввела понятия схемы базы данных и оперативного навигационного доступа к данным. В пятой фазе был обеспечен автоматический доступ к реляционным базам данных и была внедрена распределенная и клиент-серверная обработка. Теперь мы находимся в начале шестого поколения систем, которые хранят более богатые типы данных, в особенности документы, графические, звуковые и видеообразы. Эти системы шестого поколения представляют собой базовые средства хранения для появляющихся приложений Internet и Intranet.

Для *нулевого поколения* (4000 г. до н. э. - 1900 г.) в течение шести тысяч лет наблюдалась эволюция от глиняных таблиц к папирусу, затем к пергаменту и, наконец, к бумаге. Имелось много новшеств в представлении данных: фонетические алфавиты, сочинения, книги, библиотеки, бумажные и печатные издания. Это были большие достижения, но обработка информации в эту эпоху производилась вручную.

Первое поколение (1900 - 1955 гг.) связано с технологией перфокарт, когда запись данных представлялась в виде двоичных структур на перфокарте. Процветание компании IBM в период от 1915 до1960 года связано с производством электромеханического оборудования для записи данных на карты, сортировки и составления таблиц. Громоздкость оборудования, необходимость хранения громадного количества перфокарт предсказывали

появление новой технологии, которая должна была вытеснить электромеханические компьютеры.

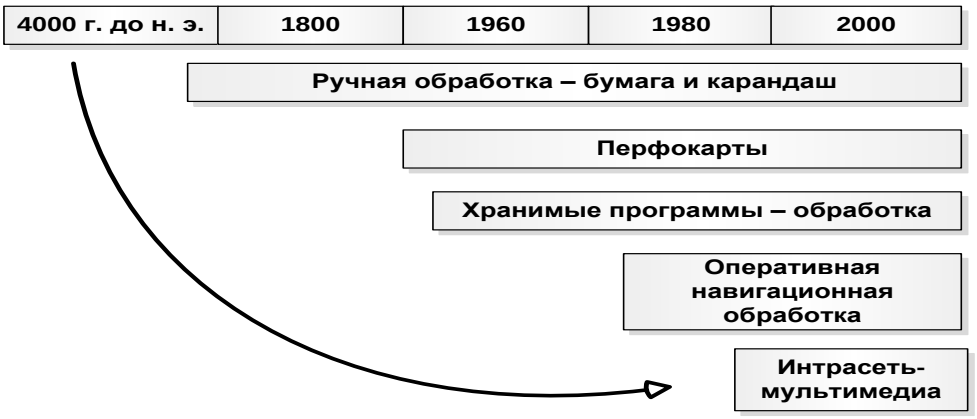


Рис. 3.1. Временные фазы развития управления данными

Второе поколение (программируемое оборудование обработки записей, 1955–1980 гг.) связано с появлением технологии магнитных лент, каждая из которых могла хранить информацию десятков тысяч перфокарт. Для обработки информации были разработаны электронные компьютеры с хранимыми программами, которые могли обрабатывать сотни записей в секунду. Ключевым моментом этой новой технологии было программное обеспечение, с помощью которого сравнительно легко можно было программировать и использовать компьютеры.

Программное обеспечение этого времени поддерживало модель обработки записей на основе файлов. Типичные программы последовательно читали несколько входных файлов и производили на выходе новые файлы. Для облегчения определения этих ориентированных на записи последовательных задач были созданы COBOL и несколько других языков программирования. Операционные системы обеспечивали абстракцию файла хранения этих записей, язык управления заданиями для выполнения заданий и планировщик заданий для управления потоком работ.

Системы пакетной обработки транзакций сохраняли транзакции на картах или лентах и собирали их в пакеты для последующей обработки. Раз в день эти пакеты транзакций сортировались. Отсортированные транзакции сливались с хранимой на ленте намного большей по размерам базой данных (основным файлом) для производства нового основного файла. На основе этого основного файла также производился отчет, который использовался как гроссбух на следующий бизнес-день. Пакетная обработка позволяла очень эффективно использовать компьютеры, но обладала двумя серьезными ограничениями: невозможность распознавания ошибки до обработки основного файла и отсутствие оперативного знания о текущей информации.

Третье поколение (оперативные базы данных, 1965 - 1980 гг.) связано с внедрением оперативного доступа к данным в интерактивном режиме, основанном на использовании систем баз данных с оперативными транзакциями.

Технические средства для подключения к компьютеру интерактивных компьютерных терминалов прошли путь развития от телетайпов к простым алфавитно-цифровым дисплеям и, наконец, к сегодняшним интеллектуальным терминалам, основанным на технологии персональных компьютеров.

Оперативные базы данных хранились на магнитных дисках или барабанах, которые обеспечивали доступ к любому элементу данных за доли секунды. Эти устройства и про-

граммное обеспечение управления данными давали возможность программам считывать несколько записей, изменять их и затем возвращать новые значения оперативному пользователю. Вначале системы обеспечивали простой поиск данных: либо прямой поиск по номеру записи, либо ассоциативный поиск по ключу.

Простые индексно-последовательные организации записей быстро развились к более мощной модели записей, ориентированной на наборы. Эволюция моделей данных прошла путь от иерархических и сетевых моделей к реляционным.

В этих ранних базах данных поддерживались три вида схем данных:

логическая схема, которая определяет глобальный логический проект записей базы данных и связей между записями;

физическая схема, описывающая физическое размещение записей базы данных на устройствах памяти и в файлах, а также индексы, нужные для поддержки логических связей;

предоставляемая каждому приложению подсхема, раскрывающая только часть логической схемы, которую использует программа.

Механизм логических, физических схем и подсхем обеспечивал независимость данных. И на самом деле, многие программы, написанные в ту эпоху, все еще работают сегодня с использованием той же самой подсхемы, с которой все начиналось, хотя логическая и физическая схемы абсолютно изменились.

К 1980 году сетевые (и иерархические) модели данных, ориентированные на наборы записей, стали очень популярны. Однако навигационный программный интерфейс был низкого уровня, что послужило толчком к дальнейшему совершенствованию информационных технологий.

Четвертое поколение (реляционные базы данных; архитектура клиент-сервер, 1980 - 1995 гг.) являлась альтернативой низкоуровневому интерфейсу. Идея реляционной модели состоит в единообразном представлении сущности и связи. Реляционная модель данных обладает унифицированным языком для определения данных, навигации по данным и манипулирования данными. Работы в этом направлении породили язык, названный SQL (Structured Query Language – язык структурированных запросов).

Сегодня почти все системы баз данных обеспечивают интерфейс SQL. Кроме того, во всех системах поддерживаются собственные расширения, выходящие за рамки этого стандарта.

Реляционная модель обладает некоторыми неожиданными преимуществами, кроме повышения продуктивности и простоты использования. Реляционная модель оказалась хорошо пригодной к использованию в архитектуре клиент- сервер, параллельной обработке и графических пользовательских интерфейсах. Приложение клиент-сервер разбивается на две части. Клиентская часть отвечает за поддержку ввода и представление выводных данных для пользователя или клиентского устройства. Сервер отвечает за хранение базы данных, обработку клиентских запросов к базе данных, возврат клиенту общего ответа. Реляционный интерфейс особенно удобен для использования в архитектуре клиент-сервер, поскольку приводит к обмену высокоуровневыми запросами и ответами. Высокоуровневый интерфейс SQL минимизирует коммуникации между клиентом и сервером. Сегодня многие клиент-серверные средства строятся на основе протокола Open Data Base Connectivity (ODBC), который обеспечивает для клиента стандартный механизм запросов высокого уровня к серверу. Парадигма клиент-сервер продолжает развиваться. Имеется возрастающая тенденция интеграции процедур в серверах баз данных. В частности, такие процедурные языки, как BASIC и Java, были добавлены к серверам, чтобы клиенты могли вызывать прикладные процедуры, выполняемые на сервере.

Параллельная обработка баз данных была вторым неожиданным преимуществом реляционной модели. Отношения являются однородными множествами записей. Реляционная модель включает набор операций, замкнутых по композиции: каждая операция полу-

чает отношения на входе и производит отношение как результат. Поэтому реляционные операции естественным образом предоставляют возможности конвейерного параллелизма путем направления вывода одной операции на вход следующей.

Реляционные данные также хорошо приспособлены к графическим пользовательским интерфейсам (GUI). Пользователи легко могут создавать отношения в виде электронных таблиц и визуально манипулировать ими.

Между тем файловые системы и системы, ориентированные на наборы, оставались рабочими лошадками многих корпораций. С годами эти корпорации построили громадные приложения и не могли легко перейти к использованию реляционных систем. Реляционные системы скорее стали ключевым средством для новых клиент-серверных приложений.

Пятое поколение (мультимедийные базы данных, 1995 – ...) связано с переходом от традиционных баз данных, хранящих числа и символы, к объектно-реляционным базам данных, содержащим данные со сложным поведением.

Например, географам следует иметь возможность реализации карт, специалистам в области текстов имеет смысл реализовывать индексацию и выборку текстов, специалистам по графическим образам стоило бы реализовать библиотеки типов для работы с образами. Конкретным примером может служить распространенный объектный тип временных рядов. Вместо встраивания этого объекта в систему баз рекомендуется реализация соответствующего типа в виде библиотеки классов с методами для создания, обновления и удаления временных рядов.

Быстрое развитие Internet усиливает эти тенденции. Клиенты и серверы Internet строятся с использованием апплетов, которые сохраняют, обрабатывают и отображают данные того или иного типа. Общераспространенные апплеты управляют звуком, графикой, видео, электронными таблицами, графами. Для каждого из ассоциированных с этими апплетами типов данных имеется библиотека классов. Настольные компьютеры и Web-браузеры являются распространенными источниками и приемниками большей части данных. Поэтому типы и объектные модели, используемые в настольных компьютерах, будут диктовать, какие библиотеки классов должны поддерживаться на серверах баз данных.

Подводя итог следует отметить, что базы данных призваны хранить больше, чем только числа и текстовые строки. Они используются для хранения многих видов объектов, которые мы видим в World Wide Web, и связей между этими объектами. Различие между базой данных и остальной частью Web становится размытым. Каждый поставщик баз данных обещает «универсальный сервер», который будет хранить и анализировать все формы данных (все библиотеки классов и соответствующие объекты).

Чтобы приблизиться к современному состоянию технологии управления данными, имеет смысл описать два крупных проекта управления данными, в которых используются предельные возможности сегодняшней технологии [2]. Система Earth Observation System/Data Information System (EOS/DIS) разрабатывается агентством NASA и его подрядчиками для хранения всех спутниковых данных, которые начали поступать со спутников серии «Миссия к планете Земля» в 1977 году. Объем базы данных, включающей данные от удаленных сенсорных датчиков, будет расти на 5 Тбайт в день (Тбайт – это 1 млн. Гбайт). К 2007 году размер базы данных вырос до15 петабайт. Это в тысячу раз больше объема самых больших сегодняшних оперативных баз данных. NASA желает, чтобы эта база данных была доступна каждому в любом месте в любое время. Любой человек сможет производить поиск, анализ и визуализацию данных из этой базы данных. Для построения EOS/DIS потребуются наиболее развитые методы хранения, поиска и визуализации данных. Большая часть данных будет обладать пространственными и временными характеристиками, так что для системы потребуются существенное развитие технологии хранения данных этих типов, а также библиотеки классов для различных научных наборов дан-

ных. Например, для этого приложения потребуется библиотека для определения снежного покрова, каталога растительных форм, анализа облачности и других физических свойств образов. Эта библиотека классов должна легко подключаться к менеджеру данных EOS/DIS.

Другим впечатляющим примером базы данных является возникающая всемирная библиотека. Многие ведомственные библиотеки открывают доступ к своим хранилищам в режиме on-line. Новая научная литература публикуется в режиме on-line. Такой вид публикации поднимает трудные социальные вопросы по поводу авторских прав и интеллектуальной собственности и заставляет решать сложные технические проблемы. Пугают размеры и многообразие информации. Информация появляется на многих языках, во многих форматах данных и в громадных объемах. При применении традиционных подходов к организации такой информации (автор, тема, название) не используют мощности компьютеров для поиска информации по содержимому, для связывания документов и для группирования сходных документов. Обнаружение информации, нахождение требуемой информации в море документов, карт, фотографий, звука и видео представляет собой захватывающую и трудную проблему.

Быстрое развитие технологий хранения информации, коммуникаций и обработки позволяет переместить всю информацию в киберпространство. Программное обеспечение для определения, поиска и визуализации оперативно доступной информации – ключ к созданию и доступу к такой информации. Основные задачи, которые необходимо решить:

определение моделей данных для их новых типов (например, пространственных, темпоральных, графических) и их интеграция с традиционными системами баз данных;

масштабирование баз данных по размеру (до петабайт), пространственному размещению (распределённые) и многообразию (неоднородные);

автоматическое обнаружение тенденций данных, структур и аномалий (добывание данных, анализ данных);

интеграция (комбинирование) данных из нескольких источников;

создание сценариев и управление потоком работ (процессом) и данными в организациях;

автоматизация проектирования и администрирования базами данных.

3.2. Вычислительная техника и передача данных

Компьютеры появились в 50-х годах прошлого века. Первоначально это были большие, громоздкие и очень дорогие конструкции, иногда занимающие целые здания. Пользоваться ими могли только богатые организации в режиме пакетной обработки. Пользователи подготавливали свои задания на перфокартах, операторы вычислительного центра принимали их и вводили в компьютер. Распечатанные результаты пользователь получал обычно на следующий день. Интерактивные многотерминальные системы, обеспечившие удаленный режим работы пользователя с компьютером, появились в начале 60-х годов, когда компьютеры существенно подешевели.

Терминалы пользователей вышли за пределы вычислительного центра и стали распределяться по всему предприятию. Такие системы уже были похожи на локальные сети, хотя вычислительные ресурсы были полностью централизованы.

Однако хронологически первыми возникли глобальные сети [3–5], так как в то время назрела более насущная задача связи удаленных на десятки и сотни километров терминалов с компьютерами и компьютера с компьютером. При построении таких глобальных сетей были впервые предложены и отработаны многие идеи современных сетей, такие как многоуровневое построение протоколов, технология коммутации пакетов, маршрутизация пакетов и др.

Аналогичные задачи стояли и при построении сетей связи с коммутацией сообщений, таких в частности, как уже упомянутые выше «Автодин» США и «Родник» СССР. В центрах коммутации сообщений этих систем использовались самые мощные по тем временам компьютеры, что можно рассматривать как первые шаги внедрения вычислительной техники в системы связи. Для передачи данных по каналам связи плохого качества стала создаваться аппаратура передачи данных (АПД), в состав которой входили модемы и устройства защиты от ошибок (УЗО). Это дало толчок разработке множества методов и технологий помехозащищенного кодирования, а также методов и протоколов передачи данных по каналам связи (канальный уровень).

Начало 70-х годов ознаменовалась технологическим прорывом – появлением больших интегральных схем, на их базе были разработаны мини-компьютеры, которые по стоимости стали доступны даже мелким предприятиям. Необходимость совместной работы компьютеров одного предприятия привело к созданию первых локальных сетей, в которых вначале для соединения компьютеров использовались самые различные устройства сопряжения. Однако уже в середине 80-х годов утвердились стандартные технологии объединения компьютеров в сеть – Ethernet, Arcnet, Token Ring, которые дали начало целому классу технологий локальных сетей, некоторые из которых распространились и на глобальные сети. Мощным стимулом для их развития стали персональные компьютеры (ПК).

В сетях передачи данных, которые создавались во всех странах мира в 60–70-е годы, изначально использовалась вычислительная техника, а в телефонных и телеграфных станциях долгое время господствовали электромеханические и координатные коммутаторы. Однако в середине 70-х годов и в этом оборудовании стала широко применяться вычислительная техника. Это дало толчок дальнейшему сближению информационно-вычислительных сетей с сетями связи и появлению понятия «инфокоммуникационные сети» [6], как нового направления развития сетей следующего поколения.

3.3. Цифровизация систем и оборудования электросвязи

Основой сетей связи являются первичные сети каналов связи различной физической природы. Основную массу каналов связи составляют кабельные, радиорелейные, спутниковые, проводные, каналы радиосвязи (КВ, УКВ и др.), световодные каналы. На их базе организуют аналоговые и цифровые системы передачи (АСП и ЦСП).

До 70-х годов первичные сети были, в основном, аналоговыми. Однако с точки зрения передачи информации цифровые сети являются более универсальными и эффективными. Стоимость цифровой сети примерно на 30 % меньше стоимости аналоговой сети. Успехи в электронной технологии стали трамплином для бурного создания и развития ЦСП.

Уже в начале 80-х годов в ЦСП была реализована скорость 140 Мбит/с, и находились в разработке ЦСП со скоростями 420, 560, 700, 840 Мбит/с.

Наиболее перспективными ЦСП считались системы на базе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). До их внедрения ЦСП были более экономичны по сравнению с АСП на местных сетях и менее – на магистральных. С внедрением ВОЛС картина изменилась и на магистральных линиях ЦСП стали дешевле.

В ряде стран (Англия, Франция) переход на полностью цифровые системы передачи завершился в начале 90-х годов.

Из вторичных сетей ведущее место в электросвязи занимала телефонная связь. Темпы развития этого вида связи на протяжении последних 30 лет не снижался менее, чем 6 % в год, а в отдельных странах достигали 15–20 %.

Основными тенденциями развития телефонных сетей в 80-х годах являлись:

разработка и внедрение цифровых электронных коммуникационных станций;

широкое использование средств вычислительной техники и волоконно-оптических средств связи;

ориентация на построение интегральных цифровых национальных сетей связи.

США, Англия, Франция уже к началу 80-х годов полностью прекратили производство электромеханических АТС. Во Франции и США к 1990 году на сетях эксплуатировались только электронные АТС.

Таким образом, главная тенденция развития как первичных, так и вторичных сетей связи в80-х годах – переход от аналоговых к цифровым методам передачи, увеличение скоростей передачи, широкая автоматизация всех процессов приема, передачи иобработки информации на базе современной вычислительной техники.

В развитии общемирового телевизионного и радиовещания четко прослеживается тенденция быстрого внедрения цифрового оборудования в действующую сеть. Это приводит к образованию сначала смешанного (ближняя перспектива), а затем полностью цифрового телевизионного и радиовещания.

Переход на цифровые системы вещания обеспечивает:

решение проблемы устранения искажений из-за многолучевости и, как следствие, повышение качества приема на стационарные, подвижные и портативные приемники;

использование более низких, по сравнению с аналоговыми системами, мощностей передачи;

возможность значительного увеличения количества программ, передаваемых в сети вещания;

гибкость при планировании сетей, возможность расширения дополнительных услуг, предоставляемых пользователям, требуемой зоны охвата территории;

возможность создания обширных сетей маломощных цифровых станций с большим процентом охвата населения в относительно короткие сроки;

возможность сопряжения сетей цифрового ТВ-вещания с компьютерными сетями типа Интернет;

возможность обеспечения интерактивных видов обслуживания путем организации обратных каналов.

Преимущества цифрового телевизионного вещания предопределило ускоренное его развитие. В июле 1997 года состоялось Собрание европейских стран по выработке соглашения о внедрении в Европе наземного цифрового телевидения, на котором были выработаны и согласованы принципы и технические основы планирования, внедрения и координации цифрового телевизионного вещания. Уже в середине 1998 года началось регулярное цифровое вещание в Великобритании, Испании, Германии, Швеции.

В США переход на цифровое вещание – национальная программа, и американские вещатели испытывали даже некоторый прессинг со стороны государства в отношении ее внедрения. Переход на цифру в крупных и малых зонах вещания США уже произошел.

3.4. Эволюция методов коммутации

При построении телекоммуникационных сетей, как систем высокой сложности, используется множество различных технологий. Однако, основополагающей технологией, определяющей основные принципы функционирования телекоммуникационной сети, является метод коммутации. Исследованиям и обсуждениям методов коммутации была посвящена вся вторая половина XX столетия. Результаты этих зачастую очень эмоциональных споров оказали решающее влияние на все дальнейшее развитие телекоммуникаций. Мировое телекоммуникационное сообщество приняло решение о применении в сетях следующего поколения (NGN) метода коммутации пакетов. В связи с этим в данном разделе авторы более детально показывают эволюцию методов коммутации и анализируют их достоинства и недостатки.

К основным методам коммутации относят:

кроссовая коммутация (КрК), используемая для распределения каналов и трактов связи путем долговременного кроссирования;

коммутация каналов (КК), при которой предварительно образуется физический канал между парой абонентов вторичной сети, после чего начинается передача информации, а по завершении канал между абонентами разрушается;

коммутация сообщений (КС), при которой сообщения пользователя в определенном формате передаются по сети с переприёмом в каждом узле в соответствии с адресом пользователя и процедурами управления маршрутизацией;

коммутация пакетов (КП), при которой информация всех видов связи преобразуется в пакеты и передается от узла к узлу путем перезаписи отдельных пакетов из ЗУ одного узла в ЗУ другого узла; при этом вместо физического канала может образоваться так называемый виртуальный, по которому, когда он свободен, может передаваться пакет другой пары абонентов; является разновидностью коммутации сообщений;

гибридная коммутация (ГК), при которой одновременно используются два или несколько видов коммутации; наиболее типичным сочетанием являются коммутация каналов и коммутация пакетов.

3.4.1. Кроссовая коммутация и коммутация каналов

Кроссовая коммутация, используемая для организации вторичной сети на базе выделенных каналов связи – наиболее простой, но и наиболее неэкономичный метод коммутации, при котором эффективность использования каналов при невысокой нагрузке очень мала. Этот метод целесообразно использовать при организации, например, межмашинного обмена или сетей факсимильной связи, когда нагрузка от абонентов составляет длительное время порядка 0,6–0,8 Эрланга.

Метод коммутации каналов более эффективен, так как предоставляет соединение абонентам только на время взаимодействия.

Он подразумевает образование непрерывного составного физического канала из последовательно соединенных отдельных канальных участков для прямой передачи информации между узлами. В сетях КК перед передачей информации всегда необходимо выполнить процедуру установления соединения, в процессе которой и создается составной канал.

Каналы, соединяющие станции КК, должны обеспечивать передачу информации нескольких абонентских каналов. Это достигается применением методов мультиплексирования абонентских каналов, аименно:

Метод частотного мультиплексирования (Frequency Division Multiplexing, FDM);

метод мультиплексирования с временным разделением каналов (Time Division Multiplexing, TDM).

Метод частотного мультиплексирования.

В телефонных сетях для передачи речи достаточно образовать между двумя собеседниками канал с полосой пропускания 3100 Гц. В то же время полоса кабельных систем, соединяющих телефонные коммутаторы, составляет сотни килогерц, а иногда и сотни мегагерц. Поэтому при частотном мультиплексировании для разделения абонентских каналов используется техника модуляции высокочастотного несущего синусоидального сигнала низкочастотным речевым сигналом. Если сигналы каждого абонентского канала перенести в свой собственный диапазон частот, то в одном широкополосном канале можно одновременно передавать сигналы нескольких абонентских каналов.

Метод временного разделения каналов.

Метод частотного мультиплексирования разрабатывался для передачи непрерывных сигналов, представляющих голос. В современных цифровых телефонных сетях, где голос представляется в цифровой форме, используется метод временного разделения каналов.

Информация передается с определенной частотой (8 бит каждые125 мкс для скорости 64 кбит/с или 1000 бит каждые 25 мкс для скорости 8 Мбит/с). Базисная единица такой частоты повторений называется временным интервалом. Несколько соединений мультиплексируются в одном тракте (звене передачи) путем объединения временных интервалов (слотов) в кадры (фреймы), которые также повторяются с определенной частотой. Соединение (т. е. «канал») всегда использует один и тот же временной интервал во время всего сеанса.

Коммутация каналов представляет собой очень негибкую процедуру, так как продолжительность временного интервала определяет скорость передачи в канале связи. Так, например, при ИКМ (Рек ССМСЭG.703) временной интервал длительностью 3,9 мкс состоит из восьми двоичных символов. В цикле длительностью 125 мкс содержится 32 канальных интервала. При скорости в канале 64 кбит/с скорость цифровой системы передачи составляет 2048 кбит/с. Так как для передачи информации может быть использован только канальный интервал в цикле временного объединения, продолжительность которого равна периоду дискретизации сигнала (8 кГц), то это не соответствует требованиям различных служб. На самом деле требования различных служб к скорости передачи могут быть очень разными – от очень низких до очень высоких. Поэтому было бы целесообразно выбирать в качестве основной самую высокую скорость, например, 140 Мбит/с, так как эта скорость способна обеспечить потребности любой службы. Но в этом случае служба, которой необходима скорость 1 кбит/с, задействовалабы весь канал соскоростью 140 Мбит/с на всю длительность соединения, что, естественно, приводит к очень низкой эффективности использования сетевых ресурсов.

*Многоскоростная коммутация каналов***.**

Чтобы устранить присущий обычной коммутации каналов недостаток – отсутствие гибкости, был разработан вариант с более широким диапазоном скоростей, получивший название многоскоростной коммутации каналов (MRCS – Multirate Circuit Switching).

Системы передачи с многоскоростной коммутацией каналов используют тот же метод временного разделения системы с обычной коммутацией каналов. Однако в одном соединении может использоваться n ($n > 1$) основных цифровых каналов. Таким образом, каждое соединение может быть кратным скорости основного канала. Однако, при многоскоростной коммутации очень низка эффективность использования каналов при обслуживании источников с изменяющейся скоростью передачи и «взрывным» (пачечным) режимом работы. Выбранная скорость канала должна быть равной или превышать пиковую скорость передачи источника во время сеанса связи (сессии), хотя средняя скорость передачи может быть очень низкой.

Отсутствие гибкости и низкая эффективность при обслуживании источников с высокими значениями коэффициентов пачечности стали причиной того, что концепция многоскоростной коммутации не была рекомендована МСЭ для широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания (ШЦСИО).

*Быстрая коммутация каналов***.**

С целью повышения эффективности использования сетевых ресурсов для служб с изменяющейся скоростью передачи и высокой пачечностью трафика была предложена концепция быстрой коммутации каналов (FCS – Fast Circuit Switching). Ресурсы в сети с быстрой коммутацией каналов используются только тогда, когда передается информация.

В [7] была рассмотрена возможность повышения эффективности использования цифровых трактов связи за счет статистического уплотнения. При этом предполагалось, что при обслуживании телефонной нагрузки на пучок цифровых каналов 64 кбит/с посту-

пает поток заявок не на установление соединения на всю длительность сеанса связи, а только на длительность передачи фрагмента речи. Показано, что при идеальной работе системы сигнализации при одной и той же вероятности отказа в обслуживании эффективность использования цифрового тракта может быть повышена в 1,8–2 раза.

Совершенно очевидно, что объединение идей быстрой коммутации и многоскоростной коммутации каналов приводит к концепции многоскоростной быстрой коммутации каналов (MRFCS – Multirate Fast Circuit Swiching). На этом принципе может быть сконструировано устройство, обеспечивающее возможность выделения каналов с различными скоростями передачи информации. Это позволило бы увеличить гибкость сети и повысить эффективность использования сетевых ресурсов. Основным недостатком такого режима переноса информации является сложность реализации системы управления, которая должна позволять устанавливать и разъединять сквозные соединения «абонент– абонент» за очень короткий интервал времени. В лабораториях США были разработаны коммутаторы, основанные на технологии многоскоростной быстрой коммутации каналов (БКК). Однако из-за высоких требований к системе сигнализации ни БКК, ни многоскоростная БКК не были выбраны для транспортирования информации в будущей широкополосной сети.

3.4.2. Коммутация сообщений

Бурный процесс развития вычислительной техники в 60-х годах прошлого столетия привел к необходимости создания сетей передачи данных (ПД), обеспечивающих обмен информацией между абонентами с удаленными ЭВМ, а также ЭВМ между собой. При этом возник вопрос, какой метод коммутации будет оптимальным для таких сетей. Естественно, что первые шаги были связаны с применением наиболее простого метода КрК, на базе которого созданы первые системы телеобработки. Однако для разветвленных сетей ПД этот метод был слишком дорогим. Казалось бы, наличие во всех странах развитых телефонных сетей с КК решит эту проблему. Но их исследования показали, что существующие сети с КК не удовлетворяют требованиям сетей ПД по целому ряду основных параметров.

Более экономичным и эффективным на первых этапах создания сетей ПД оказался метод КС, который лишен указанных выше недостатков.

Впервые этот метод был предложен для компьютерных сетей английским ученым Дональдом Дейвисом в начале 60-х годов [8]. Ученый пришел к выводу, что технология коммутации каналов совершенно не соответствует самой природе компьютерных сетей, трафик которых характеризуется пакетностью – чередованием небольших периодов активной передачи данных с длительными паузами.

В качестве альтернативы Д. Дейвис предложил метод коммутации сообщений, широко применяющийся в телеграфии при передаче телеграмм.

Под коммутацией сообщений в компьютерных сетях понимается передача единого блока данных между транзитными компьютерами сети с временной буферизацией этого блока на диске каждого компьютера [3]. Сообщение имеет произвольную длину, которая определяется не технологическими соображениями, а содержанием информации, составляющей сообщение. Например, сообщением может быть текстовый документ, файл с кодом программы, электронное письмо.

Метод КС, являясь в отличие от КК, динамическим методом управления пропускной способностью, обеспечивал более высокую степень использования сетевых ресурсов.

На базе этого метода были созданы первые разветвленные сети ПД и документального обмена. К ним относятся система ПД Министерства обороны США «Автодин», глобальная система ПД всемирной метеорологической организации (ВМО), система передачи документальной информации «Родник» для одного из силовых ведомств СССР и др. Эти

системы создавались в 60-х – начале 70-х годов и находились приблизительно на одном техническом уровне: применение громоздких специализированных вычислительных комплексов для построения центров коммутации сообщений (ЦКС) и индивидуальной аппаратуры передачи данных (АПД) с устройствами защиты от ошибок (УЗО) на каждое направление связи, а также специализированных абонентских комплексов. ЦКС занимали площадь в несколько сот квадратных метров, абонентские комплексы – несколько десятков.

Кроме громоздкого оборудования сети с КС обладали и другими недостатками. Главным из них является значительное время передачи сообщений из-за переприёма их в каждом центре коммутации. Этот недостаток не позволяет эффективно реализовать режим «диалога» с ЭВМ и режимы передачи некоторых видов информации в реальном масштабе времени. Другим крупным недостатком является сложность реализации режима передачи длинных сообщений (больших массивов информации), т. к. для каждого сообщения в центре коммутации должна быть предусмотрена память.

Дальнейший поиск более эффективных способов построения сетей связи шел в направлении микроминиатюризации оборудования и поиска новых методов коммутации и передачи информации.

Задача микроминиатюризации была решена в США путем крупных капиталовложений в создание так называемой «Силиконовой долины», которая стала главным импульсом для быстрого развития технологий микроминиатюризации. В СССР такого решения принять было некому, поэтому уже с 70-х годов началось быстрое отставание отечественной промышленности в области создания конкурентоспособной аппаратуры связи, в то время как в области исследований и разработок перспективных телекоммуникаций существенного отставания не наблюдалось до начала 90-х годов.

При постановке вопроса выбора метода коммутации для перспективных сетей из рассмотрения были сразу выброшены методы КрК и КС. Первый – из-за неэкономичности, второй – из-за сложности реализации передачи длинных сообщений (факсимильных, больших массивов данных) и речевых сообщений.

Таким образом, поиск оптимального метода коммутации велся в области трёх методов: КК, КП и ГК.

3.4.3. Коммутация пакетов

Этот метод был предложен для более эффективной передачи трафика в компьютерных сетях. В таких сетях коэффициент пульсации трафика отдельного пользователя, определяемый как отношение средней интенсивности обмена данными к максимально возможному, может составлять 1:50 или 1:100.

При КК большую часть времени канал между пользователями будет простаивать, а его ресурс не будет доступен другим пользователям. При коммутации пакетов все передаваемые пользователем сообщения разбиваются в исходном узле на небольшие блоки, называемые пакетами. Сообщения могут иметь произвольную длину, от нескольких байт до многих мегабайт. Пакеты тоже могут иметь переменную длину, но в ограниченных пределах, например от 46 до1500 байт. Каждый пакет снабжается заголовком, вкотором указывается адресная информация, а также номер пакета (рис. 3.2).

Коммутаторы пакетной сети отличаются от коммутаторов каналов тем, что они имеют внутреннюю буферную память для временного хранения пакетов, если выходной порт коммутатора занят передачей другого пакета. В этом случае пакет находится некоторое время в очереди пакетов и передается к следующему коммутатору, когда до него дойдет очередь. Такая схема передачи данных позволяет сглаживать пульсации трафика на магистральных связях и тем самым использовать их наиболее эффективным образом для повышения пропускной способности сети в целом.

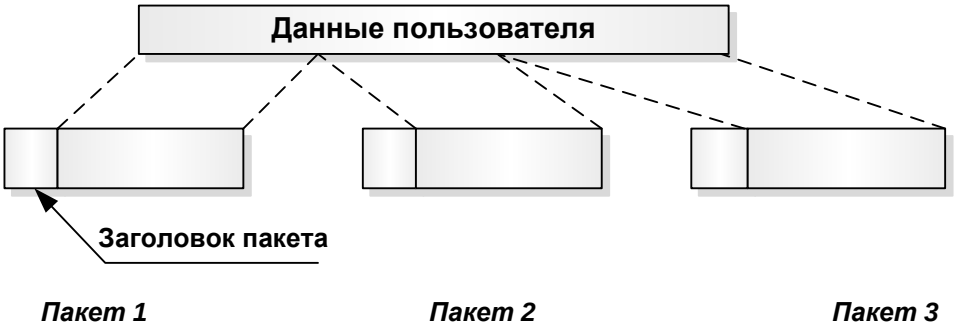


Рис. 3.2. Разбиение сообщения на пакеты

Пионером в области исследований метода коммутации пакетов считается известный американский ученый Леонард Клейнрок, который начал эти исследования, по его воспоминаниям, еще в1959 году и впервые изложил свои идеи в тезисах к докторской диссертации.

Параллельно с ним аналогичный метод предложил в1964 году сотрудник компании RAND Corporation (США) Поль Бэрэн в11-томной монографии «О распределенной связи». Исследование выполнялось по заданию военно-воздушных сил (ВВС) США. Метод КП предлагался в этой работе для передачи в военных целях всех видов данных и речевой информации. В последующем ВВС США не предприняли никаких шагов для реализации проекта, а сам отчет длительное время оставался без всякого внимания.

Впервые практическое применение метод КП нашел при разработке и создании системы передачи данных между двумя компьютерами, находящимися в разных городах, которую в1965 году представили для испытания два молодых ученых Л. Роберте и Т. Мэрилл из Бюро по методам обработки информации (IPTO – Information Processing Techniques Office, США). Испытания были успешно проведены на низкоскоростной коммутируемой телефонной линии на скорости в 1200 бит/с. В ходе данного эксперимента стало очевидно, что телефонная сеть с коммутацией каналов абсолютно не пригодна для построения компьютерной сети, что еще более убедило Л. Клейнрока в том, что сети будущего будут строится на базе метода КП. Он был не одинок, к середине 60-х годов идея новой технологии коммутации уже витала в воздухе. В Англии Д. Дейвис, совершенствуя технологию коммутации сообщений, в1965 году пришел к выводу, что если сообщение делить на блоки, то система будет работать более эффективно, а большие непредсказуемые задержки сообщений практически исчезнут. Эти блоки он назвал «пакетами» и в ноябре 1965 года опубликовал свои идеи в небольшом корпоративном отчете.

В СССР при создании системы ПД «Погода» (1964–1972 гг.) метеорологические сообщения также разбиваются на блоки, но в то время термин «пакет» еще не использовался.

В 1966 году Л. Робертс, создавший первую компьютерную сеть с коммутацией пакетов был назначен руководителем группы по разработке компьютерной сети ARPANET, ставшей предшественницей Интернет. Бурное развитие сети ARPANET в последующие годы показало, что технология коммутации пакетов может использоваться в качестве основы для построения любых сетей передачи данных.

Первая публичная демонстрация новой технологии состоялась на проводимой в Вашингтоне (США) Первой международной конференции по компьютерным коммуникациям в октябре 1972 г.

Дейтаграммный режим передачи.

П. Бэрэн первоначально назвал предложенный им метод коммутации режимом «горячей картошки» (hot potato operation). Позже его переименовали в дейтаграммный ре-

жим. В таком режиме каждый пакет передается независимо от других пакетов, передаваемых до или после него. Для этого пакет снабжается заголовком, содержащим адреса отправителя и получателя, а также порядковый номер пакета в сообщении. При этом пакеты, имеющие один и тот же адрес получателя, могут передаваться по сети разными путями в зависимости от состояния узлов и каналов связи, а также очередей пакетов в направлениях передачи. Поэтому на оконечный узел пакеты одного сообщения могут приходить не в том порядке, в котором они были отправлены. Оконечный узел восстанавливает правильный порядок пакетов в сообщении по порядковым номерам пакетов. Из этого краткого описания нетрудно видеть, что принцип коммутации пакетов в этом режиме очень близок к принципу коммутации сообщений.

Дейтаграммный режим передачи обладает многими достоинствами:

отсутствует фаза установления соединения между отправителем и получателем сообщения;

простота механизма передачи пакетов и лучшие условия эксплуатации;

механизм передачи дейтаграмм делает сети более надежными.

Метод виртуального канала.

Независимая работа американца П. Бэрэна и англичанина Д. Дэйвиса в области методов коммутации дала удивительно близкие результаты вплоть до выбора одинаковой длины пакетов – 128 байт. Однако было и существенное различие.

Д. Дейвис работал под непосредственным контролем Британского почтового ведомства – BPO (British Post Office). Основная задача Д. Дэйвиса заключалась в создании сети с гарантированной доставкой информации. Поэтому предложенный им метод отличался от дейтаграммного метода передачи пакетов и назван был методом виртуального канала. При этом методе перед началом передачи данных между отправителем и получателем должен быть создан определенный маршрут следования пакетов для установления логического соединения. Такой фиксированный маршрут называется виртуальным каналом, который аналогичен коммутируемому каналу в сетях КК. Однако в отличие от него при перегрузке в каком-либо сегменте сети, пакеты помещаются и хранятся определенное время во входных и выходных буферах.

Виртуальный канал может быть динамическим или постоянным. Динамический виртуальный канал устанавливается при передаче в сеть специального пакета – запроса на установление соединения (аналог – номер вызываемого абонента в телефонных сетях с КК). Этот пакет проходит через коммутаторы, которые выбирают исходящие направления и запоминают его в паре с входящим на все время установления соединения. Все последующие пакеты этого соединения коммутаторы направляют по проложенному маршруту. При отказе коммутатора или канала на пути виртуального маршрута соединение разрывается и виртуальный канал нужно прокладывать заново. При этом отказавшие участки сети обходятся.

Постоянные виртуальные каналы создаются администраторами сети путем ручной настройки коммутаторов (аналог кроссированного канала в сетях КрК).

Главное отличие режима виртуального канала от дейтаграммного состоит в том, что в случае с виртуальным каналом сетевые узлы не принимают решения, куда будет следовать каждый входящий пакет. Такое решение на соединение принимается только один раз при формировании виртуального канала. При этом время, затраченное на установление соединения, компенсируется в дальнейшем быстрой передачей всего потока пакетов, так как коммутаторы не занимаются анализом адресов конечных узлов, а направляют пакет в исходящее направление в соответствии со специальной меткой – номером виртуального канала.

Режим виртуального канала особенно эффективен при передаче больших объемов информации, а также информации, требующей передачи в реальном масштабе времени (аудио- и видеоинформация).

Дальнейшие изыскания в области методов коммутации шли в направлениях, связанных так или иначе с принципами пакетной передачи и коммутации. В 1974 г. МККТТ издала первый проект рекомендации X.25, определяющей процедуры обмена данными между пользователем и узлом коммутации пакетов. Он пересматривался в1976, 1978, 1980 и 1984 гг., а в 1985 году был издан в виде рекомендаций, известных как «Красная книга». В середине 80-х годов в Европе и США широкое распространение получили новые методы коммутации – асинхронное временное разделение – ATD (Asynchronous Time Division) и быстрая коммутация пакетов – FPS (Fast Packet Switching). Позже эти методы вошли в основу технологии ATM (Asynchronous Transfer Mode – асинхронный режим передачи), внедрение которой пришлось на 90-е годы XX столетия. В это же время началось создание новой технологии, сочетающей достоинства ATM-коммутации и IP-маршрутизации – MPLS (Multiprotocol Label Switching – многопротокольная коммутация по меткам).

3.4.4. Гибридная коммутация

Разные методы коммутации обладают своими достоинствами и недостатками. При постоянной нагрузке на линию связи более 0,7–0,8 Эрл лучше всего применять кроссовую коммутацию. Коммутация каналов наилучшим образом обеспечивает передачу информации, чувствительной к различным задержкам порций передаваемой информации (изображения), коммутация сообщений удобна для организации служб электронной почты, коммутация пакетов оказалась наиболее эффективной для передачи данных. Развитие метода КП сделало его универсальным, так как различные его вариации позволили получить аналоги кроссовой коммутации (постоянный виртуальный канал), коммутации каналов (коммутируемый виртуальный канал) и коммутации сообщений (дейтаграмный режим передачи). Однако на начальных этапах развития совмещение их достоинств обеспечивалось методом гибридной коммутации, использовавшим в системе два или более разных метода коммутации. Ярким примером такого совмещения является применение методов коммутации каналов и пакетов в цифровых сетях интегрального обслуживания ЦСИО (ISDN – Intgrated Services Digital Network). Основой ISDN является цифровизируемая телефонная сеть, то есть сеть на базе цифровых телефонных каналов 64 кбит/с. По сути ISDN – это сеть с коммутацией каналов, однако в ней возможна также передача данных с коммутацией пакетов.

Интеграция коммутации пакетов по протоколу X.25 в ISDN может осуществляться в соответствии с двумя решениями: интегрированное решение и решение на основе сетевого перехода [9].

При интегрированном решении функция коммутации пакетов становится составной частью ISDN. Виртуальные соединения между пакетными терминалами развертываются через устройства коммутации по протоколу X.25 внутри ISDN. В случае решения с сетевым переходом используется функция коммутации пакетов выделенной сети передачи данных с коммутацией пакетов, через которую и осуществляются виртуальные соединения. В этом случае абонентам ISDN предоставляются техслужбы и дополнительные услуги, которые реализуются в соответствии с положением для выделенных сетей передачи данных с коммутацией пакетов.

Опыт внедрения и эксплуатации ISDN показал, что рост числа пользователей этих сетей в разных странах идет гораздо более низкими темпами, чем прогнозировалось ранее. Бурное развитие и распространение Интернет по всему миру казалось бы поставило точку в давнем споре сторонников методов КК и КП. Концепция построения сетей следующего поколения также базируется на технологии КП. Однако в России спор еще не окончен и призыв «назад в будущее» с методом КК еще звучит [10].

3.5. Интеграция сетей и служб электросвязи

Основой сетей связи до недавнего времени являлись первичные сети каналов связи различной физической природы. Основную массу каналов связи составляют кабельные, радиолинейные, спутниковые, проводные, каналы радиосвязи (КВ, УКВ и др.), световодные каналы. На их базе организуются аналоговые и цифровые системы передачи (АСП и ЦСП).

До 70-х годов первичные сети были, в основном, аналоговыми. Однако большинство служб связи, особенно визуальные, не могут оптимально развиваться в аналоговых сетях из-за значительных ограничений в пропускной способности. С точки зрения передачи информации цифровые сети являются более универсальными и эффективными.

Поэтому основными тенденциями развития первичных сетей связи в70–80-х годах являлись переход на цифровые системы передачи, внедрение ВОЛС, повышение скорости передачи до нескольких сотен Мбит в секунду.

Значительное распространение за рубежом нашли сети факсимильной связи.

Факсимильные сети, как правило, строились на базе выделенных телефонных каналов или с использованием коммутируемых телефонных сетей. Однако последние уже не удовлетворяли требования современных факсимильных сетей из-за ограничений в работе высокоскоростных факсимильных аппаратов (ФА). Поэтому велись работы по использованию для факсимильных сетей цифровых сетей ПД или созданию специальных цифровых сетей факсимильной связи.

Таким образом, интеграция факсимильной связи с телефонными сетями и сетями ПД уже тогда была свершившимся фактом. На этой основе большое распространение получили новые службы передачи письменной корреспонденции: Телетекс, Телефакс, Датафакс, Бюрофакс.

Значительное место в гражданских и военных системах связи занимали средства буквопечатающей телеграфной связи. Не смотря на ежегодное 5 %-е снижение телеграфного трафика через пункты коллективного пользования, потребность в телеграфной аппаратуре непрерывно росла за счет телекс- и служб телеобработки данных, где телеграфные аппараты (ТГА) зарекомендовали себя как простое и эффективное устройство ввода-вывода. Это слияние функций ТГА и аппаратуры ПД было главной тенденцией развития телеграфной техники в 80-х годах.

Развитие сетей передачи данных (ПД) шло еще более высокими темпами, чем других видов электросвязи. Общее число абонентских пунктов, например, в США, включенных в сети ПД и местные сети ЭВМ, составляло в 1981 году около 5 млн. Ежегодный прирост парка терминалов составлял 25-30 %.

Технический прогресс в области вычислительной техники позволил в конце 70-х годов отметить замечательное событие: брак между вычислительной техникой и средствами связи состоялся. В производстве оборудования связи стала широко использоваться вычислительная техника.

Сети телевизионного и радиовещания развивались достаточно автономно. Вопрос их интеграции с другими сетями тогда еще не стоял.

Таким образом, главная тенденция развития как первичных, так и вторичных сетей связи в 70–80-х годах – переход от аналоговых к цифровым методам передачи, увеличение скоростей передачи, широкая автоматизация всех процессов приема, передачи и обработки информации на базе современной вычислительной техники.

Развитие электросвязи в этих направлениях требовало все больших капитальных вложений, которые уже тогда составляли в развитых странах около 1 % от валового национального продукта. Другая проблема – высокие эксплуатационные расходы. Например, в США в 1972–1974 гг. темпы роста численности обслуживающего персонала стали опере-

жать темпы развития телефонной сети. Аналогичные явления наблюдались в большинстве стран мира.

Для улучшения экономических показателей электросвязи будущего необходимо было решить ряд проблем, к которым относятся:

унификация оборудования электросвязи;

уменьшение его номенклатуры;

повышение серийноспособности;

уменьшение обслуживающего персонала сетей связи;

увеличение эффективности использования ресурсов сетей связи (каналов связи, коммуникационного оборудования).

Их анализ привел к идее создания единой цифровой сети связи интегрального обслуживания (ЦСИО), в которой указанные проблемы решаются за счет способа передачи любых сообщений цифровыми методами, применения единого цифрового коммутационного и линейного оборудования для передачи и коммутации всех видов информации, предоставляющего потребителю все виды услуг, которые ранее обеспечивались несколькими сетями связи (телефонными, телеграфными, факсимильными, передачи данных и др.).

Интеграция ряда неречевых видов связи быстро стала свершившимся фактом. Причем, базой для такой интеграции служили хорошо развитые сети ПД. Так, для службы «Телетекс», которая поглощала телеграфные службы типа «Телекс», не было необходимости создавать новую сеть связи, так как терминалы «Телетекс» и сети ПД были практически одинаковыми. Факсимильная служба типа «Датафакс» также использовала сети ПД. Более сложными были вопросы интеграции с телефонными службами.

Таким образом, уже в начале 80-х годов сформировался следующий взгляд на будущее электросвязи:

сеть электросвязи будущего должна быть цифровой, что создает предпосылки для объединения аппаратуры систем передачи и коммутационной техники в единый технический комплекс (интеграция I-го рода);

на основе цифрового сигнала могут быть объединены все виды электросвязи (телефонная, телеграфная, факсимильная и передача данных) в цифровую сеть интегрального обслуживания (интеграция II-го рода).

В 80-х годах специалистами многих стран в рамках МККТТ была выработана концепция узкополосной ЦСИО (N.ISDN) с гибридной коммутацией каналов и пакетов. Рост потребностей людей в получении информационных услуг (в том числе и мультимедийных) оказали существенное влияние на дальнейшее развитие электросвязи и привели к разработке концепции создания широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания (B.ISDN) с формированием услуг мультимедиа.

3.6. Развитие Интернет

Конец XX века ознаменовался двумя крупными событиями в области телекоммуникаций, которые, без преувеличения, коренным образом изменили жизнь людей на Земле. Это – широкое внедрение Интернет и мобильной связи.

Развитие Интернет и превращение его в мировую «паутину» – это пример наиболее быстрого принятия технологии массовым потребителем по сравнению с другими информационными технологиями. Число абонентов Интернет достигло 50 млн. всего через 4 года после начала предоставления услуг сети массовому пользователю, в то время как радиосвязи для этого потребовалось 38 лет, телевидению – 13, персональным компьютерам – 16 лет после их изобретения [11].

Рост числа абонентов Интернет в конце 90-х – начале 2000-х годов в сравнении с мобильными абонентами и абонентами фиксированной ТфОП характеризуется кривыми рис. 3.3 [11].

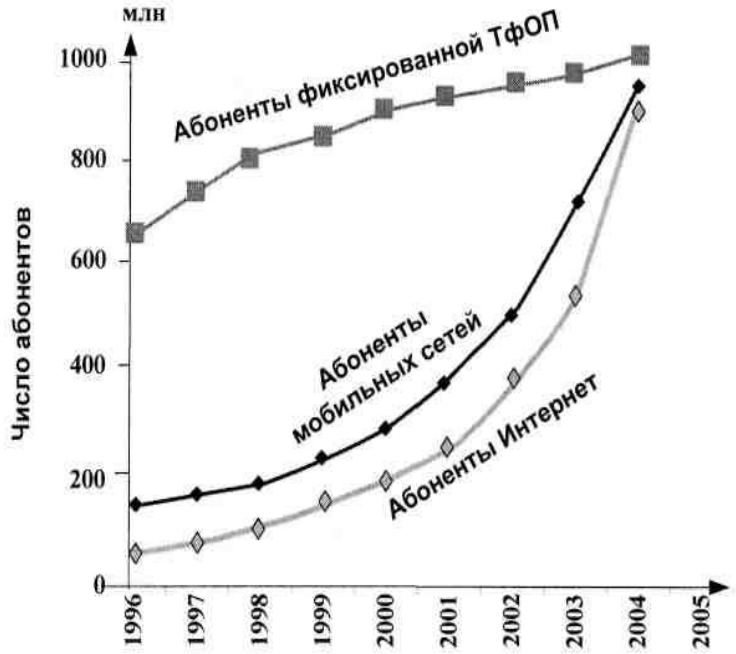


Рис. 3.3. Характеристика роста числа абонентов в ТфОП, Интернет и мобильных сетях

Коммутация пакетов, ставшая технологической основой Интернет, обеспечила возможность дальнейшего развития к сетям следующего поколения путем реализации технологий передачи речи (IP-телефония), видеоизображений вплоть до передачи телевизионных сигналов (IP-TV) и любых других видов информации.

Но вернемся к развитию Интернет.

Родителями Интернет признано подразделение Минобороны США, называемое DAPRA (Defence Research Project Agency) или проще ARPA.

К концу 70-х гг. ARPA имело несколько работающих компьютерных сетей. Одним из проектов ARPA была территориально-распределенная сеть ARPANET. Ключевым вопросом исследований, проводимых ARPA, был новый способ соединения локальных сетей и сетей дальней связи, который получил название глобальных сетей (Internet Work). Этот термин сократили и стали пользоваться названием Интернет как для обозначения проекта ARPA, так и для самого прототипа сети, построенного по этому проекту [12].

Сеть ARPANET была особенно важна в проекте Интернет. Она была центральной территориально-распределенной сетью, связавшей разработчиков воедино. Каждый, работавший над проектом Интернет, имел компьютер, подключенный к ARPANET. Таким образом, разработчики общались между собой, экспериментировали на этой сети свои новые идеи и тестировали новое программное обеспечение и приложения. Вскоре после начала работы над проектом Интернет было принято решение хранить всю техническую документацию в компьютерных файлах, доступных всем разработчикам через ARPANET.

После написания отчета по какой-либо проблеме он был доступен любому другому участнику проекта для комментариев и высказывания предложений. Через какое-то время автор документа собирал все комментарии и предложения и издавал окончательный вари-

ант отчета. Фактически почти все первые приложения для Интернет занимались обеспечением коммуникаций между разработчиками, работавшими над ним.

В качестве отступления вспомним, что в эти же годы в Ленинградском НПО «Красная Заря» шла напряженная разработка алгоритмов и программ оборудования упомянутой уже выше сети передачи данных, телеграфной и факсимильной информации с коммутацией пакетов и сообщений «Родник-2». В 1980 году началась отладка оборудования и программного обеспечения на стенде ЛНПО «Красная Заря» (недалеко от станции «Кушелевка»).

Разработчики не имели для общения индивидуальных компьютеров, однако принципы организации работ схожи. За отсутствием компьютерных сетей все основные разработчики системы и оборудования «Родник-2», включая специалистов других организаций, были сосредоточены в ЛНПО «Красная Заря». Концепции, новые идеи, системные алгоритмы доводились до сведения всех заинтересованных разработчиков и открыто обсуждались. Это дало удивительный результат: оборудование и программное обеспечение было отлажено в кратчайшие сроки.

В 1982 году появился первый прототип Интернет и началось тестирование TCP/IP-технологий. Количество научных и промышленных организаций, пользующихся TCP/IP, исчислялось тогда единицами. В начале 1983 года ARPA расширило Интернет, включив в него все военные ведомства, которые ранее соединялись при помощи ARPANET. Эта дата считается началом превращения Интернет из экспериментальной сети в работающую систему.

К середине 80-х годов Национальный научный фонд США (National Science Foundation, NSF) понял, что науке вскоре потребуются соединения, и принял решение вложить деньги в развитие Интернет и технологий TCP/IP. В 1985 году NSF объявил о подключении к Интернет ста различных университетов США. NSF получил поддержку Конгресса США, разработал план и начал программу, в итоге очень сильно изменившую Интернет. NSF поставил перед собой амбиционную задачу: расширить сетевой доступ до каждого научного или инженерного разработчика.

Для этого Интернет нужна была новая высокоскоростная территориально-распределенная сеть, которая должна заменить собой ARPANET.

В 1987 году фонд объявил о рассмотрении предложений по разработке новой сети. В результате был реализован проект магистральной сети, названный NSFNET, в котором участвовали три организации: производитель компьютеров IBM, телефонная компания дальней связи MCI и организация MERIT, построившая и обслуживающая межшкольную сеть в штате Мичиган.

К концу 1991 года стало ясно, что Интернет растет так быстро, что емкости магистральной сети NSFNET скоро будет недостаточно. Фонд NSF понял, что Федеральное правительство не сможет постоянно оплачивать затраты, связанные с ростом Интернет. Требовалась приватизация. IBM, MERIT и MCI создали некоммерческую организацию, получившую имя Advanced Network and Services (ANS).

В течение 1992 года ANS построила новую территориально-распределенную сеть ANSNET, ставшую магистральной сетью Интернет. Емкость линий передачи этой сети в 30 раз превышала емкость NSFNET.

После того, как к Интернет стали подключать инженеров и ученых, абонентская емкость сети стала расти очень быстро. Если в 1983 году Интернет объединял 562 компьютера, то через 10 лет – 1 200 000, а в 2000 году – 73 000 000. К этому времени в среднем в каждую секунду к нему подключается один компьютер.

Такой рост все время сопровождается изобретением новых технологий, обеспечивающих необходимое повышение производительности магистральной сети. На сегодня рост Интернет ограничен числовым адресом TCP/IP, используемым для идентификации ком-

пьютеров и равным 4 294 967 296 [12]. Однако, вероятнее всего в новых версиях IP это ограничение будет снято.

Рост и развитие Интернет постоянно стимулирует появление все новых и новых инфокоммуникационных технологий.

Одна из первых, получившая широчайшее распространение – электронная почта. Такие технологии, как UUCP (Unixto Unix Copy Program), BITNET и FIDONET охватили многие страны.

В Европе многие страны для своих компьютерных сетей приняли стандарт X.25. Группа Европейских стран объединилась для разработки высокоскоростной магистральной сети, которая бы соединила их компьютеры воедино в Европе и имела доступ в Интернет. К середине 90-х годов эта сеть, получившая названия EBONE, состояла уже из 25 членов.

В 1998 году Интернет охватил каждую населенную страну мира и стал Глобальной сетью. Интернет можно назвать первой инфокоммуникационной сетью, так как кроме телекоммуникационных служб в ней могут быть реализованы технологии самых разных информационных служб, причем развитию и внедрению таких служб практически нет ограничений. Большинство из предоставляемых сегодня услуг еще не были изобретены в те времена, когда Интернет создавался. Таким образом, Интернет дал толчок развитию новых для человека информационных служб и услуг и стал постоянным стимулом для развития инфокоммуникационных технологий.

3.7. Мобильная связь

Постоянно растущая тяга человечества к передвижениям лучше всего обосновывает необходимость организации сетей мобильной связи. Сегодня эти сети являются одной из наиболее мощных движущих сил в развитии телекоммуникаций. В некоторых странах абонентская емкость сетей сотовой связи уже превысила аналогичный показатель для стационарных сетей. Как Интернет – не просто персональный компьютер, так и мобильная связь – это не просто мобильный телефон. Это концепция, имеющая глобальные последствия. Она будет играть ключевую роль в стирании границ между домом и офисом, в развитии таких новых форм деятельности, как телекомпьютинг, когда можно будет работать с удаленными приложениями дома, в офисе, во время поездок и т. д. Эта концепция тесно связана с концепцией персональной связи. При их развитии телефонный номер скорее будет соотноситься с конкретным человеком, чем с географическим местом или физическим адресом и, в конечном счете, одна из главных целей NGN – обеспечение связи в любом месте, в любое время будет достигнута благодаря этим технологиям.

Постоянно растущая мобильность пользователей будет поддержана мобильными системами 3-4 поколений в соответствии с концепцией универсальной системы мобильной связи UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) и следующим проектом по созданию систем подвижной связи в XXI веке IMT-2000 (International Mobile Telecommunication-2000), в которых значительное место занимают глобальные спутниковые сети подвижной связи.

Эталонная модель IMT-2000 определяет общую (рамочную) архитектуру будущей глобальной сети подвижной связи, включая ее следующие функциональные элементы:

сетевая инфраструктура на базе единой (или нескольких сетей) сети радиодоступа (Access Network) и единой (или нескольких) базовой сети (Core Network);

различные базовые сети определяются с точки зрения требований эволюционного развития действующих сетей и фактически будут соответствовать наиболее распространенным сетям – GSM, D-AMPS, IS-95 и т. п.;

функциональный элемент VHE (Virtual Home Environment– виртуальная домашняя среда) должен входить составной частью (как локальная радиосеть) в общую архитектуру IMT-2000;

архитектура IMT-2000 содержит четко специфицированные функциональные блоки для эксплуатационных служб сервис-провайдера и оператора сети.

Прогнозируется [13], что персональную спутниковую связь, как один из основных видов услуг, выберут только 2–3 % от общего числа абонентов мобильной, то есть около50 млн. человек. Однако именно спутниковые системы персональной мобильной связи помогут с решением одной из главных задач NGN – обеспечение связи в любом месте, в любое время.

3.8. Услуги мультимедиа

Мультимедиа по оценкам многих специалистов будет ведущей и самой массовой информационной технологией ближайшие 10–15 лет.

Технология мультимедиа включает в себя компьютерную графику, видеоинформацию, текстовую и графическую информацию, а также звук. Синтез всей этой аудиовизуальной информации позволяет одновременно использовать различные органы чувств человека, что открывает перед ним практически неограниченный спектр информационных услуг. Потребности человека в обмене такого рода информацией фактически являлись постоянным стимулом развития телекоммуникаций в направлении роста скоростей передачи информации в каналах связи, производительности коммуникационных устройств, микроминиатюризации оборудования, что требовало изобретения и развития все новых и новых технологий.

Мультимедиа сеть состоит из трех основных компонентов: медиа-сервера, сети передачи данных и абонентского терминала (компьютера или телевизора со специальной приставкой). Медиа-сервер предназначен для хранения, обработки и передачи аудио- и видеоинформации в цифровом формате. Поэтому от него требуется высокая производительность обработки больших объемов видеоданных по большому числу параллельно работающих каналов ввода-вывода.

Для передачи мультимедиа-потоков применяются высокоскоростные сети с использованием таких технологий, как ATM, SONET и др. Технологии xDSL позволяют передавать мультимедиа-информацию по обычным медным телефонным линиям.

Но особенно перспективны для этой цели сети кабельного телевидения (КТВ). В настоящее время системы КТВ утрачивают свою узкую телевизионную направленность, предоставляя абонентам, помимо трансляции ТВ-программ, множество других услуг – высокоскоростной доступ в Интернет, телефонную связь, возможность создания корпоративных сетей и т. п.

Интенсивно разрабатываемые технологии для передачи мультимедиа-информации по Интернет еще более увеличат притягательность Всемирной паутины.

Для уменьшения требований к пропускной способности сети передачи информации появилось и развивается множество методов сжатия видеоинформации, стандартизуемых в специально созданной в1988 году группе разработки стандартов кодирования видеоинформации MPEG (Motion Picture Expert Group). Разработанные стандарты и протоколы значительно снизили требования к пропускной способности. Так при использовании стандарта MPEG-2 пропускная способность сети должна быть 4–60 Мбит/с в зависимости от коэффициента сжатия, а если использовать протокол H.261, пропускная способность может быть 64 кбит/с– 2 Мбит/с [14].

Развитие услуг мультимедиа потребовало создания новых абонентских терминалов – мультимедийных. Персональный компьютер (ПК) модифицирован в мощный терминал, обеспечивающий при соответствующем программном обеспечении и специализирован-

ных устройствах ввода-вывода передачу данных, телефонию, видеосвязь, доступ в Интернет и другие услуги в пределах возможностей сети.

С помощью специальной ТВ-приставки (Set-Top Box, STB) ТВ-приемник становится универсальным терминалом. Постепенно функциональность STB становится сравнимой с функциональностью ПК и они могут поддерживать доступ в Интернет, включая электронную почту, а также услуги IP-телефонии.

Появились персональные интеллектуальные коммуникаторы, объединяющие в себе функции телефона, персонального органайзера и компьютера.

Объединение в одном терминале как можно большего числа функций и достоинств отдельных устройств стало сегодня одной из главных тенденций в терминальной индустрии. Важными факторами при решении этой задачи являются стоимость, портативность ивозможность мобильной связи.

Литература

1. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Информационные технологии. – М.: Высшая школ, 2003. – 264 с.

2. Грей Джим. Управление данными: Прошлое, Настоящее и Будущее // Системы управления базами данных, 1998. № 3.

3. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. - СПб.: Питер, 2000. – 668 с.

4. Советов Б. Я., Терехов А. Н., Старовойтов А. В. Проблемы создания защищенной информационно-телекоммуникационной системы России. – М.: Проблемы информатизации, 1996.

5. Лихачев А. М., Курносов В. И. Тенденции технического и технологического развития телекоммуникационных сетей. – СПб.: Абрис, 2000. – 440 с.

6. Воробьев С. П., Шибанов В. С. Введение в инфокоммуникационные сети // Телекоммуникационные технологии, 2001. Вып. 2. – С. 3–11

7. Захаров Г. П., Ревельс В. П. и др. Статистические уплотнение цифровых трактов связи // Техника средств связи. Сер. ТП, 1990. Вып. 4.

8. Медведев Д. Л. Основные вехи в развитии методов пакетной коммутации // Электросвязь. История и современность, 2006. № 1. – С. 20–24.

9. Боккер П. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб. – М.: Радио и связь, 1991. – 304 с.

10. Гольцов А. В., Дедоборщ В. Г. Взаимозависимость темпов реконструкции сети и освоения технологии новых услуг // Электросвязь, 2006. № 11.

11. Кох Р., Яновский Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М.: Радио и связь, 2001. – 280 с.

12. Комер Д. Принципы функционирования Интернета. – СПб.: Питер, 2002. – 379 с.

13. Горностаев Ю. М. и др. Перспективные спутниковые системы связи. – М.: «Горячая линия-Телеком», 2000.

14. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. – СПб.: Питер. 1999. – 699 с.

ЧАСТЬ 2
СТРУКТУРА, АРХИТЕКТУРА И ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

ГЛАВА 4. СТРУКТУРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ЭТАПАХ ИНТЕГРАЦИИ

В данной главе дана краткая характеристика телекоммуникационного ядра ИКС, классификация которых приведена в главе 2, причем большое внимание будет уделено традиционным сетям, которые постепенно сходят со сцены и уже почти не встречаются в технической литературе, но не закончили свой жизненный цикл и еще длительное время будут находиться в эксплуатации. Поэтому информация о них требуется как эксплуатационникам традиционных сетей, так и проектировщикам сетей следующего поколения, приходящих на их замену.

Предложенная выше классификация инфокоммуникационных сетей позволяет проследить все этапы интеграции видов и служб связи, связанных с развитием вычислительной техники, микроэлектроники, методов коммутации, скоростей передачи и т. д.

Начало процесса интеграции, когда каждый вид связи имел собственную инфраструктуру, собственную сеть каналов связи (как правило, арендованных), обслуживающую компанию и своих абонентов, условно назовем нулевым этапом, а инфокоммуникационные сети, ядром которых являются эти системы связи, инфокоммуникационными сетями нулевого класса (ИКС-0). Далее рассмотрим поэтапный процесс интеграции видов служб связи и появление новых классов инфокоммуникационных сетей (ИКС-1, ИКС-2, …, ИКС-5).

Естественно, что смена этапов не означает исчезновения всех предыдущих классов ИКС: на каждом последующем этапе продолжают существовать все классы ИКС предыдущих этапов. Например, сегодня, когда уже началось внедрение в эксплуатацию ИКС четвертого класса, жизненный цикл ИКС-1, ИКС-2, ИКС-3 еще далеко не закончился и все вместе они образуют сложную инфраструктуру мирового инфокоммуникационного пространства.

4.1. Системы связи нулевого этапа интеграции

4.1.1. Общая структура инфокоммуникаций нулевого этапа

Еще в 60–70-х годах прошлого столетия для каждого вида связи существовала своя инфраструктура (рис. 4.1). На рисунке показаны пять основных видов связи, для каждого из которых создавались собственные сети и операторские компании. Первичные сети каналов связи для них строились на базе арендованных каналов связи единой первичной сети Минсвязи СССР.

Такая инфраструктура обеспечивала основные потребности людей в обмене информацией и управлении народным хозяйством.

Инфокоммуникационные сети на базе систем телеграфной связи (ИКС-0-ТГ) повышали эффективность управления на разных уровнях народного хозяйства за счет ускорения документооборота по сравнению, например, с почтовой связью, а возможность срочной отправки телеграмм значительно улучшала жизнь людей.

Такой же эффект создавали ИКС на базе систем телефонной связи (ИКС-0-ТФ), обеспечивая непосредственное общение людей.

ИКС-0-ТВ и ИКС-0-РВ выполняли просветительские, развлекательные, пропагандистские, рекламные и другие функции, а также функции оповещения о чрезвычайных ситуациях.

Рис. 4.1. Инфраструктура инфокоммуникаций нулевого этапа

Инфокоммуникационные сети на базе систем передачи данных (ПД) сформировались позднее других систем и стали механизмом повышения интеллекта людей и всего человечества, а также началом настоящей революции, которая за несколько десятилетий не только преобразовала всю инфраструктуру инфокоммуникаций, но и в корне изменила жизнь и быт людей.

Конечно, ни организационно, ни технически инфокоммуникационных сетей тогда не существовало, но были системы связи, по которым передавалась информация, и были люди, которые генерировали, потребляли и использовали эту информацию в быту, на производстве, в управлении. Таким образом, люди были конечными пунктами виртуальных инфокоммуникационных сетей, являясь приемниками и генераторами информации. На рис. 4.1 символически показаны органы чувств человека, с помощью которых он генерирует и воспринимает информацию. В телеграфных системах и системах ПД это глаза и руки, в телефонных – уши и рот, в телевизионных – глаза и уши, в радиовещательных – уши. Одна из важнейших задач развития инфокоммуникационных сетей – совершенствование интерфейса взаимодействия этих органов чувств с техническими системами.

Далее авторы подробно рассмотрят структуры систем телеграфной связи, как первых кандидатов на завершение своего жизненного цикла, причем по причине не физического, а морального старения, т. к. все их функции с лучшим качеством могут выполнять системы ПД.

4.1.2. Системы телеграфной связи

В соответствии с определениями, данными в [1], телеграфная связь – совокупность передатчика, линии связи (каналов связи) и приемника, обеспечивающая передачу и прием документального сообщения, представленного в форме буквенно-цифрового текста.

Факсимильная связь – это вид связи, предназначенный для передачи неподвижных изображений.

Совокупность телеграфных и факсимильных связей образует систему телеграфной связи.

Таким образом, под системой телеграфной связи понимают организационно-техническую совокупность средств связи, предназначенную для получения, передачи, приема и доставки документальных сообщений от подателя до получателя сообщений, а также для устройств распределения (коммутации) и управления телеграфной сетью [1].

Система телеграфной связи строится на базе телеграфной сети связи.

Телеграфная сеть связи представляет собой совокупность пунктов и линий (каналов) связи и решает задачу по доставке информации в соответствии с заданным адресом и обеспечением соответствующих качественных показателей по времени доставки, верности и надежности.

Пункты телеграфной сети разделяются на оконечные (ОП) и узлы связи (УС). Оконечный пункт, расположенный непосредственно у пользователя (абонента), называется абонентским пунктом (АП). Узлы связи соединяются между собой пучками каналов связи, а с оконечными (абонентскими) пунктами – с помощью соединительных (абонентских) линий (рис. 4.2).

Телеграфные сети связи делятся на некоммутируемые и коммутируемые.

Некоммутируемые сети содержат передающую и приемную аппаратуру, располагаемую в оконечных пунктах и постоянно закрепленные (некоммутируемые) каналы связи (рис. 4.3 а).

Коммутируемые сети, помимо передающей и приемной аппаратуры и каналов связи, содержат узлы коммутации (УК – рис. 4.3. б).

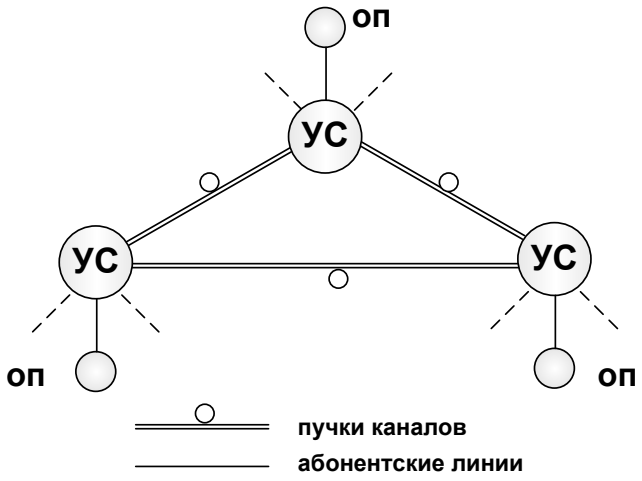


Рис. 4.2. Принцип организации телеграфной сети связи

В телеграфную сеть связи страны входят [1]:

телеграфная сеть общего пользования (ТгОП), предназначенная для передачи в пункт назначения телеграфных сообщений (телеграмм), поступивших в оконечные пункты (городские и сельские отделения связи) или районные и городские узлы связи от населения, организаций, предприятий и т. п.;

сеть абонентского телеграфирования (АТ), предназначенная для организации непосредственной временной связи между абонентами, входящими в сеть для ведения переговоров или передачи документальных сообщений;

сеть международного абонентского телеграфирования «Телекс», по которой передаются телеграммы или организуются телеграфные переговоры между оконечными установками абонентов этой сети, находящихся в нашей стране и за рубежом.

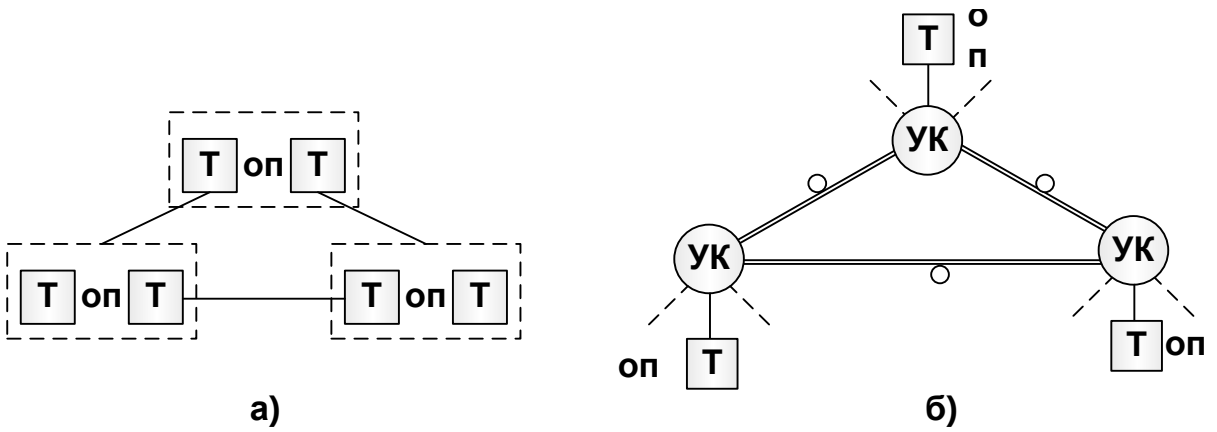


Рис. 4.3. Телеграфные сети связи: а) некоммутируемые; б) коммутируемые: УК – узел коммутации; Т – телеграфный (факсимильный) аппарат

В системе телеграфной связи особое место занимает факсимильная связь, которая базируется на факсимильных сетях общего пользования и факсимильной сети передачи текста газет по каналам электросвязи.

Факсимильная сеть общего пользования служит для передачи факсимильных сообщений (телеграмм) в интересах населения, предприятий, организаций и т. п.

Факсимильная сеть передачи текста газет по каналам электросвязи предназначена для передачи оригиналов-оттисков центральных газетных полос, поступающих из издательств в пункты их децентрализованного печатания.

На коммутируемых телеграфных сетях используются, в основном, два метода коммутации: коммутация каналов (КК) и коммутация сообщений (КС).

При коммутации каналов образуется сквозной канал для передачи информации между взаимодействующими оконечными пунктами через узлы коммутации, по которому затем передается информация. Структурная схема такой сети показана на рис. 4.4 а. Вызывающий абонент посылает в УК заявку на соединение, содержащую адрес вызываемого абонента. Узел коммутации соединяет через один или несколько последовательных каналов вызывающего абонента с вызываемым. При занятости вызываемого абонента или устройств УК и каналов связи вызывающему абоненту посылается сигнал отказа в соединении. Таким образом, такая система с КК относится к системам массового обслуживания с отказами.

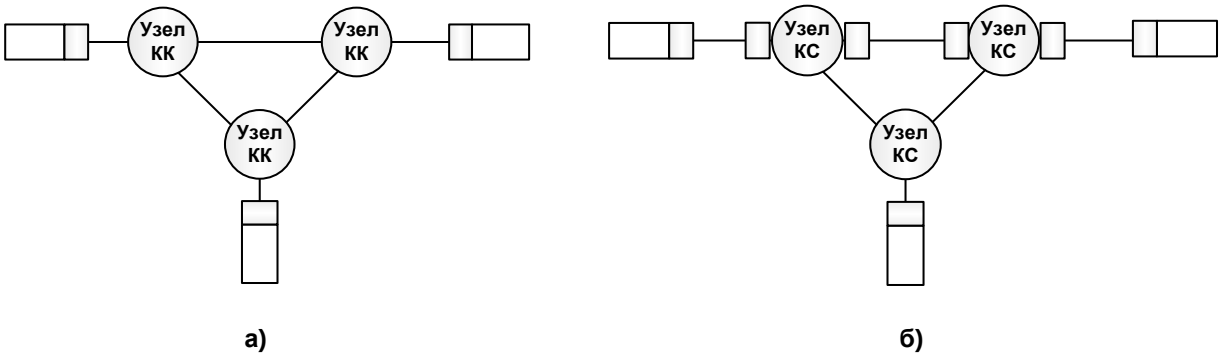


Рис. 4.4. Структурные схемы телеграфных сетей:
а) с методом коммутации каналов; б) с методом коммутации сообщений

В сетях с коммутацией сообщений абонент передает информацию на ближайший узел КС. Затем эта информация передается от узла к узлу с переприемом сообщения до тех пор, пока не попадет к получателю (рис. 4.4 б). Коммутация осуществляется в соответствии с адресом получателя, находящимся в заголовке сообщения. При занятости устройств узла КС или каналов связи сообщение хранится в памяти узла КС. Таким образом, метод КС относится к системам массового обслуживания с ожиданием.

Комбинированный способ коммутации (КК+КС) используется на сети прямых соединений.

Под телеграфной сетью прямых соединений (сеть ПС) понимается сеть общего пользования, в которой связь между оконечными пунктами организуется путем коммутации каналов. В случае занятости вызываемого оконечного пункта (ОП) отказа в соединении не наступает: сообщение запоминается в узле КК, с которым связан занятый оконечный пункт, а после его освобождения передается в ОП методом коммутации сообщений с помощью коммутатора низовых связей [1].

Упрощенная схема соединения по сети ПС показана на рис. 4.5.

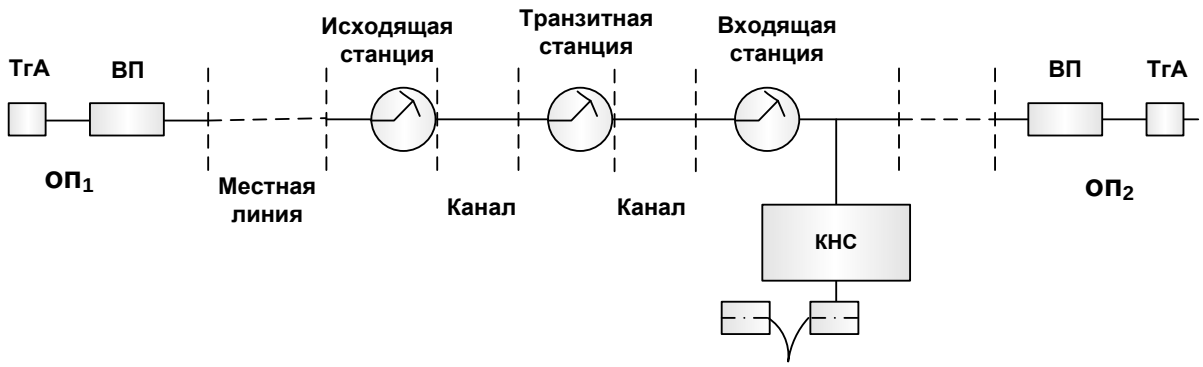


Рис. 4.5. Упрощенная схема соединения посети ПС: ВП – вызывной прибор; КНС – коммутатор низовых связей

Телеграфная сеть связи строится, как правило, по радиально-узловому принципу. На сети имеются три типа узлов коммутации: главные узлы (ГУ), областные узлы (ОУ) и районные узлы (РУ).

Территория страны разбивается на зоны, в каждой из которых имеется свой ГУ. Главные узлы соединяются между собой по принципу «каждый с каждым». ОУ соединены радиальными связями с ГУ своей зоны, а также, по мере возможности, с ГУ соседних зон и соседними ОУ. Районные узлы соединены радиально с ОУ своей зоны, с сельскими и городскими отделениями связи своего района, а также с отдельными абонентами.

4.2. Развитие служб документальной электросвязи

Сегодня существует большое число служб для передачи документальной информации, которые реализуются не только в традиционных сетях телеграфной связи, но и в телефонных сетях и особенно широко в сетях передачи данных. К таким службам относят [2]:

телеграфные (службы передачи телеграмм общего пользования, службы абонентского телеграфирования, службы телекса);

передачи газет;

телематические: телефакс, датафакс, бюрофакс, электронная почта (в том числе обработка сообщений), доступа к базам данных (в том числе справочная и видеотекс), мультимедиа (в том числе телеконференции).

Система телеграфной связи

В современную систему телеграфной связи входят телеграфная сеть общего пользования (ОП) и телеграфная сеть ограниченного пользования (ОгП), в состав которых включены сети телеграфной связи и сети абонентского телеграфирования (рис. 4.6) [2].

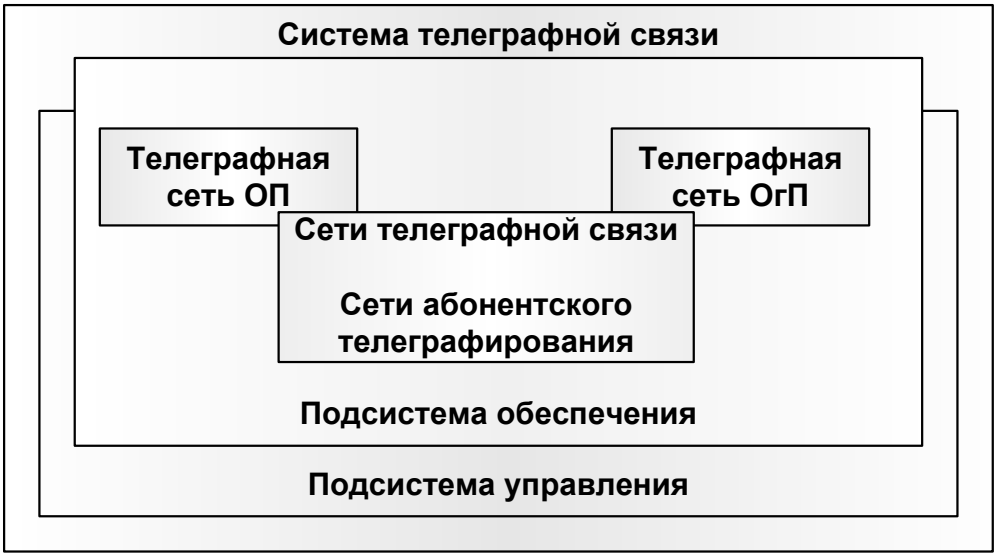


Рис. 4.6. Структура системы телеграфной связи РФ

Структура и назначение системы телеграфной связи в основном не изменились по сравнению с ранее рассмотренным нулевым этапом, чего нельзя сказать об аппаратурной реализации телеграфной системы. Стали более совершенными и подстанции коммутации каналов и сообщений, каналообразующая аппаратура, средства контроля, измерения и управления. Следуя тенденции общемирового развития систем связи, в настоящее время все большее признание получает разделение сети телеграфной связи на два уровня: транспортный и уровень доступа [2].

Транспортная сеть представляет собой совокупность коммутационных узлов, соединенных между собой каналами передачи, обеспечивающими связь между территориально распределенными местными сетями связи.

Транспортная сеть включает международную, междугородную и внутризоновые (региональные) телеграфные сети связи. Центральными элементами транспортной сети являются высокоскоростные линии, организованные, в основном, на базе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и работающие со скоростями от 64 кбит/с до десятков и сотен мегабит в секунду). Транспортная сеть предназначена для обеспечения передачи высокоскоростных потоков информации без промежуточного накопления.

Сеть доступа представляет собой местную сеть, предназначенную для пропуска местного трафика и подключения разнообразных абонентских терминалов к транспортной сети. Она состоит из абонентских линий связи, оконечных коммутационных станций, а также каналов, соединяющих местные станции между собой и с транспортной сетью.

Телематические службы

Телематические службы определены МСЭ-Т как службы электросвязи, которые не являются ни телефонными, ни телеграфными, ни службами передачи данных. Ограничений их росту практически нет, он зависит от потребностей населения и народного хозяйства, а стимулируется перспективами высоких прибылей.

С начала 80-х гг. прошлого столетия, когда появилась первая служба телекса, их стало более 30. Рассмотрим некоторые из них [2].

1. *Телетекс* – буквенно-цифровая система передачи деловой корреспонденции, предназначенная для обслуживания учреждений и предприятий. Эта система несколько напоминает систему телекса (абонентский телеграф), но отличается от нее сохранением формы текста, значительно большим набором знаков, большей скоростью передачи, высокой достоверностью, возможностью редактировать, используя промежуточную память, подготавливаемую к передаче документацию. Абонентский терминал телетекста включает в себя персональную ЭВМ (ПЭВМ), модем, работающий по телефонной сети со скоростью 1200–2400 бит/с и специальное математическое обеспечение. Имеются также терминалы, работающие по сетям ПД с коммутацией пакетов.

2. *Телефакс* – факсимильная служба общего пользования, предназначенная для передачи сообщений между абонентскими факсимильными аппаратами, установленными, как правило, в офисах, учреждениях, предприятиях.

Возможность передачи практически любых изображений, а также почти полное соответствие репродукции оригинальному и высокая помехоустойчивость – основное достоинство факсимильной связи.

Факсимильная связь органично вписывается в существующую технологию документооборота. Первая служба телефакса была создана в ФРГ в 1979 году. В Западной Европе заметный рост факсимильных терминалов начался во второй половине 80-х годов.

Основным недостатком телефакса является большая избыточность передаваемых сообщений: объем передаваемой информации по сравнению с буквенно-цифровой передачей (например, в службе телетекс) больше в 100–150 раз. Вследствие этого в современных факсимильных аппаратах предусматриваются средства сжатия данных. Различают четыре группы факсимильных служб.

Факсимильная служба группы № 1 осуществляет аналоговую передачу без данных и передачу факсимильных сообщений по телефонной сети общего пользования (ТФОП). Страница текста передается примерно за10 минут.

Факсимильная служба группы № 2 имеет ограниченные возможности для сжатия данных. Страница текста передается по ТФОП за 3 минуты.

Факсимильная служба группы № 3 позволяет передавать сигналы в цифровой форме при реализации сложного алгоритма сжатия данных. Страница текста передается поТФОП за время, меньше одной минуты.

Факсимильная служба группы № 4 предусматривает передачу сигналов в цифровом формате и сложный алгоритм сжатия данных. Информация может передаваться по цифровой сети, например, ISDN, причем страница текста передается за время, меньше одной секунды.

Терминалы факсимильных служб автоматически выполняют следующие функции:

установление соединений;

передачу, прием и регистрацию сообщений;

идентификацию абонентского устройства корреспондента;

проставление оттиска штампа на оригинале и копии документа;

регистрацию служебной информации на контрольной ленте;

накопление в запоминающем устройстве некоторого объема передаваемых и принимаемых сообщений.

Следующий шаг в развитии абонентских терминалов – применение ПЭВМ в качестве факсимильных аппаратов. Для этого их оснащают двумя дополнительными устройствами: сканером, служащим для «считывания» информации с оригинала и ввода ее в ПЭВМ, и факсимильной платой, осуществляющей сопряжение ПЭВМ с сетью связи, установление, разъединение соединений и управление факсимильной передачей. Такой терминал имеет ряд дополнительных возможностей:

подготовка документов с помощью клавиатуры и передача их из постоянного запоминающего устройства. Тем самым исключается процедура сканирования, снижающая качество копии;

предварительный просмотр принимаемых сообщений на дисплее;

введение с помощью текстовых и графических редакторов в текстовые документы графических изображений и формирование графических изображений с клавиатуры;

наличие многочисленных дополнительных сервисных услуг (справочники, шаблоны, архивы, календари, записные книжки, калькуляторы);

использование для получения твердых копий обыкновенной бумаги вместо более дорогой и неподлежащей длительному хранению термографической, применяемой в факсимильных аппаратах.

3. *Бюрофакс* – служба общего пользования для передачи документов между факсимильными аппаратами, расположенными в отделениях связи, в которые абоненты сдают подлежащие передаче оригиналы. Доставка клиентам сообщений, принятых по службе бюрофакса в отделениях связи, осуществляется также, как и доставка телеграмм. Сообщения передаются по телефонным сетям и сетям ПД.

4. *Телерукопись* – служба передачи графической информации, отображаемая на приемном конце движением «пера», пишущего на передающем конце канала. Сообщения, которые могут представлять собой рукописный текст, рисунки, чертежи и т. п., наносятся на специальном планшете. На приемном конце канала связи сообщения воспроизводятся на бумаге или экране дисплея. Во многих случаях телерукопись дополняет телефонную службу. При этом письменные сообщения передаются по телефонному каналу в узком диапазоне частот со скоростью 300 бит/с.

5. *Видеотекс* – информационно-справочная служба, дающая пользователю возможность с помощью оконечных терминалов и стандартных процедур доступа получать информацию из банков данных (БД) по сетям электросвязи. Служба видеотекса предоставляет следующие услуги:

информационный поиск – получение абонентами информации путем диалога с БД;

транзакции – ввод или модификация абонентами информации, хранящейся в БД. Для пользования этой услугой требуется выполнять специальные функции и процедуры подтверждения права доступа к ней;

управление сообщениями – связь абонентов друг с другом путем накопления сообщений в общедоступной БД. Накопленные сообщения могут быть получены по запросу абонента или предоставляться автоматически;

обмен сообщениями между оконечными установками – обмен информацией между абонентами в диалоговом режиме;

обработка данных – использование памяти БД для обработки информации или программ в соответствующем оконечном оборудовании службы видеотекса;

взаимодействие с другими телематическими службами – доступ абонентов к услугам и (или) абонентам других телематических служб.

Терминалы службы видеотекса могут устанавливаться в квартирах, офисах, на предприятиях, в учреждениях, а также в местах общего пользования – в почтовых отделениях, на вокзалах и т. д.

Абонентские терминалы видеотекса бывают трех типов:

специализированные терминалы на базе ПЭВМ и бытового телевизора;

терминалы второго типа, состоящие из ПЭВМ, модема и дискеты с программным обеспечением видеотекса;

терминалы третьего типа, рассчитанные в основном на использование в быту, представляют собой приставку к телевизору с логическим устройством, простейшей клавиатурой и модемом.

Банки данных службы видеотекса рассчитаны на хранение не менее 300 тыс. страниц; вероятность отказа в обслуживании пользователей не более 0,01.

6. *Служба обработки соединений (СОС) или «электронная почта».*

Предоставляет пользователям возможность передачи сообщений через промежуточные накопители методом коммутации сообщений. СОС обеспечивает необходимые преобразования сообщений и рассчитана на передачу не только текстовой и графической информации, но и звуковых сообщений (запись в промежуточный накопитель с последующим воспроизведением – «телефонная почта»).

Абонентские терминалы в СОС могут различаться. Например, у отправителя может быть телеграфный аппарат, а у получателя – факсимальный аппарат группы 3.

В СОС предусмотрено взаимодействие с другими телематическими службами, телексом и традиционной почтой.

СОС представляет собой важнейший элемент электронной (безбумажной) канцелярии, с помощью которого выполняются функции помощника и секретаря абонента: осуществляются просмотр очередных, подготовленных к отправке сообщений, сортировка принятых сообщений с выдачей абонентам информации типа «Получено уведомление о доставке адресату», «Сообщение еще не отослано», «Сообщение переадресовано» и т. п.

В числе новых важных услуг СОС – защита сообщений от несанкционированного доступа, т. е. обеспечение целостности информации, сохранение ее конфиденциальности, аутентификация пользователей и др.

Для СОС обычно используются сети ПД с коммутацией пакетов, а также телефонные сети и некоммутируемые (арендованные) каналы связи.

7. *Телетекст* в отличие от рассмотренных выше служб является циркулярной, симплексной и неинтерактивной службой. Информация хранится в виде блоков (страниц) в БД, аналогичных БД службы видеотекса, но меньших по объему. Информация передается по телевизионной сети с циклическим повторением страниц.

Передача сообщений телетекста может идти вместо телевизионной программы или одновременно с ней. Терминалом служит телевизор, снабженный специальной приставкой. В телевизоры пятого поколения такие приставки встроены.

8. *Справочная служба (СС)* с функциями нахождения адреса (номера) по имени пользователя (например, номера телефона фирмы по ее названию), выдачи сведений о порядке пользования службами, их характеристик, тарифах и т. п. Справочная служба может использоваться также для аутентификации абонентов.

Основой СС является распределенная база данных, с которой абоненты работают в интерактивном режиме «запрос – ответ». Требование к времени доступа абонента к СС составляет не более 15 с., а к времени от запроса до ответа – не более5 с.

9. *Служба телеконференции* позволяет проводить в реальном масштабе времени конференции между пользователями, расположенными в разных местах, с помощью терминалов и сетей электросвязи. Служба предоставляет следующие варианты услуг: аудио-графические и видеоконференции. Первые передают звуковые сигналы и неподвижные изображения, вторые – звуковые сигналы и подвижные изображения.

При вводе сообщения с терминала участника конференции оно воспроизводится на дисплеях всех других участников. Распорядок работы конференции устанавливает ее ведущий, который предоставляет «слово для выступления» и имеет право лишить любого из участников возможности выступить.

10. *Телебиржа* – автоматизированная система, подобная традиционной бирже и обеспечивающая все ее функции: регистрацию брокеров, товаров, заявок на покупку-продажу и т. д. Одновременно работают несколько представителей биржевого комитета (трейдеров) и брокеров; осуществляется защита баз данных и паролей доступа к системе.

Подача заявок брокеров и клиентов производится с их терминалов. Участники торгов, которые заявили о покупке-продаже каких-либо товаров, автоматически оповещаются

об имеющихся предложениях по ним. При наличии встречных предложений с подходящими ценами сделки осуществляются автоматически.

11. *Телемагазин* является службой, предназначенной для проведения торговых операций между покупателями и поставщиками товаров с помощью сетей электросвязи. По-сути, это расширение возможностей службы видеотекса, добавление к его услугам справочного характера услуг по заказу выбранного продукта, товара. В службе телемагазина все данные об имеющихся в продаже товарах построены по иерархической системе: тип товара, перечень магазинов, торгующих товарами этого типа, ассортимент и цены товаров в данном магазине, подробные характеристики товаров, способ оплаты, стоимость покупки. Выбрав по меню товар, пользователь делает заказ, сообщая свои платежные реквизиты. Телемагазин отправляет накладную поставщику товаров для доставки их покупателю.

12. *Телеаукцион* отличается от традиционного аукциона тем, что его участники могут находиться в разных местах, соединенных каналами связи с центром службы, и имеют дело сразу со всеми лотами (товарами, выставленными на продажу). Для участия в аукционе пользователи службы подают ведущему аукциона платные заявки на включение в списки участников, в которых указываются организация, ее адрес, контактный телефон, финансовые реквизиты. После этого каждый участник получает личный пароль, дающий право доступа к информации о лотах. В процессе торгов участники телеаукциона сообщают цены на нужные им лоты. По истечении определенного времени после объявления последней цены (это время определяет ведущий аукциона) лот считается проданным.

Рассмотренные выше службы отнесены здесь к телематическим службам электросвязи, что не в полной мере соответствует классификации инфокоммуникационных сетей и их служб, предложенных в главе 2. По сути некоторые из этих служб (видеотекс, справочная служба, службы телеконференций, телебиржа, телемагазин, телеаукцоин) относятся к информационным службам ИКС, а остальные – к телекоммуникационным. Это дань подходу традиционных связистов, еще не привыкших к новому понятию «инфокоммуникационная сеть» [2]. Сегодня разрабатывается и внедряется множество новых информационных служб ИКС, таких как «электронное правительство», «телеобучение», «телемедицина», «телебанк», «служба социальной помощи» и др. Именно новые информационные службы определят в будущем рост эффективности инфокоммуникационных сетей и возможность оптимизации жизненного цикла ИКС по критерию среднегодовой накопленной прибыли.

Очевидно, что чем выше класс ИКС, тем большее число новых служб может быть в ней реализовано.

4.3. Системы связи первого этапа интеграции

На рис. 4.7. показана инфраструктура инфокоммуникаций первого этапа интеграции служб связи, в котором по сравнению с нулевым этапом (рис. 4.1) появился новый класс интегрированных сетей ИКС-1-ТФ, использующих каналы и сети телефонной связи для передачи данных, факсимильной связи и различных телематических служб. В связи с этим в следующих разделах более подробно рассматривается структура Общегосударственной телефонной сети общего пользования (ТФОП), каналы которой использовались для передачи данных, факсимильных сообщений и др.

4.3.1. Телефонная сеть общего пользования России

Телефонная сеть общего пользования (ТФОП) представляет собой совокупность местных и междугородных автоматических телефонных станций и коммутационных узлов, международных центров коммутации, оконечных абонентских устройств, а также каналов и линий телефонной сети [2, 3].

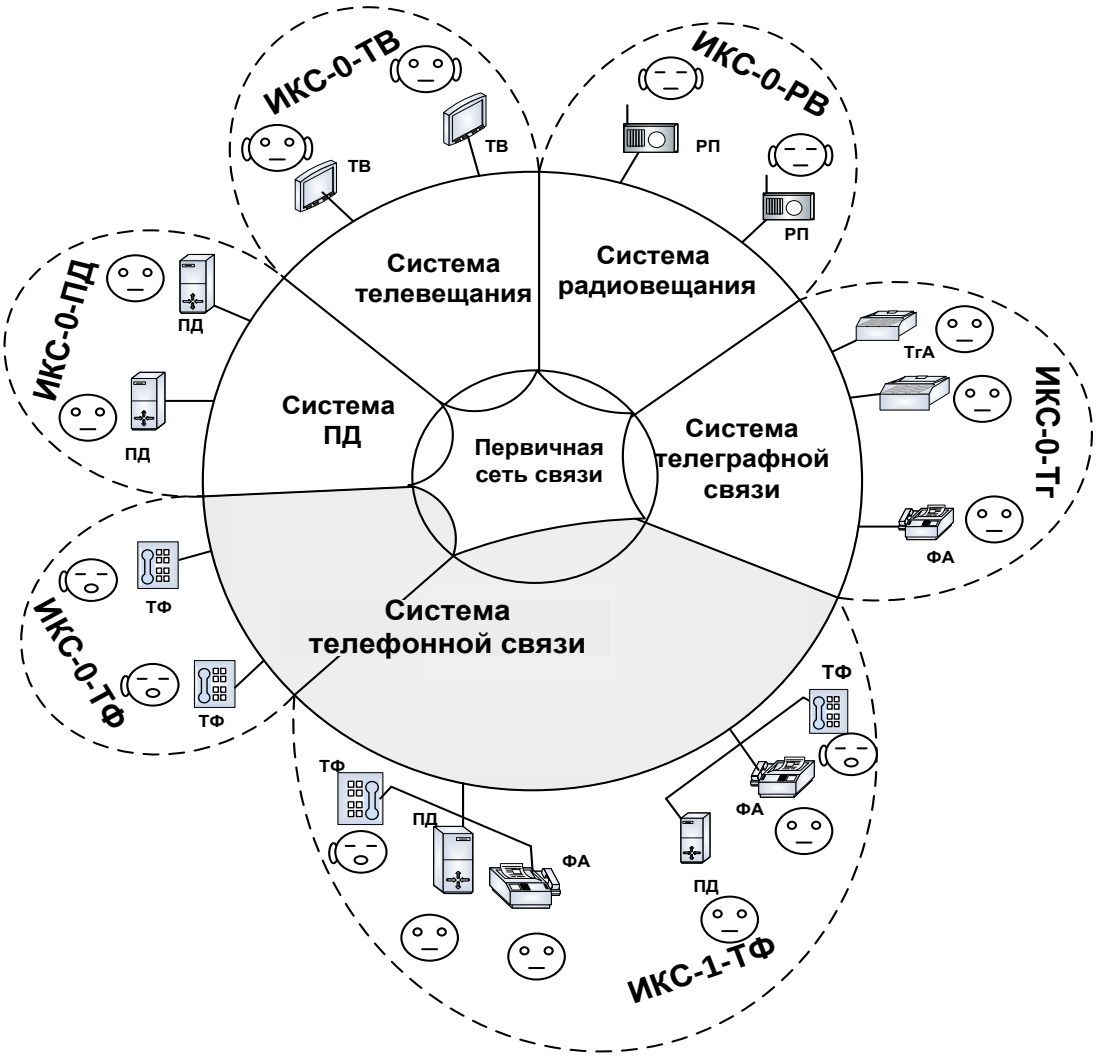


Рис. 4.7. Инфраструктура инфокоммуникаций 1-го этапа интеграции

Далее дается достаточно полная характеристика структуры ТФОП, с учетом, что именно этой сети предстоит длительная процедура перехода к сети следующего поколения классов ИКС-4, ИКС-5 с внедрением нового метода коммутации пакетов. Поэтому книга будет полезна специалистам, участвующим в этом процессе с точки зрения ознакомления с существующей структурой модернизируемой сети.

Общегосударственная ТФОП состоит из (рис. 4.8):

зоновых телефонных сетей;

междугородной телефонной сети.

Зона организуется при установке автоматической междугородной телефонной станции (АМТС). В состав зоновой телефонной сети входят:

местные телефонные сети, расположенные на территории зоны;

внутризоновая телефонная сеть.

Местные телефонные сети разделяются на:

городские телефонные сети (ГТС);

сельские телефонные сети (СТС);

комбинированные телефонные сети (КТС).

Абонентские оконечные устройства включаются в коммутационное оборудование ГТС по двухпроводной схеме следующими способами (рис. 4.9):

непосредственно в автоматические телефонные станции (АТС) с помощью индиви-

дуальных или общих (спаривание аппаратов) для нескольких абонентов линий;

в учрежденческо-производственные телефонные станции (УПТС), соединяемые с АТС пучками соединительных линий;

в подстанции (ПС) или концентраторы, включаемые в АТС.

Городские телефонные сети

ВГТС могут быть использованы следующие разновидности ее структуры:

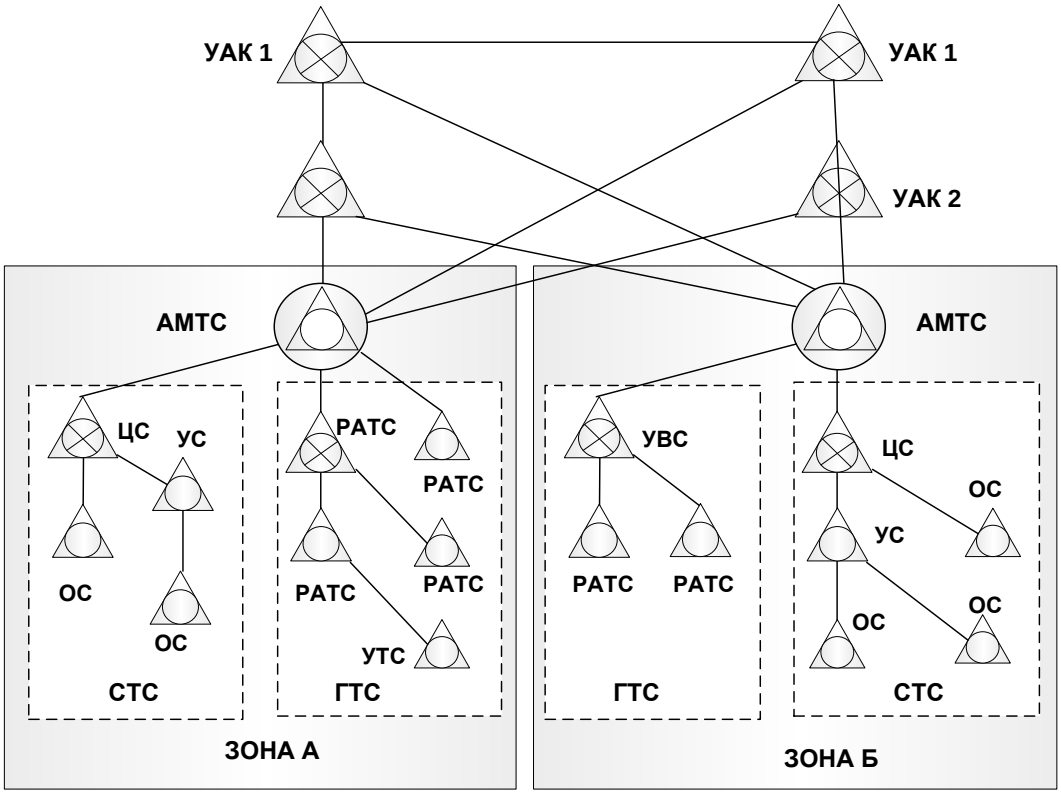


Рис. 4.8. Структура телефонной сети общего пользования

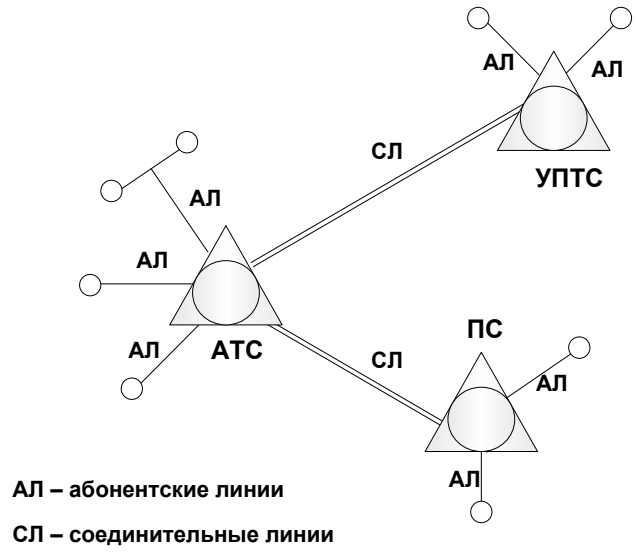


Рис. 4.9. Включение оконечных абонентских устройств
в коммутационное оборудование ГТС

а) нерайонированные телефонные сети, т. е. сети, в которых имеется всего одна АТС;

б) районированные телефонные сети без узлообразования (рис. 4.10), в которых имеется несколько районных АТС (РАТС), связанных между собой пучками соединительных линий по принципу «каждая с каждой»;

в) районированные телефонные сети с узлами входящего сообщения (рис. 4.11), содержащие несколько узловых районов; РАТС одного узлового района могут быть соединены между собой по принципу «каждая с каждой» (узловой район 1) или связываться через узел входящего сообщения (УВС) своего узлового района (узловой район 2);

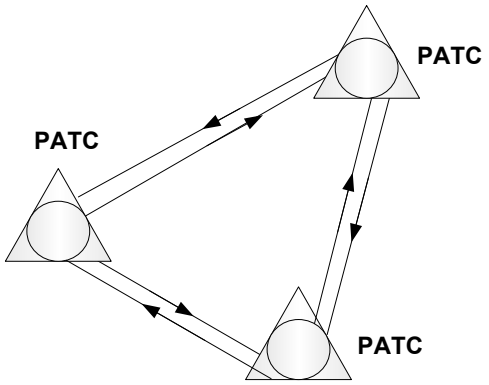


Рис. 4.10. Структура районированной ГТС без узлообразования

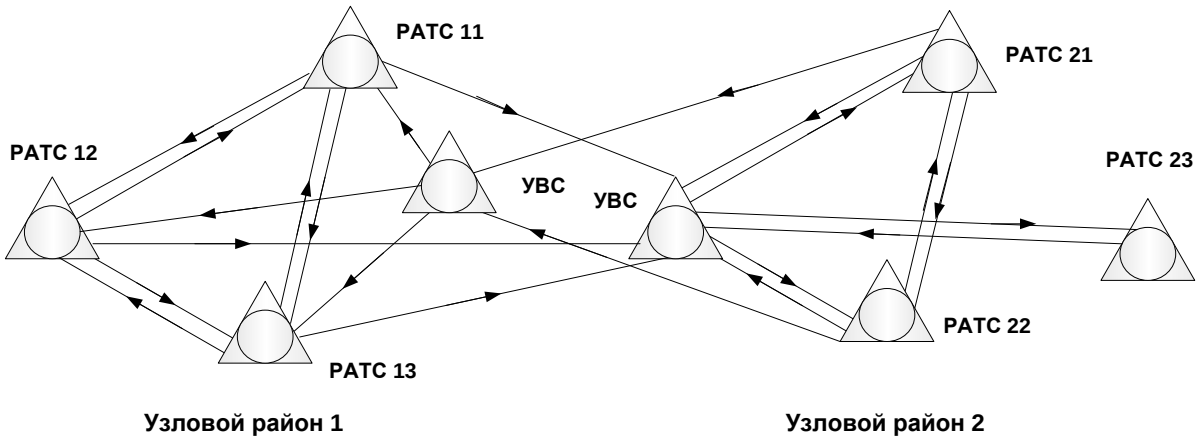


Рис. 4.11. Схема построения районированной ГТС с УВС

г) районированные телефонные сети с узлами исходящего сообщения (УИС) и с УВС или с совмещенными узлами исходящего и входящего сообщения (УИВС) – рис. 4.12; в каждом узловом районе имеется один УИС и один УВС; УИС и УВС разных узловых районов соединяются между собой пучками соединительных линий по принципу «каждый исходящий с каждым входящим», а связь между РАТС разных узловых районов осуществляется через УИС (УИВС) узлового района вызывающей РАТС и через УВС (УИВС) узлового района вызываемой РАТС;

д) смешанные телефонные сети, на которых могут применяться одновременно несколько из вышеуказанных способов построения районированных ГТС.

Связь между двумя любыми станциями ГТС может осуществляться по одному или нескольким разным путям:

прямой путь, который проходит по одному пучку межстанционных линий, непо-

средственно связывающих одну АТС со второй;

один или несколько транзитных путей, каждый из которых проходит последовательно по двум или более пучкам соединительных линий с использованием узлового коммутационного оборудования ГТС.

Если между двумя АТС имеется два и более возможных путей, то один из них является основным, а остальные – обходными.

При создании в ГТС цифровых узловых районов в дополнение к вариантам организации основных и обходных путей допускается организация обходных путей между РАТС двух разных узловых районов через УИВС третьего района. И основные, и обходные межузловые пути проектируются как пути с высоким качеством обслуживания.

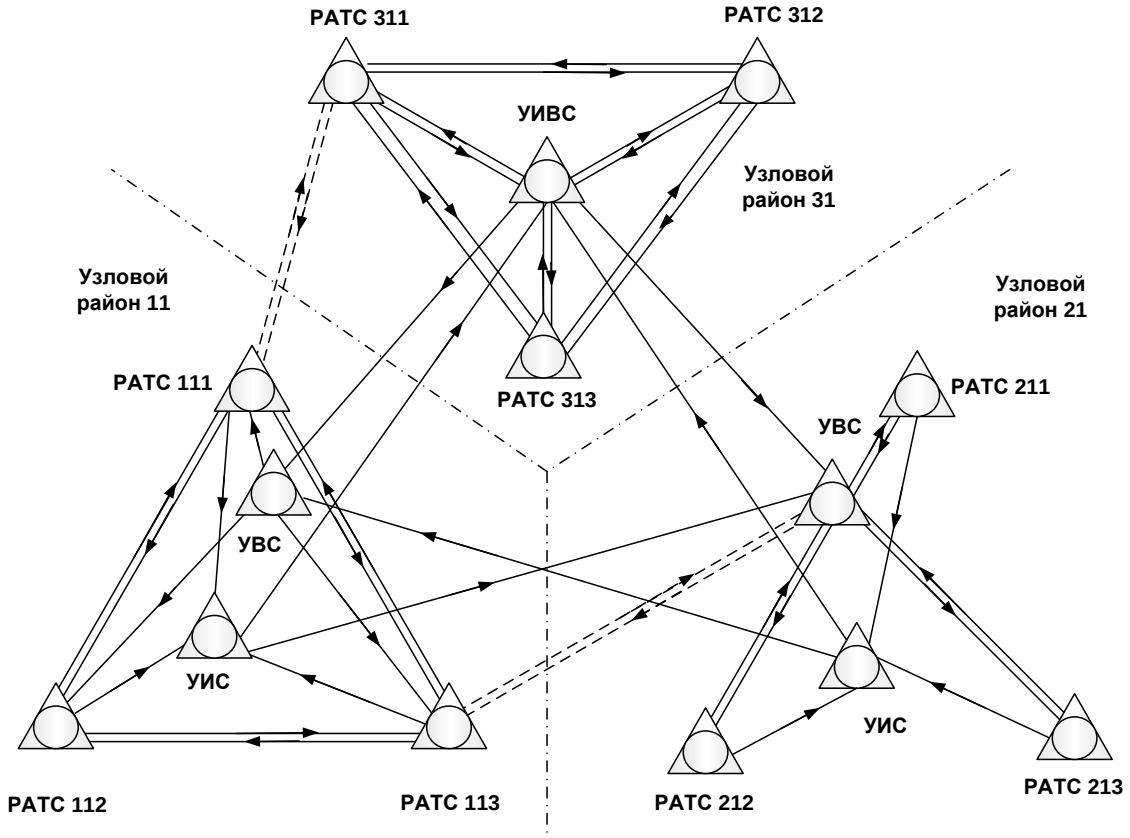


Рис. 4.12. Схема построения районированной ГТС с УИС и УВС

Сельские телефонные сети

На СТС предусматривается или радиальное построение (одноступенчатая схема) или радиально-узловое построение (одно- и двухступенчатая схема) с возможностью использования прямых и обходных путей. В структуру СТС входят (рис. 4.13):

центральная станция (ЦС), расположенная в районном центре, выполняющая одновременно функции телефонной станции райцентра и транзитного узла СТС. В ЦС включаются СЛ от оконечных станций (ОС) при радиальном построении или от ОС и узловых станций (УС) при радиально-узловом построении; через ЦС осуществляется связь с АМТС и МТС райцентра;

УС, расположенные в любых населенных пунктах сельского района. УС представляют собой оконечно-транзитные станции, в которые включаются АЛ и СЛ от ОС и ЦС. Через УС осуществляется транзитная связь между включенными в нее ОС, а также между этими ОС и ЦС или другими УС;

ОС, расположенные в любых населенных пунктах сельского района. Соединительные линии ОС (в зависимости от схемы построения сети) включаются в ЦС или УС, а

также в другие ОС или УС (при использовании прямых путей между ОС или между ОС и другими УС).

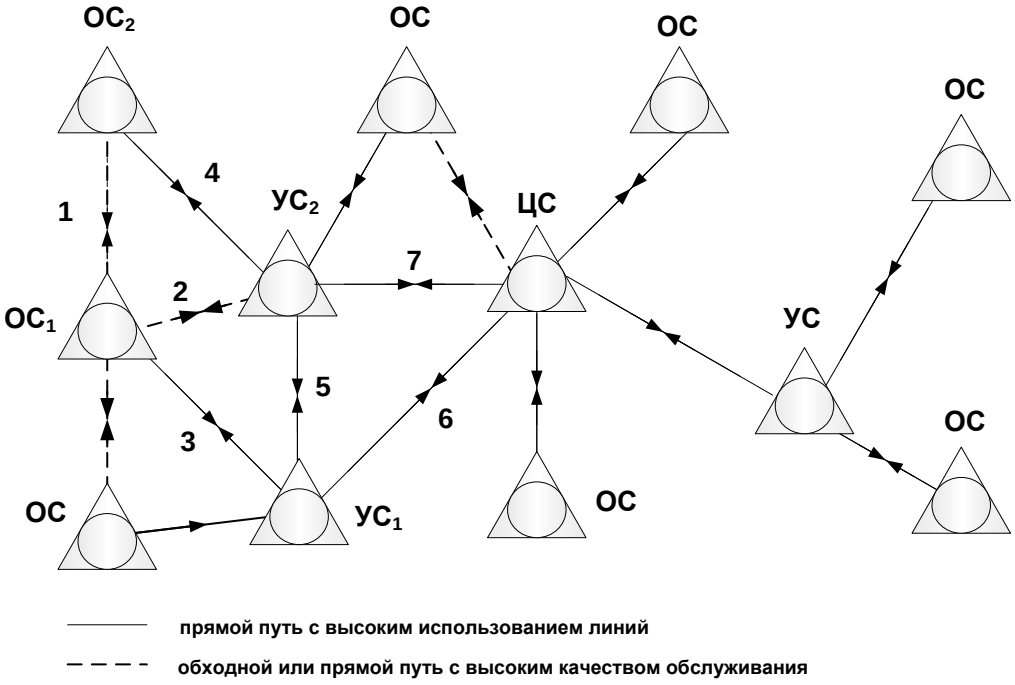


Рис. 4.13. Схема построения сельских телефонных сетей

На схеме рис. 4.13 между ОС1 и ОС2 возможны:

прямой путь: ОС1 –1 – ОС2;

до двух обходных путей:

1-й путь: ОС1–2 – УС2– 4 – ОС2;

2-й путь: ОС1–3 – УС1– 5 – УС2– 4 – ОС2.

Используются несколько способов телефонизации сельских хозяйств:

обслуживание телефонной связью хозяйства одной ОС (УС) с непосредственным включением ее в ЦС;

обслуживание телефонной связью хозяйства несколькими ОС, образующими один узловой район с узловой станцией, размещенной на центральной усадьбе и ОС, устанавливаемыми в отделениях этого хозяйства;

обслуживание телефонной связью нескольких хозяйств одной ОС;

обслуживание телефонной связью нескольких хозяйств отдельными ОС и общей УС, относящейся к одному из этих хозяйств.

Местные комбинированные телефонные сети

Если райцентр или крупный город, имеющий районированную ГТС, является одновременно центром сельского административного района, ГТС и СТС образуют единую местную комбинированную телефонную сеть (КТС). При этом на ГТС должна предусматриваться организация транзитного узла исходящего и входящего сообщения сельско-пригородной связи (УСП) или ЦС, через которые может осуществляться связь между станциями СТС, станций СТС со станциями ГТС, а также исходящая и входящая междугородная связь абонентов СТС.

В качестве примера на рис. 4.14 приведена схема построения комбинированной сети на основе районированной ГТС без узлообразования при суммарной емкости сети не более 80 000 номеров. На такой сети могут быть организованы УСП или ЦС, в которые включаются сельские станции. Городские районные АТС (РАТС) и УСП (ЦС) связываются друг с другом по принципу «каждая с каждой». АТС пригородов (ПАТС) в зависимости

от местных условий могут включаться в ГТС либо непосредственно на правах РАТС или учрежденческих станций, либо через УСП (ЦС).

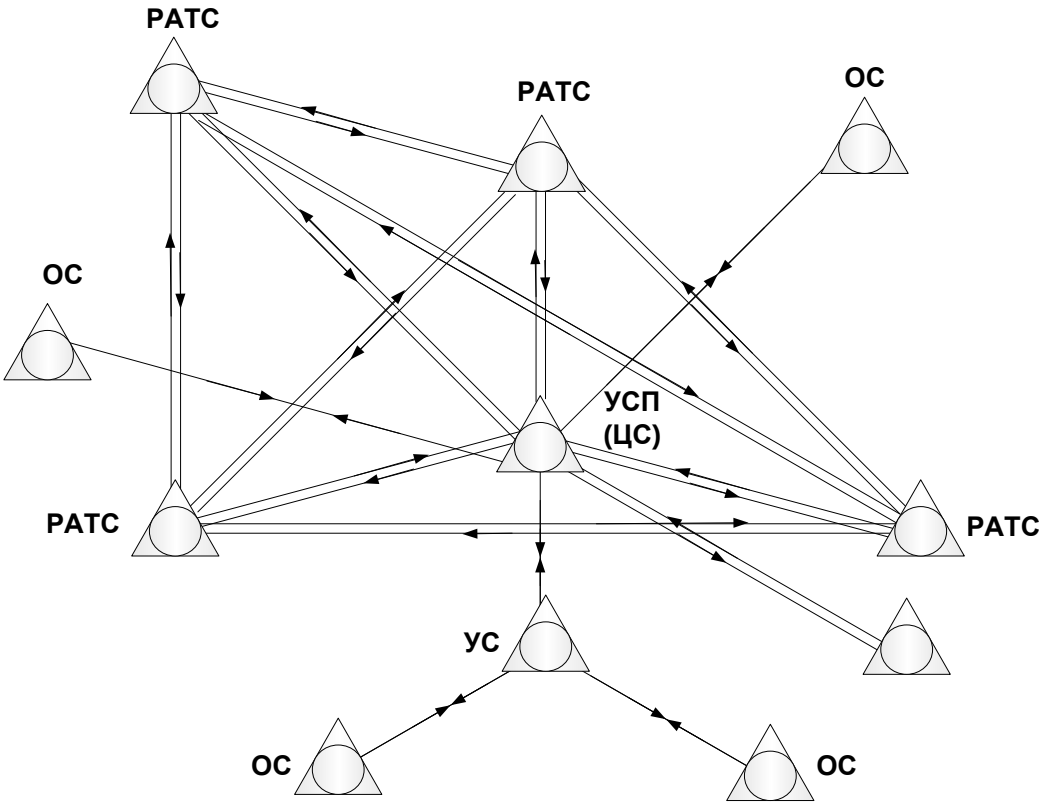


Рис. 4.14. Схема построения комбинированной сети на основе районированной ГТС без узлообразования

Внутризоновые телефонные сети

Внутризоновые телефонные сети должны обеспечивать соединения станций и узлов различных местных сетей одной зоны и выход их на междугородную и международную сети.

Внутризоновая телефонная сеть представляет собой совокупность автоматических междугородных телефонных станций (АМТС), входящих одновременно в междугородную сеть, зоновых телефонных узлов (ЗТУ), заказно-соединительных линий (ЗСЛ) и соединительных линий (СЛМ), связывающих местные сети с АМТС, ЗТУ, и каналов, связывающих АМТС, ЗТУ зоны между собой, а также МТСРЦ с АМТС.

Наиболее распространенным вариантом организации внутризоновой сети является вариант с одной АМТС в зоне. В этом случае внутризоновые телефонные сети строятся по радиальному принципу, т. е. каждая местная сеть включается в АМТС по ЗСЛ для исходящей связи и по СЛМ для входящей связи. Пример структуры такой сети показан на рис. 4.15.

Во внутризоновую сеть входят участки ЗСЛ от узлов заказно-соединительных линий УЗСЛ (РАТС, УСП, ЦС, УИС) до АМТС (ЗТУ) и участки СЛМ от АМТС (ЗТУ) до узлов входящего междугородного сообщения УВСМ (РАТС, УСП, ЦС).

Международная телефонная сеть

Междугородная телефонная сеть должна обеспечивать соединение между собой автоматических междугородных телефонных станций (АМТС) различных зон и выход их в международную сеть.

Сеть должна включать комплекс оконечных АМТС, транзитных узлов автоматической коммутации (УАК) и пучков телефонных каналов, связывающих их между собой (рис. 4.16).

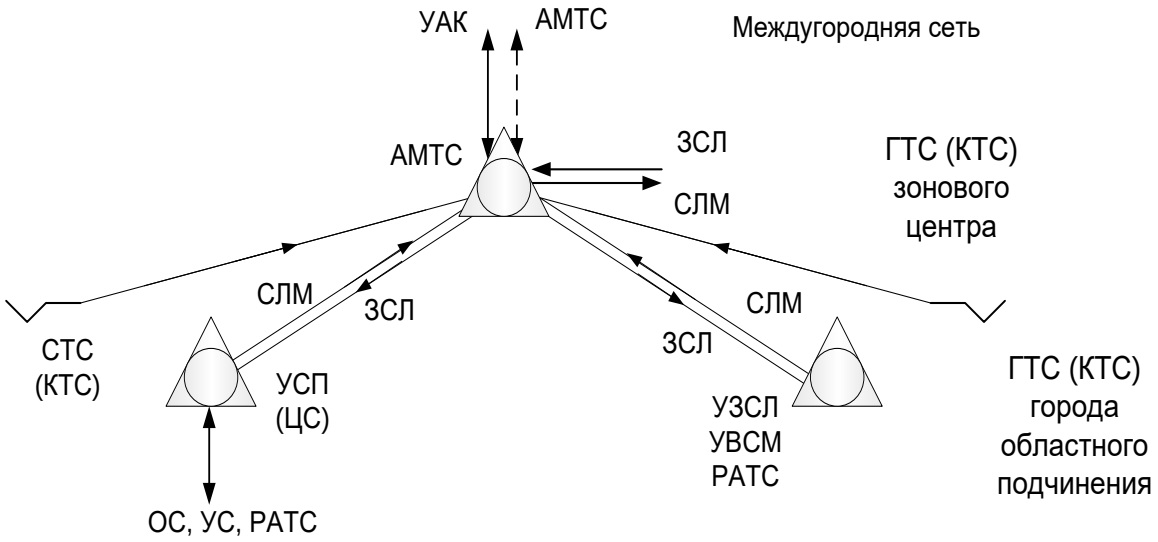


Рис. 4.15. Схема построения внутризоновой сети с одной АМТС в зоне

Предусматривается иерархический принцип построения, имеющий два-три уровня иерархии:

три уровня – АМТС-УАК II-УАК I,

два уровня – АМТС-УАК I.

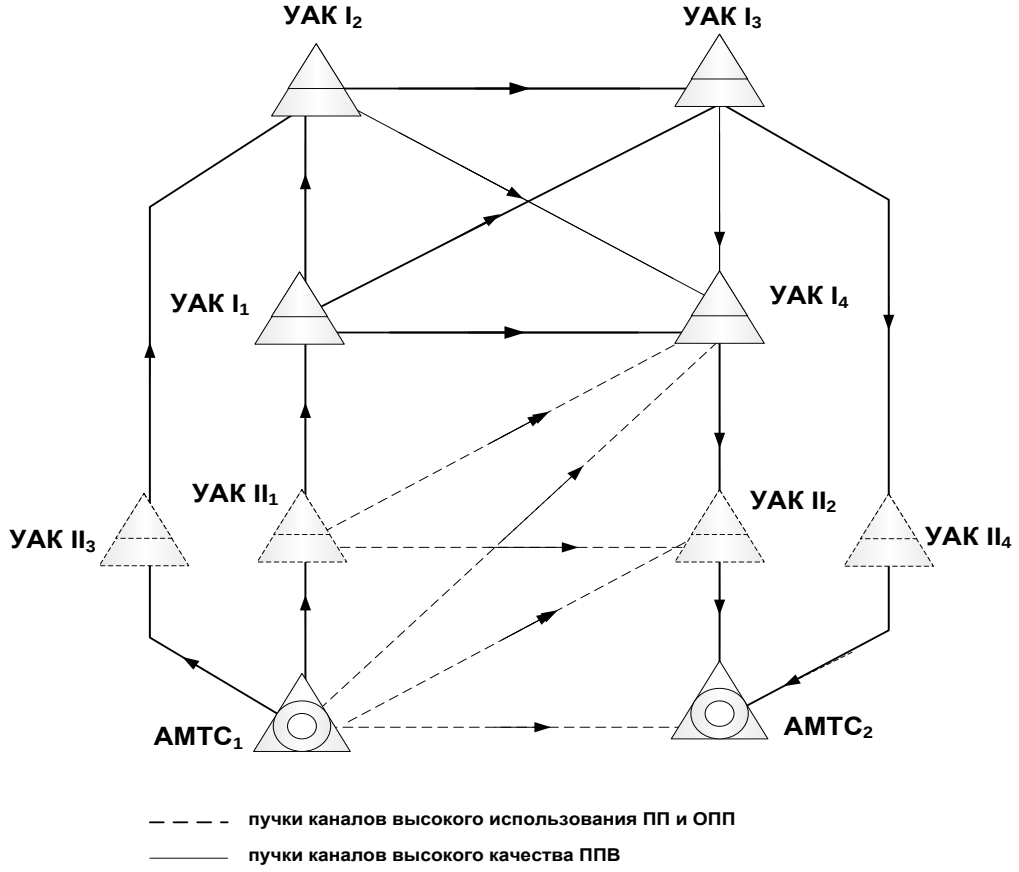


Рис. 4.16. Схема построения междугородной сети

4.3.2. Сети междугородной телефонной связи «Искра» и подвижной радиотелефонной связи

Сеть «Искра» – выделенная сеть связи, предназначенная для обеспечения определенной группы абонентов высококачественной связью с приоритетным обслуживанием [2]. Ее развитие шло по пути создания выделенной цифровой коммутируемой сети (ВЦКС) «Искра 2», где осуществляется более качественное обслуживание абонентов за счет передачи сообщений на скоростях 2,4; 4,8; 9,6 кбит/с. Абонентам сети предоставляются услуги внутригородской, междугородной и международной телефонной связи, факсимильной связи, электронной почты. Необходимо отметить, что идея ВЦКС возникла где-то на рубеже 70-80-х годов прошлого столетия и, в какой-то мере, была противовесом концепции создания Общегосударственной системы передачи данных на базе метода коммутации пакетов и сообщений: зачем тратить время и средства на систему с неведомым, неопробованным методом коммутации, когда можно построить цифровую ВЦКС на опробованном, надежном методе коммутации каналов.

Предлагались три этапа развития ВЦКС [4].

Первый этап (XII–XIII пятилетки) разбивался на две очереди. До 1992 г. были организованы первые ЭАТС в Москве, Ленинграде, Киеве и Минске с доведением цифрового потока до концентраторов. На базе этих станций создавались местные сети, которые обеспечивают абонентам передачу сообщений и передачу неречевой информации со скоростью 2400 бит/с. В этот период создана цифровая первичная сеть на базе цифровых систем передачи с ИКМ, которая предоставляла абонентам телефонный канал на базе 64 кбит/с. Общая емкость сети в этот период должна достигнуть 20 тыс. номеров. Вторая очередь завершалась в1995 г. За этот период проводилось дооборудование и доработка междугородных станций и транзитных узлов, а также городских станций с целью расширения емкости сети. В это же время создавались междугородные тракты ИКМ со скоростью 2048 кбит/с, система синхронизации и сигнализации по ОКС № 7.

Второй этап – 1996-2000 гг. В этот период организуется доступ абонентов к сети в соответствии со стандартным интерфейсом 2B+D. Расширяется общая емкость ВЦКС до 100 тыс. номеров, в том числе абонентская емкость сети в Москве должна достичь 40 тыс. номеров.

Третий этап – 2001-2005 гг. В этот период емкость сети должна достигнуть 150 тыс. номеров и будет охватывать все крупные промышленные и научные центры страны.

Многие специалисты скептически относились к этим планам, т. к. они плохо стыковались (по крайней мере, по первому этапу) с реально ведущимися и планируемыми ОКР. Первый этап мог быть, видимо, реализован только за счет покупки необходимых технических средств за рубежом, что было весьма сомнительно при существующем тогда финансовом положении страны. Состояние реально ведущихся и планируемых разработок было следующее. Для перехода ОГС ТФС на принципы IDN Минсвязи СССР в XII пятилетке задало в промышленность разработку единой системы средств коммутационной техники (ЕССКТ), которая велась в рамках ОКР «Союз». Основными элементами ЕССКТ были междугородняя, городская и учрежденческая электронные АТС. Фактически велась разработка только городской и учрежденческой АТС. Основной причиной задержки в разработке междугородной АТС по мнению ряда специалистов была нерешенность проблемы синхронизации в междугородной отечественной IDN.

Опытные образцы учрежденческой АТС ЕССКТ должны были быть разработаны в1991 году, городской – в 1992 году.

С учетом периода опытной эксплуатации городская АТС ЕССКТ могла быть запущена в серийное производство в 1994 г. Рассчитано, что лимитная цена оборудования эталонной АТС ЕССКТ на10 тыс. номеров должна быть не более 250 руб. за номер на третий год серийного производства.

Этим планам не суждено было сбыться. Сегодня совершенно другая ситуация и вряд ли у ВЦКС есть будущее.

Первая сеть радиотелефонной связи общего пользования «Алтай» была создана в России в1963 г. В 1994 г. была утверждена и опубликована концепция развития в России до 2010 года сетей сухопутной подвижной радиосвязи общего пользования. Концепция реализована с использованием современных на то время технологий и включала сотовые сети, сети персонального радиовызова и транкинговые сети [2]. Для сотовых сетей использовалась усовершенствованная версия аналогового стандарта NMT 450 (Nordic Mobile Telephone System – охватывала более 30 городов России) и двух цифровых стандартов GSM (Global System for Mobile Communication) и D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone Service).

В настоящее время в России идет настоящий революционный процесс пакетизации телефонных сетей, т. е. их преобразования в сети следующего поколения на основе метода коммутации пакетов.

4.3.3. Узкополосные сети интегрального обслуживания N.ISDN

В рассмотренных выше телефонных сетях задача интеграции служб связи специально не ставилась. После того, как по экономическим причинам цифровые сигналы стали основными в технике связи, возникла идея перехода телефонных сетей общего пользования на полностью цифровую обработку информации. Сначала предполагалось, что абоненты этой сети будут передавать только голосовые сообщения. Такие сети получили название IDN – Integrated Digital Network. Термин «интегрированная сеть» относится к интеграции цифровой обработки информации сетью с цифровой передачей голоса абонентом. Это было в далеком 1959 году. Затем решили, что такая сеть должна предоставлять своим абонентам не только возможность передачи речевой информации, но и компьютерных данных. А так как в телефонные сети уже начали внедряться разнообразные службы прикладного уровня – факсимильная связь, телетекс, видеотекс, голосовая почта и другие, было решено, что новая интегральная сеть также должна их поддерживать. После обсуждения этой идеи в мировом масштабе в МККТТ начала формироваться концепция цифровой сети с интеграцией служб ISDN (Integrated Services Digital Network, рис. 4.17) [5].

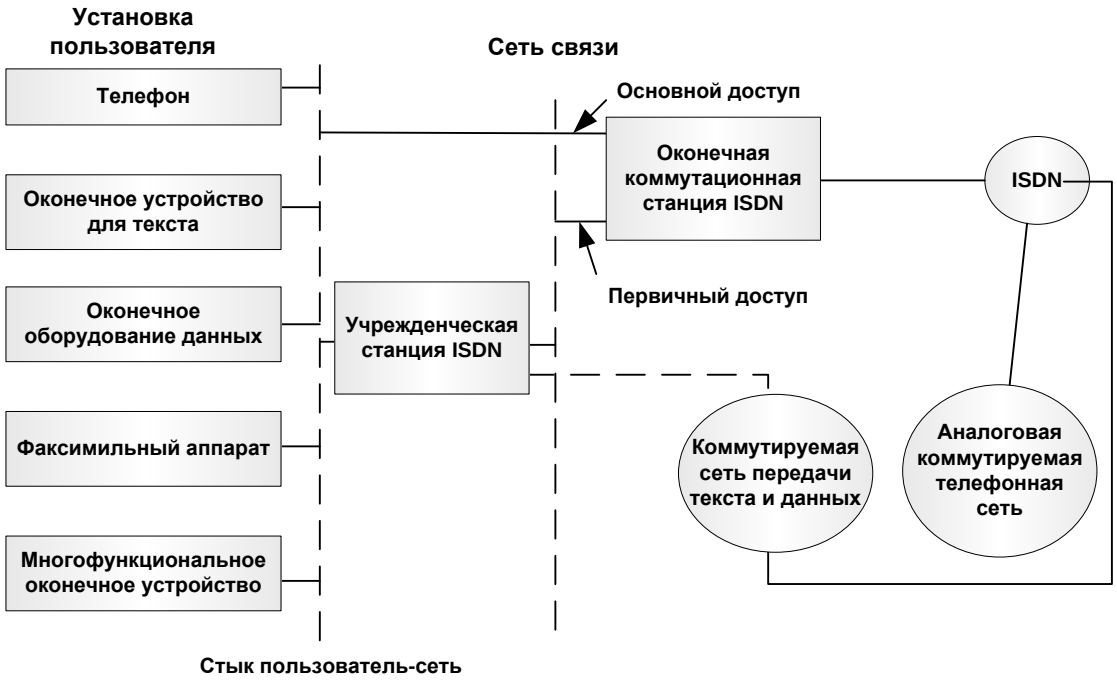


Рис. 4.17. Цифровая сеть синтеграцией служб ISDN

Основой ISDN является цифровизируемая телефонная сеть, т. е. сеть на базе цифровых телефонных каналов 64 кбит/с. Поэтому по сути ISDN – сеть с коммутацией каналов, однако в ней возможна также передача данных с коммутацией пакетов.

Стандарты ISDN описывают также ряд услуг прикладного уровня: факсимильную связь на скорости 64 кбит/с, телексную связь на скорости 9600 бит/с, видеотекс на скорости 9600 бит/с и некоторые другие.

Архитектура сети ISDN предусматривает несколько видов служб, показанных на рис. 4.18 [6]. Рисунок показывает, что транспортные службы ISDN покрывают очень широкий спектр услуг, включая Frame Relay (FR).

На практике не все сети ISDN поддерживают все стандартные службы. Так, служба FR реализуется, как правило, с помощью отдельных сетей с коммутацией кадров, не пересекающихся с сетями ISDN [6].

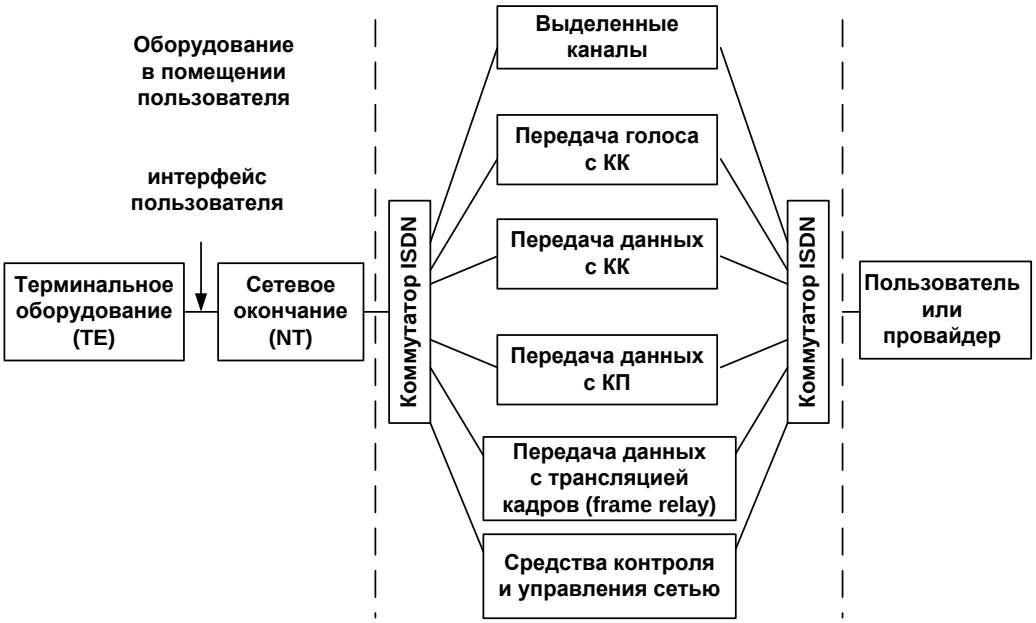


Рис. 4.18. Службы ISDN

Основной доступ для одного пользователя предусматривает образование в обоих направлениях по два основных канала 64 бит/с (B-каналы) и одному вспомогательному каналу 16 кбит/с (D-канал). Определены три типа основных каналов с различной пропускной способностью (таблица 4.1).

Определены два типа вспомогательных каналов: D-канал, используемый обычным образом, и E-канал (таблица 4.2).

Протокол защиты в D-канале LAPD выполняет функции защиты от ошибок при передаче данных и нарушении последовательности передачи информации, передаваемой по D-каналу в обоих направлениях, а также обеспечивает формирование четкого идентификатора – индекса оконечного устройства – TE1.

Таблица 4.1

Типы основных каналов

Обозначение канала	B	H0	H11	H12
Скорость цифрового потока, кбит/с	64	384	1536	1920

Принципиальная разница между D- и E-каналами состоит в применяемых протоколах сигнализации: в случае D-канала применяется стандартный протокол ISDN, для E-канала – специальный протокол (см. таблицу 4.2).

Таблица 4.2

Типы вспомогательных каналов

Обозначение канала	Протокол сигнализации	Скорость цифрового потока, кбит/с
D	Протокол D-канала в соответствии с Рек. МККТТ I.440 и I.441	16 и 64
E	Полученный из системы сигнализации № 7 в соответствии с Рек. МККТТ Q.710	64

Каждая установка пользователя ISDN имеет только один номер для вызова независимо от количества и вида служб связи (речь, текст, данные, изображения), которыми пользуется абонент.

Универсальный стык «пользователь – сеть» позволяет подключить различные оконечные установки для различных видов информации к единой «штепсельной розетке связи». При этом стандартизованы процедуры пользователя для установления и разрушения соединения.

Необходимо отметить, что уже в самом начале исследований и разработок концепции ISDN во многих странах, в частности, в Японии, ISDN рассматривалась как система, которая должна предоставить пользователям как связные, так и информационные услуги.

Предполагались три вида компонентов, составляющих структуру информационных служб такой сети:

наборы информационных связных терминалов для домашних систем (в Японии, например, насчитывалось около 40 млн. домов);

наборы информационных связных терминалов (оборудования) для учрежденческих деловых систем (больших и малых деловых офисов в Японии насчитывалось около 10 млн.);

ЭВМ, которые могли служить в качестве центров различных информационных служб, включая центры вещательных программ и центры служб повышенного качества для организации коммерческой связи.

Вся система информационных служб рассматривалась как полная конфигурация информационной сетевой структуры.

Таким образом, идея конвергенции информационных и связных служб в единой инфокоммуникационной сети зародилась еще в конце 70-х годов прошлого столетия при обсуждении концепции ISDN. Реализация этих идей оказалась достаточно сложной задачей, что сказалось на темпах внедрения ISDN в производство и эксплуатацию.

Внедрение ISDN началось с конца 80-х годов, наиболее интенсивно оно шло в Германии и Франции, но даже там доля абонентов, подключенных к ISDN составляет немногим более 5 % от общего числа абонентов телефонной сети. В других странах процесс внедрения идет еще медленнее; причина – необходимость крупных капиталовложений для переоборудования телефонных АТС и каналов связи и появление новых более современных технологий.

Тем не менее, сети ISDN, являющиеся ядром инфокоммуникационных сетей класса ИКС-1-ТФ, существуют, функционируют и дополняют инфраструктуру инфокоммуникаций 2–го и 3–го этапов интеграции служб.

4.4. Инфокоммуникационные сети с интеграцией факсимильных, телеграфных, телематических служб и передачи данных (сети класса ИКС-2)

В соответствии с определением (глава 2) сети с интеграцией факсимильных, телеграфных, телематических служб и передачи данных – это сети на основе метода коммутации пакетов (второй этап интеграции).

На рис. 4.19 показана инфраструктура инфокоммуникаций второго этапа интеграции служб, где появляется новая составляющая ИКС-2-ПД, система, в которой абонентские пункты оснащаются терминалами ПД, факсимильными и телеграфными аппаратами и передают объединенный трафик по одному каналу связи в систему ПД с КП. Система ПД умеет различать виды информации и передавать их по сети в соответствии с требованиями по доставке к каждому виду информации.

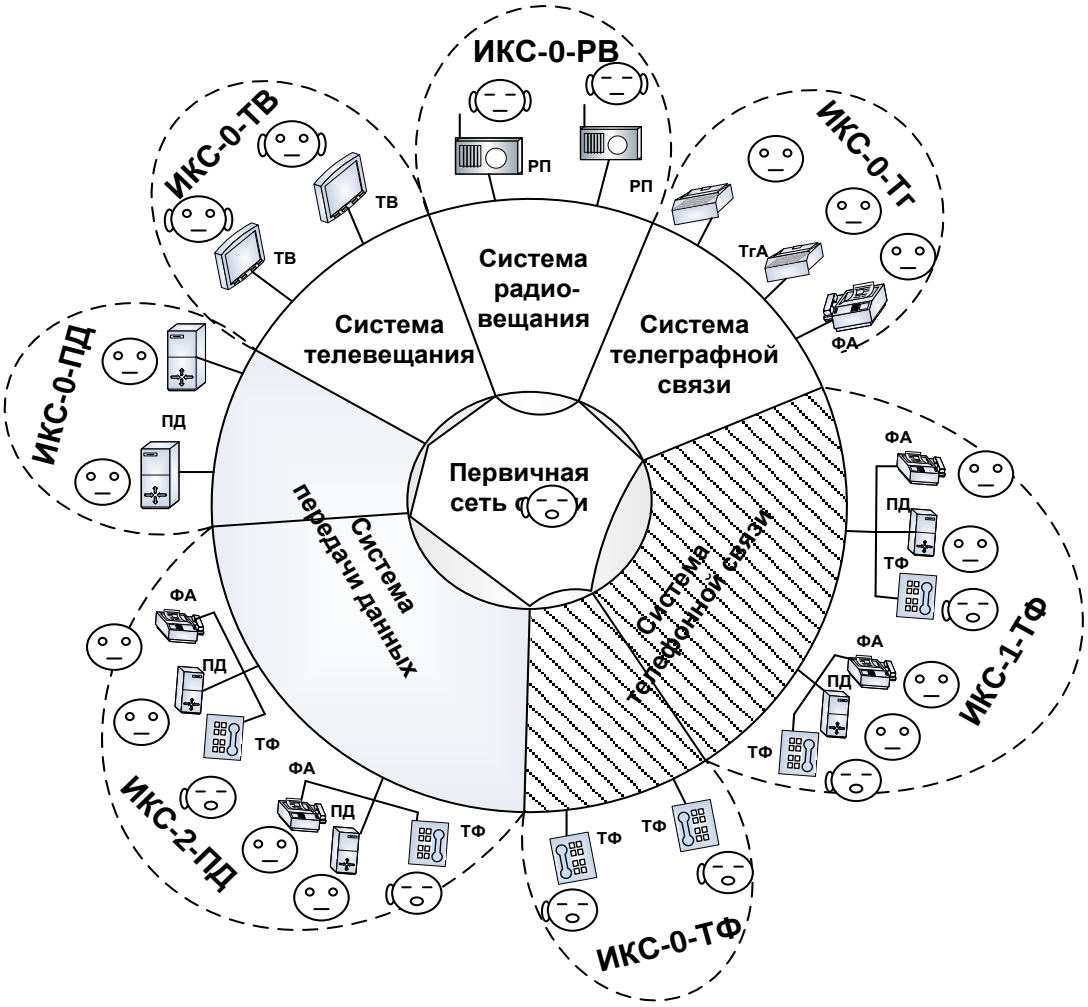


Рис. 4.19. Инфраструктура инфокоммуникаций 2-го этапа интеграции

Первая сеть такого класса в России была введена в эксплуатацию в 1984 году. Для ее создания НИИ электротехнических устройств (НИИ ЭТУ) Ленинградского НПО «Красная заря» провела по заказу КГБ СССР разработку и внедрение в серийное производство оборудования центра коммутации пакетов и сообщений (ЦКПС), концентратора сообщений (КцС), телеграфного концентратора (КцТГ) и двух типов абонентских пунктов (АП). Для передачи телеграфной информации в качестве АП использовались также серийные телеграфные аппараты.

Для построения вычислительного ядра ЦКПС и КцС были применены сдвоенные комплексы ВК-1033 из серийно выпускающихся тогда ряда ЕС ЭВМ. Для сопряжения

ВК-1033 с каналами связи использовались специально разработанные связной процессор и групповое оборудование передачи данных (адаптеры, модемы).

Для организации сети, получившей название «Родник-2», у Министерства связи арендовались каналы ТЧ со скоростями передачи 1200, 2400 бит/с и телеграфные каналы со скоростями 50, 100 бит/с.

Была предусмотрена связь с центром коммутации сообщений (ЦКС) системы «Родник», также разработки ЛНПО «Красная заря», введенного в эксплуатацию в 1973 году.

Структура системы «Родник-2» в общем виде представлена на рис. 4.20.

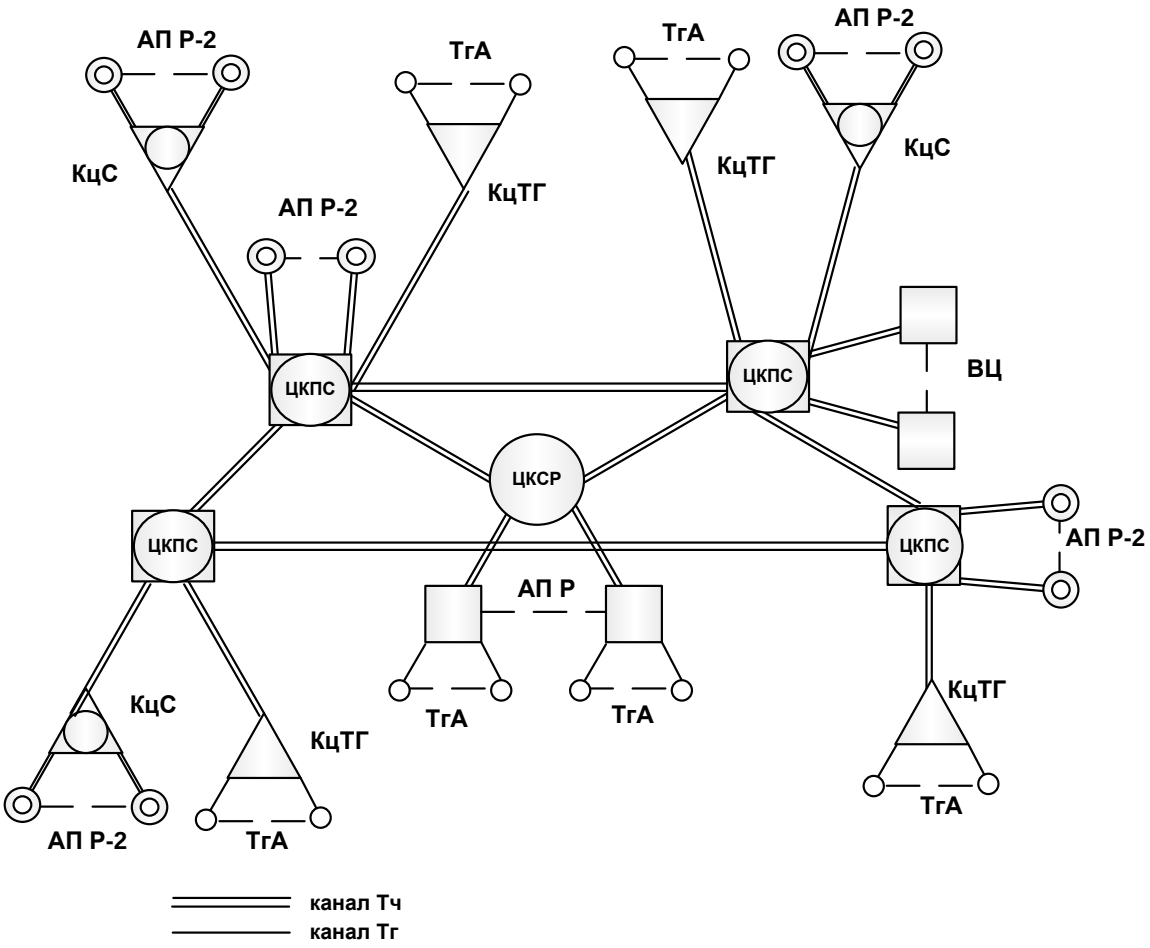


Рис. 4.20. Структура системы «Родник-2»

Сеть охватывала всю территорию СССР и многократно увеличила оперативность обмена информацией между органами КГБ. АП первой очереди системы «Родник» постепенно замещались концентраторами системы «Родник–2», к которым подключались АП и телеграфные аппараты (ТгА), охватывая автоматической связью все большее число абонентов.

Не смотря на то, что в системе «Арпанет» и на первых этапах развития Интернет не ставилась задача интеграции телеграфных и факсимильных служб, эти системы можно отнести к классу ИКС-2, так как никаких противопоказаний к такой интеграции у них нет. Кроме того, создано и функционирует множество систем класса ИКС-2-ПД, использующих технологии X.25, Frame Relay и др.

В дальнейшем для Интернет была разработана и внедрена технология IP-телефонии, которая позволила организовать для пользователей этой всемирной сети службу передачи речи и отнести систему Интернет + IP-телефония (VoIP) к классу ИКС-3.

4.5. Инфокоммуникационные сети с интеграцией телефонных служб и передачи данных (сети класса ИКС-3)

4.5.1. Предпосылки к интеграции пакетной передачи речи и данных

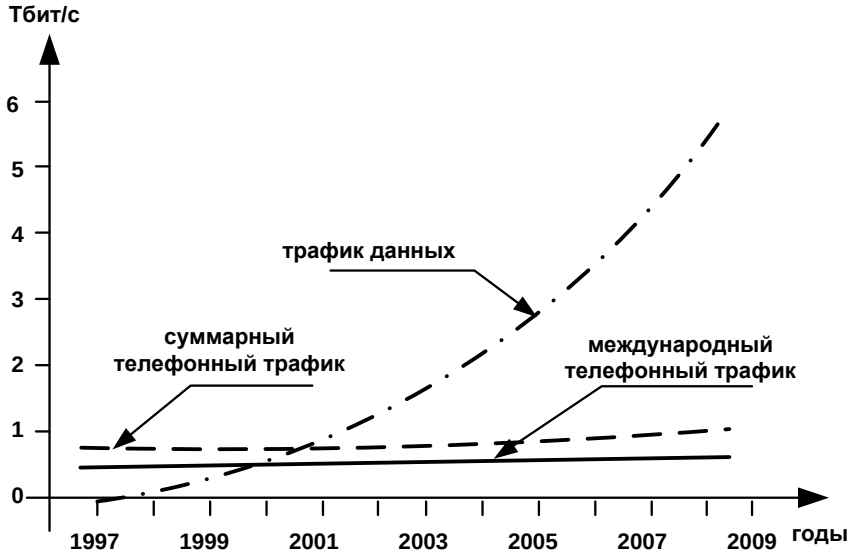
В течение многих лет большинство сетей электросвязи обслуживало узкополосный речевой трафик, объем которого еще в 90-е годы продолжал расти в соответствии с увеличением емкости мировой фиксированной телефонной сети примерно на 5–7 % в год [7]. Трафик данных в 70-е – 80-е годы составлял лишь доли процентов от суммарного трафика речи. Только начиная с середины 90-х годов (одна из основных причин – быстрый рост Интернет), трафик данных начинает быстро расти.

Нарис. 4.21 показан рост трафика данных (в терминах требуемой пропускной способности магистральных сетей) по сравнению с телефонным трафиком. Этот факт оказал существенное влияние на решение международных организаций по стандартизации о переходе от технологий коммутации каналов к технологиям коммутации пакетов.

Изменение природы трафика влияет и на структуру сетей. Одной из главных особенностей речевого трафика является его чувствительность к задержкам. Предельно допустимое значение задержки речи не должно превышать 250 мс, а нормы на суммарную межконцевую сетевую задержку речевого сигнала лежат в диапазоне 150–180 мс [7]. Такая чувствительность речевого трафика к задержкам определила выбор метода КК в качестве единственного способа коммутации в традиционных телефонных сетях.

Трафик данных мало чувствителен к задержкам, значения которых при передаче компьютерной информации лежат в пределах от нескольких секунд до сотен минут. Этим и определяется возможность использования метода КП как основного вида коммутации в сетях передачи данных.

Взрывной характер роста трафика данных определяет еще одну фундаментальную тенденцию в современных сетях – изменение требований к полосе пропускания как сетей доступа, так и базовых сетей. Происходит постепенный переход от узкополосных сетей с пропускной способностью тракта до 2 Мбит/с к широкополосным сетям с пропускными способностями трактов порядка десятков и сотен Гбит/с. Уже сегодня речь идет о необходимости обеспечивать пропускные способности транспортных (магистральных) сетей в диапазоне единиц и десятков Тбит/с (рис. 4.22) [7].



Источник: Authur D. Little, 1999

Рис. 4.21. Прогноз роста глобального трафика речи иданных

В будущем, когда появится потребность передавать по сетям следующего поколения трафик телевизионного вещания (рис. 4.22) пропускная способность транспортных сетей вырастет до тысяч Тбит/с (если не будут найдены другие революционные решения).

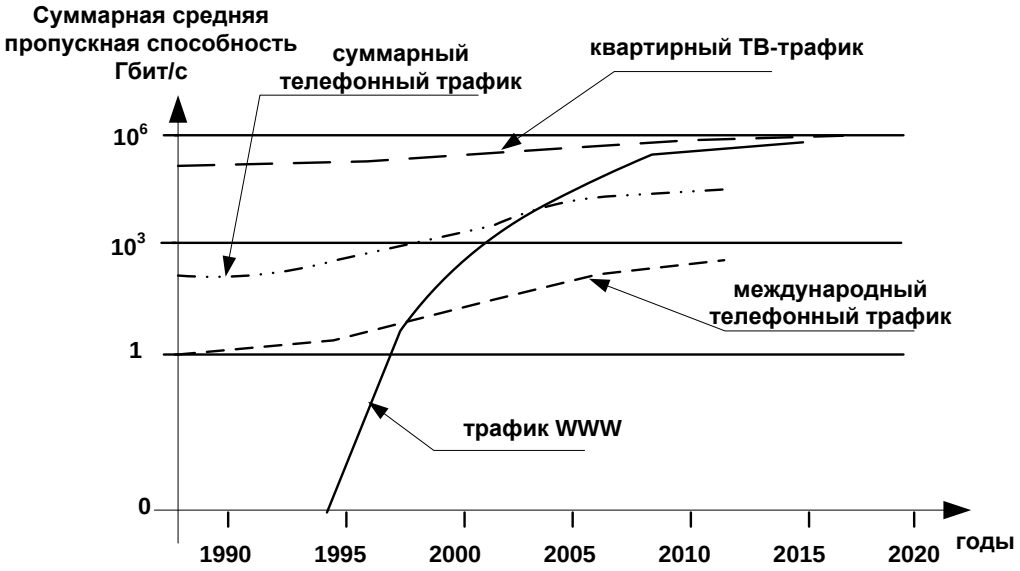


Рис. 4.22. Рост трафика в сетях связи

Пачечная природа трафика данных приводит к тому, что часть полосы пропускания магистральных сетей остается незагруженной, следовательно, этот ресурс можно использовать для передачи, например, речевого трафика. С другой стороны, речевой трафик имеет большую избыточность (более 50 %) за счет пауз в речи и особенностей языка, что можно использовать для передачи пакетов данных. Такие особенности трафиков различных видов информации способствуют развитию методов повышения эффективности использования полосы пропускания сетей связи.

4.5.2. Отечественные разработки по интеграции пакетной передачи речи и данных

Проблема передачи речи через сети с коммутацией пакетов начала отрабатываться в России вместе с созданием системы «Родник-2», рассмотренной выше как пример инфокоммуникационной сети класса ИКС-2-ПД. Первая в стране работа по изысканию технических решений для передачи речи и данных с использованием метода коммутации пакетов была проведена в НИИ ЭТУ в1980 году в интересах ПВО страны (НИР «Фламинго»). Она была продолжена уже по инициативе других ведомств вплоть до 1985 года. Некоторые результаты этих работ были опубликованы в [8], где сформулирована общая концепция и возможная схема построения интегральной сервисной цифровой сети связи с коммутацией пакетов (ИСЦСС-КП) для передачи речи, данных, факсимильной и телеграфной информации, т. е. сети класса ИКС-3-ПД. Была проведена сравнительная экономическая оценка реализации ИСЦСС с использованием методов коммутации пакетов и коммутации каналов (КК).

Исследования показали, что:

стоимость центров коммутации пакетов (ЦКП) при равной нагрузке в 3–5 раз меньше стоимости центров коммутации каналов (ЦКК) благодаря использованию более простому алгоритму и значительному уменьшению канального оборудования;

суммарная стоимость каналов связи в ИСЦСС-КП намного ниже, чем в ИСЦСС-КК вследствие уменьшения объема канального оборудования (использование трактов) и повышения коэффициента использования каналов, ведущего к уменьшению числа каналов.

Для обеспечения разнообразных услуг пользователям предлагались следующие режимы работы сети:

режим постоянных виртуальных соединений для ограниченного числа особо важных пользователей;

режим коммутируемых виртуальных соединений для передачи речевой информации и больших массивов данных;

режим логических соединений с использованием датаграммного способа передачи пакетов между ЦКП; может применяться для организации служб «запрос-ответ» и диалога с ЭВМ, новых служб связи типа «телетекс», «датафакс», «бюрофакс»;

режим «коммутации сообщений» для организации служб типа «электронная почта».

Полученные результаты исследований и разработок позволили убедить руководство Минпромсвязи в необходимости продолжения работ и проведения научно-исследовательской экспериментальной работы «Создание экспериментального района интегральной сети связи с коммутацией пакетов» (НИЭР «Пакет-1», научный руководитель С. П. Воробьев).

В середине 80-х годов в ЛНПО «Красная Заря» в НИЭР «Пакет-1» была разработана и реализована технология, которая спустя 15 лет стала называться IP-телефонией. Принципы построения интегральных сервисных цифровых сетей связи с коммутацией пакетов были опубликованы в [9]. Уже тогда, учитывая прогресс в создании высокоскоростных систем передачи на базе волоконно-оптических систем связи, прогнозировалось развитие предложенной технологии для передачи видеоинформации, включая телевизионную.

Однако события конца 80-х годов надолго отодвинули эти прогнозы, т. к. финансирование перспективных разработок прекратилось, а ЛНПО «Красная Заря» вскоре было реорганизовано в несколько мелких структур.

Тем временем в Интернет эта задача была решена и к концу 90-х годов в сети появилась новая служба – голос поверх IP (VoIP).

4.5.3. Сети VoIP – сети класса ИКС-3-ПД

Для реализации идеи «речь поверх данных» был предложен ряд технологий, начиная с передачи речи в системах Frame Relay (Voice over Frame Relay, VoFR) до введения уровней адаптации ATM (ATM Adaptation Level, AAL) для поддержки передачи речи поверх механизма ATM.

Для передачи речи в сетях IP (Voice over IP, VoIP) создано несколько конкурирующих методов, но в настоящее время в качестве основного используется метод, описанный в рекомендации МСЭН.323.

Возможные сценарии IP-телефонии.

В первом сценарии персональный компьютер (ПК) и доступ в Интернет используются вместе с технологией VoIP для замены дорогостоящих международных и междугородных вызовов. Эта модель может значительно сократить затраты на международные вызовы, хотя их качество будет сильно зависеть от реальной нагрузки сети. Такой сценарий наиболее привлекателен для пользователей, которые соглашаются на низкое качество соединений VoIP в обмен на более низкие тарифы. На рис. 4.23 [7] показаны возможные варианты реализации этого сценария с использованием сети ТФОП.

Другой сценарий связан с корпоративными сетями данных, входящими в традиционную инфраструктуру предприятий на базе УАТС со специальными шлюзами, которые переносят речевой трафик в сеть ПД. На рис. 4.24 показан сценарий «речь поверх данных» (Voice-over-Data, VoD) при взаимодействии с традиционной сетью ТФОП. С ростом числа

потенциальных пользователей были предприняты усилия по созданию международных стандартов для транспортировки речи и в дальнейшем для передачи мультимедийного трафика через сети IP. Итоговым документом стал стандарт ITU-TH.323.

Система H.323.

В рекомендации H.323 определены четыре базовых компонента:

1 – терминал (Terminal), 2 – шлюз (Gateway), 3 - привратник (Gatekeeper), 4 - устройство управления многоточечными соединениями (Multicast Unit).

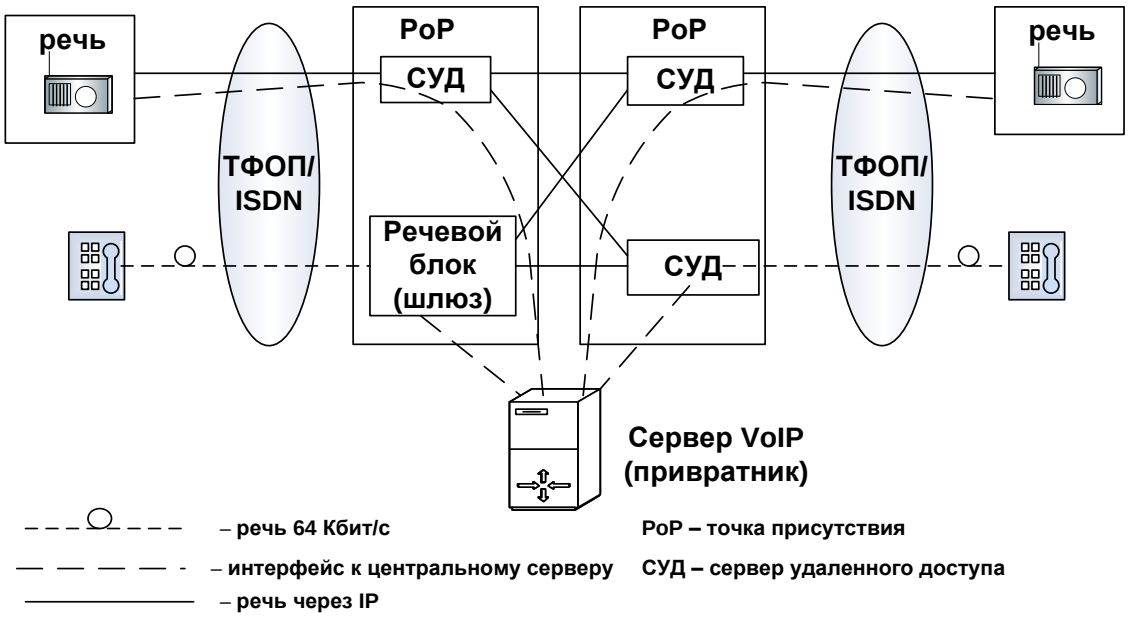


Рис. 4.23. Сценарии для услуги «Речь через IP» (VoIP)
с использованием ТФОП

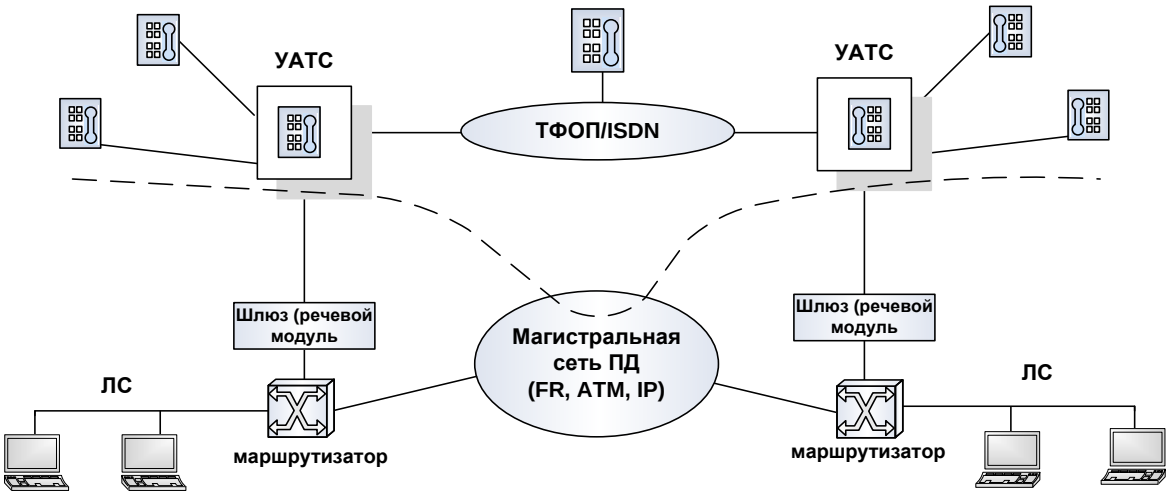


Рис. 4.24. Сценарий для услуги «Речь поверх данных» (VoD)
для бизнес-пользователей

На рис. 4.25 показаны компоненты системы H.323. В терминал системы H.323 входят блок управления, речевой кодек, средства для транспортировки трафика данных реального времени через сети IP, такие как RTP (Real-Time Transport Protokol) и RTCP (Re-

al-Time Control Protokol), а также могут входить дополнительные функциональные устройства, например, видеокодек.

Блок управления в терминале обеспечивает функции сигнализации для установления и управления вызовом, а также коммуникационные функции по отношению к привратнику.

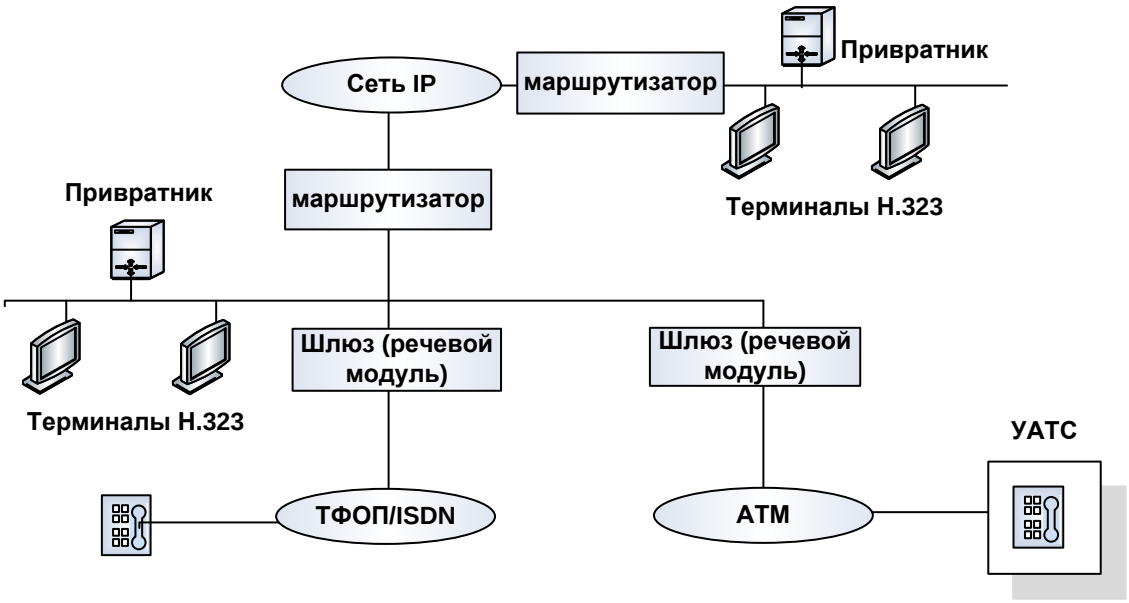


Рис. 4.25. Компоненты системы H.323

Речевой кодек преобразует аудиосигнал в пакеты данных. Для использования в терминалах H.323 был стандартизован ряд кодеков.

Шлюз отвечает за сопряжение системы H.323 с другими сетями, отличающимися механизмами сигнализации и адресации и за преобразование сигнального протокола H.323 в протокол, используемый в сопрягаемой сети. При соединении шлюза и сети ТФОП, например, необходимо отобразить адреса E.164, применяемые в телефонной сети, в адреса IP, используемые в системе H.323. Другой функцией шлюза является преобразование непрерывных потоков в пакеты и наоборот. Реализована также возможность перекодировать речь и видеосигналы из формата H.323 в формат другой сети. Число таких преобразований в сквозном тракте должно быть минимальным, т. к. каждая процедура перекодирования ухудшает качество речевых и видеосигналов.

Привратник является центральным блоком управления в системе H.323. Он контролирует работу терминалов, подключенных к сети и обеспечивает терминалам возможность регистрироваться внутри сети. Он также управляет распределением адресов между терминалами, отвечающих рекомендации ITU-TE.164.

Технология VoIP, передача голоса через Интернет стали уже привычными для пользователей, а сети VoIP – наиболее яркими представителями сетей класса ИКС-3-ПД.

На рис. 4.26 показана инфраструктура инфокоммуникаций 3–го этапа интеграции, отличие которой от предыдущего этапа заключается в появлении нового класса инфокоммуникационных сетей – ИКС-3-ПД. Сети всех предыдущих этапов продолжают функционировать, т. к. процессы смены оборудования на действующих сетях идут намного медленнее, чем процессы разработки новых инфокоммуникационных технологий.

Сегодня в Интернет успешно внедряется технология IP/TV – передача через Интернет телевизионных сигналов. Интернет уверенно переходит в следующий класс – ИКС-4-ПД. VoIP становится одной из многочисленных служб новой сети, которую можно назвать сетью следующего поколения – NGN.

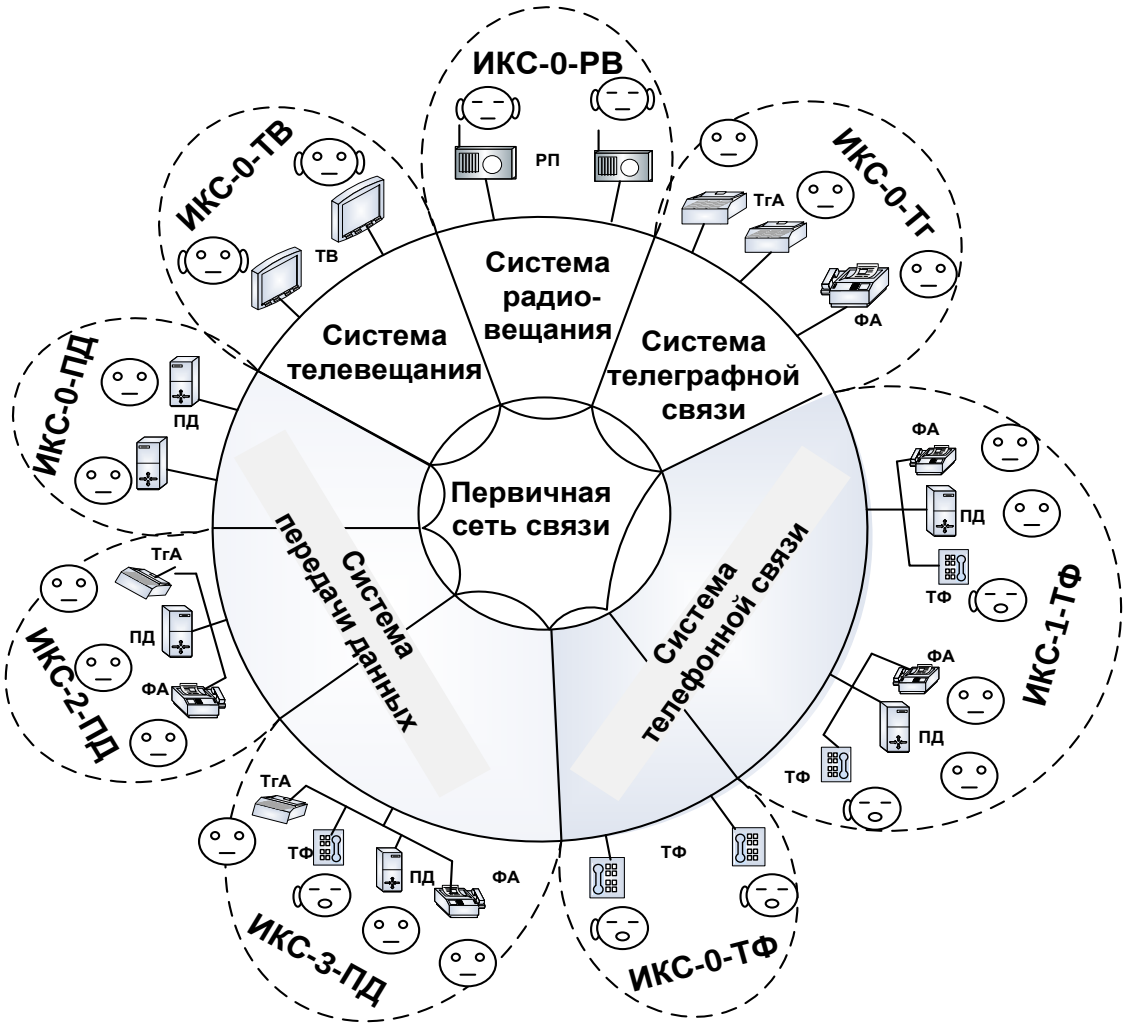


Рис. 4.26. Инфраструктура инфокоммуникаций 3-го этапа интеграции

4.5.4. Структура Интернет

Структура Интернет постоянно меняется в связи с его стремительным ростом. Общая картина сети показана на рис. 4.27 [19].

Для подключения к Интернет компьютеры в домах должны соединиться с Интернет-провайдером (Internet Service Provider, ISP), у которого пользователь покупает доступ к Интернет или связь. Есть много видов доступа к Интернет и их обычно отличают тем, какова их пропускная способность и сколько они стоят, но самый важный признак – связь.

Распространенный способ соединения с провайдером – использование телефонной линии, ведущей к вашему дому, и тогда вашим провайдером будет ваша телефонная компания. DSL (Digital Subshriber Line) использует телефонную линию для цифровой передачи данных. Компьютер соединен с модемом DSL, который осуществляет разделение цифровых пакетов и аналоговых сигналов, идущих по линии. С другой стороны устройство, называемое DSLAM (цифровой мультиплексор доступа линии подписчика, Digital Subscriber Line Access Multiplexer) осуществляет необходимые преобразования с сигналом и пакетами.

Другой метод – передавать сигналы по системе кабельного телевидения, используя его существующую инфраструктуру. Устройство в домашнем окончании называют ка-

бельным модемом, а в головном узле CMTS (Cable Modem Termination System – терминальная система кабельного модема).

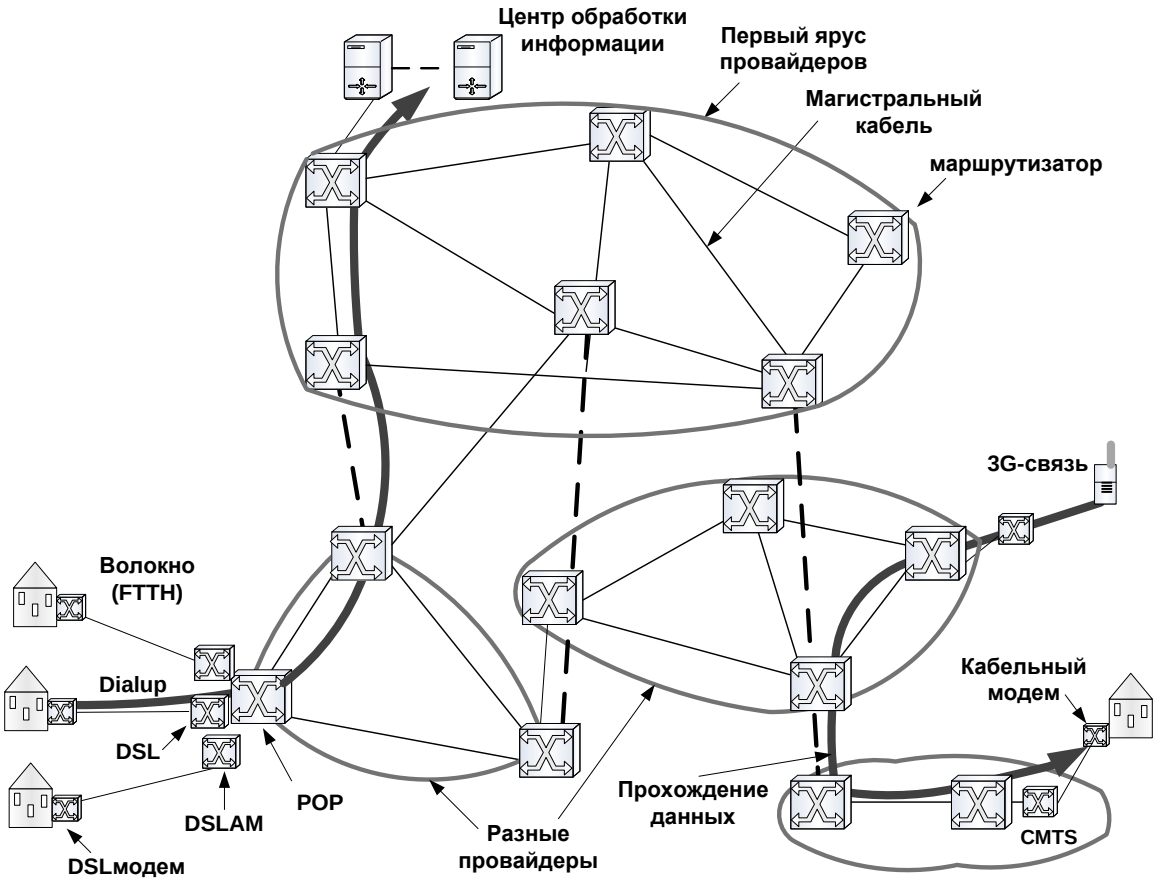


Рис. 4.27. Краткий обзор структуры Интернет

DSL и кабель обеспечивают доступ к Интернет на скоростях от долей до нескольких мегабит в секунду, в зависимости от системы.

Рассматриваемые методы доступа ограничиваются пропускной способностью «последней мили». Если к местам жительства подвести оптоволокно, то может быть обеспечен более быстрый доступ к Интернет на скоростях порядка 10–100 Мбит/с. Этот проект называют FTTH (волокно в дом). Для доступа к Интернет используют также беспроводную связь, например, сети мобильной связи третьего поколения. Они обеспечивают доставку данных на скорости 1 Мбит/с и выше. Местоположение, в котором потребительские пакеты входят в сеть провайдера, называются POP (Point of Presence, точка присутствия). С этой точки система является полностью цифровой и использует коммутацию пакетов.

Сети могут быть региональными, национальными или международными. Их структура составлена из дальних линий передачи, которые связывают маршрутизаторы в точках присутствия в различных городах, где действуют провайдеры. Это оборудование называют магистралью ISP. Если пакет предназначен для узла, обслуживаемого непосредственно ISP, этот пакет будет направлен по магистрали и доставлен узлу. Иначе он должен быть передан по другому ISP.

Провайдеры соединяют свои сети, чтобы обмениваться трафиком в IXP (Internete Xchange Points, точки обмена интернет-трафиком). Обычно IXP – это комната, полная маршрутизаторов, по крайней мере, по одному на каждого провайдера. На рис. 4.27 пунктирные линии указывают на маршрутизаторы, находящиеся в одной комнате, где они объ-

единяются единой локальной сетью. Таким образом, пакеты могут быть отправлены от любой магистрали провайдера до любой другой. Одна из самых больших точек обмена – Amsterdam Internet Exchange, с которой соединяются сотни провайдеров, где они обмениваются сотнями гигабит в секунду трафика.

Путь, по которому пакет перемещается по Интернет, зависит от выбора связи между провайдерами. Если провайдер, отправивший пакет, связан с местом назначения, он может доставить пакет непосредственно. Если нет, провайдер может направить пакет к самому близкому месту, в котором есть соединение с платным провайдером транзита так, чтобы провайдер мог отправить пакет. На рис. 4.27 показаны два примера пути через провайдеров. Часто путь пакета через Интернет не будет кратчайшим путем.

В верхней части рисунка в качестве провайдеров находится группа компаний, таких как AT&T и «Sprint», которые управляют большими международными базовыми сетями с тысячами маршрутизаторов, соединенных линиями оптоволокна высокой пропускной способности. Эти провайдеры не платят за транзит. Их называют первым ярусом провайдеров и они формируют магистраль Интернет, так как все остальные должны соединяться с ними, чтобы быть в состоянии достигнуть всей сети Интернет.

Классификация провайдеров.

Общий термин *провайдер* или *поставщик услуг* обычно относят к компаниям, которые обеспечивают передачу трафика конечных пользователей в сети других поставщиков, т. е. выполняют лишь транспортную функцию.

Поставщиком Интернет-контента (Internet Content Provider, ICP) называют такого провайдера, который имеет собственные информационно-справочные ресурсы, предоставляя их содержание-контент (content) в виде веб-сайтов. Многие поставщики услуг Интернет являются одновременно поставщиками Интернет-контента.

Поставщик услуг хостинга (Hosting Service Provider, HSP) – это компания, которая предоставляет свое помещение, свои каналы связи и серверы для размещения контента, созданного другими предприятиями.

Поставщики услуг по доставке контента (Content Delivery, CDP) – это предприятия, которые не создают информационного наполнения, а занимаются доставкой контента в многочисленные точки доступа, максимально приближенные к пользователям, что позволяет повысить скорость доступа пользователей к информации.

Поставщики услуг по поддержке приложений (Application Service Provider, ASP) обеспечивают клиентам доступ к крупным универсальным программным продуктам, которые самим пользователям поддерживать сложно.

Уникальные особенности Интернет:

это самая большая сеть в мире по числу пользователей, по территории покрытия, по суммарному объему передаваемого трафика, по количеству входящих в ее состав сетей;

сеть, не имеющая единого центра управления и в тоже время работающая по единым правилам, с единым набором услуг. Достоинство децентрализации – легкость наращивания емкости Интернет. Недостаток – сложность модернизации технологий и услуг, а также не очень высокая надежность услуг, т. к. никто из поставщиков не отвечает за конечный результат;

дешевизна услуг, например, Интернет-телефония имеет более низкие тарифы, чем традиционные телефонные сети;

необъятное информационное наполнение и простота доступа к этой информации.

4.6. Инфокоммуникационные сети с интеграцией аудио-, видеослужб и передачи данных (сети класса ИКС-4)

4.6.1. Проблемы сжатия информации

Переход к сетям класса ИКС-4 связан с очередным этапом интеграции служб сетей

класса ИКС-3 (передача данных и аудио) со службой передачи видеоинформации. Первые решения появились с внедрением технологий IPTV и Triple Play в Интернет. Этому событию предшествовала большая работа по исследованию методов сжатия аудио- и видеоинформации с целью уменьшения высоких требований к пропускной способности сетей связи. Требования некоторых мультимедиа-приложений к пропускной способности приведены в таблице 4.3 [10].

Таблица 4.3

Требования к пропускной способности

Задача	Требуемая пропускная способность (без сжатия)	Допустимый метод передачи данных
Телефонный разговор	64 кбит/с	ISDN
Качество звучания на уровне компакт-диска (CD-качество)	> 700 кбит/с	Ethernet, xDSL
Телевидение высокой четкости (High-definition television, HDTV)	2 Гбит/с	Asynchronous Transfer Mode (ATM)

Из таблицы видно, что требования к пропускной способности для передачи звука значительно ниже, чем для передачи видеоизображения.

Речь человека содержит большое число пауз (до 50 %), которые из передачи можно исключить. Без заметного снижения качества отсекают также верхнюю и нижнюю части звукового спектра.

Сжатые данные передаются через сеть класса ИКС-3-ПД. В частности, в Интернет для передачи используются протоколы TCP или UDP. UDP имеет некоторое преимущество в том, что он проще и несколько быстрее. Тот факт, что доставка пакетов не гарантирована компенсируется достаточно малым соотношением утерянных и полученных пакетов.

Сжатие видеоданных основано на устранении избыточности в видеоизображениях. Существует три варианта избыточности:

пространственная избыточность имеет место, если граничащие друг с другом пикселы окрашены в одинаковый цвет или имеют одинаковую интенсивность. Такая избыточность устраняется путем внутрикадрового кодирования, одним из методов которого является дискретное косинусоидальное преобразование (Discrete Cosine Transform, DCT);

спектральная избыточность; спектральная информация состоит из световой интенсивности и цвета. Спектральная избыточность в кадрах кинофильма появляется из-за того, что яркие пикселы обычно ярки во всех цветах, а не в одном или двух. Кроме того, глаз человека более чувствителен к яркости, чем к цвету, т. е. глаз скорее замечает необычную яркость пиксела, чем правильный цвет;

временная избыточность; в кино кадры сменяются примерно 30 раз в секунду, при этом сменяющиеся при такой частоте кадры часто отличаются друг от друга лишь некоторыми деталями. Один из методов удаления временной избыточности – кодирование вектора перемещения (MotionVector Encoding). Фактически, применяемый алгоритм кодирования занимается тем, что сообщает «Все, как и в предыдущем кадре, за исключением того, что в этом блоке произошло движение».

Чтобы работать с различными типами избыточности используются три вида кадров.

Первый тип – I-кадр (I-frame, intracode frame). Это обычный кадр, содержащий полное изображение. Название подчеркивает, что он независим от любого другого кадра.

Второй тип – P-кадр (P-frame) или предсказуемый кадр (predicted frame) создается на основе предыдущего I- или P-кадра, вектора перемещения и изображения ошибки, которое корректирует ошибки в векторе перемещения.

Третий тип – B-кадр (B-frame) или двунаправленный предсказуемый кадр (bi-directional predicted frame) состоит из вектора прямого перемещения, вектора обратного перемещения и ошибки. Эти кадры используют, когда в P-кадре появляется новый объект.

Алгоритм компрессии (и декомпрессии) должен работать в режиме реального времени, тогда его можно использовать в приложениях для видеоконференций и видеотрансляций. Он должен обладать также эффективным методом обработки ошибок в связи с реальной возможностью потери пакетов в Интернет и других ИКС. Потери допустимы, но в определенных пределах, за которыми следует получение некачественных изображений. Алгоритмы компрессии (декомпрессии), а часто и их аппаратная реализация, получили название *кодеки* (codec). Выполняются они программно или аппаратно. В таблице 4.4 для сравнения с таблицей 4.3 показаны требования к пропускной способности при использовании кодеков.

Таблица 4.4

Требования к пропускной способности при использовании кодеков

Задача	Требуемая пропускная способность (сжатые данные)	Допустимый метод передачи данных
Телефонный разговор	< 5 кбит/с	модем
Звук CD-качества	64 кбит/с	ISDN
HDTV	30 Мбит/с	FDDI, ATM

Для кодирования видеоинформации существуют различные стандарты, основные из которых разрабатываются группой экспертов по движущимся изображениям – MPEG (Moving Pictures Experts Group). Официальное ее обозначение – ISO/IEC JTC1 SC29 WG11, что расшифровывается как «Международная организация по стандартизации/ Международная комиссия по электротехнике, совместный технический комитет 1, Подкомиссия 29, Рабочая группа 11» [10].

MPEG разработала несколько стандартов, которые широко используются в инфокоммуникационных сетях.

MPEG-1 используется для сжатия видеоизображений на CD-ROM, подробно описан в стандарте ISO/IEC11172-2. MPEG-1 основан на принципах пространственной, спектральной и временной избыточности. Каждый кадр делится на макроблоки размером 16×16 пикселов. Несжатые данные каждого макроблока состоят из 16 блоков: 4 блока представляют данные зеленого цвета, 4 – красного, 4 – синего и еще 4 – цветность (или яркость) каждого пиксела. MPEG-1 сокращает число блоков до четырех: 2 представляют цветность и по одному отведено для красного и синего цветов.

Для сжатия MPEG-1 применяет алгоритм DCT, а также векторы перемещения и три типа кадров – I, P и B-кадры.

Коэффициент сжатия MPEG-1 обычно не превосходит 50:1, хотя теоретически возможно соотношение 200:1. Скорость передачи – 1.856 Мбит/с. Разрешение по параметрам видео 352×240/288.

MPEG-2 – это дополнительная версия MPEG-1, пригодная для работы в цифровом телевидении. Отличительные возможности MPEG-2 – это поддержка кадров с чередованием строк (один кадр описывает половину изображения), поддержка уплотнения видео потоков, а также наличие нескольких алгоритмов сжатия сигналов яркости и цветности. Скорость передачи – 9 или 4 Мбит/с для сетей ADSL-2+, либо19,2 Мбит/с в сетях HDTV. Разрешение по параметрам видео 720×480, 720×576, 544×576.

MPEG-3 предназначался для расширения возможностей MPEG-2 от стандарта сжатия для цифрового телевидения до стандарта, пригодного для телевидения высокой четко-

сти (HDTV). Впоследствии стало очевидно, что все функции MPEG-3 можно реализовать и в MPEG-2.

MPEG-4 обеспечивает поддержку двунаправленного видеопотока, линий связи с низкой пропускной способностью и интерактивного взаимодействия с пользователем, то есть возможность выбирать одни фрагменты видеоданных, а другие пропускать. Скорость передачи от 5 до 10 Мбит/с.

В истории стандартизации были отмечены и MPEG-5, и MPEG-6, но что с ними случилось, неизвестно. Создание стандартов для мультимедийной поисковой машины ведется врамках MPEG-7 [10].

Перспективным считается стандарт MPEG-4, но большая часть современных сетей использует пока стандарт MPEG-2.

4.6.2. Технология IPTV

На рис. 4.28 показано преобразование аналогового видеосигнала в сети IPTV с использованием MPEG-2 [11]. Для технологии IPTV базовым понятием является элементарный поток ES, которым может быть видеопоток, аудиосигнал или поток данных. Так, программа телевидения является комбинацией нескольких ES (обычно, видео + аудио + управляющая информация + субтитры и т. д.). Каждый ES представляет собой свой тип цифрового сигнала с правилами кодирования и форматом MPEG. Несколько ES попадают на устройство сжатия информации, которые формируют пакетизированный элементарный поток PES (Packetired Elementary Stream). PES преобразуются в транспортные пакеты TP (Transport Packets), передаваемые со стандартной скоростью по сети. Транспортные пакеты объединяются в единый транспортный поток TS (Transport Stream), который передается по распределительной сети в удаленные точки, где осуществляется обратное преобразование и восстанавливается телевизионный сигнал.

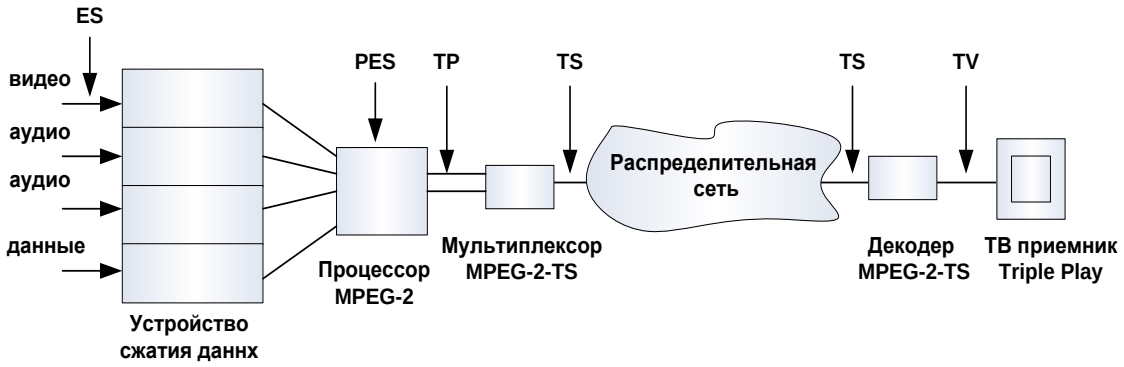


Рис. 4.28. Преобразование сигналов всети IPTV

В сети IPTV должен быть предусмотрен механизм вещательной рассылки пакетов для эффективной организации вещания в сети. Существуют разные варианты такой доставки.

На рис. 4.29 а показан режим передачи «точка-точка», или режим Unicast, т. е. без организации режима вещания на сети [17]. В этом варианте видеоконтент размещается на Web-сервере, к которому обращается пользователь Интернет и скачивает необходимый ему файл для воспроизведения видеоинформации на своем компьютере или специальном терминале. Такой метод доставки видеоконтента ничем не отличается от организации услуг Интернет, но телевизионная трансляция в режиме реального времени при этом невозможна.

Другой способ групповой рассылки (Multicast) на уровне приложений показан на рис. 4.29 б. В этом случае принцип организации доставки видеоинформации ничем не от-

личается от организации электронных рассылок.

Использование режима Multicast в качестве одного из режимов работы электронной почты теоретически позволяет организовать телевизионное вещание, но признать этот метод эффективным нельзя.

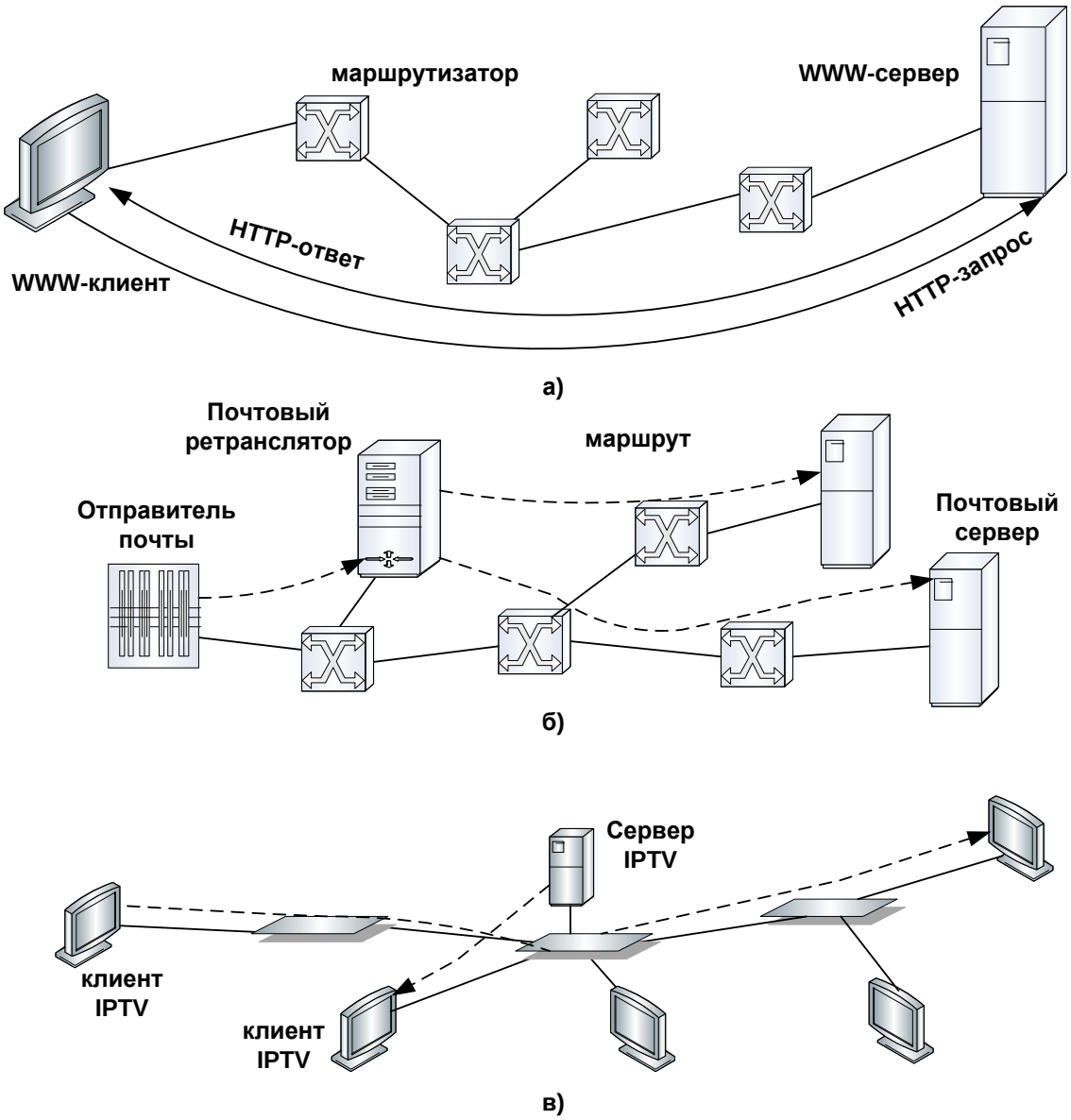


Рис. 4.29. Варианты построения сетей IPTV

Приемлемым вариантом оказался метод групповой рассылки на уровне транспортной сети IP. Если определенная группа пользователей желает смотреть тот или иной канал телевидения, в сети формируется группа Multicast, для которой с сервера IPTV передается требуемый телевизионный канал (рис. 4.29 в). Чтобы не формировать отдельный канал передачи данных до каждого пользователя, поток данных передается до ближайшего узла, где он дублируется для всех членов группы. Это позволяет существенно разгрузить ресурсы сети, но требует организации обмена информацией между узлами о составе групп и указаниями, кому какой контент доставлять. Эту роль выполняет протокол IGMP (Internet Group Membership Protocol), который позволяет реализовать концепцию динамической регистрации и управления рассылки.

Типовая модель сети IPTV включает в себя несколько специфических для данной услуги компонентов (рис. 4.30) [11].

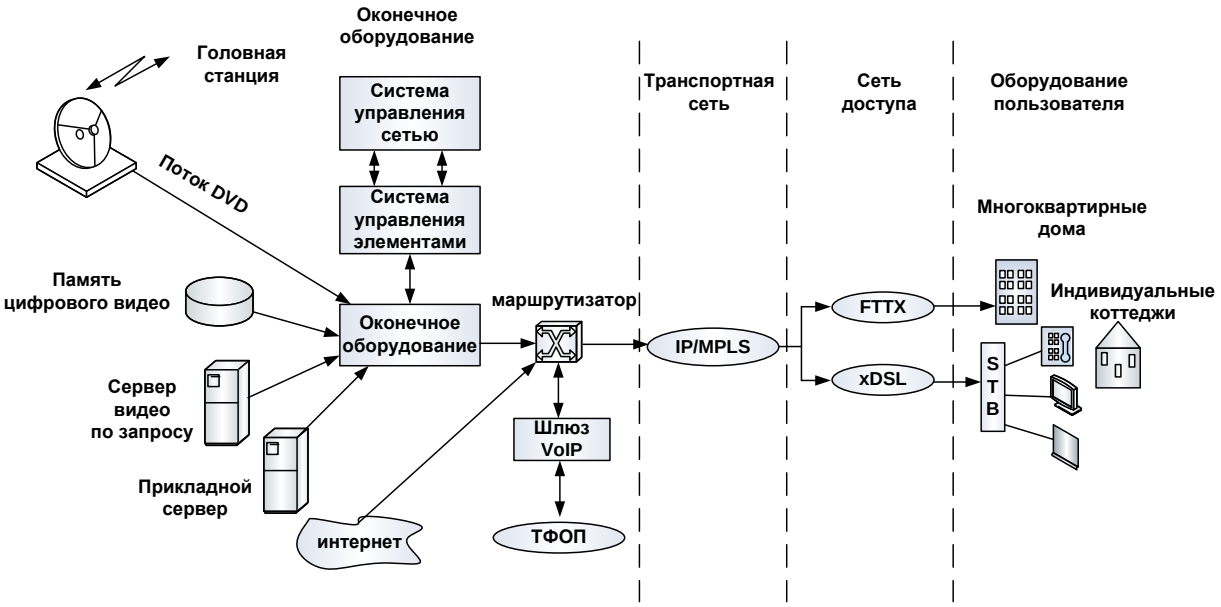


Рис. 4.30. Структура сети IPTV

В структуру сети IPTV входят:

головная станция IPTV; формирует контент и осуществляет преобразование форматов данных из формата ТВ в формат сети IP;

пограничный маршрутизатор, осуществляющий управление передачей потоков видеосигналов по сети IP;

транспортная сеть IP, по которой передаются видеосигналы;

сеть доступа, обеспечивающая доставку услуг IPTV до квартиры/дома;

оборудование пользователя, обеспечивающее показ видео и предоставление других услуг интерактивного телевидения.

Основная функция головной станции – прием видеосигналов и их трансляция в формат Video over IP.

Структура головной станции сети (IPTV Head End) представлена на рис. 4.31. В нее входят:

подсистема приема / формирования контента, которая не относится к телекоммуникационной части системы;

устройство Middleware – программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий согласование форматов данных, управление всеми компонентами IPTV, обработку запросов от абонентских устройств и взаимодействие с системами ИКС-4;

система защиты контента от несанкционированного доступа (CAS/DRM);

система управления видеосерверами.

Система защиты контента CAS/DRM обеспечивает защиту видеоматериалов от несанкционированного доступа, а также осуществляет шифрование аудио- и видеоматериалов. Их дешифрация производится непосредственно на стороне абонента в устройстве STB (Set-Top Box). STB является связующим звеном между системами формирования и доставки аудио- и видеоматериалов и телевизором абонента. Оно представляет собой мини-компьютер с операционной системой и Web-браузером.

Для оптимизации загрузки сетевой инфраструктуры необходимо рационально распределить видеосерверы по сети. Эта задача решается системой распределения контента. Она получает от Middleware запросы абонентов на доступ к контенту, определяет на ка-

ком сервере с минимальной загрузкой и в максимальной близости к абоненту находятся требуемые данные, и разрешает абоненту получить их с выбранного сервера.

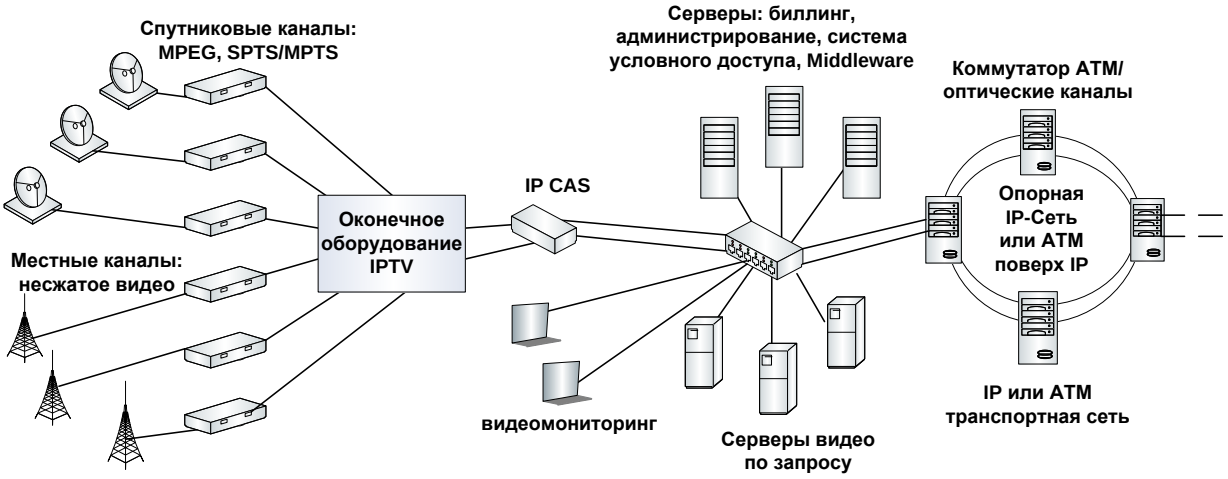


Рис. 4.31 Структура головной станции

Современная головная станция работает с различными форматами видеоконтента:

DVB-S – стандарт спутникового телевизионного вещания, получаемого через DVB-ASI интерфейс приемников (потоковые дескремблеры или стримеры) в режиме однопрограммного транспортного потока SPTS (Single Program Transport Stream) или многопрограммного транспортного потока MPTS (Multi Program Transport Stream);

DVB-T – стандарты цифрового наземного телевизионного вещания;

DVB-C – стандарт цифрового телевизионного вещания по кабельным сетям;

IPTV (Video over IP, Video over ATM).

Форматы DVB преобразуются декодерами в унифицированный формат ASI, из которого производится инкапсуляция в IP-пакеты. Устройства, выполняющие эту функцию называются IP-инкапсуляторами или IP-стримерами.

4.6.3. Услуги Triple Play

Триада VoIP, IPTV и передача данных составляет единое поле услуг Triple Play. Иногда проекты Triple Play называют IPTV, что совершенно некорректно. Проекты по внедрению Triple Play-услуг направлены на организацию предоставления абонентам комплексной услуги, объединяющей в себе услугу традиционной телефонии (фиксированный городской телефон), услугу передачи данных и различные видеоуслуги (набор платных каналов, «видео по запросу» (VoD), «почти видео по запросу» (nVoD), персональный магнитофон, видеоконференции и пр.), причем данный вид услуги может быть привязан как к телевизору, так и к домашнему персональному компьютеру [12]. Такая комплексная услуга полностью характеризует современные инфокоммуникационные сети класса ИКС-4.

Однако у концепции Triple Play было много противников, сомневающихся в необходимости объединения трех совершенно разнородных услуг «в одном флаконе» [11]. Тогда было предложено рассматривать Triple Play не как концепцию новых услуг связи, а как отдельную услугу, которая сосуществует вместе с другими услугами в едином поле инфокоммуникационной сети. Таким образом, современная модель Triple Play – это не три старых услуги с одним единым счетом у абонента, а одна новая услуга, которая находится на границе отдельных услуг VoIP, IPTV и Интернет.

Triple Play стала одной из ключевых концепций продвижения идеологии сетей нового поколения NGN в целом, проводимым модернизаторами телефонных сетей под флагом

NGN. Например, система Triple Play может проигрывать на современном этапе развития кабельному телевидению и предоставлению услуг Интернет и VoIP по сетям CATV. Но разработка Triple Play требует совершенствования транспортной сети, уровня управления, которые сами по себе принесут новые стратегические преимущества операторам. Например, внедрение Triple Play изменило даже понятие широкополосного доступа, скорость которого при модемной передаче была 64–128 кбит/с, а для Triple Play требуется 25–30 Мбит/с. Но не нужно забывать, что в сетях CATV или в мультисервисных сетях кабельного телевидения (МСКТВ) [13] такой доступ всегда имел место естественным образом.

Основной особенностью услуг Triple Play является то, что их невозможно оказывать, опираясь лишь на какую-то технологию; их нужно насыщать содержанием (контентом). Только в этом случае они будут интересны потребителю и позволят операторам увеличивать свои доходы.

Достаточно широкий перечень услуг, которые может обеспечить система Triple Play, представлен в [14].

Интерактивный каталог услуг ISG (EPG, IPG) – инструмент, предоставляющий абонентам удобный интерфейс для входа в систему, поиска и выбора нужной из множества предлагаемых контент-услуг, заказа выбранных услуг.

Трансляция ТВ каналов и радио: «живая» трансляция телевизионных и радиоканалов конкретным абонентам широкополосных сетей на их телевизоры или персональные компьютеры.

Платные ТВ программы (оплата за просмотр PPV и карусельное видео по запросу nVoD). Позволяет операторам предоставлять абонентам «премиум-контент», пользующийся особой популярностью, например, новые фильмы, спортивные события, развлекательные программы.

Видео по запросу VoD (TrueVoD, DVDoD) дает возможность абонентам с помощью интерактивного каталога услуг в любое время выбирать, заказывать и просматривать видеоконтент, хранимый на сервере провайдера. Для данной услуги плата с абонента взимается за каждый просмотр видеоконтента. Существует и другая разновидность услуги VoD – *оплаченное видео-по-запросу SVoD*, позволяющее абонентам оплачивать в составе абонентской платы определенные на период просмотра и предварительно заказанные пакеты видеоконтента.

Персональный видеомагнитофон PVR может осуществлять запись и хранение видеоконтента для последующего, возможно, неоднократного просмотра по желанию абонента. Возможны несколько вариантов организации этой услуги: *sPVR*, когда записывающие функции встроены в абонентскую ТВ-приставку; *сетевой персональный видеомагнитофон nPVR* – организует виртуальное пространство (видеомагнитофон) на сервере оператора для хранения выбранного абонентом контента; наиболее современный вариант– *интеллектуальный сетевой персональный видеомагнитофон InPVR*, который обладает модулем персонализированных услуг для оценки предпочтений абонента и автоматического выбора и записи контента.

Трансляция (вещание), сдвинутая по времени (Time Shifted TV), осуществляет демонстрацию каналов / программ не в реальном времени, а с задержкой на определенный промежуток времени (1, 3, 12, 24,…часов), производя их предварительную запись и хранение на сети.

Аудио-по-запросу AoD (MoD, Digital Jukebox).

В дополнение к трансляции радиоабоненты имеют возможность воспроизведения музыки и аудиопрограмм, которые могут быть заказаны либо «по запросу», аналогично услуге VoD, либо как пакет услуг AoD.

Загрузка аудиофайлов и аудиоархив позволяют абонентам загружать из сетевой библиотеки аудиофайлы необходимого формата на свои бытовые устройства, а также сохранить их на сетевом сервере библиотеки.

Игры (GoD). Абоненты могут играть в игры на экране телевизора с помощью своих пультов дистанционного управления. Одна из разновидностей игр – *игры с компьютером*, когда вторым игроком выступает сетевой сервер или телевизионная приставка. Другая разновидность – *интерактивные сетевые игры*, дающие абонентам возможность взаимодействовать и играть с другими абонентами сети.

Услуга *Мгновенных сообщений* позволяет абонентам обмениваться текстовыми сообщениями, используя для этого экранную клавиатуру или пульт дистанционного управления.

Телевизионная электронная почта организует доступ абонентов к своим почтовым ящикам, делает удобным просмотр своей электронной почты на экранах телевизоров.

Доступ к сети Интернет с телевизора осуществляется через специальный портал оператора (Walled Garden), параметры которого оптимизированы под характеристики разрешения и цветопередачи телевизора.

Телевизионная коммерция включает ТВ покупки (TV Shoping) или «магазин на диване», позволяющий абонентам, не выходя из дома, заказывать различные товары у сторонних продавцов, связанных договором с провайдером услуг. *ТВ банк (TV Banking)* поддерживает доступ абонента к персональному банковскому счету.

Расширенный спортивный контент обеспечивает доступ абонента в реальном времени к статической информации об игре, счете, командах, лиге, игроках, о виде спорта.

Телевизионные лотереи и ставки позволяют абонентам участвовать в различного вида лотереях, играть на игральных автоматах и осуществлять ставки на результаты соревнования, не выходя из дома.

Новости и местная информация. Абоненты могут иметь доступ к последним известиям, включая местную, а также справочную информацию о дорожном движении, расписаниях вокзалов и аэропортов, программах театров, кино, клубов и пр.

Сетевой фотоальбом для централизованного хранения изображений абонента и их просмотра.

Дополнительные интерактивные инфоуслуги могут включать доступ к онлайновым аукционам, биржевым сводкам, проведение различных голосований и т. п.

Услуги IP-телефонии включают как непосредственную голосовую связь, так и целый набор дополнительных услуг, связанных с телефонией.

Видеотелефония и Видеоконференцсвязь на телевизоре позволяют абонентам в процессе общения видеть другого участника телефонного разговора и проводить многосторонние переговоры с использованием телевизора.

Дистанционное обучение дает абоненту неограниченные возможности доступа ко множеству учебных курсов и учебников, а также непосредственного общения с преподавателем с использованием видеотелефонии.

Дистанционное медицинское обслуживание и телемедицина.

Удаленный контроль за безопасностью жилища.

Удаленное управление бытовыми приборами.

Понятно, что этот список будет непрерывно расширяться. Как показывает международный опыт, внедрение услуг Triple Play позволяет поднять средний доход с одного абонента (ARPU) в 2–3 раза.

4.6.4. Инфраструктура инфокоммуникаций 4-го этапа интеграции

Появление в Глобальной инфокоммуникационной инфраструктуре сетей класса ИКС-4 знаменует наступление эры пакетных технологий передачи и коммутации информации, обеспечивших построение инфокоммуникационных сетей с интеграцией служб и

услуг по передаче всех (или большинства) известных сегодня видов информации (данные, аудио, видео).

На рис. 4.32 показана инфраструктура инфокоммуникаций 4-го этапа интеграции, на котором под влиянием концепции NGN сформировался новый взгляд на структуру инфокоммуникаций. Традиционная структура электросвязи, основанная на понятиях первичной и вторичных сетей связи и ориентированная на применение принципа коммутации каналов коренным образом изменяется в сетях следующего поколения (NGN), базирующихся на принципе коммутации пакетов.

Появились понятия транспортной сети и сети доступа, заменившие в современных сетях понятия первичной и вторичных сетей.

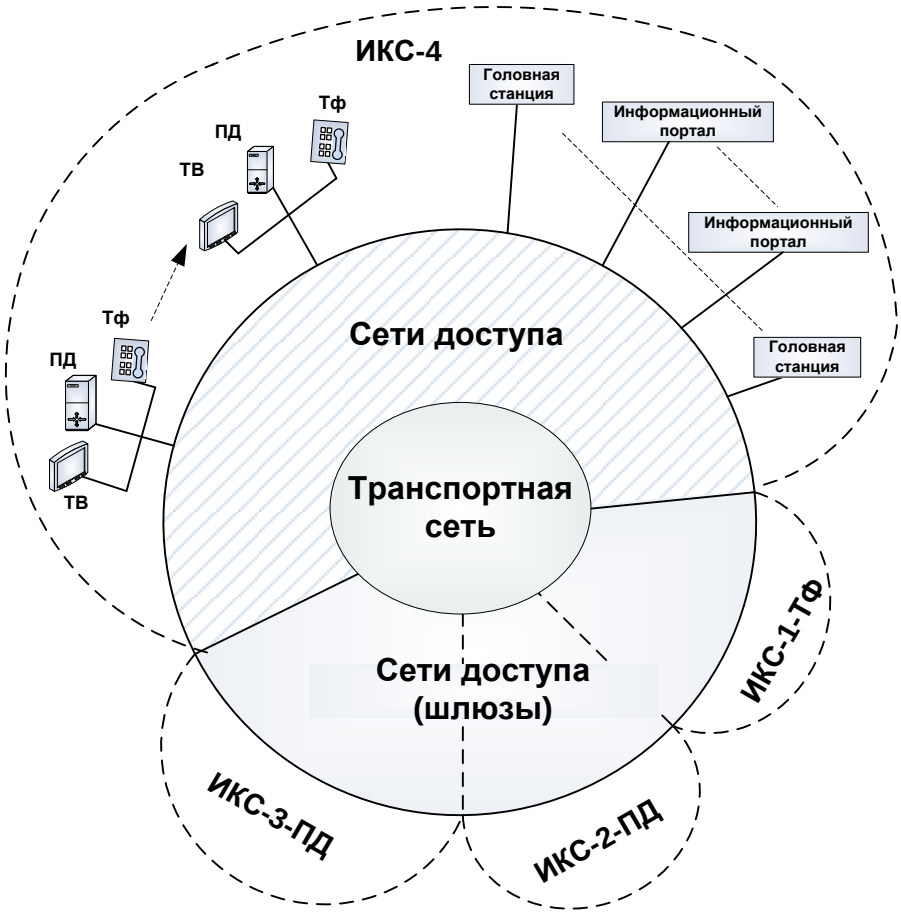


Рис. 4.32. Инфраструктура инфокоммуникаций 4-го этапа интеграции

На этом этапе сети предыдущих этапов (ИКС-3, ИКС-2, ИКС-1) через специальные шлюзы могут быть подключены к транспортной сети и взаимодействовать с абонентами ИКС-4, такие решения уже есть, но длительное время останется еще и старая инфраструктура, показанная на рис. 4.26.

4.7. Инфокоммуникационные сети с интеграцией служб передачи всех видов информации (сети класса ИКС-5)

Прогноз роста трафика речи и данных в сетях связи, а также квартирного телевизионного трафика, представленный на рис. 4.22 раздела 4.5.1 показывает, что будущие сети, приходящие на смену NGN, должны обеспечивать пропускную способность в сотни и тысячи терабит/сек.

Сегодня инженеры и ученые в области инфокоммуникаций заняты, в основном, теорией и практикой сетей класса ИКС-4, которые в технической литературе более известны под брендом NGN-сетей следующего поколения. Заглядывать в будущее, пытаться понять, что придет на смену NGN – задача неблагодарная, да и не очень актуальная, поэтому и проектов ее решения пока практически нет. За исключением, может быть, попытки авторов использовать для этой цели концепцию мультисервисных сетей кабельного телевидения [4, 13, 15–17].

Сети кабельного телевидения, в отличие от других технологий, основанных на модернизации узкополосных телефонных сетей путем внедрения в них различных систем широкополосного доступа, изначально создавались как широкополосные системы. В [16] отмечалось, что широкополосность, требуемая для мультисервисных сетей кабельного телевидения (МСКТВ) и не идущая ни в какое сравнение со спектрами, необходимыми для передачи других видов информации, позволяет говорить о том, что оптимальным сетевым вариантом для других сетей становится их наложение на МСКТВ. В составе развитой МСКТВ на базе ВОЛС и технологий IP, MPLS, ATM или других, более совершенных, все прочие сигналы, включая цифровую телефонию и данные, цифровое вещание и Интернет, с точки зрения требующихся для их передачи цифровых потоков становятся лишь малозаметным дополнением и практически вписываются в МСКТВ в качестве сигналов дополнительной информации. Также теряют актуальность разнообразные системы сетевого доступа (xDSL, ISDN и др.), поскольку с решением проблемы построения МСКТВ решение всех проблем доступа обеспечивается автоматически.

Схема построения МСКТВ в городах России соответствует, в основном, рекомендациями МСЭ-Т по построению Глобальной информационной инфраструктуры [4].Такая МСКТВ состоит из:

транспортной высокоскоростной сети на базе ВОЛС, технологий IP, MPLS, SDH и др.;

сетей доступа;

базы данных услуг (узлы служб, серверы и др.);

многофункциональных высокоскоростных терминалов пользователей.

Эта идеология нашла отражение в Концепции развития в России сетей кабельного телевидения и практическое воплощение в многофункциональной интерактивной системе массового инфокоммуникационного обслуживания на базе гибридных волоконно-коаксиальных сетей кабельного телевидения, созданной в Москве и получившей высокую оценку научной общественности. Работа и коллектив авторов, включая авторов [16], удостоена премии Правительства РФ в области науки и техники 2002 года [18].

Инфокоммуникационная сеть класса ИКС-5 на базе МСКТВ должна включать:

районные (имеются ввиду административные районы городов) и сельские МСКТВ. Сельские МСКТВ могут охватывать административные сельские территории, на которых сосредоточены населенные пункты;

городские МСКТВ, объединяющие районные МСКТВ;

региональные МСКТВ, объединяющие городские и сельские МСКТВ республики, края, области в единую сеть;

межрегиональную мультисервисную сеть, объединяющую все региональные МСКТВ в единую инфокоммуникационную сеть России;

сеть информационных и видеопорталов, являющуюся основным источником любых информационных услуг для пользователя, включая телевизионное вещание и видеотелефонную связь;

уровень пользователя, где находятся разнообразное абонентское оборудование и устройства.

Сети Интернет, ТФОП, ПД и мобильной связи будут сопрягаться с ИКС-5 на уровнях районных городских, региональных и межрегиональных МСКТВ. Сети телевизионно-

го и радиовещания подключаются к ИКС-5 на уровне сети информационных порталов, поставляя им необходимые телевизионные и радиопрограммы.

Основу ИКС-5 будет составлять высокоскоростная транспортная сеть, стационарная часть которой должна представлять собой совокупность межрегиональной, региональных, городских и сельских транспортных сетей, обеспечивающих обмен информацией любого вида, в том числе и телеграммами, между любыми узлами сети, а также сопряжение с транспортными сетями глобальной телекоммуникационной сети ГИИ.

На рис. 4.33 представлена структура транспортной сети ИКС-5, использующая в качестве примера кольцевые схемы организации сетей [17]. Межрегиональная транспортная сеть (МРТС) должна обеспечивать передачу потоков информации между регионами страны (региональными центрами), выход в ГИИ, а также сдачу в аренду своих ресурсов крупным и государственным учреждениям для организации корпоративных и специализированных сетей, в том числе силовых ведомств.

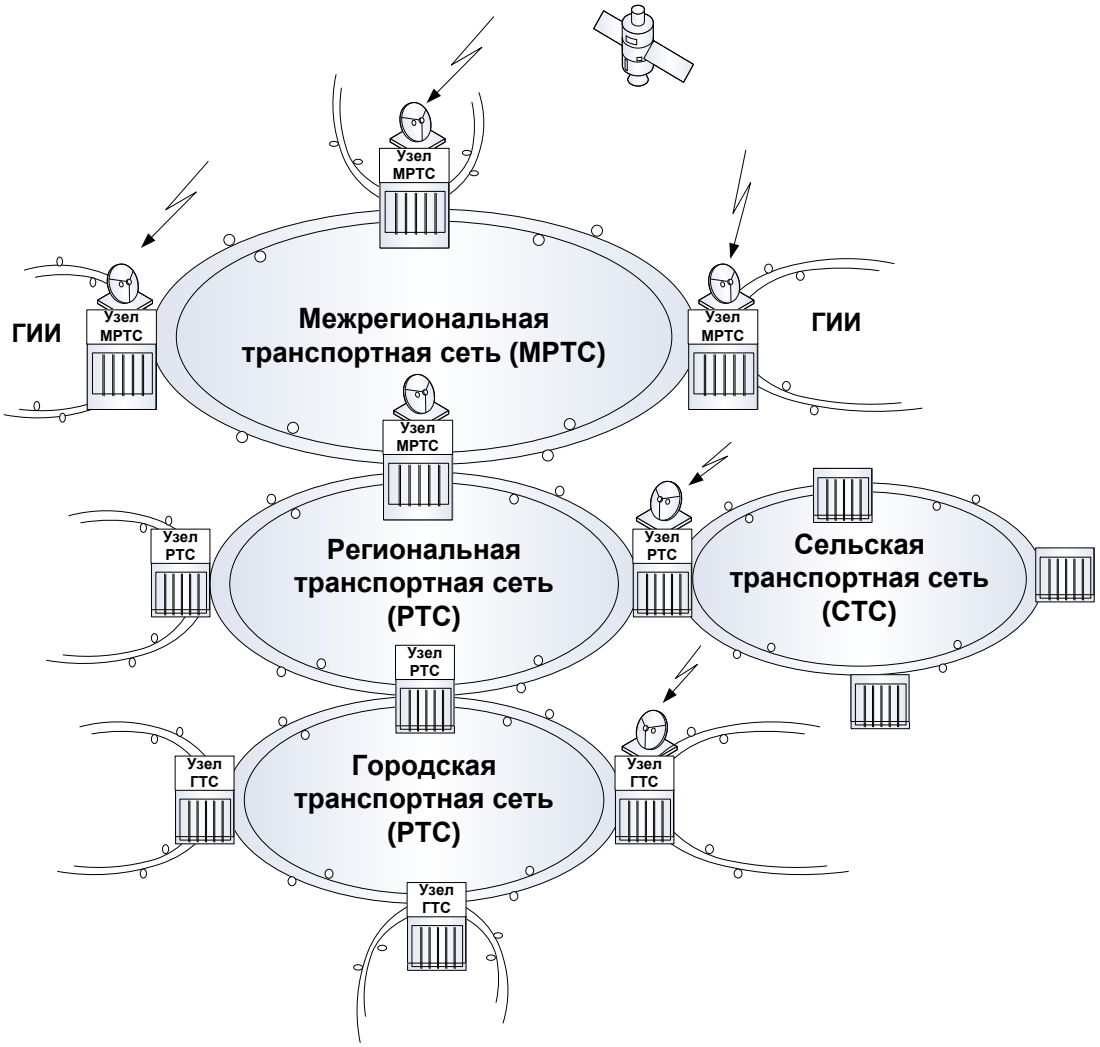


Рис. 4.33 Транспортные сети ИКС-5

МРТС должна предоставлять возможность организации сети видео- и информационных порталов, имеющих общегосударственное значение. Такими порталами могут быть студии государственных телевизионных программ, информационные центры Государственной Думы, центры правовой информации и т. д.

Основными составляющими трафика МРТС будут потоки информации телевизионных программ, которые передаются:

из центра в регионы;

из региона в регион;

из других стран.

Кроме того, в трафик входят потоки информации международных и междугородних служб видеотелевизионной связи, видеоконференцсвязи, видеопочты, видео по запросу и других видеослужб и служб передачи больших массивов информации между вычислительными и информационными центрами.

В [19] отмечается, что уже сейчас большая часть информации, размещенной в Интернете – это видеоинформация, а через несколько лет на долю видео будет приходиться около 90 % интернет-трафика. Причем такую структуру трафика сформировал, в основном, прокат видеороликов. Если же через транспортную сеть будет пропускаться еще и трафик телевизионных программ, доля видео будет значительно больше. Другие составляющие трафика (голосовая телефония, радиовещание, передача текстов, данных, графиков, неподвижных изображений) не будут оказывать существенного влияния на требования к пропускной способности транспортных магистралей МРТС.

Региональные транспортные сети (РТС) должны обеспечивать передачу потоков информации из регионального центра в города и районные центры региона и обратных потоков, а также прямых и обратных потоков как в МРТС, так и из нее. Региональные транспортные сети, как и МРТС, позволят организовать корпоративные и специализированные сети, сети видео- и информационных порталов регионального значения.

Основу трафика РТС будут составлять потоки пакетизированной информации, создаваемой различными видеослужбами.

Городские транспортные сети (ГТС) обеспечат передачу потоков информации между районами города и в (из) РТС. Некоторые узлы ГТС могут быть совмещены с узлами РТС и МРТС. Основу трафика ГТС будут составлять потоки информации различных городских видеослужб, в первую очередь служб телевещания.

В структуре ГТС должна быть предусмотрена возможность организации корпоративных и специализированных сетей и сетей городских видео- и информационных порталов.

Сельские транспортные сети (СТС) предназначены для передачи прямых и обратных потоков из районных центров в села, а также в (из) РТС.

Сельские транспортные сети строятся таким образом, чтобы обеспечить возможность организации всех видов узкополосной и широкополосной связи со всеми сельскими населенными пунктами, включая дачные поселки и садоводческие товарищества.

Предполагается, что потребителями и производителями информации в ИКС-5 будут:

центры телевизионного и радиовещания (головные станции в случае сетей кабельного телевидения);

массовые пользователи, основу которых составляют абоненты телевизионного вещания, подключаемые к ИКС-5 на уровне сельских, районных и городских МСКТВ;

государственные учреждения, предприятия малого, среднего и крупного бизнеса, не имеющие собственных корпоративных сетей, подключенные к ИКС-5 на уровне сельских, районных, городских и региональных сетей;

узлы существующих телефонных сетей общего пользования, сетей передачи данных, Интернет, корпоративных и других сетей, подключаемые на всех уровнях ИКС-5 через соответствующие шлюзы;

информационные и видеопорталы различного уровня (государственные, региональные, городские, районные, сельские);

системы дистанционного медицинского обслуживания, дистанционного обучения, электронной торговли и другие;

Глобальная информационная инфраструктура, подключение к которой будет осуществляться через межрегиональные узлы.

Какова же будет инфраструктура инфокоммуникаций на 5-м этапе? Мы не будем здесь фантазировать на эту тему, слишком много факторов влияют на развитие инфокоммуникаций. Очевидно, что должно продолжаться развитие инфраструктуры 4-го этапа, показанной на рис. 4.32, развитие и расширение ИКС 4-го класса, включая направления развития Интернет и телефонных сетей, с постепенным уменьшением масштабов ИКС-1, 2, 3. Опыт показывает, что дальше заглядывать не имеет смысла, т. к. обязательно появятся новые технологии, решения, концепции, которые могут непредсказуемым сегодня образом полностью изменить картину инфокоммуникаций.

В заключение отметим, что сегодня все государства занимают примерно одну исходную стартовую позицию на пути создания сетей будущего. Поэтому будущее российского инфокоммуникационного бизнеса, российской инфокоммуникационной инфраструктуры, от которых в значительной степени зависит вся экономика страны, будет определяться сегодняшними усилиями и вкладом российской промышленности и науки, российских инфокоммуникационных компаний и государственных органов в организацию работ по созданию инфокоммуникационных технологий будущего.

4.8. Уровневый подход к построению структуры инфокоммуникационных сетей

4.8.1. Географическая уровневая структура

В России глобальные сети строятся, как правило, по иерархическому принципу и включают в себя ряд иерархических уровней, как показано на рис. 4.34.

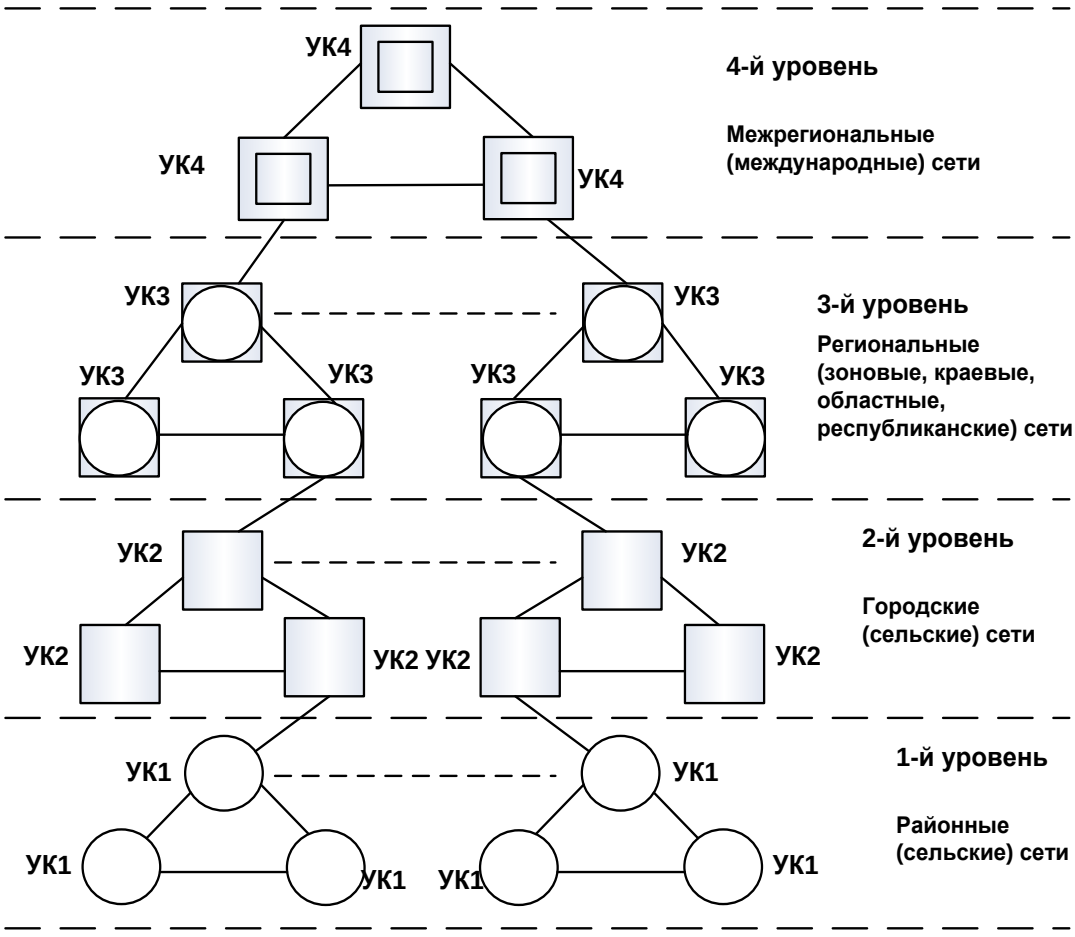


Рис. 4.34. Иерархическая структура глобальных инфокоммуникационных сетей

Примерами такого построения структуры глобальных ИКС могут служить структура ИКС-1-ТФ, рассмотренная ранее, а также структура NGN на базе МСКТВ [4].

Такие сети, использующие для разделения на уровни географические признаки, мы назвали сетями с географической уровневой структурой.

Еще одним примером может служить структура мультисервисной сети, разработанная специалистами Минсвязи РФ [20]. В соответствии с их концепцией построение мультисервисных сетей должно соответствовать двухуровневой структуре, состоящей из регионального и магистрального (включая межрегиональный) уровней, изображенной на рис. 4.35. Это создаст условия для повсеместного внедрения инфокоммуникационных услуг и решения таких задач, как обеспечение структурной надежности, нормирования показателей качества услуг и т. п.

Рис. 4.35. Двухуровневая структура мультисервисных сетей

На региональном уровне мультисервисная сеть должна обеспечивать подключение абонентов и предоставление им как транспортных, так и инфокоммуникационных и других услуг, а также обеспечивать возможность взаимодействия с аналогичными услугами других региональных сетей.

На магистральном уровне мультисервисная сеть должна обеспечивать предоставление услуг переноса для взаимодействия мультисервисных региональных сетей, а также для передачи (при необходимости) нагрузки всех существующих сетей. Решение указанных проблем связано с формированием сетей доступа которые позволили бы, с одной стороны, обеспечить разделение трафика на участке, где не накладывается жестких ограничений на скорость передачи, и, с другой стороны, не осуществляется концентрация трафика. При этом следует отметить, что в ряде случаев решение проблемы перегрузки существующей сети за счет дополнительного трафика может быть реализовано путем внедрения оборудования, реализующего интегрированные точки присутствия (POP).

Под сетью доступа понимается системно-сетевая структура, состоящая из абонентских линий, узлов доступа и систем передачи и служащая для организации подключения пользователей к ресурсам региональных сетей. С административно-организационной точ-

ки зрения сеть доступа может являться как частью сети оператора региональной сети, так и техническим средством отдельного оператора – оператора сети доступа.

Таким образом, как считается в «Концептуальных положениях...», необходима разработка пакета документов, регламентирующих деятельность оператора сети доступа. Одной из основных задач при этом является определение и регламентация услуг доступа. В основу такой регламентации должно лечь деление услуг по способам доставки информации, качеству услуги (QoS) и скорости передачи.

4.8.2. Функциональная уровневая структура

Другим признаком разделения на уровни является функциональный признак.

При разработке структуры мультисервисных сетей (МС) для России ОАО «Гипросвязь», один из основных идеологов и практических разработчиков структур отечественных телекоммуникаций предложило следующую многоуровневую функциональную структуру МС, основанную на модели открытых систем с использованием технологии пакетной коммутации (рис. 4.36).

На рис. 4.36 обозначены:

а) уровень соединений:

транспортный уровень;

опорный (базовый) подуровень;

пограничный подуровень;

уровень доступа;

б) уровень управления вызовами;

в) уровень предоставления услуг (информационные исервис-приложения).

Рис. 4.36. Уровневая структура мультисервисной сети

Уровень соединений – является транспортным механизмом, способным обеспечить передачу речи, данных и мультимедийной информации.

Данный уровень основан на протоколах IP и ATM. Архитектура уровня включает в себя транспортный уровень и уровень доступа.

Уровень доступа – система, предоставляющая доступ в сеть передачи данных конечным пользователям, в том числе и корпоративным.

На этом уровне решаются задачи подключения абонентов к поставщикам сетевых услуг с использованием всех существующих и перспективных технологий обеспечения доступа, таких как:

коммутируемые каналы местных сетей (dial-up);

оптические кабели;

существующие металлические кабели;

цифровые абонентские линии с использованием технологии xDSL;

различные технологии радиодоступа.

Транспортный уровень реализуется двумя подуровнями: базовым и пограничным.

Базовый подуровень – высокопроизводительное ядро сети, предоставляющее транспортные услуги между объектами. Этот уровень проектируется в целях высокоскоростной передачи пакетов между узлами, максимально используя полосу пропускания. Опорные сети агрегируют разнородный трафик, обеспечивая прозрачную передачу информации.

Пограничный подуровень определяет интеграцию информации различной природы, некоторые параметры адресации, управления трафиком, обеспечения гарантированного качества предоставления сервиса(QoS), параметры широковещательных сообщений и др.

Уровень управления вызовами выполняет функции управления соединениями, поддержки различных систем сигнализации, поиска, разрешения сетевых адресов и телефонных номеров, управления доступа к услугам и др. Этот уровень содержит системную логику, обеспечивающую работу систем связи.

Уровень предоставления услуг (информационные и сервис приложения). Включает приложения для информационных услуг, функции предоставления основных и дополнительных услуг голосовой связи, услуг интеллектуальных сетей, осуществления авторизации, аутентификации, учета, биллинга и др.

4.8.3. Классификация компьютерных сетей по признаку размерности

Авторы [19], описывая компьютерные сети типа Интернет, предложили классификацию мультипроцессорных систем в зависимости от их размеров, т. е. фактически по географическому признаку (рис. 4.37).

Персональные сети (PAN) предназначены для одного человека, которому обеспечивается общение с различными устройствами типа монитора, клавиатуры, мыши и принтера. Примером персональной сети является беспроводная сеть малой дальности Bluetooth. PAN могут быть также созданы на других технологиях, которые работают на малых расстояниях, такие как RFID на смарт-картах и библиотечных книгах.

Локальные сети – это частные сети, размещающиеся, как правило, в одном здании или на территории какой-либо организации. Они обеспечивают совместный доступ к ресурсам (например, принтерам) компьютеров и рабочих станций офисов компании и обмен информацией.

Различают проводные и беспроводные локальные вычислительные сети (ЛВС).

Большинство проводных ЛВС используют медные кабели, а некоторые – оптоволокно. Они работают на скоростях от 100 Мбит/сек (1 Мбит/с=10^6 бит/с) до 1 Гбит/с (1 Гбит/с=10^9 бит/с). Наиболее распространенным типом проводной ЛВС является Ethernet по стандарту IEEE 802.3.

Сегодня очень популярны беспроводные ЛВС, среди которых наиболее известен стандарт IEEE 802.11 или сеть Wi-Fi, работающие на скоростях от 11 до сотни Мбит/с. В этих системах у каждого компьютера есть радиомодем и антенна, которую он использует, чтобы общаться с другими компьютерами.

Расстояние между процесорами	Процессоры расположены	
1 м	на одном квадратном метре	Персональная сеть
10 м	комната	Локальная сеть
100 м	здание	
1 км	кампус	
10 км	город	Муниципальная сеть
100 км	страна	Глобальная сеть
1 000 км	континент	
10 000 км	планета	Интернет

Рис. 4.37. Классификация многопроцессорных систем по размеру

Муниципальные сети (metropolitan area network, MAN) объединяют компьютеры в пределах города. В США наиболее распространенным примером муниципальной сети является система кабельного телевидения.

До конца 90-х годов эти системы работали как чисто телевизионные. Но с развитием Интернет операторы кабельного телевидения поняли, что, внеся небольшие изменения в систему, можно сделать так, чтобы по тем же каналам, в неиспользуемой части спектра передавались цифровые данные, причем в обе стороны. С этого момента кабельное телевидение стало постепенно превращаться в муниципальную сеть, примерная структура которой показана на рис. 4.38 [19].

Здесь телевизионный и цифровой сигнал из Интернет смешиваются во входном устройстве и передаются абонентам.

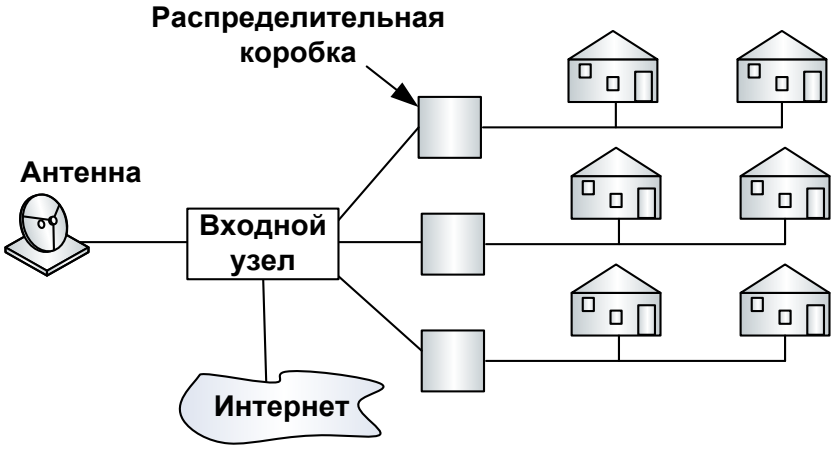


Рис. 4.38. Муниципальная сеть на базе кабельного телевидения

Муниципальные сети строятся и по другим принципам, например, с использованием стандарта IEEE 802.16, известного как WiMax.

В Европе значительно позднее обратили внимание на эффективность использования систем кабельного телевидения для построения широкополосных муниципальных сетей. Только в1999 году в Аалбордском университете (Дания) была издана книга под названием «Интерактивное телевидение будущего или будущее телевидение?». Это первая публикация в серии «Средства массовой информации и изучение культуры», представляющая со-

бой сборник из девяти статей, посвященных новым подходам к использованию интерактивного телевидения.

В России одна из первых работ по развертыванию кабельных сетей для предоставления широкополосной связи была опубликована в [21], а в 2000 году авторы выпустили первую в стране по этой тематике книгу [22]. С этого года начался бум внедрения мультисервисных сетей кабельного телевидения в России и уже в 2004 году во 2-м издании книги [13] авторы описали 9 внедряемых или действующих в разных городах сетей интерактивного кабельного телевидения.

Глобальная сеть (wide area network, WAN) охватывает значительную географическую область, целую страну или даже континент. Авторы [19] рассматривают глобальные компьютерные сети, соединяющие офисы предприятий, организаций, компаний. Компьютеры, находящиеся в офисах, называются хостами. Хосты соединяются коммуникационными подсетями, состоящими из двух раздельных компонентов: линий связи и переключающих элементов. Переключающие элементы являются специализированными компьютерами, используемыми для соединения двух и более линий связи и выбора маршрута следования данных. Такие компьютеры называют маршрутизаторами, хотя единого мнения по поводу этого термина нет.

Другие глобальные сети используют беспроводные технологии. В спутниковых системах компьютеры на земле при помощи антенны принимают и посылают сигналы спутнику на орбите. Большую перспективу для построения глобальных сетей имеют системы мобильной связи. Они прошли уже три поколения, четвертое на горизонте.

Интерсеть (internetwork, internet) – это набор соединенных сетей, образуется путем объединения нескольких сетей. Сеть называют интерсетью, если, первое, ее создание и поддержку оплачивают разные организации, второе, если ее работа основана на применении нескольких технологий. Машины, обеспечивающие соединение между двумя или более сетями, называются шлюзами.

4.8.4. Структурные элементы Интернет

Инфокоммуникационные сети типа Интернет состоят, в основном, из семи типов структурных элементов [10]:

1) *Повторители* (repeaters) работают на физическом уровне модели ISO/OSI и обычно применяются в локальных сетях. Работают как усилители принятых сигналов и используются также для увеличения длины сегмента в сетях топологии «шина». На рис. 4.39 изображена типовая схема: благодаря повторителю длина сетевой шины увеличивается за счет сегмента 2.

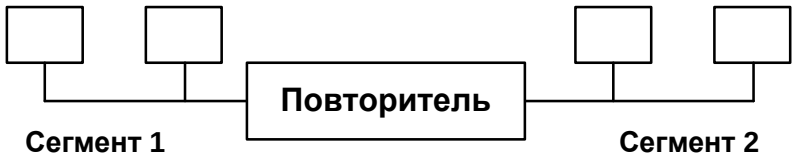


Рис. 4.39. Повторитель и сегменты

2) *Мосты* (bridges) работают на канальном уровне, имеющем подуровень MAC. В каждый узел сети входит плата сетевого интерфейса, имеющая уникальный MAC-адрес. Мосты выделяют MAC-адреса из принимаемых кадров данных и избирательно пересылают эти кадры в соответствующие порты (рис. 4.40).

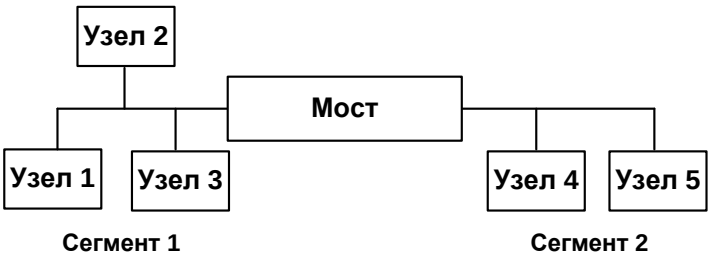


Рис. 4.40. Пример работы мостов

Мост игнорирует кадры, передаваемые между узлами, расположенными по одну сторону от него. Например, кадры, отправленные от узла 1 к узлам 2 и 3, мост пересылать не будет. Он отправляет кадры только узлам, находящимся по другую сторону от него, например, от узла 1 к узлу 4.

Одна из функций моста – выделять из кадров указания по их маршрутизации. Мост работает аналогично маршрутизатору, разница только в том, что мост устанавливает соединение на канальном уровне, а маршрутизатор – на сетевом.

Мост способен работать как накопительно-передающее устройство – принимать кадр целиком перед отправкой его в нужный порт. При этом кадр проверяется с помощью циклической контрольной суммы. Поврежденные кадры не пересылаются. Это снижает нагрузку на сеть, т. к. плохой кадр проходит только один сегмент и не попадает в другие.

3) *Маршрутизаторы* (routers) работают на сетевом уровне. В отличие от мостов, которые пересылают пакеты на основе таблиц физических адресов (например, адресов Ethernet), маршрутизаторы используют таблицы логических адресов (например, IP-адресов). Встречается термин многопротокольный маршрутизатор (multiprotocolrouter), который означает, что маршрутизатор понимает несколько протоколов сетевого уровня, например TCP и IPX.

Разработчики отечественной аппаратуры для устройств, аналогичных маршрутизаторам, использовали термин «центр коммутации пакетов».

4) *Коммутаторы* (switch). В толковании этого термина есть разногласия. Согласно классическому определению на канальном уровне коммутатор работает почти как мост, но в отличие от моста он не накапливает кадр, а сразу после декодирования адреса назначения отправляет его в соответствующий порт. Этим достигается высокая скорость работы коммутатора. Недостаток в том, что коммутатор пересылает все кадры, даже поврежденные. Формально этот тип коммутатора называется LAN-коммутатором, но в литературе его часто именуют просто коммутатором. Современные коммутаторы определяют адрес сетевого уровня, который разными способами сопоставляется с портом коммутатора и последующие пакеты данных от того же отправителя к тому же получателю коммутируются уже на канальном уровне, в то время как маршрутизаторы делают это на сетевом уровне.

Другими словами, современный коммутатор больше напоминает скоростной маршрутизатор, а классический коммутатор – скоростной мост.

5) *Шлюзы* (gateway) – это, как правило, аппаратное и программное обеспечение, соединяющее две разные сети, в которых используются разные протоколы. Работают на сетевом и более высоких уровнях. Так называемые прикладные шлюзы при пересылке данных из одной сети в другую выполняют трансляцию протоколов, как это делает почтовый шлюз, конвертирующий два разных протокола электронной почты. Шлюз характеризуется наличием нескольких адресов сетевого уровня, например, нескольких IP-адресов.

6) *Хост* (host) – это компьютер, на котором работает сетевой протокол, например, TCP/IP. Хост обменивается данными с другими хост-компьютерами и значительная доля деятельности в Интернет обусловлена управлением информационными потоками между

хост-компьютерами. Типичные примеры хостов: маршрутизаторы, ПК, серверы, прокси-серверы, шлюзы и т. д.

7) *Узлы*. Этим термином, как правило, называют мост, маршрутизатор, коммутатор, шлюз или хост.

Таким образом, в понятиях и терминологии традиционных сетей связи и компьютерных сетей пока еще имеются существенные различия, которые будут постепенно исчезать в процессе их конвергенции и перехода к единой терминологии инфокоммуникационных сетей.

4.8.5. Различие уровневых структур традиционных и современных сетей

Кроме терминологических различий традиционные сети электросвязи отличаются от современных телекоммуникационных сетей принципами построения их функциональной уровневой структуры.

В основе построения классической системы электросвязи лежит первичная сеть, включающая в себя среду распространения сигналов (кабели, ВОЛС, радиоэфир) и аппаратуру передачи сигналов, обеспечивающую создание типовых каналов и трактов первичной сети. Эти каналы используются затем вторичными сетями для обеспечения услуг связи [24].

В соответствии с [23] первичная сеть – это совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих линий передачи.

Типовая физическая цепь (типовой канал) – это физическая цепь (канал передачи), параметры которой (которого) соответствуют принятым нормам.

Сетевой тракт – типовой групповой тракт или несколько последовательно соединенных типовых групповых трактов с включенной на входе и выходе аппаратурой образования тракта.

Вторичная сеть связи – совокупность линий и каналов вторичной сети, образованных на базе первичной сети, станций и узлов коммутации или станций и узлов переключений, обеспечивающих определенный вид связи [24].

Таким образом, структуру традиционной сети электросвязи можно представить в виде рис. 4.41.

Механизм работы такой системы очень прост: вторичная сеть берет изпервичной сети типовой канал и, используя его, предоставляет пользователю определенную услугу (рис. 4.42) [11].

Современные телекоммуникационные сети в соответствии с концепцией Глобальной информационной инфраструктуры строятся также по двухуровнему принципу, но с совершенно другим функциональным наполнением уровней: первый базовый уровень – это транспортная сеть, а второй – сеть доступа.

Транспортная сеть – это совокупность сетевых элементов, обеспечивающих передачу трафика. Наиболее популярные технологии транспортных сетей: NGSDH, ATM, MPLS/IP, FrameRelay, WDM, магистральный Ethernet.

Сеть доступа – это совокупность сетевых элементов, обеспечивающих доступ абонентов к ресурсам транспортной сети с целью получения услуг. Популярные технологии доступа более многочисленны, т.к. включают и традиционные абонентские технологии. Это PDH, ISDN, абонентский Ethernet, IP, xDSL иVDSL, FTTx/PON, Wi-Fi, WiMAX, WLL, HPNA, CATV, HDTV, Fibre Channel. К ним же относятся и традиционные технологии – телефонные каналы и модемные связи [11].

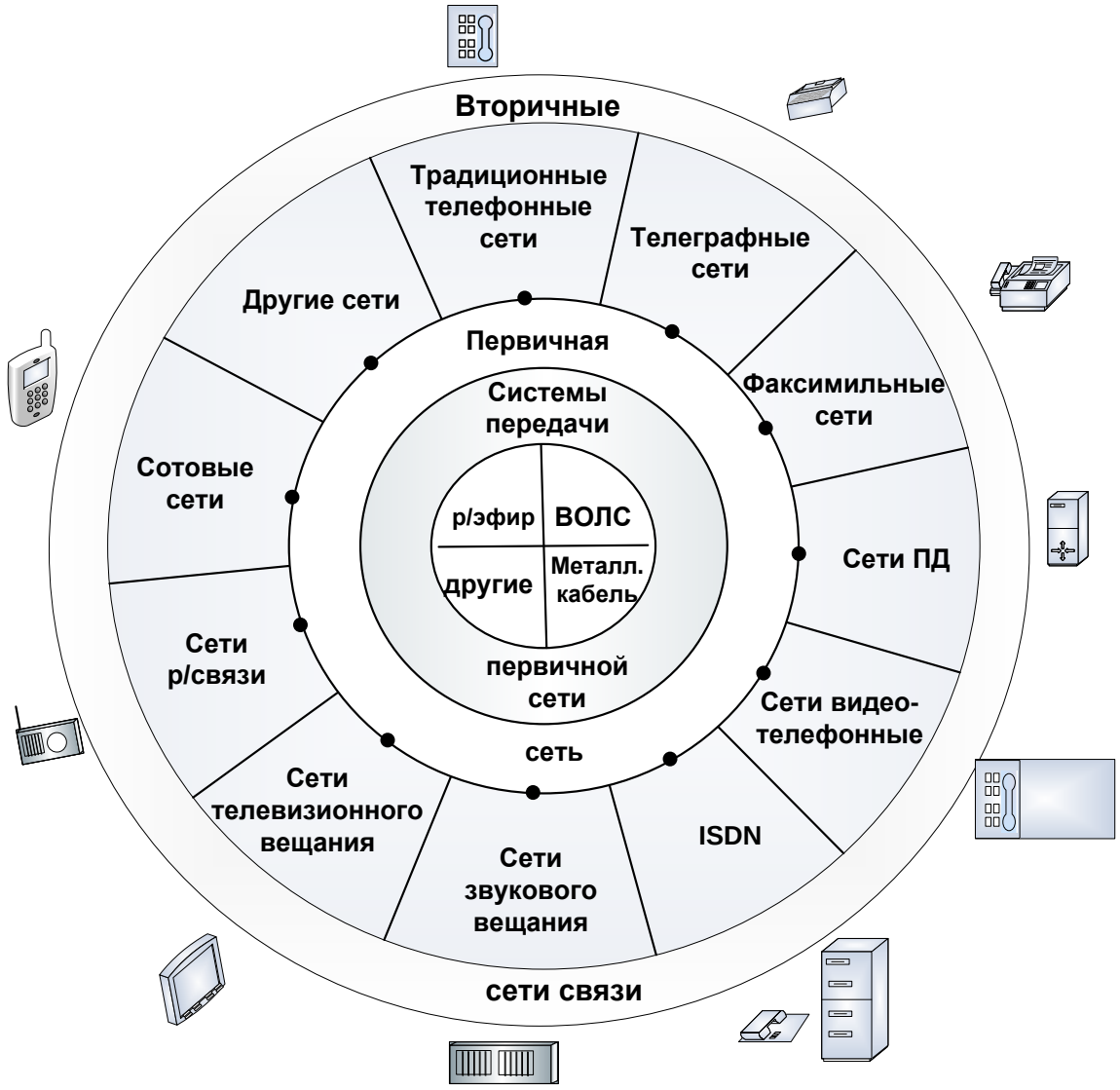


Рис. 4.41. Структура традиционной системы электросвязи

Рис. 4.42. Механизм работы традиционной системы связи

Двухуровневая структура современной телекоммуникационной сети, являющаяся основой инфокоммуникационных сетей классов ИКС-3, ИКС-4, ИКС-5, показана на рис. 4.43.

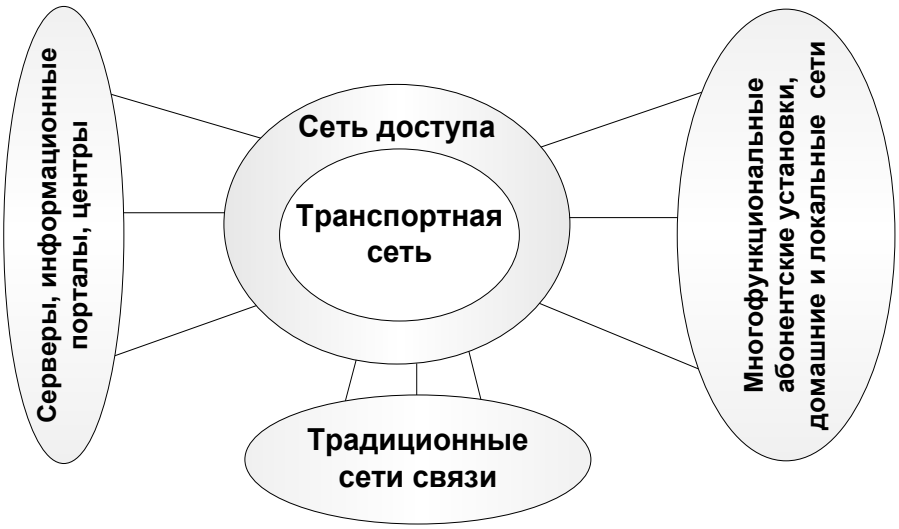


Рис. 4.43. Структура современной телекоммуникационной сети

Не смотря на коренное функциональное различие традиционной и современной структур систем электросвязи, механизмы их работы изменились незначительно (рис. 4.44) [11].

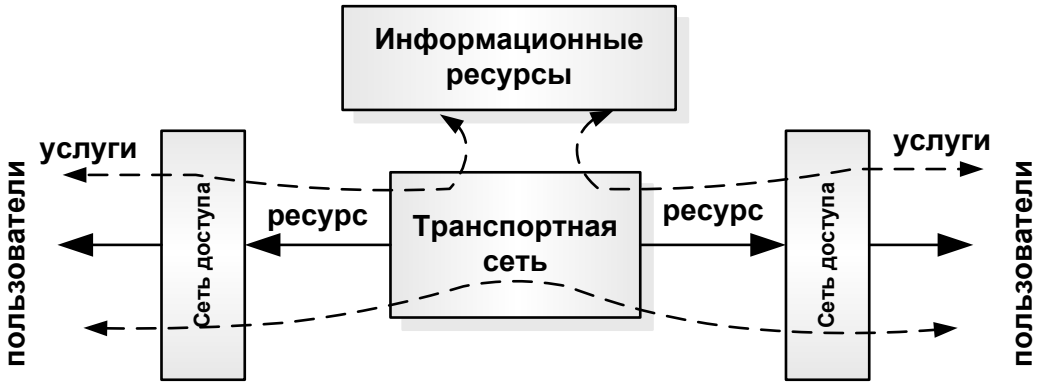


Рис. 4.44. Механизм работы перспективной системы связи.

Сравнение рис. 4.42 и рис. 4.44 показывает, что в современной сети появилась новая составляющая «информационные ресурсы», обращение к которым будет составлять все большую часть трафика сети. Часто даже связь между пользователями может происходить через информационные ресурсы. Кроме сугубо симметричных связей «клиент-клиент» появились ассиметричные связи «клиент-сервер», что привело к появлению целого класса ассиметричных решений в современных сетях (ADSL, Wi-Fi, WiMAX, PON и др.).

Таким образом, уровневая структура инфокоммуникационных сетей может строиться по различным принципам, которые зависят от назначения сети, ее размеров, этапов развития, территориальных особенностей и т. п. Уровневый подход не ограничивает творческого подхода разработчиков и владельцев сети на различных этапах ее жизненного цикла.

Литература

1. Губин Н. М., Броннер Б. В. Организация и планирование телеграфной связи. – М.: «Связь». 1980. – 256 с.

2. Ломовицкий В. В., Михайлов А. И., Шестак К. В., Щекотихин В. М. Системы и сети передачи информации. Учебник для вузов. – Орел: Академия ФСО России, 2009. – 572 с.

3. Руководящий документ по Общегосударственной системе автоматизированной телефонной связи (ОГСТфС). Книга 1. – М.: Прейскурантиздат, 1988. – 488 с.

4. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. А., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в Глобальной информационной инфраструктуре. – СПб: Наука, 2008. – 552 с.

5. П. Боккер. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы. – М.: Радио и связь. 1991. – 303 с.

6. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб: Питер, 2000. – 668 с.

7. Р. Кох, Г. Яновский. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М: Радио и связь, 2001. – 280 с.

8. Воробьев С. П., Данилевский Ю. Г., Захаров Г. П. Принципы построения интегральной сервисной цифровой сети связи с коммутацией пакетов // Средства связи, 1985. Вып. 4. – С. 5–12.

9. Воробьев С. П., Злотников Ю. С., Структура протоколов цифровых сетей связи с интеграцией служб на базе коммутации пакетов // Электросвязь, 1988. № 6. – С. 24–29.

10. Найк Делип. Стандарты и протоколы Интернета / Пер. с англ. – М.: Издательский отдел «Русская редакция» ТОО «Channel Trading Ltd», 1999. – 384 с.

11. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации. – М: Экотрендз, 2008. – 400 с.

12. Мурга Е. В. Пути снижения риска оператора при реализации проектов Triple Play // Широкополосные мультисервисные сети, 2007. – С. 12–14.

13. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. 2-е издание. – СПб: Наука, 2004. - 405 с.

14. Долгополова Н., Рытвинский И., Быстрицкий Н. Эффективное внедрение услуг «Triple Play» операторами связи // ТелеМультиМедиа, 2005. № 4. - С. 10–14.

15. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Службы и услуги мультисервисных сетей кабельного телевидения. Ч. 1 и 2 // Broadcasting. Телевидение и радиовещание, 2005. №№ 1, 2.

16. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В. NGN на базе мультисервисных сетей кабельного телевидения // Broadcasting. Телевидение и радиовещание, 2005. № 7. – С. 48–51.

17. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В. Инфокоммуникационные технологии будущего // Broadcasting. Телевидение и радиовещание, 2005. № 8. – С. 57–59.

18. Премия Правительства России – создателям кабельных сетей мегаполисов // ИнформКурьерСвязь, 2003. № 4. – С. 21–22.

19. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. Пятое издание. – СПб: Питер, 2012. – 960 с.

20. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России. – М.: Минсвязи РФ, 2001.

21. Развитие кабельных сетей для предоставления услуг широкополосной связи. Воробьев С. П., Золотов О.И., Махровский О. В. и др. // Материалы V-й С.-Петербургской Международной конференции «Региональная информатика». – СПб, 1996.

22. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. – СПб: Наука, 2000. – 336 с.

23. ГОСТ 22348-86. Сеть связи автоматизированная. Термины и определения.

24. Основные положения развития ВСС РФ на перспективу до 2005 года. Руководящий документ. Справочное приложение 2. Словарь основных терминов и определений. – М: НТУ ОТ Министерство связи России, 1996. – 27 с.

25. Олифер В. Г., Олифер К. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб: Питер, 2012. – 944 с.

ГЛАВА 5. АРХИТЕКТУРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

5.1. Понятие архитектуры инфокоммуникационных сетей

Многие понятия пришли в отрасль электросвязи из других сфер. Например, понятие *«сетевая технология».* Согласно толковому словарю изначально *«технология»* = «техно» (мастерство) + «логия» (наука) определялась как совокупность приемов, способов получения, обработки и переработки (изменения состояния, свойств, формы) вещества, материалов, полуфабрикатов или изделий в разных отраслях промышленности и строительства. Подобный «строительный» оттенок имеет и фундаментальное (тоже строительное слово!) для ИКС понятие *«архитектура».*

Согласно толковому словарю понятие *«архитектура»* означает или искусство проектирования и строительства зданий, или стиль постройки, или обобщенное название самих зданий.

В области электросвязи данное понятие не имеет никакого отношения к зданиям, где размещаются средства связи, а образно характеризует упорядоченность (по вертикали) выполняемых функций данными средствами.

Традиционно элементы сетей связи (средства связи) описывались принципиальными, функциональными и структурными схемами, в которых последовательность выполняемых функций (по горизонтали) соответствовала последовательности соединения отдельных электронных элементов или блоков.

В современных компьютеризированных средствах связи практически всю «функциональную» начинку определяет записанная в память программа, управляющая работой микропроцессора. При этом практически невозможно сопоставить отдельные функции отдельным электронным элементам.

Последовательность команд, выполняемых компьютером по заданной программе, обычно представляют в виде алгоритма, изображение которого имеет форму упорядоченных по вертикали функциональных модулей. Подобное изображение действительно напоминает здание и позволяет для потерявших наглядность процессов преобразования информации в современных средствах связи воспользоваться аналогией строительного понятия «архитектура».

Другим примером использования новых аналогий из области строительства является выражение «технологии построения ИКС», в которое вкладывается смысл не строительства стационарных объектов или развертывания мобильных систем связи, а выбор определенного взаимосвязанного функционального наполнения элементов сети в виде той или иной «архитектуры».

В технической литературе иногда под понятием «архитектура» подразумевают принципы построения системы, а также взаимосвязь структурных, логических элементов системы и выполняемых ею функций [2–4].

Автор [5], рассматривая информационные сети (ИС), которые, судя по описанию, соответствуют понятию инфокоммуникационных сетей за исключением, может быть, телефонной и телевизионной составляющих, вводит понятие физической структуры ИС, информационной, маршрутной и логической структур и дает следующее определение архитектуры ИС: «Архитектура ИС абстрагируясь от конкретной физической реализации элементов сети и конкретной физической структуры, обобщает информационную, логическую, маршрутные структуры, определяет модель ИС, основные компоненты данной модели и функции, выполняемые ими. Определяют также понятие функциональной архитектуры сети как часть общей архитектуры, которая для конкретной модели в целом и ее компонент в частности, определяет их функциональную наполненность и принципы функционирования».

Довольно запутанное определение, но, во всяком случае, оно подсказывает, что поиск понятия «архитектура инфокоммуникационной сети» еще далеко не закончен.

Авторы [1] не занимались целенаправленным поиском определения этого понятия, но высказали следующее предположение: «Архитектура подразумевает представление сети в виде системы элементов, каждый из которых выполняет определенную частную функцию, при этом все элементы вместе согласованно решают общую задачу взаимодействия компьютеров. Другими словами *архитектура* сети отражает декомпозицию общей задачи взаимодействия компьютеров на отдельные подзадачи, которые должны решаться отдельными элементами сети. Одним из важных элементов архитектуры сети является коммуникационный протокол – формализованный набор правил взаимодействия узлов сети».

Наиболее короткое и конкретное определение архитектуры сети дано в [6]: «Набор уровней и протоколов называется архитектурой сети». При этом ни детали реализации, ни спецификация интерфейсов не являются частями архитектуры, так как они спрятаны внутри машины и не видны снаружи. Не требуется, чтобы интерфейсы на всех машинах сети были одинаковыми, лишь бы каждая машина правильно применяла все протоколы.

Этому определению в наибольшей степени соответствуют наши представления об архитектуре инфокоммуникационных сетей, если его дополнить еще совокупностью принципов функционирования сети в виде неформализованного описания этих принципов и алгоритмов взаимодействия структурных элементов между собой.

5.2. Уровневый подход к построению архитектуры

Уровневый подход для решения сложных задач архитектуры ИКС является эффективной концепцией, развивающей идею декомпозиции, т. е. разбиение сложной задачи на несколько более простых задач – модулей. Модули группируются и упорядочиваются по уровням, которые образуют некоторую иерархию (рис. 5.1) [1].

На рис. 5.1 межуровневый интерфейс определяет набор функций, которые нижележащий уровень предоставляет вышележащему. Такая многоуровневая архитектура относится, как правило, к одному объекту сети, в которой в процессах обмена информацией участвуют, как минимум, два объекта. Между ними на всех уровнях должны быть приняты соглашения об условиях обмена. Четырехуровневая модель такого взаимодействия двух объектов показана на рис. 5.2. Каждый уровень поддерживает интерфейсы двух типов: первый тип – межуровневые интерфейсы, показанные

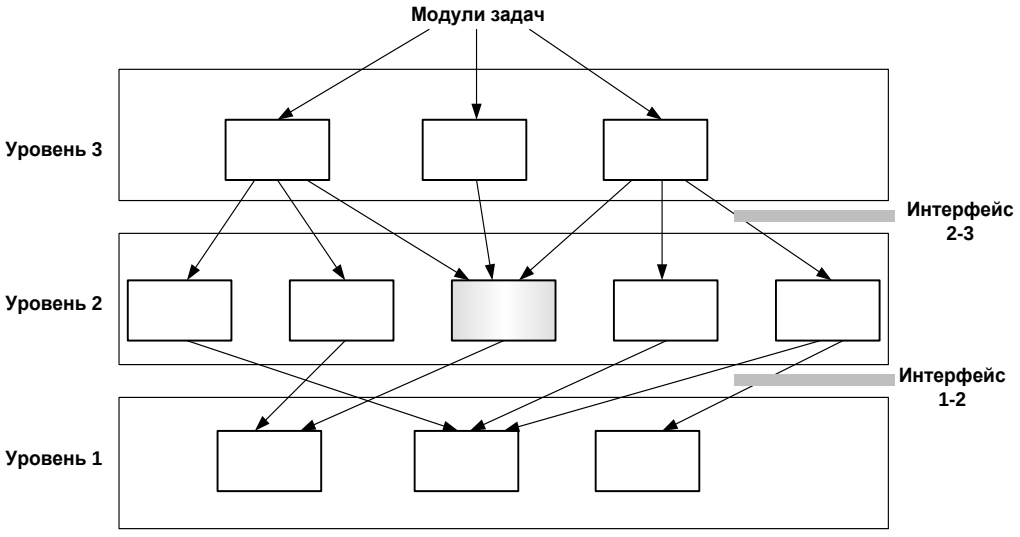


Рис. 5.1. Многоуровневый подход – создание иерархии задач

на рис. 5.1., второй – интерфейсы взаимодействия с одноименным уровнем другой стороны, названный *протоколом*.

Таким образом, протоколы определяют правила взаимодействия модулей одного уровня в разных объектах сети, а интерфейсы – правила взаимодействия модулей соседних уровней в одном объекте.

Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия объектов сети, называется *стеком протоколов.*

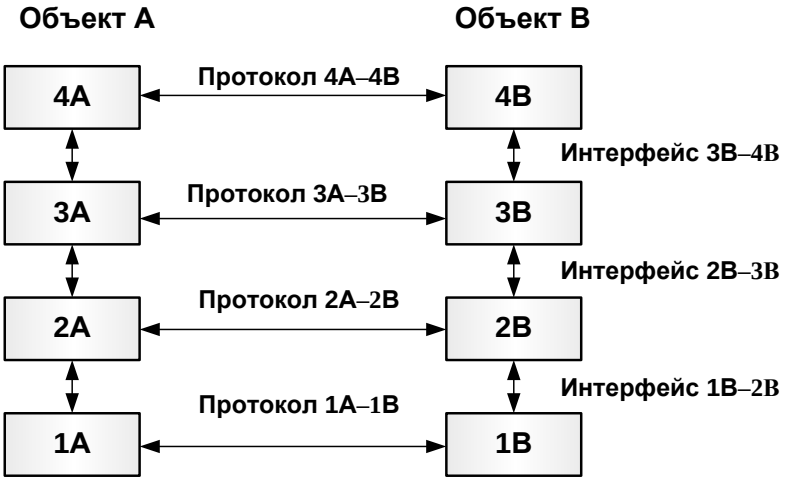


Рис. 5.2. Взаимодействие двух объектов сети

5.3. Использование ЭМВОС для описания архитектуры инфокоммуникационных сетей

Информационный процесс взаимодействия пользователей в ИКС включает ряд вложенных этапов, одним из которых является реализация инфокоммуникационной сетью процесса взаимосвязи в интересах взаимодействия информационных процессов, реализующих содержательную обработку формализованных сообщений при решении той или иной прикладной задачи.

Указанный процесс взаимодействия также может быть представлен в виде последовательности разнообразных и, как правило, многократных функциональных преобразований информационных сообщений в различных сетевых элементах из одной цифровой формы в другую и из одного вида физических (электрических) сигналов в другие.

Для различных инфокоммуникационных сетей, создававшихся в различное время различными производителями, группирование указанных функциональных преобразований различно. Отличается также количество выделяемых этапов и функций процесса взаимосвязи, зачастую объединяемых в рамках той или иной функциональной архитектуры ИКС в отдельные уровни или слои. В настоящее время существует ряд различных архитектур ставших «де-факто» или «де-юре» международными открытыми (общепринятыми) стандартами.

Примером наиболее известной и детально проработанной архитектуры является семиуровневая *эталонная модель взаимосвязи открытых систем* (ЭМВОС), предложенная Международной организацией стандартов (МОС) (ISO – *International Standards Organization*). Данная архитектура ориентирована на описание реализации только функций взаимосвязи при взаимодействии информационных процессов,

выполняющих функции содержательной обработки информации в территориально распределенных узлах ИКС.

В англоязычном обозначении ЭМВОС иногда подчеркивается принадлежность данной модели «взаимосвязи открытых систем» (ВОС) (OSI – *Open System Interconnection*) к разработкам МОС (ISO) в виде OSI/ISO.

В [6] замечено, что модель OSI не является сетевой архитектурой, поскольку она не описывает службы и протоколы, используемые на каждом уровне. Она просто определяет, что должен делать каждый уровень. Тем не менее ISO разработала стандарты для каждого уровня, хотя эти стандарты не входят в саму эталонную модель. Каждый из них был опубликован как отдельный международный стандарт.

Основным российским стандартом, который определяет принципы архитектуры взаимосвязи открытых систем является ГОСТ 28906-91 (Системы обработки информации. Взаимосвязь открытых систем. Базовая эталонная модель). Этот стандарт подготовлен методом прямого применения стандартов МОС 7498-84, МОС 7498-84 Доп. 1 и полностью им соответствует. Аналогичные рекомендации содержатся в восьмом томе Синей книги МККТТ, ныне секции стандартизации международного союза электросвязи (МСЭ) (ITU – *International Telecommunication Union*) – рекомендация X.200.

Понятие *«открытости»* систем означает взаимное признание и поддержку соответствующих стандартов взаимосвязи и не связано с их конкретной реализацией и с используемыми техническими (программными) средствами.

Основу ЭМВОС составляют четыре элемента, представленные на рис. 5.3.

Согласно рис. 5.3 компоненты прикладных процессов, называемые прикладными логическими объектами (далее для краткости – логическими объектами), реализуют процессы взаимосвязи открытых систем по устанавливаемым соединениям через среду ВОС, под которой понимается совокупность взаимодействующих реальных открытых систем вместе с физической средой для ВОС, предназначенной для передачи информации между ними. В качестве физической среды для ВОС обычно выступают цифровые каналы передачи различной физической природы.

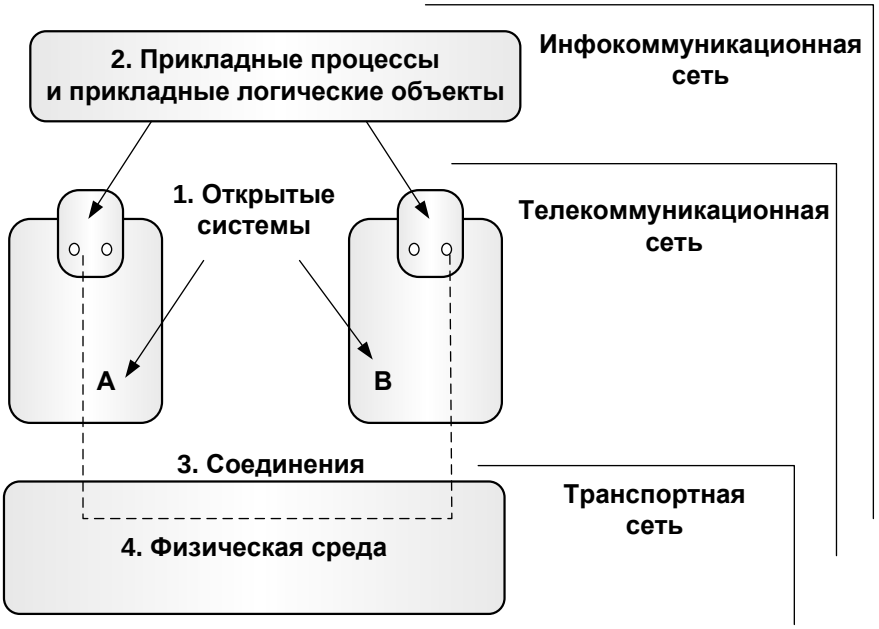


Рис. 5.3. Основные элементы ЭМВОС

Эталонной моделью в рамках среды ВОС наряду с вариантом взаимосвязи с установлением соединения (т. е. с использованием постоянных или коммутируемых

виртуальных каналов) предусмотрен также вариант взаимосвязи без установления соединения, что соответствует дейтаграммному режиму работы сети с коммутацией пакетов (без использования виртуальных каналов).

В целом же большое многообразие и сложность функций взаимосвязи привели к необходимости их иерархического разделения на группы (слои, уровни) в рамках открытой системы и создания многоуровневой архитектуры телекоммуникационных сетей.

5.4. Уровневая организация ЭМВОС

Любая многоуровневая организация специализированных систем является заведомо избыточной и неэффективной для конкретных условий применения, но она значительно упрощает построение открытых систем (общего пользования), предназначенных для работы в многообразных условиях и состоящих из множества элементов, согласованно выполняющих функции отдельных уровней, будучи разработанными различными независимыми производителями.

При решении вопроса о том, где должны быть проведены границы между уровнями и сколько должно быть уровней, разработчики ЭМВОС опирались на определенные *принципы разбиения на уровни,* основными из которых являются следующие:

число уровней не должно быть слишком большим;

проводить границу между уровнями следует в том месте, где: описание услуг является наиболее простым; количество операций через границу минимально; уже существует подходящий стандартный интерфейс;

создавать отдельные уровни следует для выполнения специфических функций, отличающихся по реализующим их процессам или техническим решениям;

следует формировать уровни из легко локализуемых функций с обеспечением возможности их обновления независимо от функций соседних уровней;

для каждого уровня следует создавать интерфейсы только с вышележащим и нижележащим уровнями;

возможно образование подуровней в рамках одного уровня в том случае, когда этого требуют специфические виды услуг. Должна быть предусмотрена возможность обхода подуровней.

Руководствуясь указанными принципами, в ЭМВОС были выделены семь уровней, перечисляемых обычно сверху вниз:

7 уровень – прикладной;

6 уровень – представления данных (иначе: представительный);

5 уровень – сеансовый;

4 уровень – транспортный;

3 уровень – сетевой;

2 уровень – звена данных (иначе: канальный);

1 уровень – физический.

Описание уровней ЭМВОС опирается на ряд формализованных понятий, основные из которых в виде элементов функциональной архитектуры отражены на рис. 5.4 и перечислены ниже с краткими пояснениями.

N-уровень – слой N-го уровня иерархии, который образуют подсистемы одного и того же уровня в различных открытых системах.

N-логический объект (N-объект) – активный элемент уровня (функциональный модуль), реализующий определенную группу функций данного уровня.

Равноправные логические объекты – логические объекты, которые существуют в различных открытых системах на одном и том же уровне.

N-услуги – услуги, которые N-уровень предоставляет (N+1)-уровню.

N-функции – функции, посредством которых услуги N-уровня предоставляются (N+1)-уровню, на базе услуг (N-1)-го уровня.

Протокол – совокупность правил взаимодействия равноправных логических объектов (различных открытых систем).

N-протокол – протокол, посредством которого осуществляется взаимодействие между N-логическими объектами в процессе реализации N-функций.

Протокольные блоки данных (ПБД) – блоки данных, определенные в N-протоколе, с помощью обмена которыми осуществляется взаимодействие N-объектов.

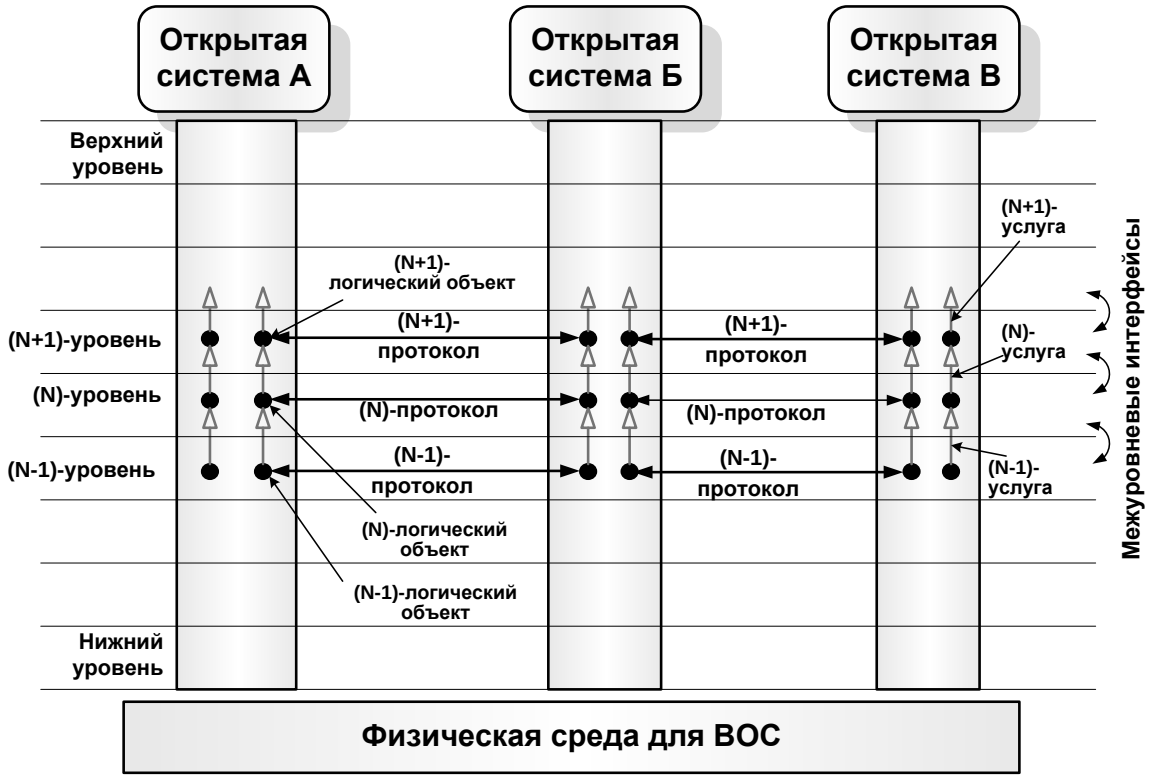


Рис. 5.4. Основные элементы функциональной архитектуры ЭМВОС

Ассоциация – соединение, которое устанавливается на N-уровне путем использования N-протокола для обмена информацией между двумя или более (N+1)-логическими объектами.

Межуровневый интерфейс – совокупность правил взаимодействия логических объектов соседних уровней при предоставлении N-услуг объектам (N+1)-го уровня.

Сервис – набор услуг уровня, который обеспечивает N-уровень для расположенного над ним (N+1)-уровня.

Сервисные блоки данных (СБД) – блоки данных, в которые отображается содержание информационной части N-ПБД при обеспечении N-сервиса (предоставления набора N услуг вышележащему N-уровню).

Интерфейсные блоки данных (ИБД) – блоки данных (они же – *сервисные примитивы*), в виде которых СБД передаются через *сервисные точки доступа* межуровневого интерфейса.

Каждый N-уровень ЭМВОС может быть достаточно полно описан совокупностью выполняемых им N-функций, тесно связанных с предоставляемыми N-услугами.

Основными функциями всех уровней являются:

выбор протокола;

установление и разрыв соединения;

мультиплексирование и расщепление соединений;
передача нормальных (обычных) данных;
передача срочных (внеочередных) данных (с приоритетом);
управление потоком данных (задержками, скоростью и размером ПБД);
сегментирование (сборка) или блокирование (деблокирование) данных;
организация последовательности данных (нумерация);
защита от ошибок (исправление, обнаружение и сброс и/или повторение);
маршрутизация (адресование и распределение потоков данных).

Подставляя вместо абстрактных символов N+1, N, N-1 приведенные выше названия конкретных уровней ЭМВОС можно в более понятной форме «озвучить» перечисленные понятия и охарактеризовать ими отличительные особенности данных уровней.

Назначение каждого из семи уровней в основном отражается в его названии и характеризует отличительную особенность предоставляемых услуг. При этом сами услуги каждого из уровней реализуются посредством функций уровня, опирающихся, в свою очередь, на выполнение услуг нижележащих уровней.

Описание назначения, функций и услуг уровней ЭМВОС можно найти в [1, 5].

Важным для количественной оценки итогов предоставления N-услуг является задание параметров качества услуг, основными из которых являются:

параметры задержки передачи информации;
параметры искажений информации;
параметры потерь информации;
параметры неправильной адресации;
параметры защищенности от несанкционированного доступа.

В основном данные параметры являются вероятностными (усредненными или граничными). Определение взаимосвязи данных параметров с параметрами протоколов, доступными ресурсами и мешающими условиями является основной задачей при оценке качества сетевых технологий.

5.5. Понятие профиля стандартов

Специальная группа ИСО/МЭК СТК1 по функциональной стандартизации (СГФС) разработала основополагающий документ ИСО/МЭК ТО 10 000 «Основы и таксономия функциональных стандартов», а также несколько сотен отдельных международных функциональных стандартов (МФС).

В стандарте ИСО/МЭК ТО 10000 и ИСО 2382-26-93 («Словарь терминов. Взаимосвязь открытых систем») изначально вводятся понятия профиля, группы профилей, международного функционального стандарта, таксономии профилей, функциональной среды ВОС и даются следующие определения:

функциональный стандарт – утвержденный государственный стандарт или одобренный международный стандарт, который содержит спецификацию одного или нескольких профилей;

правительственные профили (GOSIP – Government Open System Interconnection Profile) в настоящее время представляют собой некоторую выборку из профиля ВОС;

базовый стандарт – утвержденный государственный стандарт, международный стандарт, технический отчет или Рекомендация МСЭ-Т (МККТТ), используемые при определении профиля;

профиль – это один или совокупность нескольких базовых стандартов с идентификацией в применимых случаях выбранных классов, подмножеств, факультативных возможностей и параметров этих базовых стандартов, необходимых для выполнения конкретной функции.

Государственный профиль взаимосвязи открытых систем России *(Госпрофиль ВОС)* разработан в виде проекта государственного стандарта Российской Федерации (ГОСТ Р). Проект указанного ГОСТ разработан на базе ЭМВОС на основе анализа и систематизации базовых и функциональных международных стандартов ИСО/МЭК и Рекомендации МСЭ-Т (МККТТ), а также «Правительственных профилей взаимосвязи открытых систем» (GOSIP) различных стран и объединений, и в первую очередь GOSIP США, с учетом особенностей состояния и потребностей развития информационных технологий в Российской Федерации.

В первую версию Госпрофиля-Р включены:

три сетевые службы (системы обработки сообщений, передачи файлов и передачи факсимильных сообщений);

два типа сетей общего пользования (коммутируемая телефонная сеть общего пользования (КТСОП или просто ТФОП) и сеть передачи данных общего пользования с коммутацией пакетов (СПДОП-КП) – сеть X.25);

три типа локальных вычислительных сетей (коллективный доступ с опознаванием несущей и обнаружением конфликтов (КДОН/ОК) – Ethernet, кольцевая сеть с маркерным

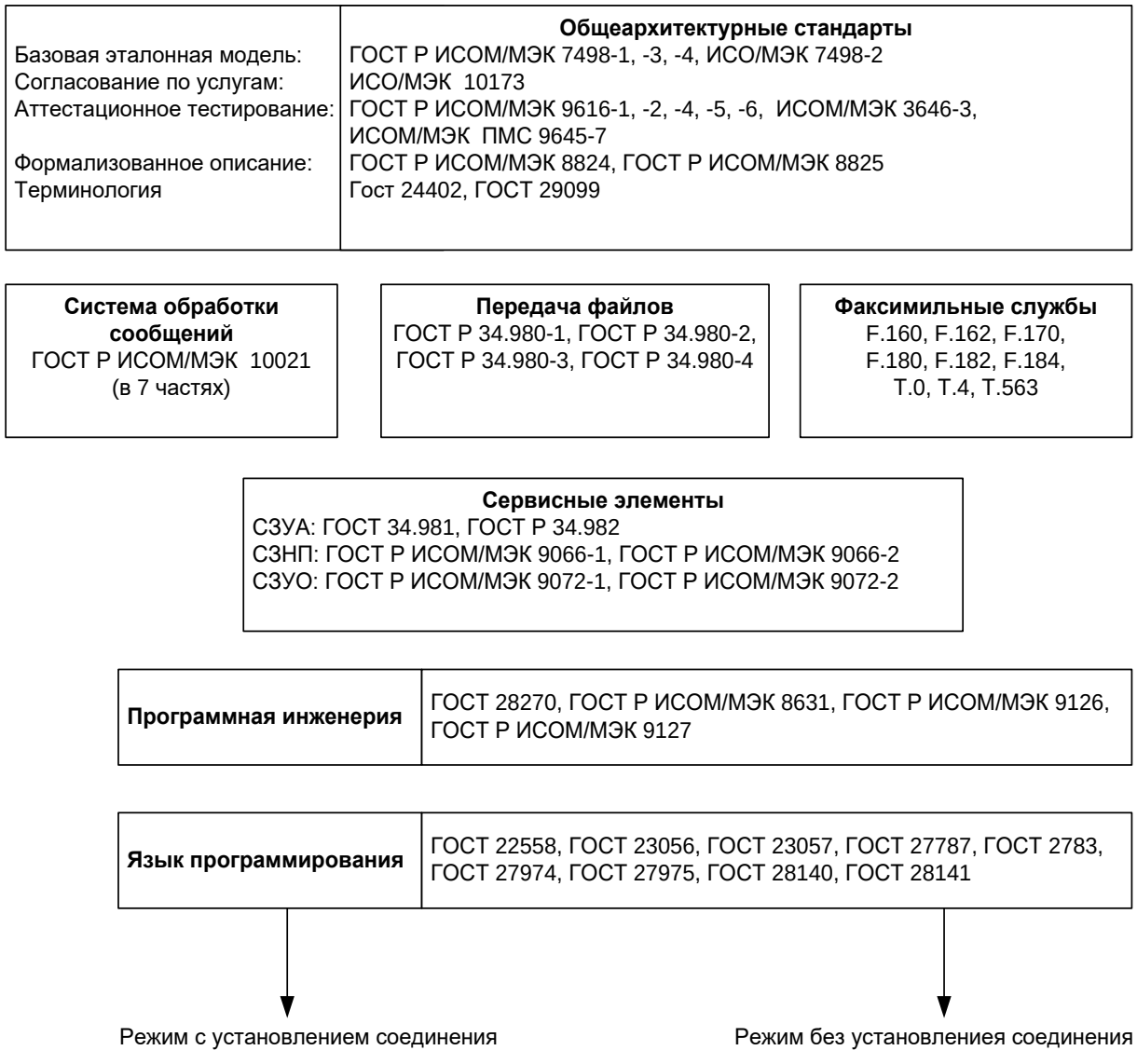


Рис. 5.5а. Фрагмент Госпрофиля ВОС России (версия 1)

доступом (КМД) – Token Ring и волоконно-оптический распределенный интерфейс передачи данных (ВОРИПД)-FDDI).

Фрагмент Госпрофиля ВОС России (версия 1, 1995 г.) показан на рис. 5.5а и 5.5б.

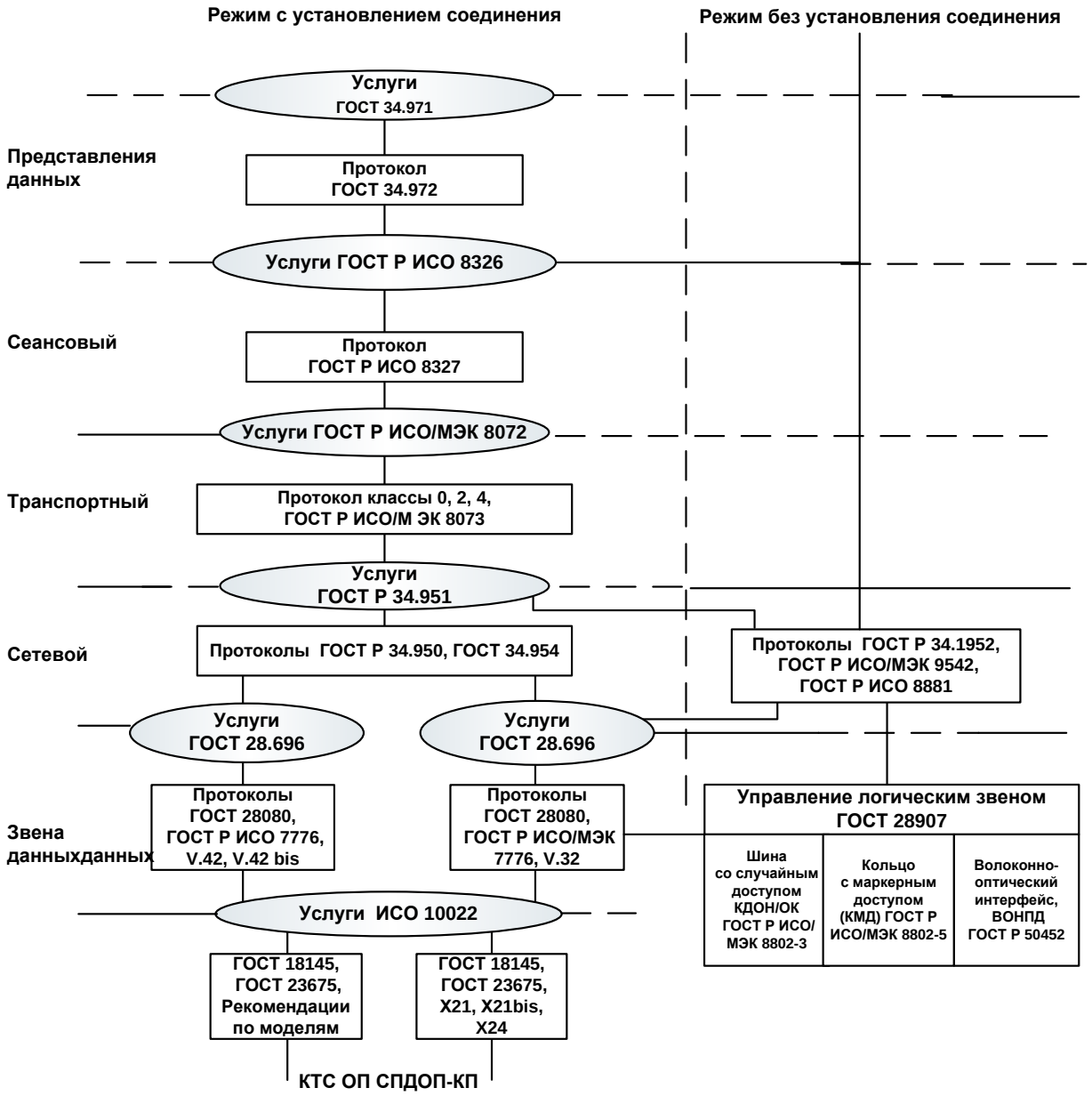


Рис. 5.5б. Фрагмент Госпрофиля ВОС России (версия 1)

5.6. Функции уровней ЭМВОС

Разработка эталонной модели ВОС была необходима для решения проблемы несовместимости устройств, использующих разные коммуникационные протоколы, большое количество которых было разработано к концу 70-х годов прошлого столетия. Модель разрабатывалась в течение семи лет (с 1977 по 1984 год) [1] и стала своего рода универсальным языком сетевых специалистов.

Модель ВОС определяет:

уровни взаимодействия систем в сетях с коммутацией пакетов;

стандартные названия уровней;
функции, которые должен выполнять каждый уровень.

Модель ВОС не содержит описаний реализаций конкретного набора протоколов.

Эталонная модель ВОС (за исключением физической среды) показана на рис. 5.6. [6].

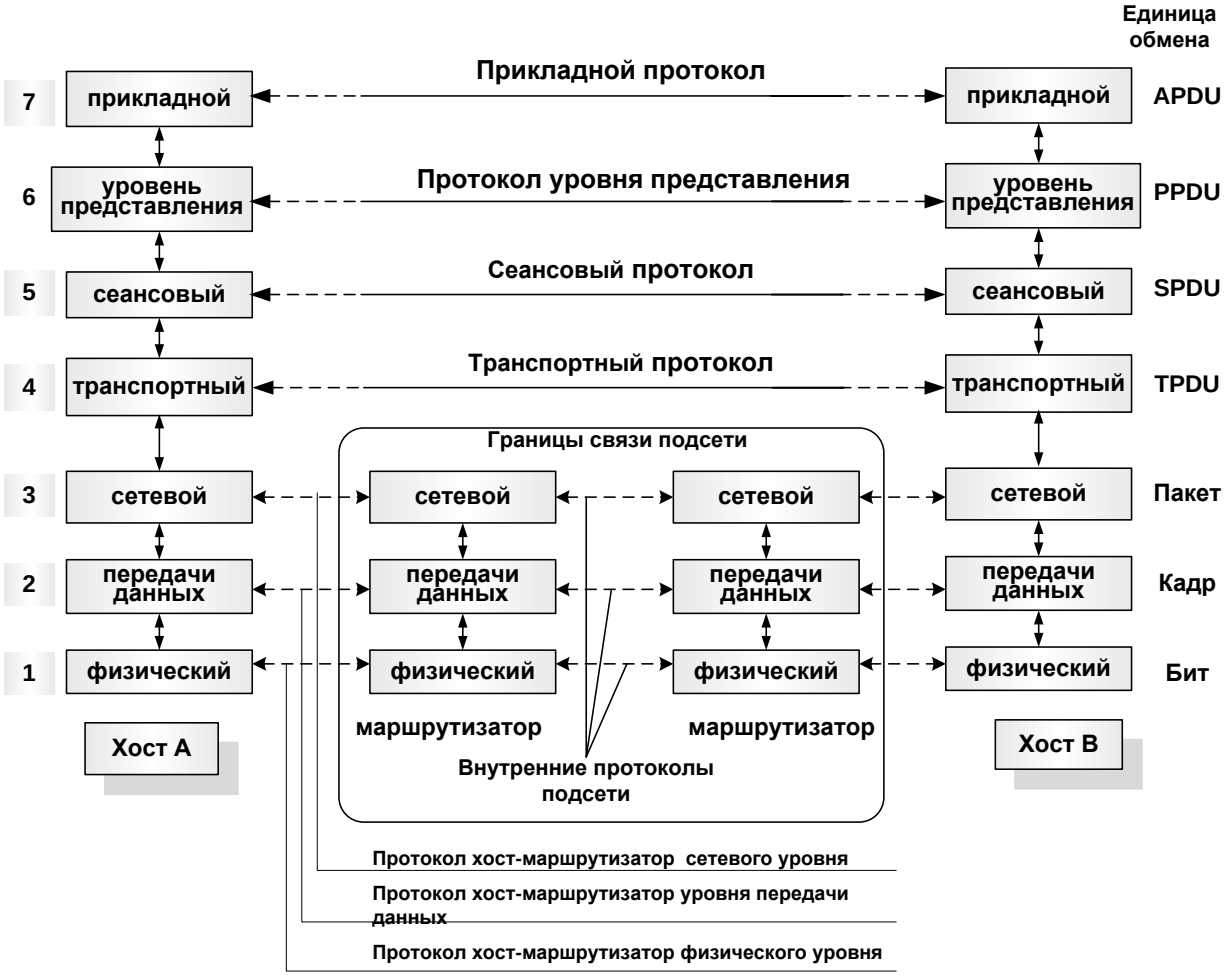


Рис. 5. 6. Эталонная модель ВОС

Физический уровень. Вопросы разработки физического уровня, в основном, связаны с механическими, электрическими и процедурными интерфейсами, а также с физическим носителем, лежащим ниже физического уровня.

К таким вопросам относятся: дуплекс, полудуплекс или симплекс; как устанавливается начальная связь и как она прекращается; из какого количества проводов должен состоять кабель и какова функция каждого провода и др.

Физический уровень имеет дело с передачей потока битов по физическим каналам связи и не вникает в смысл информации, которую он передает. Его задача – доставить эту информацию без искажений в соответствии с заданной тактовой частотой. Функции физического уровня реализуются на всех устройствах, подключенных к сети.

Уровень передачи данных (или канальный уровень) обеспечивает прозрачность соединения для сетевого уровня, предлагая ему следующие услуги:

установление логического соединения между взаимодействующими узлами;

согласование в рамках соединений скоростей передатчика и приемника информации;

обеспечение надежной передачи, обнаружение и коррекция ошибок.

Эти задачи выполняются с помощью разбиения входных данных на *кадры*, размер которых колеблется от нескольких сот до нескольких тысяч байт. Пакет сетевого уровня помещается в поле данных одного или нескольких кадров, а заголовок кадра заполняется собственной служебной информацией канального уровня. Важнейшей информацией заголовка кадра является адрес назначения, на основании которого коммутаторы сети будут продвигать пакет. К основным функциям канального уровня относятся:

Обнаружение и коррекция ошибок. Для этого используется контрольная сумма на кадр, которая вычисляется по некоторому алгоритму как функция от всех байтов кадра. На приемной стороне канальный уровень группирует получаемые с физического уровня биты в кадры, снова вычисляет контрольную сумму и сравнивает ее с полученной в кадре. При совпадении контрольных сумм кадр считается принятым правильно, при несовпадении – фиксируется ошибка;

Исправление ошибочных кадров путем повторной их передачи. Эта функция не является обязательной и в некоторых реализациях, например, в Ethernet, она отсутствует;

Проверка доступа к среде (для сетей с разделяемой средой). Эта функция иногда выделяется в отдельный подуровень управления доступом к среде (Medium Access Control, MAC).

В локальных сетях в некоторых случаях протоколы канального уровня оказываются самодостаточными транспортными средствами и могут допускать работу непосредственно поверх себя протоколов прикладного уровня или приложений без привлечения средств сетевого и транспортного уровней.

Сетевой уровень служит для образования единой транспортной системы, объединяющей несколько разнородных сетей (например, Ethernet, FDDI, Token Ring), являясь, таким образом, носителем технологии межсетевого взаимодействия [1]. Он определяет маршруты пересылки пакетов от источника к пункту назначения. Маршруты могут быть жестко заданы в виде таблиц и редко меняться, либо автоматически изменяться. Функции сетевого уровня реализуются группой протоколов и специальными устройствами – маршрутизаторами. Маршрутизатор осуществляет физическое соединение сетей и имеет несколько сетевых интерфейсов, подобных интерфейсам компьютера, к каждому из которых может быть подключена одна сеть. Таким образом, все интерфейсы маршрутизатора можно считать узлами разных сетей. В состав программного обеспечения входят протокольные модули сетевого уровня. Чтобы организовать единую транспортную сеть для нескольких разнородных сетей, необходимо соединить все эти сети маршрутизаторами и установить протокольные модули сетевого уровня на все конечные узлы пользователей, которые хотели бы связываться через такую составную сеть.

Данные, поступающие из вышеуказанного транспортного уровня, снабжаются заголовком сетевого уровня и образуют пакет – протокольную единицу данных сетевого уровня. Заголовок пакета сетевого уровня имеет унифицированный формат, не зависящий от форматов кадров канального уровня тех сетей, которые могут входить в составную сеть, и содержит адрес назначения этого пакета. Чтобы передать пакет через очередную сеть, сетевой уровень маршрутизатора помещает пакет в поле данных кадра соответствующей этой сети канальной технологии, указывая в заголовке кадра канальный адрес интерфейса следующего маршрутизатора. Сеть доставляет кадр с вложенным в него пакетом по заданному адресу, где пакет извлекается из прибывшего кадра и после необходимой обработки передается для дальнейшей транспортировки в следующую сеть. Предварительно маршрутизатор упаковывает этот пакет в новый кадр канального уровня в общем случае другой технологии. Так сетевой уровень координирует совместную работу сетей, построенных на основе разных технологий.

Транспортный уровень принимает данные от сеансового уровня, разбивает их при необходимости на части и передает их сетевому уровню, гарантируя, что эти части в правильном виде прибудут к месту назначения. Транспортный уровень определяет тип сервиса, предоставляемого сеансовому уровню и, в конечном счете, пользователям сети. Модель ВОС различает пять классов транспортного сервиса от нижнего нулевого до высшего четвертого класса. Классы сервиса отличаются качеством предоставляемых услуг: срочностью, возможностью восстановления прерванной связи, наличием средств мультиплексирования нескольких соединений, а также способностью к обнаружению и исправлению ошибок в передаче, таких как искажение, потеря и дублирование пакетов. Тип сервиса определяется при установлении соединения и зависит от степени надежности, обеспечиваемой более высокими, чем транспортный уровнями, а также нижележащими уровнями: сетевым, канальным, физическим.

Если транспортные средства нижних уровней достаточно надежны, то пользуются облегченными сервисами транспортного уровня, если же надежность нижних уровней невысока, то обращаются к наиболее развитому сервису транспортного уровня, который использует максимум средств для обнаружения и устранения ошибок, включая предварительное установление логического соединения, контроль доставки сообщений по контрольным суммам и циклической нумерации пакетов, установление тайм-аутов доставки и т. п.

Протоколы нижних четырех уровней называют сетевым транспортом или транспортной подсистемой, т. к. они полностью решают задачу транспортировки сообщений с заданным уровнем качества в составных сетях с произвольной топологией и различными технологиями [1], причем транспортный уровень является первым в этой группе сквозным уровнем, обеспечивающим доставку сообщений от источника к адресату (рис. 5.6). При анализе архитектуры телекоммуникационных сетей рассматривают только эти четыре уровня, т. к. три верхних решают задачи предоставления прикладных сервисов и относятся к архитектуре инфокоммуникационных сетей.

Сеансовый уровень позволяет пользователям устанавливать сеансы связи друг с другом. При этом предоставляются различные типы сервиса: управление диалогом, т. е. отслеживание очередности передачи данных, управление маркерами, т. е. предотвращение одновременного выполнения критической операции несколькими системами и синхронизация, т. е. установка служебных меток внутри длинных сообщений, позволяющих продолжить передачу с того места, на котором она оборвалась, даже после сбоя и восстановления [6]. На практике немногие приложения используют сеансовый уровень, и он регулярно реализуется в виде отдельных протоколов. Функции этого уровня часто объединяют с функциями прикладного уровня и реализуют в одном протоколе.

Уровень представления занимается в большей части синтаксисом и семантикой передаваемой информации. С помощью средств данного уровня протоколы прикладных уровней могут преодолеть синтаксические различия в представлении данных или же различия в кодах символов. На этом уровне могут выполняться шифрование и дешифрование данных, благодаря которым секретность обмена данными обеспечивается сразу для всех прикладных служб.

Прикладной уровень – это набор разнообразных протоколов, с помощью которых пользователи сети получают доступ к разделяемым ресурсам, таким как файлы, принтеры или гипертекстовые веб-страницы, а также организуют свою совместную работу, например, по протоколу электронной почты. Одним из наиболее распространенных является протокол передачи гипертекста HTTP (Hyper Text Transfer Protocol), который составляет основу технологии Всемирной паутины. Прикладной уровень является носителем сетевых служб, которые определяют для пользователя качество сервиса (QoS – Quality of Service) сети. С этим связан ряд особенностей, отличающих его от других уровней (физический уровень, являющийся последним с другой стороны ЭМВОС, также

имеет ряд особенностей взаимодействия с внешней физической средой). На седьмом уровне более наглядно представлены понятия «услуга» и «сервис», как совокупность услуг, предоставляемых 7-м уровнем для внешних прикладных процессов.

«Сетевая служба», как разновидность сервиса верхнего 7-го уровня ЭМВОС, представляет собой совокупность программно-технических средств, реализующих согласованные по горизонтали функции 7-го уровня и всех расположенных ниже уровней ЭМВОС и обеспечивающих предоставление пользователям ИКС функционально связанного набора услуг.

Рассмотрим более подробно функциональное наполнение прикладного уровня, а также уточним ранее введенные и определим новые понятия, используемые при его описании.

Прикладной процесс – это идентифицируемый объект в рамках реальной открытой системы, выполняющий обработку информации и использующий, посредством интерфейса, функции взаимосвязи открытых систем. Прикладной процесс в рамках модели ВОС представляется одним или несколькими прикладными объектами.

Прикладные объекты – активные объекты открытой системы, объединяющие те элементы прикладного процесса, которые принимают участие в обмене информацией между открытыми системами, и формирующие прикладное взаимодействие.

Элементы прикладных услуг (ЭПУ) – множество прикладных услуг, которыми представляется прикладной объект.

Близкие по функциям ЭПУ группируются в *наборы элементов прикладных услуг*, основными из которых являются следующие:

1. *Набор элементов общих прикладных услуг (ОПУ),* содержащий функционально связанные группы общих прикладных услуг, объединенные в *сервисные элементы*, такие как:

СЭУА – сервисный элемент управления ассоциацией;

СЭНП – сервисный элемент надежной передачи;

СЭУО – сервисный элемент удаленных операций;

СЭОУИ – сервисный элемент общей управляющей информации и др.

2. *Набор элементов специальных прикладных услуг (СПУ),* содержащий функционально связанные группы специальных прикладных услуг, объединенных в *службы прикладного уровня*, такие как:

служба передачи доступа и управления файлами (ПДУФ);

служба обработки сообщений (СОС);

служба сетевого справочника (СС);

служба виртуального терминала (ВТ);

служба обмена электронными данными (ОПС);

служба административного управления сетью (АУ);

служба безопасности (СБ) и др.

3. *Набор элементов услуг пользователя (УП),* создаваемых разработчиком прикладной системы.

Взаимосвязь между элементами услуг прикладного уровня (общих и специальных услуг) показана на рис. 5.7.

Необходимо отметить, что модель ВОС и ее уровни разрабатывались более 30-ти лет назад, в основном, для компьютерных сетей и тогда еще не предполагалось, что эти сети будут использоваться для передачи аудио- и видеоинформации, заменяя телефонные и телевизионные сети. Поэтому при построении архитектуры инфокоммуникационных сетей верхние уровни модели ВОС должны быть дополнены специальными протоколами для обмена аудио- и видеоинформацией.

Потребуется, по нашему мнению, поиск новых протоколов и для нижних уровней ВОС, более эффективных для передачи аудио- и видеоинформации, чем ныне существующие протоколы передачи данных.

Рис. 5.7. Взаимосвязь между элементами услуг прикладного уровня

5.7. Эталонная модель TCP/IP

Краткое описание модели

Как уже ранее отмечалось в разделе 5.3, в настоящее время существует ряд различных архитектур, ставших международными стандартами. Наиболее известна эталонная модель TCP/IP, использовавшаяся в компьютерной сети ARPANET, наследницей которой впоследствии стала всемирная сеть Интернет [6]. ARPANET была исследовательской сетью, финансируемой США. Когда появилась необходимость объединения с другими сетями (спутниковыми, радиосетями и др.) возникла проблема их взаимодействия. Понадобилась новая эталонная архитектура, которая позднее получила название эталонной модели TCP/IP в соответствии со своими двумя основными протоколами. К сети со стороны Министерства обороны США предъявлялись жесткие требования по надежности и живучести, а также требования передачи речи в реальном времени. Все эти требования обусловили выбор модели сети с коммутацией пакетов, в основе которой лежал не имеющий соединений межсетевой уровень. На рис. 5.8 этот уровень соответствует примерно сетевому уровню в модели ВОС.

Нижние два уровня описывают действия, которые должны удовлетворить потребности межсетевого уровня. Это скорее не уровень, а интерфейс между каналами передачи и узлами. Межсетевой уровень этой модели – основа всей архитектуры. Его задача – обеспечить каждому хосту возможность посылать пакеты в любую сеть

и независимо двигаться к пункту назначения, куда пакеты могут прибывать в любом порядке. Упорядочиванием последовательности пакетов занимаются более верхние уровни.

Рис. 5.8. Эталонная модель TCP/IP

Межсетевой уровень определяет официальный формат пакета и протокол IP с дополнительным протоколом ICMP (Internet Control Message Protocol, межсетевой протокол управления сообщениями). Задачей межсетевого протокола является доставка IP–пакетов к пунктам назначения, т. е. выбор маршрута и недопущение закупорки транспортных артерий.

На транспортном уровне используются два сквозных протокола. Первый протокол управления передачей TCP (Transmission Control Protocol) – протокол с установлением соединений разбивает входной поток байтов на отдельные сообщения и передает их межсетевому уровню. На пункте назначения получающий TCP-процесс собирает из полученных сообщений выходной поток.

Кроме того, в задачи TCP входит управление потоком, чтобы быстрый отправитель не завалил информацией медленного получателя.

Второй протокол этого уровня – протокол пользовательских дейтаграмм UDP (User Datagram Protocol) является ненадежным протоколом без установления соединения. Он широко используется в одноразовых клиент-серверных запросах и приложениях, в которых оперативность важнее аккуратности, например, при передаче речи и видео.

В модели TCP/IP нет сеансового уровня и уровня представления. Опыт работы с моделью BOC доказал правоту этой точки зрения: большинство приложений мало нуждаются в этих уровнях.

Над транспортным уровнем располагается прикладной уровень, который содержит все протоколы высокого уровня. Одними из первых были протоколы виртуального терминала (TELNET), протокол переноса файлов (FTP) и протокол электронной почты (SMTP). В дальнейшем добавилось много новых протоколов, таких как DNS (Domain Name Service – служба имен доменов), позволяющая преобразовывать имена хостов в сетевые, HTTP, протокол, используемый для создания страниц на World Wide Web, а также RTP – протокол для представления мультимедиа в реальном времени.

Сравнение эталонных моделей BOC и TCP/IP

Модели BOC и TCP/IP имеют много общего. Они основаны на концепции стека независимых протоколов и имеют во многом похожие функциональные уровни.

Например, в обеих моделях уровни, начиная с транспортного и выше, предоставляют сквозную, не зависимую от сети транспортную службу и являются прикладными потребителями транспортных сервисов.

Но имеются и существенные различия. Для модели ВОС центральным являются три концепции: служб, интерфейсов и протоколов. Эти концепции хорошо соответствуют современным идеям объектно-ориентированного программирования. Уровень может быть представлен в виде объекта, обладающего набором методов (операций), к которым может обращаться внешний процесс. Параметры и результаты методов образуют интерфейс объекта. Внутреннее устройство объекта можно сравнить с протоколом уровня. За пределами объекта оно никого не интересует и никому не видно.

В модели TCP/IP изначально не было четкого разделения между службами, интерфейсами и протоколами. В результате в модели ВОС протоколы скрыты лучше и при изменении технологии они могут быть относительно легко заменены. Возможность проводить подобные изменения, не затрагивая другие уровни, является одной из главных целей многоуровневых протоколов. Другое отличие состоит в том, что модель ВОС была разработана раньше, чем появились для нее протоколы. С одной стороны это делало ее более универсальной, но с другой стороны разработчики модели не имели четкого представления, какие функции должен выполнять каждый уровень. Поэтому, когда на базе модели ВОС стали строить реальные сети с использованием существующих протоколов, оказалось, что они не соответствуют требуемым спецификациям служб. Для устранения этого несоответствия в модель пришлось добавлять дополнительные подуровни. С моделью TCP/IP было все наоборот: сначала появились протоколы, а потом под них была создана модель. Но модель эта не соответствовала никаким другим стекам протоколов, кроме TCP/IP.

И конечно, модели отличаются числом уровней: в модели ВОС их семь, а в модели TCP/IP – четыре. Модель ВОС на сетевом уровне поддерживает режимы связи как с установлением, так и без установления соединения. В модели TCP/IP на сетевом уровне поддерживается только режим без установления соединения, а на транспортном – оба режима.

Таким образом, обе эти модели и их протоколы не являются совершенными. Считается [6], что модель ВОС не получила широкого распространения по следующим причинам:

1. *Несвоевременность*. Когда появились протоколы модели ВОС, среди исследовательских университетов уже получили широкое распространение конкурирующие с ними протоколы TCP/IP. Поэтому разработчики в университетах не захотели поддерживать второй стек протоколов. Каждая компания выжидала, пока первым начнет кто-нибудь другой, поэтому модель ВОС так никто и не стал поддерживать;

2. *Плохая технология*. Выбор семиуровневой модели стал больше политическим решением, чем техническим. В результате два уровня (сеансовый и уровень представления) оказались почти пусты, тогда как два других (сетевой и канальный) перегружены;

3. *Неудачная реализация*. Реализация протоколов модели ВОС шла очень медленно, а полученные решения характеризовались, как громоздкие. Первые реализации TCP/IP, наоборот, оказались неплохими, что привлекло к ним большое число пользователей.

4. *Неудачная политика*. В университетских кругах США TCP/IP считали частью системы UNIX, которая была близка им. Модель ВОС считалась детищем европейских телекоммуникационных министерств и (позднее) правительства США. Участие чиновников в проталкивании неудачного в техническом отношении стандарта стало отрицательным фактором в его продвижении.

Конечно, много недостатков имеет и модель TCP/IP с ее протоколами.

Во-первых, в ней нет четкого разграничения концепций служб, интерфейсов и протоколов, что делает ее довольно бесполезной при разработке сетей, использующих новые технологии.

Во-вторых, модель TCP/IP не является общей и плохо описывает другие стеки протоколов. Например, с ее помощью совершенно невозможно описать технологию Bluetooth.

В-третьих, канальный уровень в TCP/IP не является уровнем в общепринятом смысле. Это скорее интерфейс между сетью и уровнями передачи данных.

В-четвертых, в модели TCP/IP не различаются физический и канальный уровни. Об этом различии даже нет упоминания. Между тем, они абсолютно разные.

И последнее, хотя протоколы IP и TCP были довольно тщательно продуманы и неплохо реализованы, многие другие протоколы стека разрабатывались несколькими студентами, пока им это занятие не наскучило. Но их реализация свободно распространялась и получила широкое признание. Но теперь некоторые из них стали серьезным препятствием на пути прогресса. В своих работах [7–9] мы неоднократно отмечали недостатки протоколов TCP/IP, особенно в части использования их для передачи аудио- и видеоинформации, и полагаем, что телекоммуникационному сообществу еще предстоит разработка новых моделей взаимосвязи открытых систем с учетом работ по созданию инфокоммуникационных сетей нового поколения классов 4, 5.

5.8. Стеки протоколов

Мы рассмотрим здесь наиболее известные стеки протоколов, к которым относятся [1]: OSI (BOC), TCP/IP, IPX/SPX, NetBIOS/SMB, Decnet, SNA.

Стек BOC. Понятие модель и стек протоколов BOC различаются: модель BOC – это концептуальная схема взаимосвязи открытых систем, а стек – набор спецификаций конкретных протоколов. Стек BOC полностью соответствует модели BOC, включая спецификации протоколов для всех семи уровней, как это показано на рис. 5.8.

Стремление разработчиков учесть в своих протоколах все многообразие существующих и новых технологий сделало стек протоколов BOC сложным и неоднозначным. На физическом и канальном уровнях стек BOC поддерживает протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI, а также протоколы LLC, X.25, и ISDN, согласуясь в этом с другими стеками.

Сетевой уровень включает сравнительно редко используемый протокол CONP (Connectionoriented Network Protocol), ориентированный на соединение, и CLNP (Connectionless Network Protocol), не ориентированный на соединение. Более популярны протоколы маршрутизации этого стека ES – IS (End System – Intermediate System) между конечной и промежуточной системами и IS-IS (Intermediate System – Intermediate System) между промежуточными системами.

Транспортный уровень стека BOC в соответствии со своими функциями скрывает различия между сетевыми сервисами с установлением и без установления соединения, так что пользователи получают требуемое качество обслуживания независимо от нижележащего сетевого уровня.

Наиболее популярными в службах прикладного уровня являются служба каталогов (стандарт X.500), электронная почта (X.400), протокол виртуального терминала (VTP), протокол передачи, доступа и управления файлами (FTAM), протокол пересылки и управления работами (JTM).

Стек IPX/SPX является оригинальным стеком протоколов фирмы Novell, разработанным для сетевой операционной системы Net Ware еще в начале 80-х годов. Структура стека и его соответствие модели BOC показаны на рис. 5.9. Название стеку дали протоколы сетевого и транспортного уровней – IPX (Internetwork Packet Exchange)

и SPX (Sequenced Packet Exchange). К сетевому уровню этого стека отнесены также протоколы маршрутизации RIP и NLSP. Представителями трех верхних уровней являются два популярных протокола: протокол удаленного доступа к файлам NCP (Net Ware Core Protocol) и протокол объявления о сервисах SAP (Service Advertising Protocol).

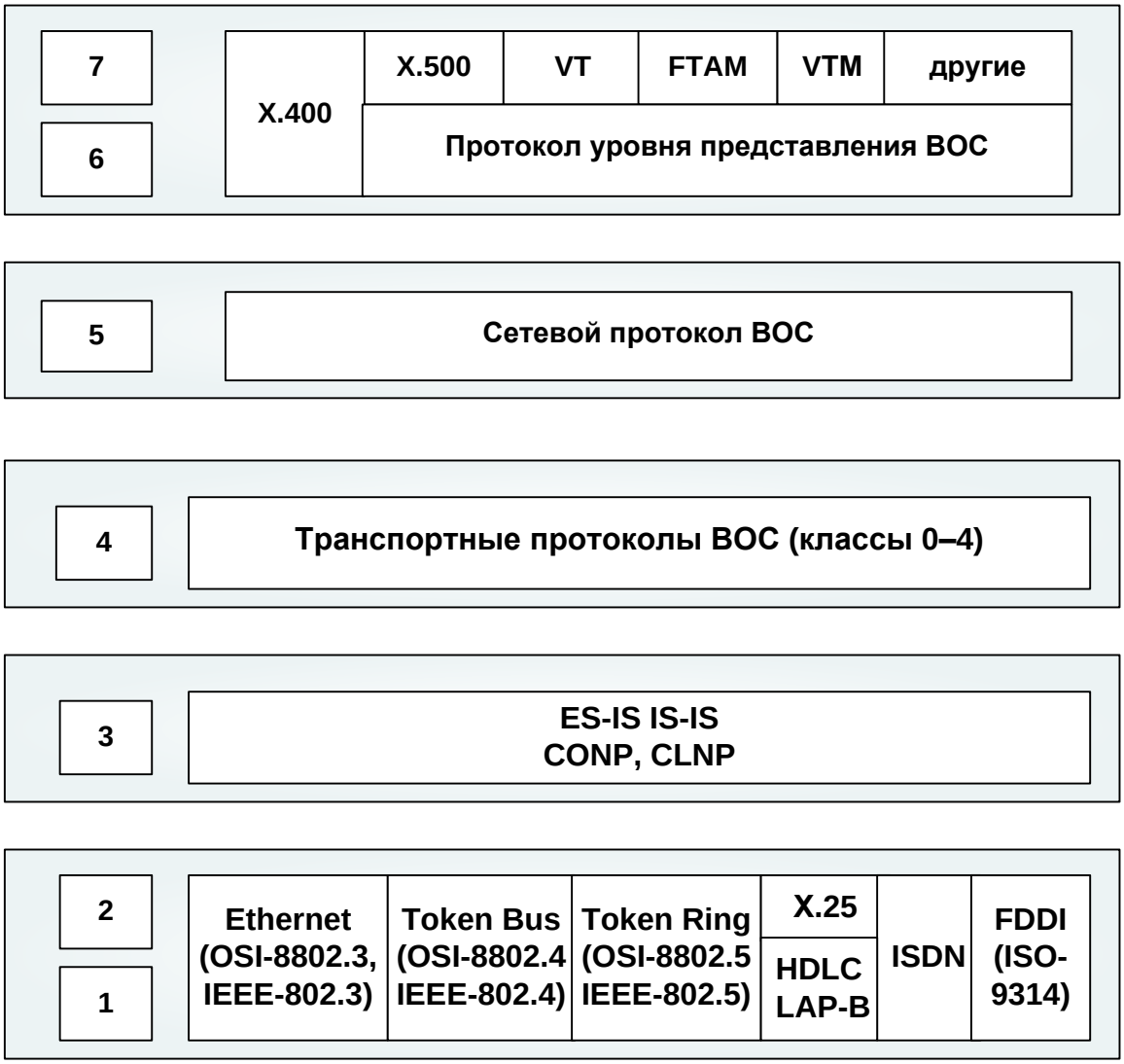


Рис. 5.8. Стек протоколов ВОС

До 1996 года стек IPX/SPX был безусловным лидером по числу установленных копий, но в 1998 году картина резко изменилась – вперед вышел стек TCP/IP.

Изначально стек IPX/SPX ориентировался на работу в локальных сетях небольших размеров, состоящих из компьютеров со скромными ресурсами. Поэтому на реализацию протоколов могло быть выделено минимальное количество оперативной памяти и ограниченная вычислительная мощность. Кроме того, так как этот стек является собственностью фирмы Novell, на его реализацию нужно было получать лицензию.

Стек NetBIOS/SMB является совместной разработкой компании IBM и Microsoft (рис. 5.10). На физическом и канальном уровнях этого стека задействованы распространенные в других стеках протоколы Ethernet, Token Ring, FDDI, а на верхних уровнях – специфические протоколы NetBIOS и SMB.

Протокол NetBIOS (Network Basic Input/Output System) появился в 1984 году как сетевое расширение стандартных функций базовой системы ввода – вывода (BIOS)

IBM PC для сетевой программы PC Network фирмы IBM. В дальнейшем этот протокол был заменен протоколом расширенного пользовательского интерфейса NetBEUI (NetBIOS Extended User Interface). Для совместимости приложений в качестве интерфейса к протоколу NetBEUI был сохранен интерфейс NetBIOS. NetBEUI разрабатывался как эффективный протокол, потребляющий немного ресурсов и предназначенный для сетей, насчитывающих не более 200 рабочих станций. Он содержит много полезных сетевых функций, которые можно отнести к транспортному и сеансовому уровням модели ВОС, однако с его помощью невозможна маршрутизация пакетов. Это делает невозможным его использование в составных сетях.

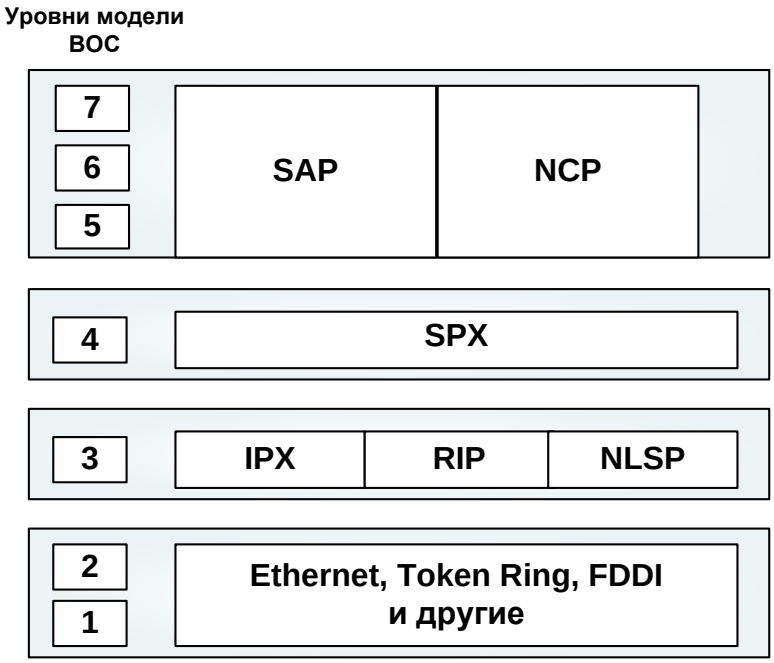


Рис. 5.9. Стек протоколов IPX/SPX

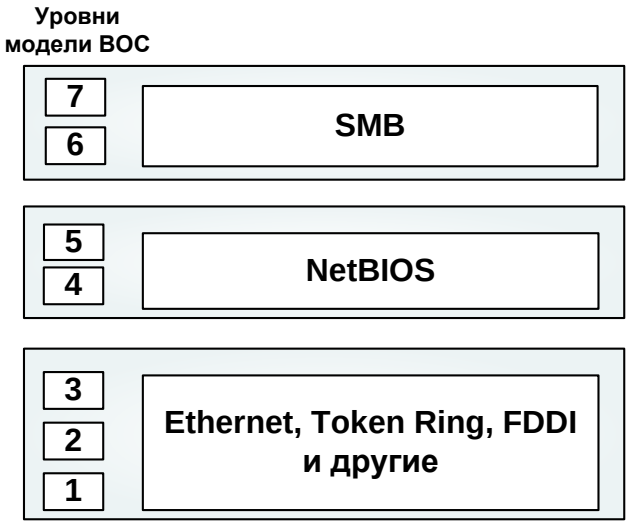


Рис. 5.10. Стек протоколов NetBIOS/SMB

Протокол SMB (Server Message Block) поддерживает функции сеансового уровня, уровня представления и прикладного уровня. На основе SMB реализуется файловая служба, а также службы печати и передачи сообщений между приложениями.

Стек TCP/IP был разработан по инициативе Минобороны США более 20 лет назад для связи экспериментальной сети ARPANET с другими сетями. Большой вклад в развитие стека TCP/IP внес университет Беркли, реализовав протоколы стека в своей версии ОС Unix. Популярность этой операционной системы привела к широкому распространению протоколов TCP, IP и других протоколов стека. Сегодня этот стек используется для связи компьютеров в Интернет, а также в ограниченном числе корпоративных сетей.

В заключение рассмотрим, в какой степени популярные стеки протоколов соответствуют рекомендациям модели ВОС (рис. 5.11) [1].

Из рис. 5.11 видно, что структура стеков популярных протоколов часто не соответствует рекомендуемому моделью ВОС разбиению на уровни. Чаще всего в стеке выделяются 3–4 уровня: уровень сетевых адаптеров, в котором реализуется протоколы физического и канального уровней, сетевой уровень, транспортный уровень и уровень служб, выполняющий функции трех верхних уровней.

<table>
<tr><th>Модель ВОС</th><th>IBM/Microsoft</th><th>TCP/IP</th><th>Novell</th><th>Стек ВОС</th></tr>
<tr><td>Прикладной</td><td rowspan="2">SMB</td><td rowspan="2">Telnet, FTP, SNMP, SMTP, WWW</td><td rowspan="3">NCP, SAP</td><td>X.400, X.500, FTAM</td></tr>
<tr><td>Представления</td><td>Протокол уровня представле-ния ВОС</td></tr>
<tr><td>Сеансовый</td><td rowspan="2">NetBIOS</td><td rowspan="2">TCP</td><td>Сеансовый протокол ВОС</td></tr>
<tr><td>Транспортный</td><td>SPX</td><td></td></tr>
<tr><td>Сетевой</td><td></td><td>IP, RIP, OSPF</td><td>IPX, RIP, NLSP</td><td>ES-ES,IS-IS</td></tr>
<tr><td>Канальный</td><td colspan="4">802.3 (Ethernet), 802.5 (Token Ring), FDDI, ATM, PPP</td></tr>
<tr><td>Физический</td><td colspan="4">Коаксиал, экранированная и неэкранированная витая пара, оптоволокно, радиоволны</td></tr>
</table>

Рис. 5.11. Соответствие популярных стеков протоколов модели ВОС

Кроме того, нарушается требование идеальной многоуровневой декомпозиции об ответственности всех модулей одного уровня за решение общей для всех них задачи. Так, например, основной функцией сетевого уровня стека TCP/IP является передача пакетов через составную сеть. Для ее решения в стеке предусмотрено несколько протоколов: протокол продвижения IP-пакетов и протоколы маршрутизации RIP, OSPF и др. Следуя формальному принципу иерархической организации стека, OSPF следовало бы отнести к транспортному, а RIP – к прикладному уровню. На практике же протоколы маршрутизации обычно включают в сетевой уровень. Эти несоответствия еще раз подтверждают мысль о том, что для инфокоммуникационных сетей нового поколения (классы ИКС-4, ИКС-5) необходима разработка новых более совершенных моделей и стеков протоколов.

Литература

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб: Питер, 2012. – 944 с.

2. Бушуев С. Н. Организация распределенного преобразования информации в информационно-технических системах. – СПб: ВАС, 1994. – 226 с.

3. Якубайтис Э. А. Информационные сети и системы: Справочная книга. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 368 с.

4. Толковый словарь по вычислительным системам / Под ред. В. Иллингуорта и др.: Пер. с англ. Белоцкого А. К. и др.; Под ред. Е. К. Масловского, – М.: Машиностроение, 1990. – 560 с.

5. Жигадло В. Э. Архитектура телекоммуникационных сетей. – СПб.: ВУС, 1999. – 388 с.

6. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – СПб: Питер, 2012. – 960 с.

7. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. 2-е изд. / Под ред. профессора В. С. Шибанова – СПб: Наука, 2004. – 404 с.

8. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в Глобальной информационной инфраструктуре/ Под ред. Б. Я. Советова. – СПб: Наука, 2008. – 552 с.

9. Воробьев С. П., Давыдов А. Е., Курносов В. И. Жизненный цикл инфокоммуникационных сетей/ Под ред. проф. С. П. Воробьева. – М.: Наука, 2011. – 344 с.

ГЛАВА 6. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

В предыдущих главах были рассмотрены фундаментальные понятия структуры и архитектуры инфокоммуникационных сетей, каждому из которых соответствует свое самостоятельное направление исследований и разработок.

Следующим направлением исследований и разработок будет предложен жизненный цикл (ЖЦ) инфокоммуникационных сетей (ИКС), как объект, включающий в себя кроме технической системы также процессы разработки, создания, эксплуатации и развития, являясь, тем самым, более сложной системой, чем структура и архитектура ИКС.

Как любая сложная система, ЖЦ ИКС характеризуется набором технических, вероятностно-временных и экономических характеристик, а также эффективностью, определяемой пользой для ее владельцев и абонентов от результатов жизнедеятельности системы.

Оценка этих характеристик требует разработки соответствующих методов анализа, а необходимость построения оптимальной структуры жизненного цикла требует создания методов оптимизации ЖЦ по выбранному критерию эффективности. Такие методы в отечественной технической литературе практически отсутствуют, впрочем, как и результаты исследований по другим аспектам построения жизненного цикла сложных систем.

В этой главе будут обсуждены основные понятия и структура жизненного цикла ИКС, задачи и основные принципы повышения его эффективности, а также социально-финансовая база инфокоммуникаций, как решающий фактор эффективного функционирования системы в течение ее жизненного цикла.

Три направления исследований, результаты которых составят теоретическую базу инфокоммуникационных сетей, будут представлены в отдельной книге настоящей энциклопедии «Методы анализа и оптимизации структуры, архитектуры и жизненного цикла инфокоммуникационных сетей».

6.1. Понятие жизненного цикла системы

6.1.1. Жизнеописание системы

Слово «система» употребляют для обозначения многих вещей, используемых в самых различных целях. Например, система дифференциальных уравнений, система тотализатора на скачках и т. д. Такие системы нами не рассматриваются. В нашем случае рассматриваются системы, представляющие собой совокупность взаимодействующих элементов (частей), предназначенных для выполнения определенной функции, а именно функции инфокоммуникационной системы по генерации, обработке, передаче, преобразованию, хранению и отображению информации [1]. Такие системы могут иметь вид небольшого устройства, блока, стойки, или совокупности блоков, стоек, распределенных в локальном пространстве (комната, зал, здание) и соединенных линиями связи, или совокупности комплексов таких устройств, распределенных в пространстве на удалении в десятки, сотни и тысячи километров и соединенных каналами связи различной физической природы. Последний класс систем назовем глобальными инфокоммуникационными сетями, которые и будут основным предметом рассмотрения в данной книге.

Биография (жизнеописание, жизненный цикл) новой системы начинается с замысла, возникшего в мозгу человека. Ее биография заканчивается полной заменой всех физических систем, явившихся результатом первоначального замысла, чем-то более современным, более новым и совершенным.

Одна из замечательных характеристик системы – ее долговечность. С момента утверждения новой концепции системы до превращения в металлолом последнего

сохранившегося образца может пройти 20 и более лет. Инфокоммуникационные сети (ИКС) с учетом их развития, совершенствования, введения новых служб и услуг могут функционировать и значительно большее время. Это накладывает определенные требования на все другие характеристики жизненного цикла системы.

Рассмотрение длительной биографии новой системы невозможно без подразделения ее на множество более простых этапов, которые должны быть определенным образом упорядочены. Необходимость упорядочивания вызывается следующими причинами:

очередной этап не может быть начат до получения определенной информации. Например, подготовка планов может задержаться из-за отсутствия необходимых данных, сборка системы невозможна без завершения производства определенных подсистем;

очередной этап не может быть начат по каким-либо физическим причинам, например, нельзя произвести сварку узлов при отсутствии некоторых деталей.

Упорядочивание не носит абсолютного характера, так как в некоторых случаях возможно изменение очередности этапов, поэтому проектирование подсистем можно осуществлять последовательно или параллельно, или комбинировать оба эти метода.

Упорядоченную последовательность этапов удобно представить в виде блок-схем, отражающих расположение и последовательность этапов во времени. Такое представление позволяет:

выявить источники и виды информации, необходимые на каждом этапе;

показать, что на различных этапах в создании новой системы принимают участие большое число людей разнообразных профессий и квалификаций, которые должны быть объединены определенными правилами поведения и методами хранения и передачи информации, нарабатываемой в процессе создания системы;

продемонстрировать возможности и порядок применения различных математических средств и методов в течение жизнедеятельности системы.

Упрощенная блок-схема жизненного пути новой системы представлена на рис. 6.1 [2].

Так как новая система еще не существует, она должна быть спроектирована на бумаге. Прежде чем будут выделены денежные средства на последующие работы, проект должен быть тщательно проверен вплоть до макетирования системы и проведения испытаний. Если первая попытка неудачна, проект уточняется и модифицируется до тех пор, пока не будут получены приемлемые рабочие характеристики. После этого все необходимые изменения и улучшения вносятся в один или несколько опытных образцов.

Перед этапом изготовления опытных и серийных образцов возникает необходимость разработки новых методов производства и технологической оснастки, а также методики испытаний и испытательной аппаратуры. Перед тем, как приступить к серийному производству, необходимо иметь чертежи и инструкции, производственную базу, технологическую оснастку, сырьевые материалы и рабочую силу.

Для обеспечения высокого качества изготовленного изделия необходимо провести испытания его составных частей, подсистем и системы в целом. Учитывая длительные сроки эксплуатации, для технического обслуживания и ремонта системы необходимо предусмотреть изготовление и производство запасных частей.

Изготовленные системы транспортируются к месту установки и эксплуатации. Сложные системы перевозятся в разобранном виде с последующие сборкой на месте установки. Во время эксплуатации в соответствии с регламентом проводятся эксплуатационные испытания системы, текущий и другие виды ремонта.

Снятие с эксплуатации последнего образца знаменует конец всего поколения данной системы.

На рис. 6.1 показаны еще два блока, обозначенные «Реклама» и «Сбыт». Эти этапы могут охватывать большой промежуток времени в жизнедеятельности системы.

Рекламирование и продажу следует начинать уже на этапе подготовки к производству. В этом случае мероприятия по организации сбыта будут способствовать созданию спроса

на первые партии изделий. Эта деятельность будет продолжаться в течение почти всего срока жизни системы.

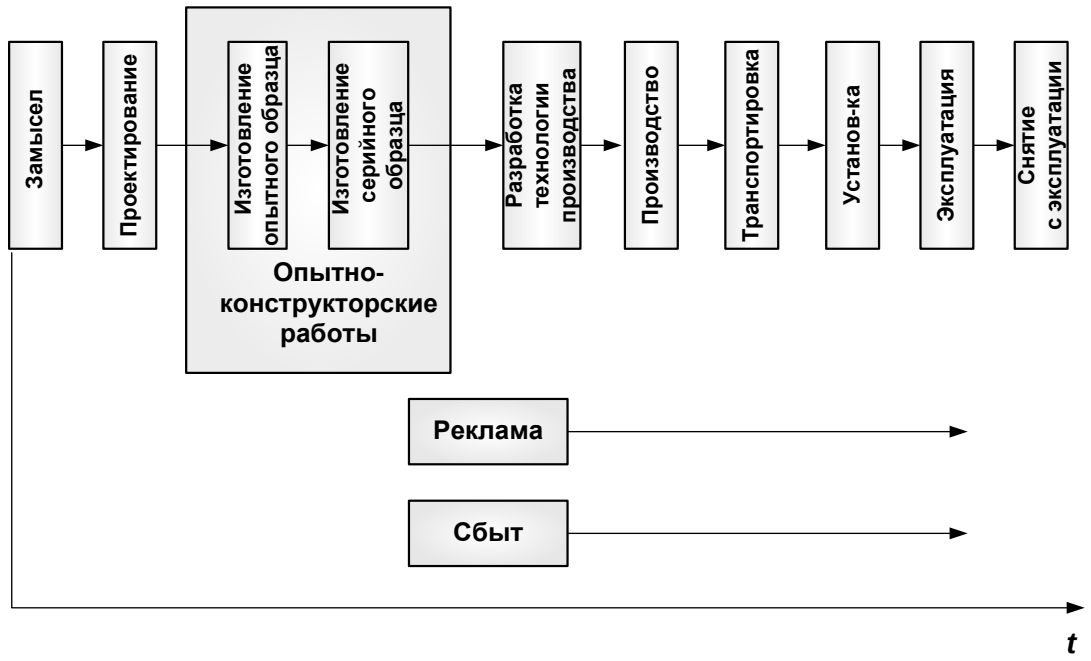


Рис. 6.1. Упрощенная блок-схема жизненного пути системы

Рассматривая рис. 6.1, необходимо понимать, что может существовать множество конкурирующих вариантов расстановки этапов и их совпадений во времени в зависимости от конкретной системы, а также опыта и квалификации руководства и конструкторов.

Инфокоммуникационные сети являются сложными человеко-машинными системами, эффективность и качество функционирования которых в течение всего жизненного цикла в большой степени определяются человеческим фактором. Замысел, идеология системы зависят от системных специалистов высшей квалификации, элиты инженерного корпуса. Успех (или неудача) замысла зависят от умелого (неумелого) планирования системы, в первую очередь от квалифицированного синтеза и тщательного всестороннего анализа вариантов системы с применением теории и методов анализа и оптимизации инфокоммуникационных сетей. Это заставляет предъявлять исключительно высокие требования к лицам, осуществляющим предварительное проектирование (планирование). Они должны ознакомиться со всей информацией, необходимой для синтеза новой системы, они несут ответственность за выбор ее наилучшего варианта. Чтобы сделать такой выбор, специалисты, планирующие систему, должны правильно оценить совокупность показателей системы и уметь их применить. Ясно, что к этим специалистам должны предъявляться особые требования к их подготовке и квалификации. Лишь очень немногие выпускники университетов могут подойти для этой роли до тех пор, пока не приобретут необходимого опыта и знания конкретных систем. Руководство должно понимать, что и оплата таких специалистов должна быть особой. Однако это случается, как правило, только тогда, когда работу возглавляют наиболее опытные системные специалисты, вышедшие из среды планировщиков.

На каждого специалиста, занятого планированием системы, приходятся сотни, тысячи людей, принимающих участие в выполнении других задач на разных этапах ее жизненного пути: руководителей, конструкторов, производственников, специалистов по обслуживанию и эксплуатации. От разумности, организованности, скоординированности этой армии специалистов, не исключая взаимодействие с огромным числом пользователей, зависит в значительной мере эффективность всего жизненного цикла системы.

Далее рассмотрим общую картину процессов проектирования, разработки, создания и эксплуатации сложной системы, разнообразие и сложность решаемых в этом процессе задач, которые и дадут обобщенное представление о ее жизненном цикле.

6.1.2. Проектирование систем

Задача проектирования системы в общем виде формулируется следующим образом: дано техническое задание, в котором перечислены все необходимые характеристики системы, требуется разработать документ, излагающий оптимальный (или близкий к оптимальному) план реализации этих характеристик. Этап проектирования вместе с замыслом (рис. 6.1) включает в себя несколько подэтапов: возникновение в сознании конструктора некоторого плана (замысла); осмысление этого плана; разработка плана в общем и в деталях; построение схемы системы; изобретение новых методов, алгоритмов, элементов.

Процесс проектирования может начаться с постановки задачи; иногда в распоряжение конструктора поступает уже готовая идея вместе со средствами ее осуществления. Именно так было в практике военных заказов в СССР, когда идея новой подсистемы возникала и предварительно прорабатывалась в специализированных военных институтах, а затем формировался заказ промышленным предприятиям на ее реализацию. Если для этого уже имелись технические средства, то под проектированием понималось приспособление имеющихся средств для выполнения поставленной задачи.

На рис. 6.2 представлена структура этапа проектирования, в которой отдельные подэтапы определенным образом упорядочены во времени. Основной работе предшествуют предварительные этапы по организации и планированию всего проекта. Проектирование нельзя начинать до тех пор, пока не выделены специалисты, денежные средства, производственные площади и необходимое оборудование. Решение о начале работы должно быть принято руководителем или руководителями, имеющими соответствующие полномочия. В функцию руководства (рис. 6.2) входит разработка календарных графиков, оценка хода проектных работ и контроль за расходованием денежных средств. После принятия решения о начале проектирования необходимо некоторое время для организации работ, рабочих мест и доставки оборудования.

Необходимым этапом проектирования, который может пересекаться с организационными работами, является разработка технического задания (ТЗ) на новую систему. Этот этап устраняет первоначальную неопределенность и создает информационный образ, содержащий задачи предварительного проектирования, которые затем обычно уточняются. Одновременно должны быть разработаны правила принятия решений для выбора предложенных вариантов проекта.

Этап синтеза можно начинать, не дожидаясь окончательной отработки ТЗ и правил принятия решений. На этом этапе требования ТЗ сравниваются с характеристиками существующих систем. Для этого следует составить перечень или каталог существующих систем и всех их характеристик. Обычно требования к новым системам превосходят возможности существующих систем. Следовательно, новая система должна быть синтезирована из совокупности подсистем, которые все вместе удовлетворяют требованиям ТЗ.

Может случиться так, что ни одна совокупность рассмотренных подсистем не обладает необходимыми характеристиками. В этом случае следует принимать решение о прекращении проектирования или об изменении требований ТЗ. Другой вариант – принятие решения о разработке новой подсистемы (новых подсистем), которые в совокупности с уже имеющимися удовлетворят требованиям к новой системе. Но это означает сдвиг сроков создания новой системы на достаточно длительное время (несколько лет), необходимого для полного цикла разработки и испытаний новой подсистемы (подсистем). Обычно же компании, имеющие большой опыт проектирования, придерживаются правила: к разработке

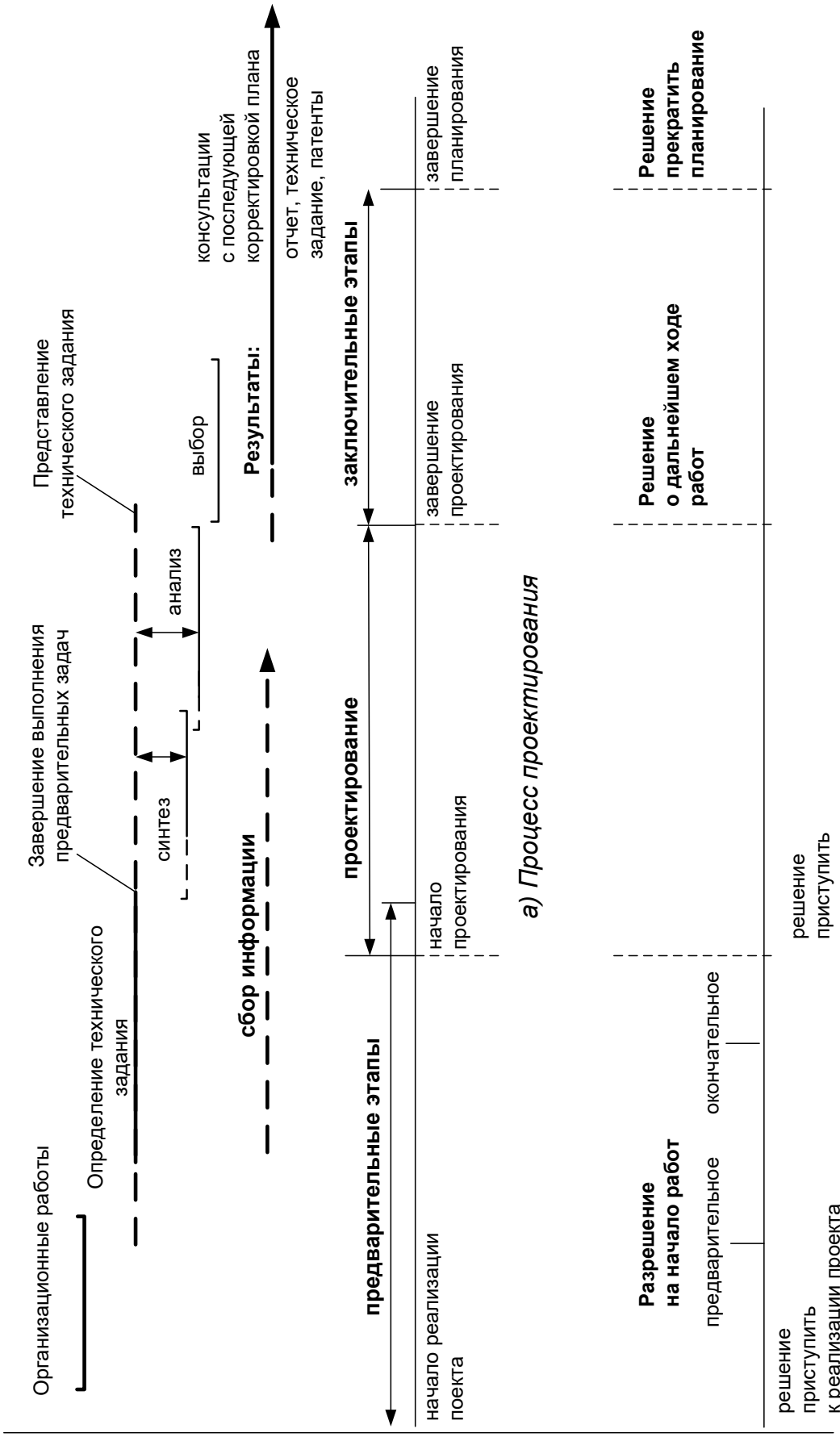


Рис. 6.2. Структура этапа проектирования

новой системы следует приступать только тогда, когда для выполнения технического задания имеются уже все необходимые научные и технические средства без проведения дополнительных исследований и изысканий. Это обеспечивает составление реальных графиков разработки и уверенность в осуществлении проекта.

Исследование и разработка новых принципов, методов, аппаратуры являются обязательной составляющей деятельности научно-исследовательских подразделений и институтов, направленной на совершенствование существующих и создание принципиально новых систем. Эти исследования создают научно-техническую базу, к которой должен быть обеспечен доступ разработчиков новых систем.

Математической базой рассматриваемого этапа являются методы и алгоритмы оптимизации структуры и архитектуры систем, в данном случае, инфокоммуникационных систем.

Как видно из рис. 6.2, непосредственно за синтезом системы следует этап анализа. На этом этапе каждый альтернативный вариант построения системы тщательно изучается с точки зрения его эффективности, а также оцениваются отклонения характеристик подсистем и окружающих условий от расчетных.

Тщательный и критический анализ нередко может обнаружить непредвиденные слабые места или даже невыполнимые условия в предложенном варианте.

Анализ рассматривает различные виды деления системы на функциональные подсистемы и различные граничные задачи, затрагивающие две или несколько подсистем, работающих вместе.

Если проектирование закончилось выбором варианта системы, наилучшим образом отвечающего требованиям ТЗ, то следующий этап состоит в выработке решения о дальнейших действиях (рис. 6.2). Как правило, руководство выбирает одно из трех линий поведения.

Отказаться от проекта. Это решение может быть продиктовано большими затратами или техническими трудностями. В конечном итоге, решение о прекращении работ над проектом иногда может быть единственно разумным выходом. Недостаток мужества у руководителей может обойтись в миллионы рублей, выброшенных впустую на проектные работы, не прекращенные вовремя.

Разрешить дальнейшие проектные работы. Такое решение не следует принимать, если только в последний момент не появляется новое перспективное предложение. Соответственно изменяется ТЗ и продолжаются необходимые работы по анализу и синтезу.

Продолжить разработку выбранной системы. Для разработчиков проекта это наилучший вариант. Для его реализации необходимо выделение соответствующих ресурсов – рабочей силы, денежных и других средств.

Основными разделами отчета должны быть следующие:

1. Техническое задание на систему.
2. Правила принятия решений для выбора наилучшего предложения.
3. Наиболее перспективные варианты и их недостатки.
4. Расчетные характеристики наиболее перспективных вариантов.
5. Обоснование выбора.
6. Принятие решения и его обоснование.

Хорошо и полно составленный отчет является одним из важнейших документов стадии проектирования. Картотека таких отчетов по различным проектам служит неоценимым пособием при разработке целей и правил принятия решений для новых систем.

Стадия проектирования заканчивается, если руководители принимают решение отказаться от проекта или в том случае, когда подготовка ТЗ завершена и можно приступить к опытно-конструкторским работам.

6.1.3. Опытно-конструкторские работы

Как уже отмечалось, к разработке новой достаточно крупной инфокоммуникационной системы рекомендуется приступить тогда, когда для ее создания уже имеются все необходимые технические средства. Однако и в этом случае этап опытно-конструкторской работы (ОКР) целесообразно оставить, понимая под опытным образцом стенд, опытный район или опытную зону системы. В основные задачи такой ОКР должны входить:

закупка всего необходимого оборудования;

доставка, установка и монтаж оборудования на объектах стенда (опытного района, опытной зоны);

настройка комплексов технических средств;

отладка оборудования и программного обеспечения системы;

проведение всех видов испытаний системы.

В практике создания систем специального назначения чаще наблюдается такая ситуация, когда для выполнения некоторых специфических требований заказчика требуется разработка специфического устройства, комплекса, подсистемы. В этом случае вся ОКР может быть разделена на работы по созданию опытного образца системы из готовых средств на стенде, опытном районе (по аналогии с рассмотренным выше вариантом) и работы по полному циклу разработки опытного образца специфичного устройства вплоть до передачи в серийное производство. Организационно эти работы могут производиться в отдельных ОКР или объединены в одной. В любом случае специфичный опытный образец включается в стенд, опытный район, опытную зону системы и проходит в ее составе все виды испытаний.

Опытный образец разрабатывается с целью получения полной информации для изготовления серийного образца, если это необходимо, или для перехода к серийному производству.

Назначение серийного образца системы состоит в накоплении информации, необходимой для производства, испытаний, безопасной транспортировки, правильного монтажа, эксплуатации и обслуживания системы.

Этапы разработки опытного и серийного образцов примерно одинаковы и показаны на рис. 6.3. Так же, как и при проектировании, проведение опытно-конструкторских работ (ОКР) невозможно без наличия ресурсов. Обычно часть специалистов (и технических средств), участвующих в разработке опытного образца, принимает участие и в создании серийного образца системы. Их подготовка и опыт имеют большое значение в процессе превращения опытного образца в серийный. В группу по разработке серийного образца должны быть включены специалисты-производственники и инженеры, хорошо знакомые с технологическим оборудованием предполагаемого предприятия-изготовителя.

Из рис. 6.3 видно, что опытно-конструкторской работе предшествуют организационные работы, которые по своему существу аналогичны таким же работам на этапе проектирования.

На основе исходной информации, включающей общие ресурсы, выделенные для проекта, ресурсы и оценки времени для каждого этапа разработки, а также правила принятия решений, подготавливается план распределения имеющихся ресурсов (рабочей силы, денежных и технических средств) по разным этапам разработки.

Используя результаты предыдущего этапа проектирования (ТЗ на систему, выбранный вариант системы с подразделением ее на подсистемы, правила принятия решений), разрабатываются подробные требования к каждой подсистеме или ее отдельным компонентам, а также к совокупности испытаний, в результате которых должно быть установлено соответствие компонентов, подсистем и системы в целом всем техническим требованиям.

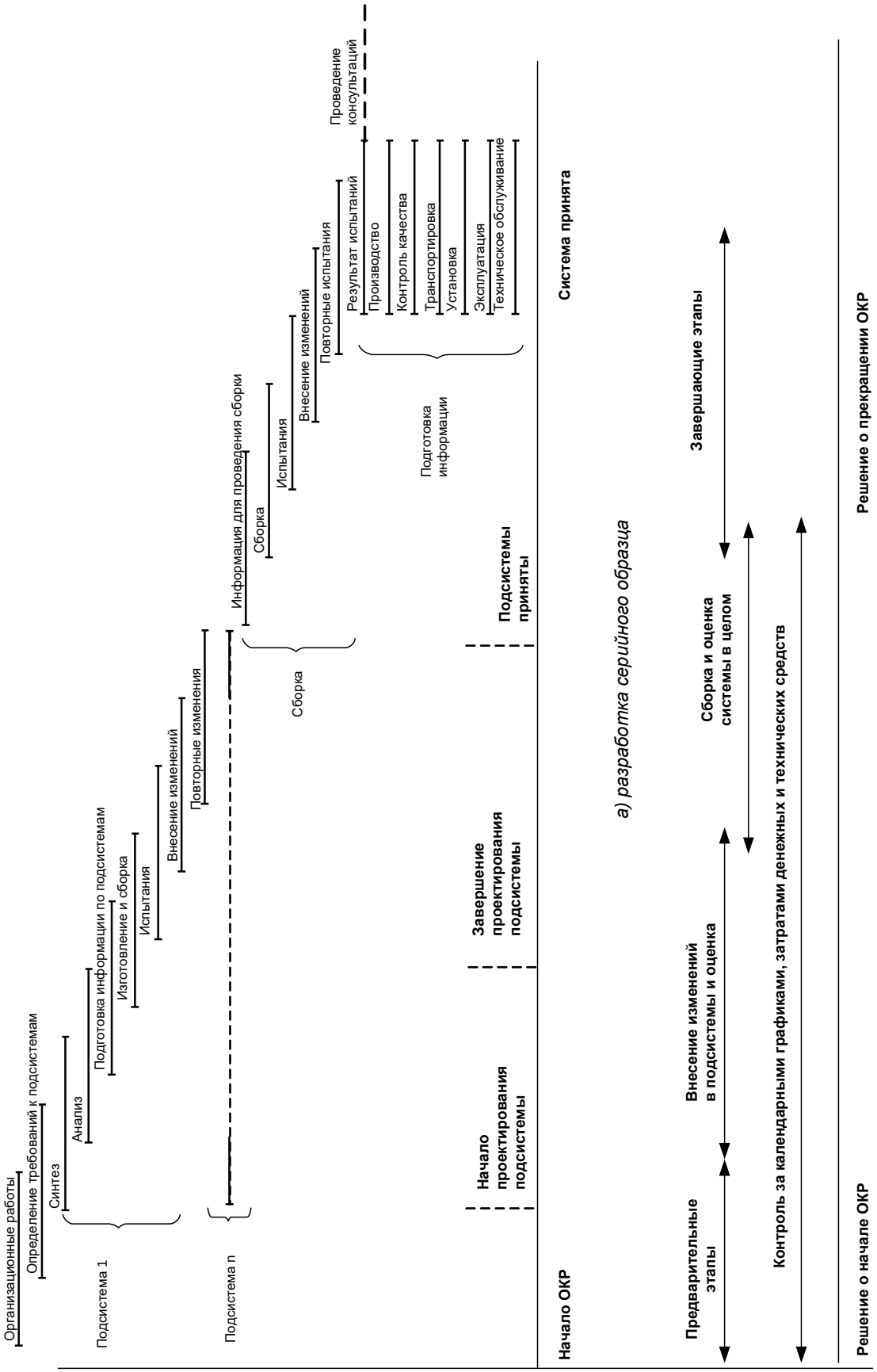


Рис. 6.3. Структура этапа ОКР

Одновременная разработка всех подсистем не является обязательной. Главное, чтобы все подсистемы были подготовлены к моменту сборки системы в целом.

Первый этап проектирования подсистемы (синтез) заключается в определении возможной комбинации или совокупности элементов, удовлетворяющих техническим требованиям к подсистеме. Проектировщик должен располагать картотекой или перечнем возможных элементов и их характеристик. Хорошим источником информации могут служить каталоги промышленных фирм. При выборе элементов проектировщик руководствуется также такими критериями как стоимость, надежность, а также эксплуатационные характеристики. Важным фактором могут быть сроки поставки для выполнения графика разработки.

Для нахождения наилучшего варианта при синтезе подсистем используются также методы оптимизации.

На этапе анализа каждое предложение по структуре подсистемы анализируется и изучается с точки зрения таких дополнительных факторов, как стоимость, размеры, вес и чувствительность к изменениям компонентов в зависимости от окружающих условий и времени.

Конечный этап проектирования подсистемы заключается в выборе варианта проекта, подлежащего реализации. Этот выбор осуществляется на основе правил принятия решений, выработанных в процессе предварительного проектирования системы и подсистем.

Затем наступает период воплощения подсистемы «в металл» и ее испытания. Нередко после испытаний необходимо внесение определенных усовершенствований, после чего подсистема снова подвергается испытаниям. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут получены приемлемые результаты.

После получения удовлетворительных характеристик всех подсистем приступают к сборке системы в целом, а затем проводят комплексные испытания с целью проверки соответствия всех функций системы заданным. При необходимости в систему вносятся изменения, после чего проводятся повторные испытания системы. Возможны также полевые испытания серийного образца в условиях, приближенных к расчетным эксплуатационным и внешним условиям.

Усовершенствования и сопутствующие им испытания продолжаются до тех пор, пока не будут получены приемлемые характеристики системы.

Крупные усовершенствования могут привести к пересмотру первоначального технического задания. Поэтому они требуют тщательного рассмотрения руководством и принятия решения: придерживаться ли первоначального ТЗ, или внести в него предложенные изменения.

Получение удовлетворительных характеристик опытного образца почти всегда означает принятие руководством решения об изготовлении серийного образца.

На заключительном этапе осуществляется подготовка информации в виде отчетов по всем испытаниям и рекомендациям по изменениям, вносимым в серийный образец.

Работы по созданию опытного образца заканчиваются принятием решения о разработке одного или более серийных образцов. После одобрения серийного образца принимается решение о массовом производстве. Однако на этом работа конструкторов не заканчивается. Необходима подготовка всевозможной информации для персонала, который будет работать над системой на последующих этапах. Разработчики должны обеспечить промышленность всей необходимой информацией для производства и эксплуатации системы. Основными видами такой информации являются:

Информация о производственном процессе:

спецификация на сырье по каждому виду закупаемого материала;

спецификация на каждый тип закупаемых составных частей и подсистем;

методы контроля всех закупок;

информация по производству объектов, подсистем и системы в целом;

методы контроля качества и допуски на изготовленные объекты, подсистемы и систему в целом;

требования к транспортировке, важнейшим из которых является инструкция по специальной упаковке.

Информация по установке и монтажу:

спецификация по размещению, поэтажной планировке и загрузке производственной площади; на силовое питание и установки управления микроклиматом (при необходимости);

инструкция по сборке;

пособия для обучения монтажников;

методы испытаний и допуски на подсистемы и систему в целом.

Информация по эксплуатации:

пособия для обучения эксплуатационников;

руководства по эксплуатации системы;

методы испытаний и допуски для проверки системы на правильность функционирования;

информация об условиях, при которых необходимы регулировка и техническое обслуживание.

Информация по техническому обслуживанию:

пособия для подготовки специалистов по техническому обслуживанию;

руководства по профилактическому обслуживанию;

методы испытаний и допуски для проверки отремонтированных или замененных изделий.

Информация по снятию с эксплуатации и демонтажу:

пособия для подготовки специалистов;

условия снятия с эксплуатации.

При конструировании опытных и серийных образцов задачей руководства является принятие решений относительно вопросов распределения ресурсов и составления планов. Ход работ подлежит непрерывному контролю, а полученные результаты – сопоставлению с запланированными ресурсами, денежными затратами и сроками. Руководители должны также осуществлять контроль за подготовкой необходимой информации. Одним из наиболее важных мероприятий руководства является принятие решения о запуске системы в производство, так как начало производства означает необходимость выделения значительно большего количества ресурсов, денежных средств, рабочей силы и производственных мощностей по сравнению со стадией опытно-конструкторских работ.

6.1.4. Производство, установка и эксплуатация системы

Производство, транспортировка и установка являются основными этапами подготовки новой системы к эксплуатации. Предварительная подготовка каждого этапа включает распределение ресурсов, организацию и планирование работ.

Для производства огромное значение имеет стоимость единицы изделия. Поэтому стоимость каждого изделия должна быть минимизирована путем выбора оптимальных методов производства, т. е. наилучших способов изготовления изделий и сборки. На крупных производственных предприятиях существуют группы квалифицированных специалистов, занимающихся поиском и разработкой новых технологических методов. При этом они должны хорошо знать и использовать уже имеющееся технологическое оборудование.

При массовом производстве может возникнуть необходимость в специальных устройствах, использование которых позволит снизить стоимость производства. Их проектирование не отличается от обычного, а производятся они в очень ограниченном количестве.

Другие специальные приспособления и измерительные приборы необходимы для проверки изделия и обеспечения ее качества. Специальное испытательное оборудование может также потребоваться монтажным бригадам для проверки системы перед сдачей ее заказчику. Проектирование такого оборудования осуществляется в обычной последовательности.

Таким образом, технологическое оснащение производства требует значительных денежных и временных затрат, которые влияют на общие экономические и временные характеристики системы.

Внедрение новой системы всегда сопровождается подготовкой обслуживающего персонала, что также является трудоемкой и сложной задачей.

Организации, осуществляющие производство и установку систем, могут служить источниками информации о желательности изменений или усовершенствования проекта. Эти пожелания направляются конструкторам для принятия необходимых решений.

Эксплуатация и техническое обслуживание сложных систем, каковыми являются инфокоммуникационные сети, могут продолжаться несколько десятилетий. Необходимым условием ее безотказной работы в течение всего срока службы является хорошо знающий свое дело обслуживающий персонал и правильная эксплуатация. Для эксплуатации таких больших систем требуются десятки тысяч операторов и тысячи специалистов по техническому обслуживанию. Работы по техническому обслуживанию могут выполняться по контракту со специализированными организациями. В любом случае затраты на обслуживающий персонал составляют существенную долю бюджета компании. Руководству перед вводом системы в эксплуатацию необходимо запланировать подготовку и обучение обслуживающего персонала, при этом основные данные для такой подготовки должны обеспечить разрабатывающие организации, ответственные за изготовление серийных образцов.

В процессе эксплуатации должны быть выделены группы специалистов, осуществляющие наблюдение за работой новой системы. Эта информация должна использоваться для дальнейшего усовершенствования системы в последующих проектных работах. Результаты таких наблюдений можно использовать, например, для расширения эксплуатационных возможностей системы с целью обеспечения условий для новых применений, увеличения рынка сбыта своих услуг, совершенствования условий эксплуатации, а также выявления непредвиденных слабых мест в проекте или неисправностей, требующих немедленной корректировки.

На основе этих наблюдений, а также запросов и отзывов потребителей руководство сможет принять решение о необходимости модернизации, видоизменения или создания новой модели системы.

В конечном итоге цикл замыкается и осуществляется возврат к этапу проектирования модернизированной или новой системы.

6.2. Структура и модели жизненного цикла инфокоммуникационных сетей

В предыдущем разделе представлено общее описание процесса жизнедеятельности сложной системы на этапах разработки, эксплуатации и развития, которое показывает, что этот процесс многовариантен, зависит от огромного числа различных факторов, в первую очередь человеческих факторов, и может быть описан множеством способов.

В данном разделе мы дадим более формализованное описание жизненного цикла системы в виде моделей его различных структур.

При этом представленные модели не являются какими-то стандартами, претендующими на общее применение, а вытекают из анализа большого числа конкретных разработок, проведенных авторами, и отражают конкретные особенности этих разработок.

Другие авторы, другие специалисты, используя предложенную методику, должны строить свои модели жизненных циклов систем соответственно своим конкретным условиям.

Любая сложная система может развиваться по многим сценариям, которые необходимо тщательно продумать, разработать и проанализировать в самом начале ЖЦ. Только в этом случае можно найти оптимальный сценарий, который обеспечит максимальную эффективность всему жизненному циклу системы.

Переход от интуитивных и «на авось» процессов разработки и эксплуатации сложной системы к научно-обоснованному построению ее жизненного цикла – задача сложнейшая, но благодарная. Ее решение сэкономит огромные ресурсы времени и финансовых средств компании-владельцу системы, ее пользователям, да, пожалуй, и разработчикам. Пользователи раньше получат современные качественные услуги, а разработчики меньше времени затратят на НИР и ОКР, если исключат максимум циклических связей на этапах разработки, производства и испытаний.

6.2.1. Этапы жизненного цикла инфокоммуникационных сетей

Жизненный цикл инфокоммуникационных сетей делится на две большие принципиально различные стадии: стадию разработки и стадию эксплуатации и развития.

Стадия разработки начинается с замысла, идеи создания новой системы или модернизации уже существующей и заключается в разработке принципов и алгоритмов функционирования системы, функциональных и принципиальных схем оборудования, конструкторской документации и программного обеспечения (ПО), создании опытных образцов, испытательных стендов, опытных районов или опытной зоны, проведении всех видов испытаний. Разработка, как правило, осуществляется кооперацией предприятий, в которую входят специализированные научно-исследовательские институты, опытно-конструкторские бюро, опытные производства и другие предприятия. Головная роль в кооперации поручается обычно крупному системному предприятию, имеющему соответствующий опыт разработки и создания таких больших систем и коллективы высококвалифицированных системных специалистов.

Поскольку стадия разработки является чисто затратной составляющей в жизненном цикле системы, уменьшающей его общую эффективность, то важной задачей головного предприятия и других предприятий кооперации должна быть задача минимизации всех затрат на разработку. Однако, у предприятий-разработчиков нет каких-либо побуждающих стимулов для уменьшения затрат. Скорее, наоборот, завышенные сметы расходов создают для разработчиков более комфортные финансовые условия. Это одна из причин, почему заказчики систем (компании-операторы, ведомства и др.) стремятся приступать к их созданию лишь при наличии на рынке средств инфокоммуникаций всего необходимого оборудования. Когда в начале 90-х годов 20 века в России открылся рынок средств связи Запада, отечественная промышленность средств связи, привыкшая к дорогостоящим, многолетним разработкам, финансируемых из государственного бюджета, быстро развалилась. Однако при создании новых систем специального назначения практика организации разработок, принятая в СССР, еще сохранилась.

Эффективность жизненного цикла системы определяется стадией эксплуатации, в течение которой система дает доходы и прибыль, зависящие как от качества разработки, так и от качества услуг, предоставляемых пользователю.

Практика отечественных разработок выработала определенную этапность разработки и создания сложных систем.

Стадия разработки состоит из следующих этапов (рис. 6.4):

этап научно-исследовательской работы (НИР) или аванпректа;

этап эскизного проекта;

этап технического проектирования;

этап рабочего проекта;

этап испытаний.

На практике этапы разработки системы зависят от многих факторов и определяются, в основном, заказчиком и проектировщиками с использованием уже имеющихся стандартов и других руководящих документов. Таких этапов может быть больше или меньше, некоторые могут быть объединены, некоторые исключены.

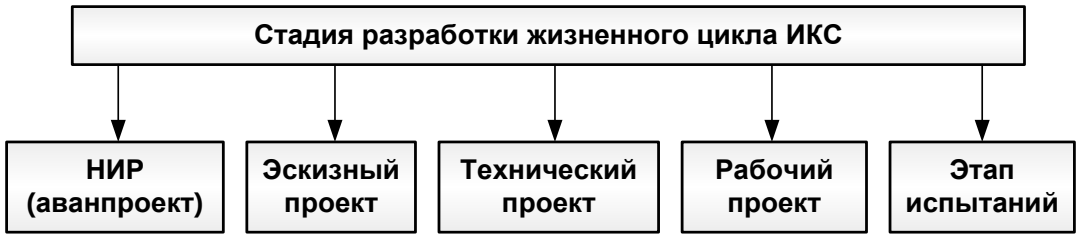


Рис. 6.4. Этапы стадии разработки ЖЦ ИКС

С точки зрения решения задач анализа и оптимизации жизненного цикла системы, стадия разработки может строиться по различным сценариям в зависимости от целей, поставленных перед разработчиками системы. В частности, достаточно распространенными сценариями могут быть следующие:

сценарий A – ведется разработка полностью всей системы, ее технических комплексов, алгоритмического и программного обеспечения;

сценарий B – разработка системы ведется частично на покупных технических средствах и ПО, частично на средствах собственной разработки;

сценарий C – система разрабатывается полностью на покупных технических средствах и ПО;

сценарий D – разработка системы может закончиться некоторым комплексным стендом системы с полной отработкой комплексов технических средств (КТС) и ПО, а также внедрением КТС в серийное производство. Дальнейшее оснащение объектов системы, подключение абонентов, отладку объектов и ввод в эксплуатацию берет на себя заказчик (как правило, оператор системы);

сценарий E – по этому сценарию разработка может завершиться созданием опытного района (ОР) системы, в состав которого входят все типы технических средств, размещенных на объектах заказчика. В этом случае к объектам подключаются абоненты системы и осуществляется более полная ее отладка. Дальнейшее расширение системы осуществляет заказчик;

сценарий G – вариантом этого сценария может быть создание опытной зоны (ОЗ) системы со значительно увеличенным по сравнению с ОР числом объектов и подключенных к ним абонентов.

Каждый сценарий может иметь несколько вариантов в зависимости от выбранного числа задач, соотношения закупаемых и разрабатываемых средств и т. д.

Решение задачи оптимизации на множестве этих вариантов может дать сценарий, оптимальный, например, по критерию затрат.

На рис. 6.5 в качестве примера показан граф сценариев ЖЦС на стадии разработки, где вершины обозначают варианты сценариев, предложенные выше, N и K – начало и конец стадии разработки.

В данном примере показаны девять возможных сценариев ЖЦС на стадии разработки, а именно: NADK, NAEK, NAGK, NBDK, NBGK, NBEK, NCDK, NCEK, NCGK. Для нахождения на этом множестве оптимального сценария необходимо разработать математические модели ЖЦС, методы его анализа и оптимизации.

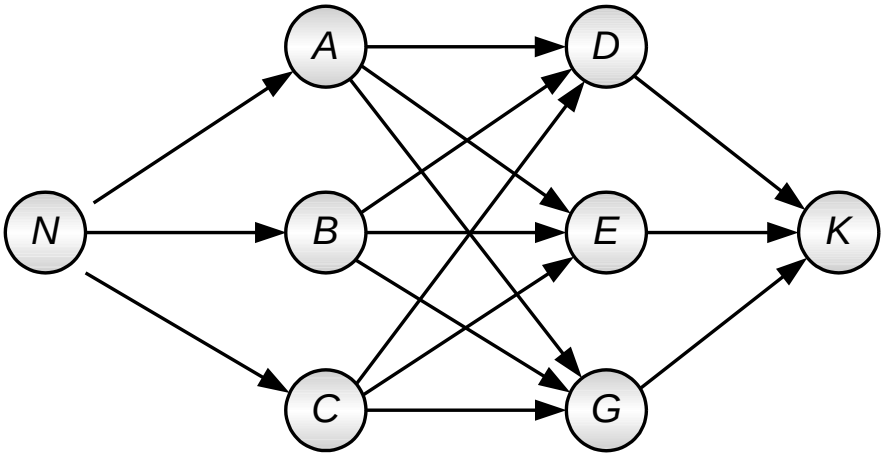


Рис. 6.5. Граф сценариев ЖЦС на стадии разработки

На стадии эксплуатации система развивается одновременно (необязательно) в двух направлениях: расширение абонентской емкости и соответствующее развитие комплексов технических средств и включение и развитие новых комплексов служб и услуг. Время развития в обоих направлениях разбивается на этапы, в каждом из которых реализуется некоторый вариант расширения емкости системы или внедрения нового комплекса служб и услуг. Эти варианты можно выстраивать на временной оси в различном порядке следования, создавая таким образом множества сценариев развития емкости и новых служб и услуг системы, из которых могут выбираться оптимальные по выбранному критерию сценарии.

На рис. 6.6 в общем виде показаны этапы эксплуатации и развития системы. Задачи, решаемые на каждом этапе, полностью определяются хозяином системы на основе решения задачи оптимизации жизненного цикла системы, поэтому на рисунке они не конкретизируются. Первый этап является завершающим этапом стадии разработки и формируется в составе, необходимом для опытной эксплуатации. Последующие этапы называются этапами эксплуатации и развития системы, каждый из которых включает в себя соответствующие этапы расширения, развития служб и услуг и эксплуатации системы.

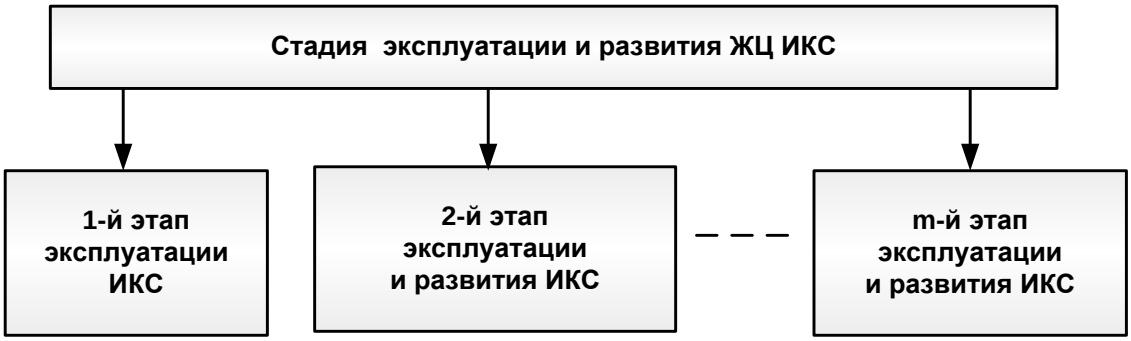


Рис. 6.6. Этапы стадии эксплуатации ЖЦ ИКС

Расширение системы подразумевает увеличение абонентской емкости, создание и включение в эксплуатацию нового оборудования, новых объектов, новых трасс. Развитие служб и услуг подразумевает создание и включение в эксплуатацию новых информационных и телекоммуникационных служб и услуг, например, службы телемедицины, телеобразования, телекоммуникационной службы электронной почты и др. [3]. Этапам расширения и развития новых служб и услуг предшествуют соответствующие стадии их разработки, которые по сложности и длительности могут не уступать основной стадии разработки системы

(например, разработка информационной службы телеобразования). Таким образом, такие разработки нового оборудования и новых служб могут иметь собственные жизненные циклы, которые завершаются внутри ЖЦ основной системы (рис. 6.7).

Многообразие сочетаний разработок и внедрения различного оборудования, служб и услуг во времени создают многообразие возможных сценариев жизненных циклов системы и ее составляющих и широкое поле для их оптимизации.

На рис. 6.7 показана структура i-го этапа расширения системы и развития ее служб и услуг. Стадия разработки этого этапа может быть длительной и дорогостоящей, если для расширения системы требуется разработать совершенно новое оборудование или создать совершенно новую информационную или телекоммуникационную службу.

Если этап расширения системы заключается в создании и вводе в эксплуатацию очередного объекта, аналогичного созданным на предыдущих этапах, то из стадии разработки исключаются этапы НИР, эскизного, технического проектов, а также значительная часть рабочего проекта. Между этими вариантами существует множество сценариев для оптимизации и развития системы.

Рис. 6.7. Структура i-го этапа расширения и развития служб и услуг ИКС

6.2.2. Структура жизненного цикла инфокоммуникационных сетей

На каждом этапе жизненного цикла инфокоммуникационной сети решаются некоторые комплексы задач, причем все эти комплексы достаточно автономны и самоценны. Например, комплекс задач по разработке принципиальных и функциональных схем всех видов новой аппаратуры, комплекс задач по разработке алгоритмов, протоколов, интерфейсов, разработка программного обеспечения и т. д. Процессы решения каждого комплекса таких задач, как правило, итеративны и могут повторяться по несколько раз. Их анализ может способствовать построению моделей структуры ЖЦС и более точной оценке его характеристик.

Назовем процессы решения комплексов таких задач тематическими циклами жизненного цикла ИКС, обозначая каждый цикл некоторым именем (названием) в соответствии с его тематикой.

Тогда жизненный цикл системы можно разбить на ряд тематических циклов, определяющих содержание работ на определенном этапе создания и развития системы. Тематические циклы образуют содержательную последовательность работ и взаимодействуют друг с другом путем передачи результатов от предшествующих циклов последующим. Каждый цикл в значительной степени автономен как по содержанию работы, так и по составу исполнителей. Тематические циклы могут пересекаться во времени и пространстве.

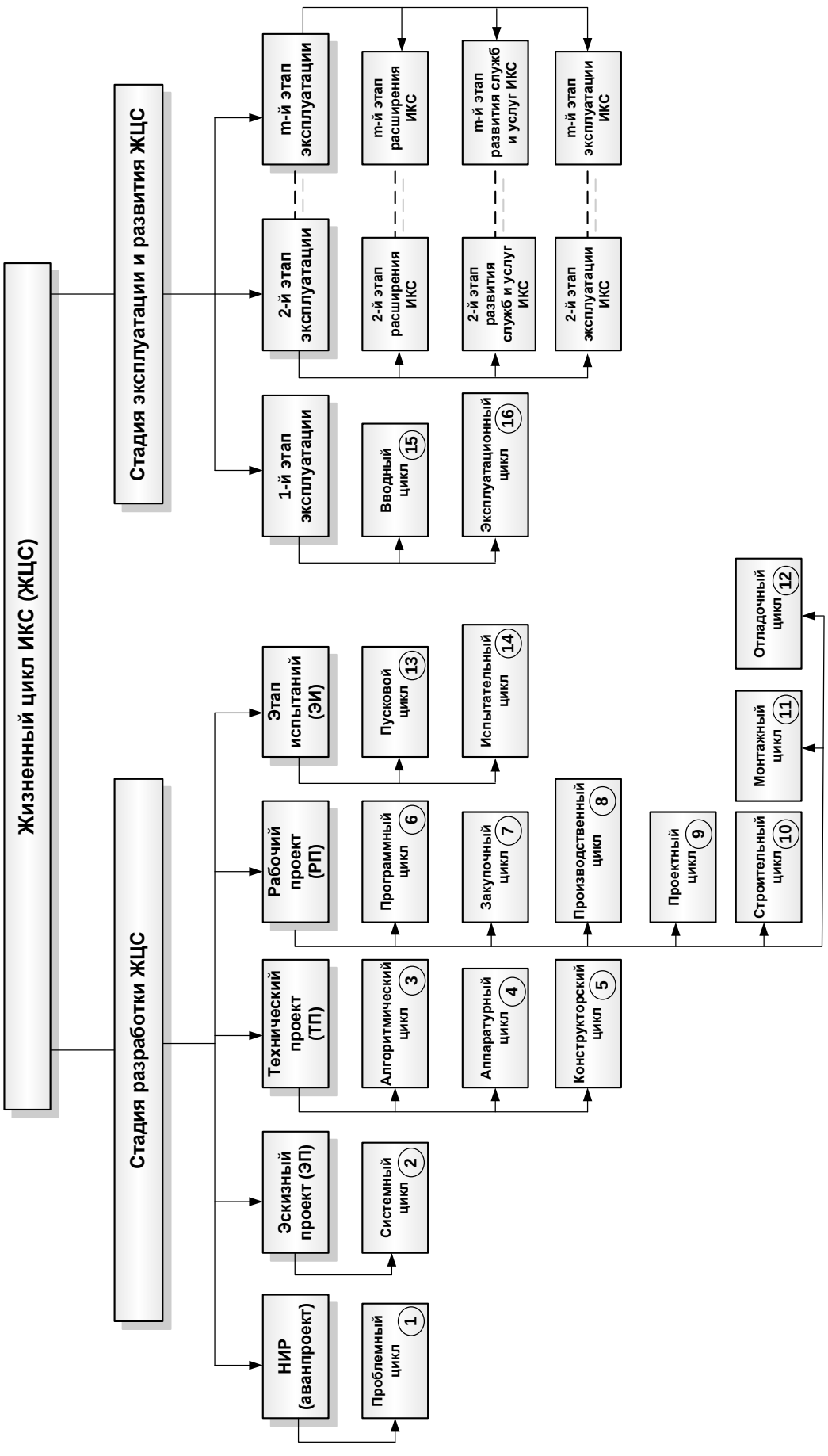


Рис. 6.8. Структура жизненного цикла ИКС

Таким образом, в общем виде структура жизненного цикла ИКС с привязкой к этапам реализации может быть представлена в виде рис. 6.8 [4].

На рис. 6.8 обозначены:

1 – проблемный цикл, предназначенный для изучения ситуации, формулирования проблемы, выбора базового варианта системы, обоснования оперативно-технических требований, определения ограничений. Основной метод работы – имитационное моделирование при помощи системной модели, охватывающей имеющиеся на данном этапе исходные данные. Результаты работы проблемного цикла передаются в системный цикл;

2 – системный цикл, предназначен для создания проекта ИКС с учетом уже действующей системы. Описание проекта строится на основании технического задания и конкретных результатов проблемного моделирования. Проект адресуется алгоритмическому и аппаратному циклам, которые должны реализовать решения проекта;

3 – алгоритмический цикл, часто начинается с изучения и освоения алгоритмов и протоколов действующих инфокоммуникационных сетей. Начало работы цикла – обоснование требований к алгоритмам, исходя из проекта, выработанного системным циклом. Завершающая позиция цикла – создание алгоритмического комплекса, в котором весь набор алгоритмов должен быть взаимно увязан и образовывать системную целостность;

4 – аппаратурный цикл. Задача этого цикла состоит в выборе (для закупки) или разработке (если соответствующей аппаратуры нет в продаже, либо ее закупка нецелесообразна) соответствующих устройств, средств или подсистем;

5 – конструкторский цикл, связывает аппаратурный цикл с производственным, преобразуя конструктивные требования аппаратурного цикла в полный комплект конструкторской документации;

6 – программный цикл, должен воплотить алгоритмический комплекс в рабочие программы на выбранных для системы вычислительных средствах;

7 – закупочный цикл, обеспечивает закупку и поставку оборудования в соответствии с решениями аппаратурного цикла. Операции по выбору и закупке оборудования должны опираться на анализ рынка и хорошее знание промышленной и рыночной конъюнктуры;

8 – производственный цикл, осуществляется на серийных заводах, начинается с разработки технологии, основанной на опыте и мощностях конкретного завода с учетом квалификации рабочих и передовых тенденций. Технологическое оборудование может создаваться на этом же заводе, на заводах-смежниках или закупаться за рубежом;

9 – проектный цикл, осуществляет проектирование трасс линий телекоммуникаций, зданий и сооружений. Основой проектирования является проект системы и конструкторская документация. Проектирование требует предварительных топографических, гидрогеологических и демографических изысканий;

10 – строительный цикл, обеспечивает строительство трасс телекоммуникаций, зданий и сооружений, предусмотренных проектным циклом. Строительный проект должен поэтапно развиваться, наращиваться и осваиваться;

11 – монтажный цикл, на этом цикле сходятся производство, поставки и строительство. План монтажа должен обеспечивать широкий и равномерный фронт работ, отсутствие взаимных помех между организациями и простоев персонала и оборудования. Главное в монтажном цикле – объединение объектов в единую систему, функционирующую как целое;

12 – отладочный цикл, задача цикла состоит в комплексной отладке аппаратуры и программ, установлении функционального соответствия, системной целостности и работоспособности. В процесс отладки входит личный состав – оперативный расчет, обеспечивающий эксплуатацию и функционирование;

13 – пусковой цикл, начинается с полного включения системы. Пуск означает формирование и ввод системы в режим непрерывной работы при жестком контроле качества. В процессе пуска обрабатывается каждая услуга, предусмотренная информационными

и телекоммуникационными службами ИКС. На пусковом цикле отрабатывается управление, которое должно быть настроено и подготовлено на отладочном цикле, а здесь проверяется техническая оснащенность всех видов управления и квалификация личного состава;

14 – испытательный цикл, содержит несколько этапов испытаний и завершается приемкой системы: установлением ее соответствия заданным требованиям. Одна из важнейших задач испытательного цикла – проверка коммерческих характеристик системы, в частности, обоснованность принятых исходных тарифов, приоритетов, системы оплаты услуг, штрафов и т. п.;

15 – вводный цикл. Ввод системы в строй предполагает последовательное подключение абонентов, установление регламента их обслуживания и обеспечения управления системы в полном объеме. На этапе ввода окончательно оптимизируется система оплаты услуг;

16 – эксплуатационный цикл, длится до конца жизнедеятельности ИКС. На этом цикле уточняется регламент и окончательно налаживается система управления. Техническое управление будет расширяться по мере развития абонентской сети.

После стадии разработки система развивается в двух направлениях (рис. 6.8): расширение абонентской емкости и соответствующее развитие комплексов технических средств и включение и развитие новых комплексов служб и услуг. Время развития в обоих направлениях разбивается на периоды, в каждом из которых реализуется некоторый вариант расширения емкости системы или внедрение нового комплекса служб и услуг. Эти варианты можно выстраивать на временной оси в различном порядке следования, создавая таким образом множества сценариев развития емкости и новых служб и услуг системы, из которых могут выбираться оптимальные по выбранному критерию сценарии.

Первый этап эксплуатации системы включает два цикла (вводный и эксплуатационный), завершающих стадию разработки. На этом этапе начинается эксплуатация фрагмента системы и оборудования, созданных на стадии разработки. Последующие этапы называются этапами эксплуатации и развития системы, каждый из которых включает в себя соответствующие этапы расширения, развития служб и услуг и эксплуатации системы.

6.2.3. Модели структуры жизненного цикла инфокоммуникационных сетей

Наиболее общая модель структуры ЖЦ, описывающая создание системы, начиная с постановки проблемы, разработки концепции, оборудования, алгоритмического и программного обеспечения (АО и ПО) и заканчивая циклом эксплуатации некоторого базового комплекса, показана на рис. 6.9.

Модель описывает взаимосвязи тематических циклов ЖЦ системы на временной оси и последовательность переходов от одного тематического цикла к другому. На рис. 6.9 показана также примерная привязка циклов ЖЦ ИКС к производственным этапам проектирования систем и оборудования. Номера тематических циклов соответствуют обозначениям на рис. 6.8.

Каждый тематический цикл в значительной степени автономен как по содержанию работы, так и по составу исполнителей. Соответственно, каждый цикл должен иметь свою системную модель, используемую для математических экспериментов и непрерывно развиваемую и уточняемую. Обязательным условием согласованности работы на ЖЦ является применение единого (принятого для системы целиком) критерия эффективности.

Жизненный цикл в данной модели завершается эксплуатационным циклом некоторого базового комплекса технических средств, разработанного на стадии разработки. Как правило, в дальнейшем система развивается, расширяется, дополняется новыми техническими средствами, службами и услугами. Такое развитие требует новых разработок, испытаний, внедрения, т. е. фактически нового жизненного цикла для новых средств на базе уже созданной системы. Этот процесс может быть обозначен на модели рис. 6.9 обратной связью

от эксплуатационного цикла к проблемному, что и было основанием для введения понятия и термина «жизненный цикл».

Вторая модель ЖЦ ИКС (модель 2), описывающая построение ИКС целиком на покупных средствах, показана на рис. 6.10.

Все обозначения на рис. 6.10 соответствуют обозначениям, введенным для рис. 6.9.

По сравнению с основной моделью здесь отсутствуют два тематических цикла – конструкторский (5) и производственный (8), что во многих случаях значительно сокращает затраты времени и средств на ЖЦ системы.

Возможны многие другие варианты структуры ЖЦ. На рис. 6.11 показан наиболее простой вариант модели, когда осуществляется несущественная модернизация системы, касающаяся совершенствования ИКС или введения новых услуг на программном уровне. Ясно, что затраты времени и средств на оставшихся в модели тематических циклах будут, как правило, меньше по сравнению с первыми вариантами моделей.

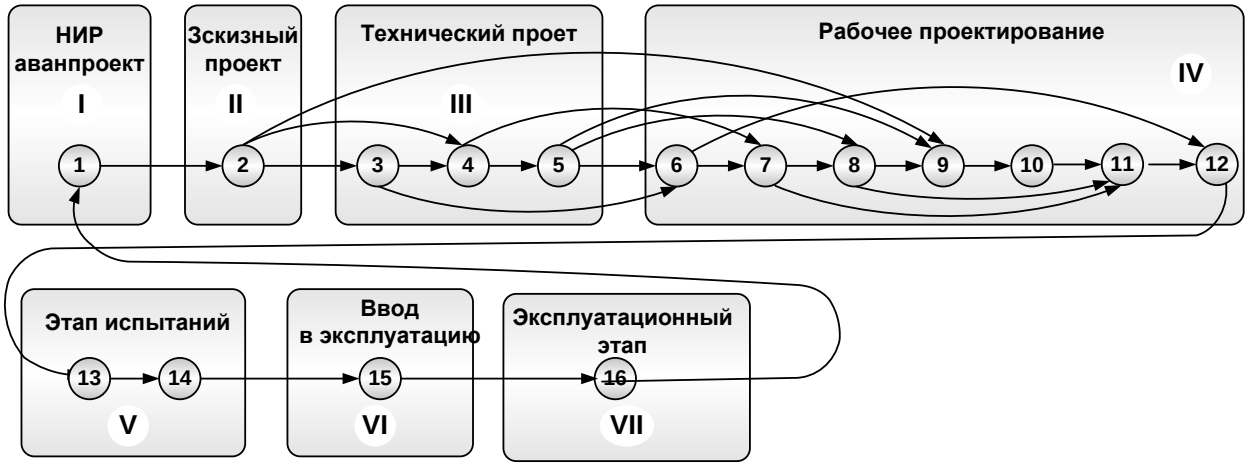


Рис. 6.9. Модель структуры жизненного цикла ИКС

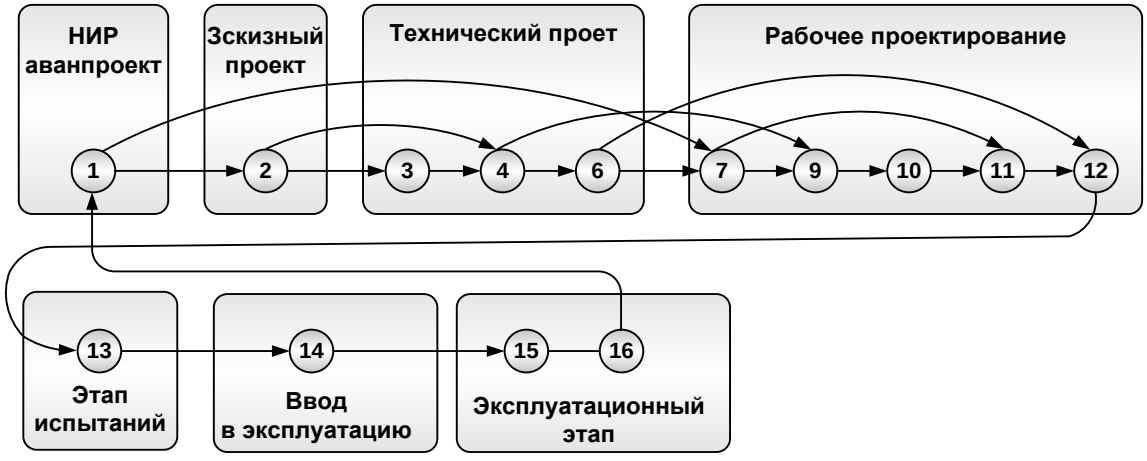


Рис. 6.10. Модель 2 структуры жизненного цикла ИКС

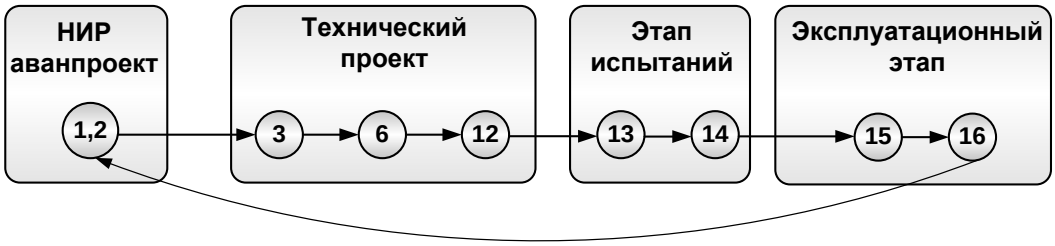


Рис. 6.11. Модель 3 структуры жизненного цикла ИКС

6.2.4. Модели структуры жизненного цикла инфокоммуникационных сетей с расширением и развитием служб и услуг

На практике стадия эксплуатации и развития (СЭР) ИКС представляет собой длительный процесс расширения абонентской емкости системы, увеличения ее технических ресурсов за счет прокладки новых трасс, внедрения новых объектов, а также развития ее услуг за счет внедрения все новых и новых информационных и телекоммуникационных служб. Телефонные и телеграфные сети от примитивных абонентских установок и станций с ручной коммутацией в течение прошлого века переоснастились цифровыми станциями с автоматической коммутацией и абонентскими установками различной сложности вплоть до персональных ЭВМ. Мировая «паутина» Интернет из простой сети передачи данных «Арпанет» превратилась в инфокоммуникационную сеть с интеграцией различных служб и каждый год продолжает удивлять нас внедрением новых информационных и телекоммуникационных услуг.

Очевидно, что любая из этих и других систем изначально имела возможность развиваться по различным сценариям, среди которых был и оптимальный. Это положение справедливо и для современных инфокоммуникационных сетей.

Пусть R – множество вариантов расширения системы: $R = \{R_i, t_i\}^{r}_{i=1,}$ где R_i – вариант расширения системы со временем реализации t_i, r – число запланированных вариантов расширения системы, а $K = \{K_j, t_j\}^{k}_{j=1}$ – множество вариантов реализации комплексов служб и услуг, где K_j – j-й вариант комплекса служб и услуг со временем реализации t_j, k – число вариантов комплексов служб и услуг, планируемых к внедрению.

Каждый вариант расширения системы означает расширение абонентской емкости на определенную величину и соответствующее подключение новых технических комплексов (мультиплексоров, коммутаторов и т. п.), строительство новых высокоскоростных трасс (ВОЛС, радио, спутниковых и др.), а варианты реализации комплексов служб и услуг – внедрение новых телекоммуникационных и информационных служб и услуг, например, электронной почты, службы телемедицины, телеобразования, различных информационных порталов и т. д. Для каждого такого варианта требуется определенное время реализации, называемое этапом развития системы. Последовательность этих этапов на временной оси может быть самой различной, образуя определенный сценарий. На рис. 6.12–6.14 показаны примеры возможных вариантов ЖЦ систем.

На рис. 6.12 представлена модель ЖЦ системы, в которой на стадии разработки (СР) полностью прорабатываются все вопросы создания как базовых комплексов технических средств и служб (БКТСС), так и рассчитанных на перспективу технических средств из множества R и служб и услуг из множества K. Таким образом, такой вариант предусматривает дальнейшее развитие системы только после завершения цикла эксплуатации и возврата к первому циклу для разработки новой модификации системы (обратная связь на рис. 6.9). Эта модель правомерна для небольших систем, в которых или вовсе отсутствуют множества R и K, или они маломощны.

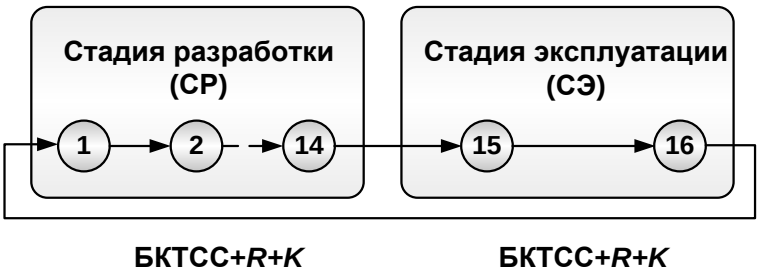


Рис. 6.12. Модель структуры ЖЦ систем с полной разработкой и вводом в эксплуатацию базовых и всех дополнительных комплексов технических средств и услуг

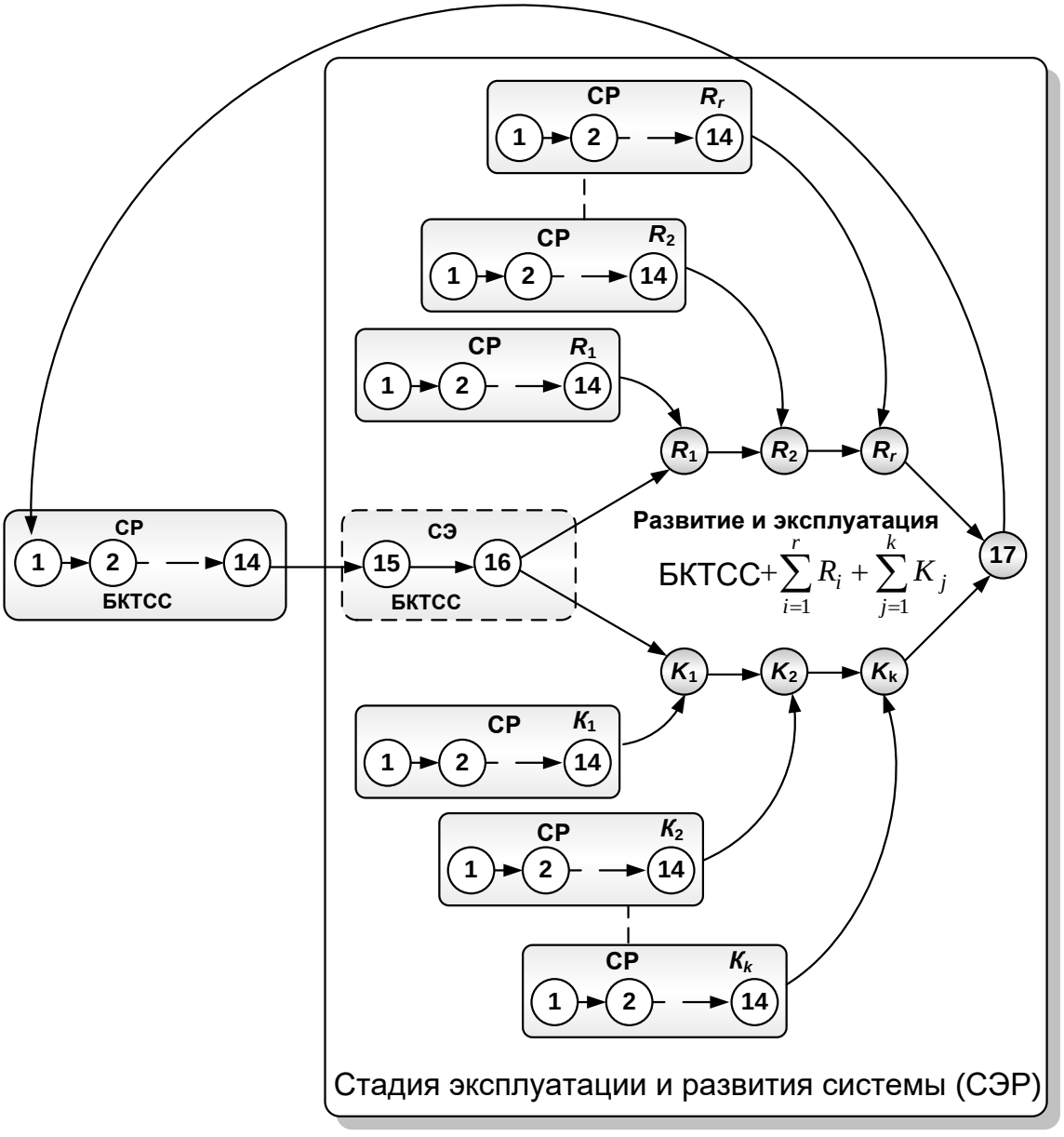


Рис. 6.13. Модель структуры жизненного цикла системы с параллельным внедрением новых комплексов технических средств и новых служб

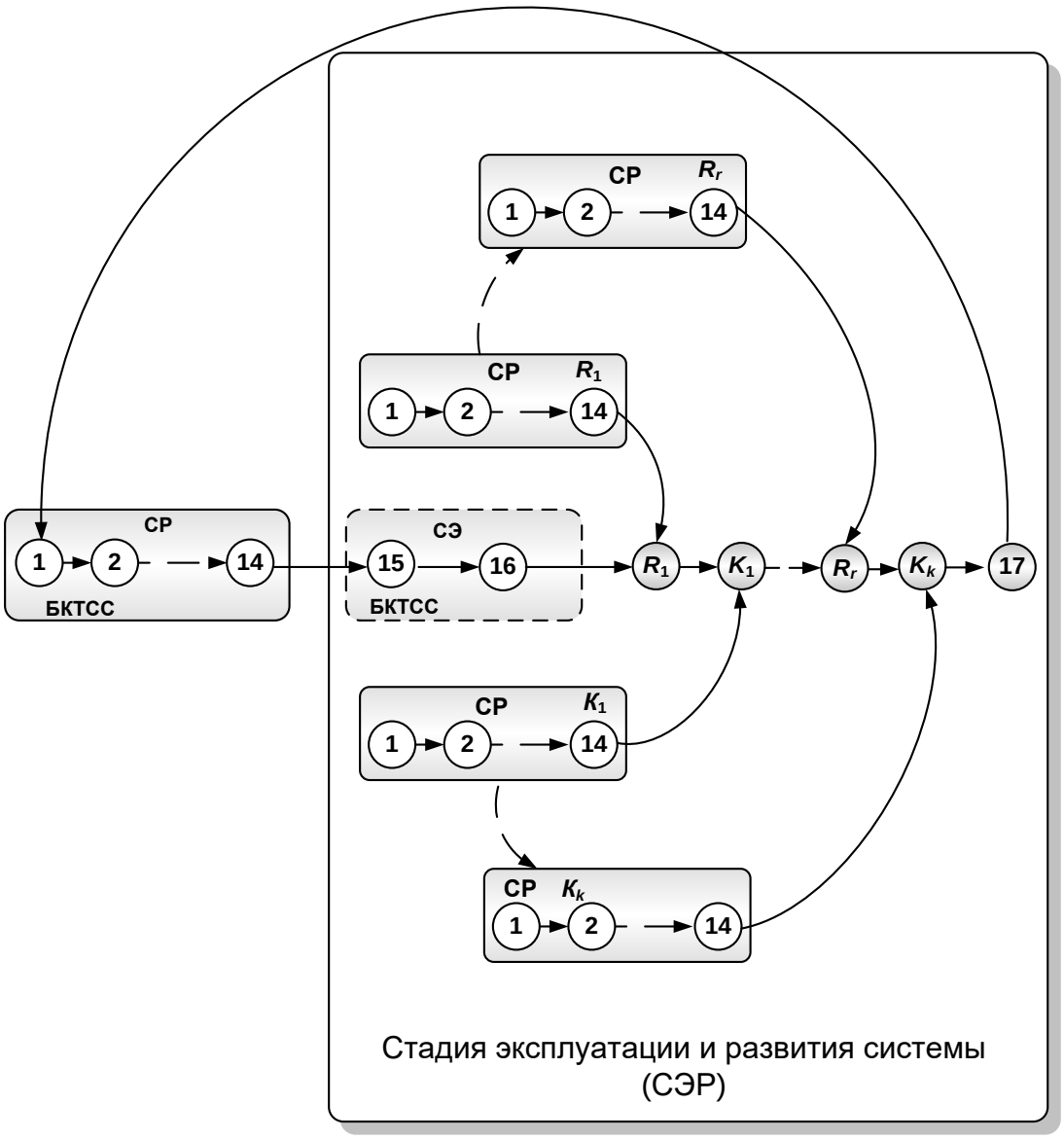


Рис. 6.14. Модель структуры ЖЦ системы с последовательным внедрением новых комплексов технических средств и новых служб

На рис. 6.13 показана модель структуры ЖЦ, характерная для крупных систем, в которых стадия эксплуатации (СЭ) совмещается с развитием системы (СЭР) и в которой процессы внедрения новых комплексов технических средств идут параллельно с внедрением новых комплексов служб и услуг. В данном случае на СР системы разрабатывается базовый комплекс технических средств и служб, который предъявляется на испытания и вводится в эксплуатацию (1 этап). Далее совместно с эксплуатацией осуществляется поэтапное развитие системы в части внедрения новых комплексов технических средств из множества *R* и новых служб из множества *K*.

Этим внедрениям предшествуют стадии разработки каждого нового комплекса и новой службы, которые, таким образом, имеют свой внутренний жизненный цикл, совмещенный с ЖЦ всей системы. Модель предполагает множество сценариев развития ЖЦ системы, что обеспечивает широкие возможности для оптимизации жизненного цикла и нахождения оптимального сценария. Элемент 17 на рисунке обозначает завершающий этап эксплуатации системы до окончания ее ЖЦ.

На рис. 6.14 показана та же модель, но с последовательным внедрением новых комплексов технических средств и новых служб. Предполагается, что новые КТС разрабатываются и внедряются для обеспечения соответствующих новых служб, т. е. R_1 поддерживает K_1, R_2–K_2 и т. д.

6.3. Жизненный цикл как объект исследования эффективности инфокоммуникаций

В научно-технической литературе по анализу и оптимизации инфокоммуникационных сетей критерий эффективности рассматривается, как правило, применительно к физической структуре сети. В некоторых работах учитывается и архитектура сети, т. е. влияние выбранных протоколов, интерфейсов, алгоритмов обработки информации на эффективность системы.

Такой подход вполне устраивает Разработчика, а часто и Заказчика, т. к. он наиболее понятен на стадии разработки системы людям, специализирующимся в области проектирования систем и обычно не участвующим в эксплуатации системы. Но на этой стадии возможен только теоретический расчет эффективности и других показателей системы, результаты которого и предъявляются заказчику.

На следующей стадии жизненного цикла эксплуатацией и развитием системы занимаются другие люди, другие специалисты, задачи которых кардинально отличаются от задач проектировщиков. У них может быть другой критерий эффективности, в частности, для коммерческих систем он, как правило, определяется прибылью, доходом. И этот показатель больше начинает зависеть не только от технических характеристик системы, но и от условий эксплуатации, организации работ, качества услуг, обслуживающего персонала, контингента пользователей и т. п. Реальная эффективность системы становится переменной величиной во времени, ее нужно постоянно отслеживать и управлять.

Появляется задача оценки эффективности на данный момент и прогноза на последующие этапы. Для получения реальной картины эффективности системы, изменяющейся во времени, необходимо учитывать расходы и доходы не только на стадии эксплуатации, но и на стадии разработки. Отсюда вытекает задача исследования эффективности жизненного цикла системы, представляющего собой сложную динамическую систему, охватывающую все процессы разработки, эксплуатации и развития, а также физическую структуру и архитектуру системы.

Чтобы получить максимальную пользу от системы за все время ее жизнедеятельности, необходимо правильно поставить задачи перед ее жизненным циклом и сформулировать основные принципы, которыми нужно руководствоваться при разработке и эксплуатации системы.

Жизненный цикл (ЖЦ) инфокоммуникационной сети (ИКС) начинается с замысла о разработке и создании новой системы, решение о которых принимает, как правило, владелец системы после скрупулезного анализа действующей системы и проведения целеориентированного обследования:

потенциальных потребителей на территории предполагаемого развертывания системы (от властных структур до индивидуальных пользователей);

географии и топографии территории;

распределения железнодорожных магистралей, линий электропередач, шоссейных дорог;

состояния действующих сетей связи;

возможностей закупки типового оборудования, экономических и таможенных условий;

возможностей производства оборудования;

ресурсов подходящих готовых сооружений и строительной базы;

возможностей получения дотаций, инвестиций и кредитов.

Обследование владелец (в дальнейшем Заказчик) может поручить специализированной организации, как правило, будущему Разработчику системы.

На основании этих данных и изучения рынка спроса инфокоммуникационных услуг Заказчик формирует техническое задание (ТЗ) на разработку системы и на тендерной или другой основе подбирает Разработчика, который фактически становится главным лицом на стадии разработки системы.

Формирование ТЗ должно определяться задачами, которые ставятся перед жизненным циклом ИКС. Поскольку инфокоммуникационные сети являются социально-техническими системами, непосредственно влияющими на качество и образ жизни людей, то различают четыре основные группы таких задач [5]: политические, социальные, технические и экономические. В ТЗ Заказчик отражает для Разработчика, в основном, технические и отчасти экономические задачи, однако политические и социальные задачи всегда имеются ввиду, т. к. без их учета эксплуатация и развитие системы не могут быть эффективными.

Задачи политического плана:

повышение политической и общественной активности населения за счет обеспечения доступа к информации, позволяющей объективно оценить политические, экономические и социальные процессы, протекающие в регионе, стране и мире, возможность доведения мнения каждого человека до соответствующих политических институтов и общественных организаций;

повышение качества функционирования государственных и муниципальных органов управления на основе использования полной, достоверной и своевременной информации о реальной обстановке на местах;

обеспечение условий, способствующих сближению и консолидации людей, взаимному доверию, установлению и поддержанию дружеских межнациональных и других социальных отношений;

обеспечение условий, способствующих развитию демократии и гласности, прогрессивным преобразованиям в обществе, развитию и укреплению политических институтов и общественных организаций, осуществляющих и поддерживающих эти преобразования.

Социальные задачи.

ИКС должна повышать коэффициент полезного действия (КПД) обслуживаемого ею социума в течение всего жизненного цикла. Учитывая, что КПД социума определяется его организацией и квалификацией, а информация есть мера организации, то для решения этой задачи необходимо повышать оперативность поиска и доставки информации в интересах пользователей, что накладывает определенные требования на характеристики передачи информации ИКС и, соответственно, на ее структуру и архитектуру. Повышение квалификации социума должно обеспечиваться созданием и развитием информационных служб телеобразования, информационно-справочных служб, центров научно-технической информации ИКС [3] и т. п. Повышение КПД социума будет происходить также путем непосредственного усиления общественного интеллекта. Социальный мозг, компонентами которого являются индивидуальные мозги людей, действует как целое, но его КПД составляет всего 0,5–1 %, что гораздо ниже КПД индивидуального мозга. Причина состоит в рассогласованности социума и альтернативности интеллектуальной деятельности различных групп. Инфокоммуникации будущего обеспечат интеграцию мышления и деятельности групп, сообществ и общества в целом. Улучшится информационный сервис, создающий многосторонние возможности улучшения профессиональной деятельности и повышения качества отдельных действий.

Повышение индивидуальной и групповой активности общества в социально-экономической сфере. Всесторонняя активизация общества, направленная на оптимизацию его совместной деятельности, достигается:

организацией в ИКС банков информации, информационных и телевизионных порталов [3], предоставляющих пользователю всестороннюю информацию по любым вопросам;

организацией теле- и видеоконференций, семинаров, демонстраций, презентаций, выставок – с приглашениями и с широкой публичностью;

посредством быстрого установления контактов между пользователями;

посредством пропаганды, открытой и скрытой рекламы.

Следует ожидать активизации деятельности в области экономики, социального устройства, производства, обучения, торговли, предпринимательства. Это – активизация взаимодействия членов общества, создание новых объединений, корпораций, компаний, усиление и укрепление взаимодействия между ними. Это – активизация вхождения в социально-экономическую жизнь новых членов общества, подрастающего поколения.

Другими словами, развитие инфокоммуникаций приведет к всесторонней активизации общества, направленной на оптимизацию его совместной деятельности по принципу Парето, который гласит, что каждый субъект (коллективный или индивидуальный) стремится всемерно улучшить свое положение, однако только до тех пор, пока это не приводит к ухудшению положения других субъектов (идеал рыночных экономических отношений).

Максимальная экономия времени субъектов социума и социума в целом. Это достигается:

организацией полноценных контактов между пользователями в кратчайшее время независимо от территориальной разобщенности, временных поясов и времени суток;

оперативным документированием контактов в любой желательной форме с предоставлением пользователям копий документов телекоммуникационными средствами;

полной юридической правомочностью и юридической защитой любых деловых операций, сделок, договоренностей, обязательств, решений – без обязательного особого документального (нотариального или другого) оформления;

высвобождение пользователей от рутинной работы: выполнения расчетов, редактирования письменных и устных текстов, сбора и структуризации информации, поиска полезных контактов – эти работы должна взять на себя ИКС;

устранением языковых барьеров между разноязычными партнерами посредством автоматического перевода и т. д.

Повышение национального дохода.

На национальный доход непосредственно влияют и повышение КПД социума, и повышение индивидуальной и групповой активности общества в социально-экономической сфере, и экономия времени субъектов социума и социума в целом.

Работа ИКС должна быть организована в течение жизненного цикла таким образом, чтобы обеспечить повышение национального дохода в различных социальных слоях путем:

лучшей информированности населения по поводу трудоустройства, знания законодательства, перспективных сфер деятельности, улучшения справочных служб и др.;

лучшей информированности коммерческих структур, ускорения оборота их капитала и контактов;

внедрения информационных технологий электронной торговли;

улучшения управления в государственных и административных структурах, в производственной сфере, энергетике и транспорте, сокращения административного аппарата;

повышение доходов от экспорта и импорта за счет улучшения взаимной информированности партнеров и ускорения оборота;

резкого снижения потерь в чрезвычайных ситуациях за счет повышения оперативности донесений и оценки обстановки;

увеличения доходов самой ИКС за счет расширения объема услуг и увеличения контингента пользователей и др.;

повышения квалификации социума и его здоровья с помощью инфокоммуникационных служб телеобразования и телемедицины [3].

Эти задачи могут быть успешно решены, если они станут частью государственной политики с полной ответственностью за нее конкретных структур и лиц. В противном случае активизация членов общества превратится в активизацию криминальных структур с полным охватом всей территории страны, экономия времени субъектов социума будет полностью съедаться азартными играми и безнравственными шоу, повышение КПД социума может так усилить групповой криминальный мозг, что хакерские атаки будут намного изощреннее всех методов защиты информации в Глобальной сети, а ключи от «электронных домов» сможет приобрести любой «домушник».

Технические задачи.

Технические задачи ставятся в требованиях технического задания на систему и решаются в процессе ее разработки, а также на стадии эксплуатации и развития. К основным техническим задачам жизненного цикла ИКС следует отнести:

расширение в процессе развития покрываемой территории. Она может охватывать регион, несколько регионов, всю страну. Спутниковый сегмент, а также сотовые системы могут значительно расширить покрываемую территорию до планетарного масштаба;

расширение абонентской емкости системы за счет подключения домашних пользователей, служебных абонентов, других клиентов (например, уличные телефоны-автоматы). При этом абоненты должны оснащаться необходимыми им абонентскими комплектами, включая самую современную аудио- и видеоаппаратуру;

увеличение количества и распределение телепортов на территории страны с возможностью увеличения их пропускной способности для обеспечения развивающихся видов услуг, способов обработки и хранения информации, ее оперативного перераспределения с учетом приоритетов и тарифов;

увеличение количества информационных центров и их информативности;

освоение новых инфокоммуникационных технологий и создание на их основе новых информационных и телекоммуникационных служб и услуг;

увеличение пропускной способности каналов передачи информации между центрами коммутации и телепортами, абонентского доступа, наземных спутниковых станций связи и спутников ретрансляторов, центров коммутации и абонентских комплектов;

постоянное совершенствование и развитие системы за счет:

повышения технического уровня посредством замены компонентов, устройств на более качественные и современные;

разработки и ввода в действие новых, более эффективных программ;

повышения качества управления;

повышения уровня сервисности;

внедрения подвижных наземных объектов спутниковой, сотовой и других видов радиосвязи;

расширения объема услуг;

освоения новых территорий, не входящих в региональные подсистемы;

увеличения числа межрегиональных и международных линий телекоммуникаций;

освоения новых сфер деятельности;

создания дочерних систем и предприятий инфокоммуникационной направленности (включая банки, биржи и др.);

создания собственного производства.

Все эти требования могут быть выполнены при поддержании высокой наукоемкости системы, которая обеспечивается:

применением и развитием методов системного исследования к проблемам и задачам инфокоммуникаций;

всесторонним и глубоким системным исследованием социума, в интересах которого создается система;

фундаментальным учетом взаимодействия системы с окружающей средой – внутренним социумом страны и мировой системой инфокоммуникаций;

применением системного моделирования, при котором системная модель сопровождает систему инфокоммуникаций на протяжении всего жизненного цикла, упреждая ход событий и обеспечивая их предсказание, прогноз ситуаций и подготовку решений;

созданием и развитием собственных средств обеспечения функционирования: ремонта и производства технических средств, автоматизации программирования, подготовки кадров, социальных исследований, финансовой оптимизации;

созданием и функционированием системы управления, охватывающей все стороны деятельности системы.

Задача проектировщиков и эксплуатационников сети – так распределить решение технических задач на жизненном цикле ИКС, чтобы получить сценарий, оптимальный по выбранному критерию эффективности.

Экономические задачи.

Инфокоммуникационная сеть должна формировать для себя рынок сбыта.

Общественная потребность сама по себе еще не обеспечивает рынок сбыта. Эта потребность не сразу и не всеми осознается. Даже к самым простым и полезным, но принципиально новым средствам человек привыкает с трудом и относится к ним с недоверием. Так, в начале XX века передовой и весьма образованный генерал русской армии Драгомилов отказался от телефона: «Я не допущу, чтобы в мою спальню врывался голос, который мне, возможно, неприятен… Я не лакей, чтобы меня вызывали по звонку».

Инфокоммуникационные услуги необходимо широко пропагандировать в средствах массовой информации, выпускать популярные книги, журналы, газеты, но главное – маркетинг и реклама, тарифная, льготная, приоритетная и штрафная политики, проводимые на основе экономических, социально-психологических и системотехнических механизмов. Одним из таких широко используемых механизмов является предоставление на первых этапах дешевых тарифов, льгот и приоритетов. Привыкнув к хорошей услуге, пользователь уже не откажется от нее и при разумном повышении тарифов. Ясно, что на этих этапах необходима оптимизация сценария на системной модели жизненного цикла сети.

Услуги системы должны быть доступными.

Доступность включает три компонента: операционный, комфортный и платежный.

Операционный компонент предполагает оперативную без проволочек установку абонентского комплекта с требуемым заказчиком комплексом услуг и возможностью наращивания. Очереди недопустимы, заказ должен выполняться немедленно и качественно. Это же касается реализации услуг, абонент должен получать услугу в установленный рекламой срок с высоким качеством.

Комфорт означает простоту и удобство пользования, надежность, быстрое освоение услуги пользователем. Состав, форма, качество предоставляемой информации должно быть на высоком уровне и не раздражать абонента.

Платежный компонент обеспечивает прибыль. Рациональный тариф, льготы и приоритеты, форма и время оплаты услуг должны быть оптимизированы по сезонам, по времени суток, по порядку предоставления услуг с соблюдением как своих интересов, так и интересов пользователей. Завышенные тарифы делают услуги сети недоступными.

Инфокоммуникационная сеть должна быть прибыльной. В развитых странах инфокоммуникации – одна из наиболее выгодных областей вложения капитала.

Формирование прибыльности владельцам системы основано на том, что она прибыльна пользователям за счет экономии времени, лучшего информационного обеспечения, высвобождения от рутинных работ.

Экономия трудозатрат каждого пользователя и социума в целом в развитых странах дает прибыль соответственно 0,1–0,3 зарплаты и до 2 % национального дохода [6]. Вот почему пользователи охотно платят за услуги сети.

Прибыльность является основной характеристикой жизненного цикла инфокоммуникационной сети, должна рассчитываться на все прогнозируемые периоды, отслеживаться и проверяться.

Очевидно, что решение указанных экономических задач сильно влияет на эффективность жизненного цикла ИКС и зависит не только (и даже не столько) от технических характеристик системы, но в большой степени от квалификации управляющего и обслуживающего персонала, от организации работ и качества предоставляемых услуг.

Рассмотренные выше политические, социальные, технические и экономические задачи будут определять всю жизнедеятельность ИКС, которая должна быть направлена на эффективное их решение. Следовательно, потребуется постоянный анализ многочисленных характеристик жизненного цикла и необходимая корректировка его параметров для поддержания эффективности системы на оптимальном уровне.

6.4. Основные принципы повышения эффективности жизненного цикла инфокоммуникационных сетей

При создании инфокоммуникационных сетей в концепцию их построения и развития ИКС должны быть заложены определенные принципы, обеспечивающие высокую эффективность системы в течение всего ее жизненного цикла.

К основным таким принципам следует отнести [4]:

Принцип преемственности. На данной территории в стране одновременно существуют и функционируют несколько различных сетей связи: телефонных, телеграфных, передачи данных и других. Заменить все эти сети единовременно одной инфокоммуникационной сетью с интеграцией служб бессмысленно и невозможно. Принцип преемственности состоит в максимальном использовании ресурсов существующих сетей и постепенной передаче функций этих сетей новой инфокоммуникационной сети. Преемственность должна соблюдаться и в системе оплаты услуг и во всей коммерческой деятельности.

При этом могут быть использованы различные стратегии, основные из них – стратегия замещения и стратегия наложения.

Стратегия замещения или эволюционная стратегия характеризуется использованием новых средств передачи и коммутации для наращивания емкости существующих систем и замены устаревшего оборудования. Быстрота и масштабы перехода новой сети в различных регионах страны могут быть разными.

Стратегия наложения или революционная стратегия заключается в том, что наряду с уже существующей сетью создается новая сеть, структура которой может значительно отличаться от структуры существующей. Взаимодействие новой и старых систем может осуществляться через шлюзы.

Такие стратегии являются важным фактором при построении множества сценариев создания и развития ИКС и оптимизации ее жизненного цикла.

Принцип перспективности. ИКС должна быть перспективной в техническом, социальном и финансовом отношениях. Понятие перспективности не имеет четкого определения, однако ясно, что оно связано с дальними планами и видами на будущее. Оценка перспективности требует анализа ситуации, прогнозирования жизнедеятельности системы и количественной оценки сравнения альтернатив поведения, т. е. сравнительного анализа сценариев жизненного цикла ИКС, которые необходимо тщательно продумать. Сценарии жизненного цикла зависят от множества факторов, в том числе от:

выбранного принципа преемственности;

этапности применения различных технических средств и технологий их создания;

этапности и порядка внедрения новых информационных служб;

систем приоритетов, льгот и тарифов;

методов и уровня автоматизации управления и многих других.

Принцип прибыльности. Это важнейший принцип для коммерческих сетей. Для сетей специального назначения также необходимо искать возможность выражения критерия эффективности через экономические показатели.

Прибыльность системы достигается:

рациональной стратегией и гибкой тактикой выбора пользователей, особенно на первых этапах эксплуатации, а также первоочередным внедрением в эксплуатацию служб и услуг, наиболее востребованных в данный момент пользователем. Это обеспечивает наиболее быстрый возврат долгов по кредитам;

повышением технического уровня посредством замены устройств, агрегатов на более качественные и современные;

разработкой и вводом в эксплуатацию новых информационных и телекоммуникационных служб и услуг;

повышением качества управления;

повышением уровня сервисности;

расширением контингента пользователей;

оптимизацией тарифной политики;

оптимизацией приоритетной политики и др.

Принцип управляемости. В инфокоммуникационной системе в течение жизненного цикла одновременно действуют несколько взаимосвязанных между собой видов управления:

техническое управление – направлено на обеспечение высокой надежности и готовности оборудования. Это наиболее автоматизированный вид управления, обеспечивающий замену отказавших узлов и устройств, устранение неисправностей без замены, текущий, средний и капитальный ремонт аппаратуры;

функциональное управление – направлено на контроль и корректировку рабочих программ, их согласование в процессе работы, переключение нагрузки в случаях отказа коммутационных узлов или линий передачи, на качественное предоставление услуг и высокий уровень сервисности для пользователей;

оперативное управление – направлено на анализ текущей ситуации, оптимальное распределение нагрузки, предупреждение перегрузок, контроль за соблюдением приоритетов и за удовлетворением жалоб на обслуживание, организацию работы системы в нештатных ситуациях;

административное управление направлено на обслуживающий персонал – для стимулирования производительности труда, обеспечения социальной защищенности личного состава, контроля за качеством выполнения служебных функций, формирования и осуществления кадровой и финансовой политики, установления тарифов и приоритетов, разборов жалоб и претензий пользователей. Административное управление направлено также на контингент пользователей для его структуризации, выявление новых и недостаточно удовлетворяемых требований, повышение заинтересованности, рекламирование услуг, установление взаимодействия с властями и пользователями, формирование кредитной, инвестиционной и акционерной политики, маркетинга, подготовки и переподготовки кадров;

управление разработками – направлено на генерирование и поиск новых идей, методов, новых средств, программ, конструкций для повышения технического уровня и значимости ИКС. Новые разработки возникают инициативно, как правило, в процессе эксплуатации ИКС, когда появляется необходимость совершенствования системы, внедрения новых служб и услуг, подтвержденных анализом рынка услуг и требований пользователя. Если в процессе разработки системы компании удалось достаточно детально распланировать

жизненный цикл системы с указанием этапов ввода в эксплуатацию новых комплексов технических средств, служб и услуг, то новые разработки заказываются руководством компании. Они могут выполняться личным составом системы, если в компании имеются соответствующие структуры и специалисты, или сторонними коллективами;

управление развитием системы – направлено на территориальное расширение системы, увеличение числа пользователей, а также числа и качества услуг. Развитие предполагает новое строительство, испытания, ввод в строй и организацию эксплуатации новых средств и подсистем. Таким образом, управление развитием охватывает техническую, финансовую, социальную и организационную функции. Управление развитием воздействует на социум и власти региона с тем, чтобы обеспечить социальную, экономическую, правовую и социально-психологическую базы инфокоммуникаций.

Все виды управлений направлены на достижение высокой эффективности жизненного цикла системы и отдельных его этапов.

Принцип развития – ведущий принцип, как правило, коммерческий, обеспечивает создание и поддержание системы на высоком уровне прибыльности. Концептуально закладывается при планировании жизненного цикла системы и поддерживается структурой управления развитием.

Принцип этапности – определяет пространственно-временное изменение и развитие системы и ее статус на каждый момент времени. Поэтапно осуществляется как разработка системы (эскизный, технический, рабочий проекты и т. д.), так и ее эксплуатация и развитие. Первые этапы эксплуатации и развития могут быть запланированы при разработке жизненного цикла системы, однако более дальние этапы рождаются уже в процессе эксплуатации по мере развития и изучения требований пользователей.

Принцип эффективности. Жизненный цикл ИКС должен быть эффективным в соответствии с принятым критерием Если это коммерческая система, то она должна удовлетворять не только потребности общества, но и приносить прибыль, которая должна рационально расходоваться. Принцип эффективности должен действовать на всем жизненном цикле системы – начиная от замысла и кончая заменой. Это ведущий фактор технического, территориального и социального развития.

На основании этого принципа формируется стратегия развития, операторская деятельность, коммерческая политика (тарифы, приоритеты, льготы, штрафы, маркетинг), инвестиционно-кредитная политика, внутренняя социальная политика (зарплата и другие вознаграждения персонала) и, наконец, вся техническая политика.

Указанные принципы наберут реальную силу и обеспечат эффективность применения, если их выдержать на всем жизненном цикле системы, от замысла до снятия с эксплуатации. Для этого требуется создание системной модели жизненного цикла, которая будет его операционным отображением на всех этапах развития. Модель должна дополняться и уточняться на основании оперативных данных, получаемых в процессе создания, эксплуатации и развития системы.

6.5. Социально-финансовая база как решающий фактор повышения эффективности жизненного цикла инфокоммуникационных сетей

Эффективность жизненного цикла инфокоммуникационной сети во многом зависит от социально-финансовой базы региона, страны, где будет эксплуатироваться развернутая на данной территории инфокоммуникационная сеть.

Пользователи услуг инфокоммуникационных сетей (ИКС) Глобальной (региональной) информационной инфраструктуры (ГИИ, РИИ) являются и компонентом ГИИ (РИИ) и одновременно социально-финансовой базой.

Инфокоммуникации структурно образуют территориальные сети, покрывающие определенную часть территории региона и всю планету.

Региональные инфокоммуникационные сети формируются на основании тяготения – потребности в информации ведомственных, производственных, культурных, научных и индивидуальных пользователей. Структура и конфигурация сети определяется расположением пользователей в пространстве и времени с учетом подвижных объектов.

Потребность в информации как по количеству, так и по содержанию в различных сферах деятельности (у разных пользователей) различна. Пользователи очень неравномерно по плотности и по потребности размещены на территории региона.

Конфигурация системы инфокоммуникаций должна учитывать эти свойства регионального социума и тенденции его развития.

6.5.1. Авторский подход к оценке социально-финансовой базы

Какова же социально-финансовая база инфокоммуникаций (в основном, для России), на что можно рассчитывать создателям инфокоммуникационных сетей? [6,7].

1. Наука.

До XIX века основным в научном взаимодействии был эпистолярный жанр. В XIX веке число ученых и специалистов так выросло, что эпистолярное общение стало непригодным. Функцию инфокоммуникаций на себя приняла печать, которая осуществляла тиражирование и все технологические функции. Развитие теле- и инфокоммуникаций в корне изменило ситуацию. Любая научная работа поступает в соответствующий банк данных, рекламируется и может быть передана по Интернет или другим сетям любому потребителю, в любую точку планеты, если там есть соответствующий абонентский комплект. Научная информация специфична, печатные издания содержат лишь 15–30 % полезной информации, остальное – избыточность. Компьютерные редакторы могут сжать материал, что полезно и для пользователя, и для сети.

Неизменным компонентом научной деятельности являются личные контакты: конференции, симпозиумы, семинары. Такие контакты неизменны и приятны, но весьма малопроизводительны. Теле- и видеоконференции, обеспечиваемые инфокоммуникационными сетями, намного более производительны. Все выступления могут быть автоматически записаны, набраны для печати, отредактированы и получены участниками и всеми желающими прямо на местах. Могут быть организованы перерывы для дополнительных исследований, показы экспериментов на любых установках и все это в диалоговом режиме. Не будет языкового барьера: автоматический перевод обеспечит непрерывность многоязыкового общения.

Социальная база инфокоммуникаций в науке достаточно обширна и представительна. Хуже обстоит дело с финансовой базой. При существующей оплате ученых они вряд ли смогут оплачивать услуги инфокоммуникаций из личных средств. Частичной финансовой базой могут быть НИИ и КБ. Здесь, вероятно, нужно привлекать коммерческие структуры, заинтересованные в наукоемкости своей продукции и не в качестве спонсоров, а в качестве партнеров научных учреждений. Правда, если в России будет дальше господствовать идеология «купи-продай», то наука останется не у дел.

2. Образование.

Образование как социальная база инфокоммуникаций имеет много общего с наукой: лекции посредством видео-телеконференций, обмен учебными пособиями, методические совещания коллег по предмету, получение новых научных данных для оживления преподавания, учебные кинофильмы, использование видеоизображений для иллюстраций и т. д.

Инфокоммуникации открывают совершенно новые перспективы в методике обучения, гораздо более эффективные, чем то, что известно сегодня. В прошлом наиболее распространенным и результативным считался метод ученичества. Ныне он практически утерян: слишком широка аудитория обучающихся. Инфокоммуникации позволяют учителю

работать с многочисленной аудиторией, общаясь с каждым обучаемым как бы индивидуально. Для этого требуется особый профессионализм, которого несложно достигнуть. Через некоторое время контакт закрепляется и самостоятельность обучаемых растет. Таким образом, достигается главное в обучении: достижение умения обучаться самому.

Для инфокоммуникаций нет ограничений ни по размерам контингента, ни по профессии. К преподаванию могут привлекаться только специалисты высшей квалификации. Социальная полезность и экономическая выгода подтверждены практикой в различных странах: сроки обучения резко сокращаются, а качество возрастает, так что суммарные затраты на подготовку к обучению, процесс обучения и приобретения навыков существенно снижаются (по различным оценкам и в разных сферах – от 0,7 до 0,2 от традиционного уровня).

Если к этому добавить применение музыкального фона, гипнообучение (во сне), воздействие на подсознание «мелькающими кадрами» при демонстрации сюжетов, то становится ясным, что социальная база систем инфокоммуникаций в сфере обучения может стать близкой к численности телефонных абонентов.

Но как и в науке, сложнее обстоит дело с финансовой базой. Образование – одна из наиболее скудных областей государственного дотирования. Самоокупаемость ее очень низка. Спонсорская деятельность также крайне низка, ибо практически ничего не обещает спонсору. По-видимому, возможны две основные формы оплаты за оконечное оборудование и пользование программами: индивидуальное и коллективное.

Индивидуальные абоненты за лекции, консультации, специальные (заказные) курсы обучения, индивидуальное инфокоммуникационное обучение, снабжение пособиями, контроль, аттестацию и т. д. должны платить из собственных средств. Чем шире контингент, тем ниже тариф. Учебный материал в любой форме – товар, чем больше партия, тем ниже цена. В сущности, индивидуальность этого товара достигается несложными и недорогими приемами, так что серии могут быть большими. Поэтому давление на семейные бюджеты – имея в виду отдачу – вполне допустимое.

Коллективные абоненты (предприятия, учреждения, центры обучения, привлекающие клиентуру и т. д.) находятся в очень выгодном положении. Подготовить квалифицированного работника по узкому профилю своими силами дорого, для малых предприятий цена малодоступна. После обучения нужна практика – для предприятия малопроизводительная. Система инфокоммуникаций позволяет сократить срок подготовки в два, а то и в три раза, учитывая эффективный контроль за практикой и привитие навыков к самосовершенствованию. Поэтому предприятиям будет выгодно платить за пользование системой инфокоммуникаций.

3. Здравоохранение.

Служба здоровья включает:

медицинские рекомендации и консультации;

самоконтроль и аутогенное регулирование функций;

обучение аутогенным тренировкам;

физкультурные занятия;

спортивные советы.

Телевидение уделяет некоторое внимание службе здоровья, но очень мало и непрофессионально. Инфокоммуникации позволяют обеспечить оздоровительными мероприятиями весь контингент пользователей по запросу. При этом характер и содержание мероприятий будут зависеть от состава абонентского комплекта, финансовых возможностей и состояния здоровья. Инфокоммуникационная служба здоровья при правильной организации и правильном использовании может сберечь социуму до 40 % трудоресурса.

Рекомендации и консультации могут носить как общий, так и индивидуальный характер, в этом случае они связаны с опросом и объективным контролем, который

осуществляется телематически. Телематический самоконтроль – важнейший фактор медицинского обеспечения, пользователи должны иметь возможность ежедневно оценивать состояние организма, раз в месяц – функциональную деятельность. Аутогенное регулирование функций позволяет стабилизировать артериальное давление, эмоциональный уровень, устранить тревожность, нормализовать сердцебиение, а при более глубоком освоении регулировать и такие функции, как деятельность желудочно-кишечного тракта, сосудистой системы и эндокринных органов. Аутогенные тренировки в принципе позволяют обрести власть над телом, включая терморегуляцию, но даже при поверхностном освоении – ликвидировать простуду, стабилизировать поведение и многое другое.

Физкультурные упражнения заказываются индивидуально – на основании данных самоконтроля и телеконтроля, в соответствующем центре структурируются, так что общее количество программ, требуемых для обслуживания почти всех потребителей, согласно имеющимся медицинским данным и опыту, не превышает 30.

Спортивные рекомендации гораздо более индивидуализированы, но количество их потребителей менее 0,1 % от числа пользователей. Возможно, эти цифры изменятся в процессе внедрения и развития инфокоммуникаций. Можно ожидать, что на первом этапе системой будет охвачено в регионах около 10 % пользователей – с различным составом абонентских комплексов.

Такова социальная база службы здоровья. Финансовая база более благополучна, чем в предыдущих сферах применения – ввиду глубокого интереса населения к своему запущенному здоровью. По мере увеличения благосостояния контингент будет возрастать. Учитывая, что дорого будет стоить небольшая часть услуг, тариф на основные услуги может быть достаточно низким, а для части населения бесплатным. Прямой прибыли от службы здоровья ожидать, вероятно, не следует, хотя она сможет стать самоокупаемой. Но, учитывая огромное социальное значение, нужно развивать службу здоровья даже в убыток. Агитационная роль этой службы обещает быть настолько значимой, что общий спрос на предоставление абонентских услуг через некоторое время покроет убытки и даст прибыль.

4. Культура и развлечения.

Телевидение существенно потеснило театр, кино, музеи и выставки. Возможность не выходя из дома окунуться в культурную жизнь привлекательна и экономна. Качество театральных представлений может быть выше телевизионных, однако изобразительные возможности телевидения тоже велики (крупный план, блуждающая маска, наплывы, замедления и ускоренная съемка и т. п.), что приближает телевидение к кино. Все шире внедряются большие экраны и стерео, что создает эффект присутствия и соучастия.

Инфокоммуникации дадут новый аспект и новый толчок в развитии телевидения: индивидуальный заказ программы и интерактивное участие и действие. Если удастся в недалеком будущем внедрить голографию в телевидение для получения стереоизображений, то по силе восприятия и впечатления телевидение приблизится к театру и посещению музеев и выставок.

Все большее распространение получают компьютерные игры, которые, возможно, будут доминирующими в образовании доходов инфокоммуникационных компаний.

Можно еще привести много примеров применения инфокоммуникаций для удовлетворения культурных запросов социума.

Культура – извечно дотационная сфера человеческой деятельности во всем мире и во все времена. В нашей стране она очень бедная. Звезды экрана и сцены зарабатывают в сотни раз меньше, чем в развитых странах, их доходы не идут ни в какое сравнение с популярностью. Тем не менее, их заработок на порядок выше, чем заработок ученых. Однако доходы рядовых актеров, а их число, по крайней мере, на три порядка выше числа звезд, в полном смысле слова нищенские, в искусстве их удерживает «запах кулис». Ни государство, ни меценатство, ни спонсорство не смогут изменить этой ситуации.

Представляется, что система инфокоммуникаций может не только переломить ситуацию, но и неплохо заработать. Основу использования сферы культуры, как финансовой базы, составит разнообразие общественных интересов. Когда оплата программ включается в цену телевизора, культуре почти ничего не достается: весь доход съедает производство и торговля. Возможность заказать любой сюжет, из любой отрасли культуры – от оперетты на венской сцене до экспозиции картин Рерихов, от «Мефистофеля» Байто с участием Шаляпина до ансамбля «Машина времени» и обозрения пирамиды Хеопса, любого библиографического текста – достаточно привлекательна для общества, чтобы заплатить как следует. И не для элиты, а для массы людей.

Бич российского социума (от Петра I до Брежнева и современности) – алкоголь (теперь еще и наркотики). Иллюзорное блаженство снимает стресс и позволяет уйти от обыденности. Алкоголь – огромный источник дохода (как и наркотики). Навязывание программ массовой культуры его не заменяет. Другое дело возможность посмотреть и углубиться в то, чего «жаждет душа» (именно в этом сила наркотиков). Полное удовлетворение индивидуальных потребностей в сопереживании и уходе в мечту не только даст прибыль, но и станет одним из основных факторов искоренения алкоголя и наркомании.

5. Торговля.

Торговая сеть – питательная артерия региона. В цепи производитель-поставщик-потребитель торговля – важнейшее звено, которое разбивает эту цепь на множество более мелких звеньев.

Реальная цепочка – это производитель-скупка-складирование-транспорт-сортировка-торговля-потребитель. В этой цепочке действуют государственные, коммерческие, охранные, криминальные и другие структуры, которые, в конечном счете, во многих местах существенно обогащаются за счет соответственного увеличения цены товара. Реальный путь здоровой экономики – убыстрение прохождения товара по всей цепочке и уменьшение потерь на пути товара.

Причин, препятствующих решению этой проблемы много, и не все равнозначны. Помимо злоупотреблений, есть объективные причины. Одна из них – низкая информированность общества о реальной товарной конъюнктуре.

Инфокоммуникации позволяют получить информацию, заказать товар, оплатить товар и доставку. Такие заказы могут формироваться заблаговременно, на продукты питания, например, – осенью на всю зиму. Эти заказы оформляются безналично и оперативно. Выигрывают при такой схеме все – от производителя до потребителя. Система предзаказов и предоплаты охватывает все виды товарной продукции и услуг (в том числе транспортных), позволяет планировать и строго выполнять план по всему потоку товаров и обеспечивает общую заинтересованность.

Такая схема обеспечения движения товарных потоков может не только высвободить часть трудовых ресурсов, занятых в товарном обращении непроизводительно, и снизить криминальные потери, но и – что особенно важно – резко сократить количество реактивной товарной продукции, которая задерживается в пути, либо бесполезно кочует с одного склада к другому, от одного магазина к другому, застаивается на перегрузочных пунктах и т. д. Часто «на колесах» и на перевалочных пунктах находятся более 30 % всей товарной массы, но истинного положения никто не знает. Поэтому в эффективной инфокоммуникационной системе торговля заинтересована в первую очередь.

Торговая сеть является одним из наиболее оперативных и серьезных компонентов финансовой базы системы инфокоммуникаций. Правда, на инвестиции и кредиты рассчитывать вряд ли приходится, но в непосредственной текущей оплате услуг торговля будет участвовать с самого начала и безотказно.

Торговля является устойчивой финансовой базой. Она в минимальной степени подвержена структурным и организационным изменениям финансовой системы. Даже такое радикальное преобразование, как приватизация, очень слабо повлияла на ее денежный

потенциал. Без торговли не может существовать ни одно общество, а благотворно на финансирование системы инфокоммуникаций от торговли должно повлиять внедрение безналичной системы расчетов с покупателями. Поскольку техническое обеспечение этой системы всецело ложится на инфокоммуникации, ее взаимодействие с торговлей становится особенно тесным и эффективным. Быстрые расчеты – быстрее оборот – больше доход – больше прибыль – больше и оперативнее оплата за услуги инфокоммуникаций.

6. Банковская и биржевая деятельность.

Банки осуществляют финансовые связи между юридическими и / или физическими лицами.

Банк всегда заинтересован в быстром обороте капитала; задержка в обороте – появление реактивных денег, которые двигаются от одного клиента к другому, но не вкладываются в ту или иную производственную деятельность и, в конечном итоге, оборачиваются убытками и для клиентов, и для банка, хотя банк и получает кредитный процент при каждом перемещении денег. Основная часть доходов банка – процент за крупные кредиты, которые предоставляются на развитие производства при эффективном использовании денежных ресурсов.

Для принятия рациональных решений необходима представительная информация о промышленно-рыночной конъюнктуре и финансовом состоянии и перспективах потенциальных клиентов. Служба информации системы инфокоммуникаций может предоставить такую информацию банкам в структурированном и удобном для использования виде.

Система инфокоммуникаций позволяет до минимума сократить наличную денежную массу, что устраняет многие проблемы в принципе и обеспечивает оперативное регулирование денежных потоков.

Современная техника позволяет сконструировать простые устройства для оплаты покупок и проведения любых расчетов, а также соответствующие кассовые аппараты индивидуального применения, объединив их в единую систему расчетов, контролирующую финансовый оборот. Но ввести ее в действие невозможно без высокоинформативной и вседоступной системы инфокоммуникаций, через которую можно оперативно связаться с отделением банка и зафиксировать платежи. На основании практики развитых стран, интегрированных в общее финансовое поле, каждый пользователь может иметь магнитную карту, с которой в любом учреждении, офисе, фирме, магазине (среднем и крупном), бензоколонке можно оплатить любую услугу – в пределах финансовых возможностей клиента и его банк тут же переведет по запросу соответствующую сумму получателю. Зарплата и любые формы заработка будут перечисляться в отделение банка на текущий счет. Для оплаты наличными останутся только мелкие магазины, уличные киоски и т. д.

Оценки показывают, что такая система расчетов уменьшит потребность в наличности на 80–90 %.

Таким образом, создается возможность при помощи инфокоммуникаций производить почти мгновенное выполнение платежных поручений на любые расстояния и безналичной оплаты во всех жизненных сферах, что высвободит значительные трудоресурсы в финансовой сфере и среди населения, вынужденного проводить немало времени в очередях сбербанков и у платежных касс. Исчезнет опасность ограбления банков, магазинов, инкассаторов, с которой не удается эффективно бороться.

Биржи осуществляют оптовые торговые сделки и куплю-продажу ценных бумаг. Эффективность биржевой деятельности во многом зависит от информированности брокеров и клиентов, а биржевая конъюнктура – ее непосредственное выражение. Недаром еще в прошлом веке серьезные бизнесмены имели дома и в офисе телеграфные аппараты – чтобы своевременно получать информацию относительно курса акций. В наше время требуется непрерывный и хорошо структурированный поток информации, отражающий состояние биржи и общую конъюнктуру рынка. Опыт показывает, что большинство внезапных

банкротств и обогащений так или иначе связаны с недостаточной информативностью или прямой дезинформацией.

Из всех потенциальных потребителей и пользователей платежеспособность банков и бирж максимальна, но они – не благотворители и не бескорыстные инвесторы, деньги – их товар. Их кредиты – возвратные и прибыльные. Вряд ли будет преувеличением утверждение, что система инфокоммуникаций – одна из наиболее доходных областей кредитования, хотя кредиты будут возвращаться не скоро. Товар системы инфокоммуникаций – информация, и это покрытие кредитов – самое оперативное. Но, чтобы информация приносила реальную прибыль, и притом быстро, необходимо, чтобы она была целенаправленной, полной и достоверной.

Следует иметь ввиду, что банки и биржи платежеспособны, но их в любом регионе сравнительно немного, поэтому сумма возможных доходов от них будет достаточно внушительной, если информация обеспечит им внушительную прибыль. Только в этом случае банки и биржи станут не только социальной, но и устойчивой финансовой базой системы инфокоммуникаций.

7. Производство.

Система инфокоммуникаций позволяет производственным предприятиям (крупным, средним, мелким, государственным, коллективным, частным – независимо от масштаба и формы собственности) осуществлять все сделки – снабжение, сбыт, финансовые операции, транспортные операции – современными быстродействующими электронными средствами. Помимо оперативности и удобства это создает предпосылки для дебюрократизации и искоренения злоупотреблений.

Все большую роль в производственных отношениях (по крайней мере в масштабе региона) начинает приобретать маркетинг, он становится оперативным и высоко профессиональным. Широкое распространение получает система оперативных заказов и доставки промышленной продукции потребителям – в обход торговой сети, следовательно, по более низким ценам.

Формирование производственных кооперации значительно ускорится и приобретет оперативный характер. Отказ поставщиков от обязательств и потребителей от получения продукции потеряет свою разрушительную силу: кооперацию и контингент спроса можно будет быстро и эффективно восстановить. Автоматизация применения штрафных санкций за невыполнение обязательств резко снизит бюрократизм и волокиту в этой области, создаст эффективную систему производственных отношений.

Возможность непрерывного анализа и отображения производственной конъюнктуры создаст всем заинтересованным структурам возможности анализа ситуации и быстрого реагирования на ее изменения.

Производство получит все технические возможности для замены письменных или непосредственных контактов между производственными структурами на инфокоммуникационные.

Производство является определяющей социальной базой для системы инфокоммуникаций.

Известно, что затраты на оформление сделок, потери за счет задержек и нестыковок, отсутствие оперативности и несвоевременное реагирование на ситуацию составляют от 15 % до 30 % дохода. Наличие системы инфокоммуникаций снизит эти затраты до 15 %. Если на создание системы производственный комплекс будет выделять всего 2 % дохода, система может быть создана в короткий срок (разумеется, при условии кредитования от производства) и быстро развиваться.

Осуществление документальной быстродействующей связи между предприятиями и банками, биржами и госструктурами, позволит избежать потерь времени ответственных работников и руководителей, которые вынуждены тратить его на чтение и составление бумаг. В настоящее время руководители предприятий получают поток входящих

с плотностью от 10 до 30 единиц в течение всего дня. Это приводит к трудопотерям не менее 30 % и увеличению штата. Все это стимулирует заинтересованность предпринимательства в инфокоммуникациях.

8. Энергетика и транспорт.

Эти отрасли народного хозяйства всегда имели средства связи высокого качества, обеспечивающие работоспособность и безопасность. По-видимому, в них без определенной автономности связи не обойтись. Энергетика – сложная многосвязная система, замкнутая на общую распределительную сеть. В нее включаются ТЭЦ, ГЭС, ГРЭС, АЭС, источники теплоснабжения и теплосети. Линии электропередачи (ЛЭП) едины, поэтому нагрузка и состояние ЛЭП влияет на работу всех генераторов и требуют постоянного контроля.

Не менее важен дистанционный контроль за работой АЭС, обеспечивающий максимум безопасности. Автономный контроль недостаточен – контроль должен быть системным и автоматическим (с сигнализацией об опасности). Необходимы такие периодические телеконференции – технические и административные – для выработки единой технической, организационной и коммерческой стратегии и тактики.

Транспортная система сложна, многокомпонентна и многосвязна. Железнодорожный транспорт (электровозный и тепловозный), метрополитен, аэрофлот, суда, автобусы, троллейбусы, трамваи, легковые и грузовые автомобили (государственные и частные) – весь этот конгломерат должен взаимодействовать, слаженно работать, удовлетворять потребности общества и приносить прибыль.

Диспетчерская служба на всех видах транспорта отстает от требований, связанных с увеличением плотности потоков, особенно тяжелое положение складывается на воздушном транспорте.

Автономность связи на различных видах транспорта ухудшает взаимодействие и мешает созданию единой транспортной системы в регионе, взаимной поддержке и структуризации перевозок. Определенный уровень автономности, по-видимому, необходим, но необходима и интегрированная система, обеспечивающая оперативность, эффективность и повышение КПД транспортной системы России в целом. Наличие единой системы инфокоммуникаций региона, интегрированной с транспортной и энергетической подсистемами, обеспечит удовлетворение социальных, технических и коммерческих интересов посредством единого оперативного управления.

Социальная база хотя и менее проблематична, но нуждается в тщательном исследовании в общетранспортном плане. Коммерческий аспект в транспортной деятельности – одно из самых слабых мест городского хозяйства. Никакое повышение цен на перевозки не в состоянии сделать транспорт самоокупаемым (не говоря уж о прибыльности) на данном этапе. Одно восстановление и строительство дорог требует колоссальных ресурсов. Обновление подвижного состава и эксплуатация – не менее слабое звено, требующее дотирования. Не случайно в развитых странах – при очень высоких ценах на проезд в муниципальном транспорте – большинство населения предпочитает собственные автомобили, а городское хозяйство еле сводит концы с концами.

Инфокоммуникации создают возможность интеграции системы производство-энергетика-транспорт в единую систему, что невозможно без передачи больших потоков информации. Здесь выигрыш намечается настолько большой, – за счет ликвидации активных и реактивных производственных, транспортных и энергетических потерь, – что может перекрыть, если не затраты на инфокоммуникации, то значительную их часть.

9. Силовые ведомства и правоохранительные органы.

Это многочисленный и требовательный класс потребителей: вооруженные силы, госбезопасность, ведомство внутренних дел, прокуратура со следственным аппаратом, суды. К этому классу следует, вероятно, отнести ведомство иностранных дел.

Здесь требуется широкий диапазон услуг: от простых телефонных контактов до видеотелефона, факсимильной связи, информации различного рода. Спецсвязь (для

правительства) имеет защиту от прослушивания высокой стойкости, что необходимо указанным пользователям. Необходимо, чтобы каналы инфокоммуникаций также оснащались аппаратурой скрытия. Это особый вид услуги (со своим тарифом).

Силовые и правоохранительные ведомства имеют свои информационные центры, компьютерные картотеки и т. д. Однако они оснащены профессионально-ориентированно, что далеко не всегда достаточно. Поэтому большое значение имеет создание информационного центра общего пользования. Доступ к информационным центрам должен быть простой, удобный и оперативный.

Предполагается, что в течение определенного времени этот класс пользователей (вместе с другими госструктурами) будет основным источником доходов сети инфокоммуникаций.

10. Государственные и административные структуры.

Государственные и административные структуры в наибольшей степени нуждаются в услугах инфокоммуникаций. Жизнь и деятельность руководителей социума и чиновников всех органов строго регламентирована, а полезность определяется степенью использования рабочего времени. Этот контингент крайне нуждается в высвобождении от рутинной работы, в строгой фиксации результатов деятельности и контроле принятых решений. Ответственный работник нуждается в многочисленных служебных контактах с людьми, находящимися на разных местах, иногда со многими одновременно. Иногда эти контакты кратковременны и носят командный или справочный характер, иногда это важная беседа, во время которой нужно «смотреть в глаза». Возможность установить контакт на расстоянии на короткое время и решить вопрос – важнейшая проблема для обеих сторон.

Не менее важно зафиксировать ход и исход каждой встречи для установления контроля. Все призывы к сокращению административно-государственного аппарата и чиновного люда будут безрезультативны без такого контроля.

Предоставление оперативной связи, видеоконтактов с фиксацией принятых решений и указаний, предоставление любой информации с любого места региона, возможность проведения телеконференций любого состава и уровня, скрытность информации и контактов в случае надобности могут существенно повысить эффективность административной деятельности и общественный контроль над ними.

Государственные и административные структуры могут щедро оплачивать услуги инфокоммуникаций и это лучший способ финансирования, чем кредитование. Конечно, без стартового кредитования не обойтись, но основное финансирование должно идти за счет текущей оплаты.

Госструктуры заинтересованы в высвобождении от рутинной работы, от переездов и перелетов на сессии, собрания и совещания, от необходимости фиксировать каждую мелочь при принятии решений, от сложности редактирования государственных документов, в которых не должно быть никаких юридических огрехов. Но они всегда есть, не смотря на тщательность подготовки: держать в голове все законодательство и применять его в полном объеме практически невозможно. Инфокоммуникационная система с автоматическим редактором обеспечит исчерпывающий юридический контроль с охватом всего многообразия российского законодательства, в том числе суверенного (на уровне субъектов Федерации).

Госструктуры заинтересованы в сложной и эффективной работе своего аппарата, в искоренении коррупции, в компетентности чиновников.

Все это делает государственные и административные структуры региона устойчивой финансовой базой для системы инфокоммуникаций.

11. Индивидуальные пользователи.

Это наиболее многочисленная часть пользователей – весь социум регионов. И наиболее разнообразна в отношении требований к услугам – от обычного телефона до полного абонентского комплекта аудио-видеооборудования с памятью и компьютером.

Контингент индивидуальных пользователей – основная финансовая база системы инфокоммуникаций. Они же и налогоплательщики. Необходима оптимизация тарифов и приоритетов за услуги, обеспечивающая максимум прибыли с учетом перспективы. Оптимизации подлежит установочная плата и плата за услуги, а также соотношение между ними.

Для всех классов пользователей очень важным компонентом системы инфокоммуникаций является средство, которое может быть установлено на движущихся объектах – самолетах, автопоездах, железнодорожных поездах, а также на автомобилях.

Это средство должно обладать большой автономностью действия, возможностью длительное время находиться вдали от населенных пунктов, источников питания и других средств инфокоммуникаций. Подвижные сателлиты должны обладать соответствующей пропускной способностью, иметь устройство коммутации для соединения с несколькими пользователями, автономное управление и оргтехнику, обеспечивающую простоту пользования.

Таков наш авторский подход к оценке социально-финансовой базы инфокоммуникаций в России и к ответу на вопрос: зачем нужны инфокоммуникационные сети?

Мы выросли из СССР и мы формулируем ответ, исходя, в первую очередь, из интересов народного хозяйства страны и его отраслей: науки, образования, здравоохранения, торговли, банков и бирж, промышленного производства, энергетики и транспорта, силовых ведомств, государственных и административных структур.

Есть, конечно, небольшие разделы, касающиеся индивидуальных пользователей и развлечений для них. А как к этому вопросу подходят иностранные авторы? Для сравнения мы обратились к переводной книге Э. Таненбаума и Д. Уэзеролла «Компьютерные сети» [8] и обнаружили следующее.

6.5.2. Зачем нужны инфокоммуникации? – Мнение зарубежных авторов

Одной из целей компьютерных сетей они считают борьбу с «тиранией географии», т. е. снятие ограничений для пользователя в его возможностях к доступу к информации, которая может храниться на значительном удалении.

Вторая цель компьютерной сети связана в большей степени с людьми, чем с информацией или вычислительными машинами. Дело в том, что сеть – это замечательная коммуникационная среда для работников любого предприятия, где всегда найдется хотя бы один компьютер, умеющий принимать и отправлять электронную почту (e-mail), которую большинство людей предпочитает использовать для общения. Для нас это звучит несколько кощунственно: ведь начальство обязательно подумает, что работники все свое рабочее время будут тратить на любовную и другую неделовую переписку.

Мы помним ограничения на городские телефоны, когда позвонить с предприятия в город всегда было проблемой (для рядового работника). Зарубежные компании технологию IP-телефонии считают замечательным способом экономить на телефонных счетах.

С помощью компьютерных сетей возможны и другие, более богатые формы общения. К аудио может быть добавлено видео, так, чтобы сотрудники в отдаленных местоположениях могли видеть и слышать друг друга в течение встречи. Этот метод – мощный инструмент для того, чтобы устранить издержки времени и денег, которые раньше тратились на поездки.

Третья цель для многих компаний – коммерция с клиентами и поставщиками с помощью инфокоммуникационных сетей. Эту модель называют электронной коммерцией (e-commerce), которая оказалась очень удобна клиентам для посещения магазинов, не выходя из дома.

Когда президента корпорации DEC (Digital Equipment Corporation), производящей компьютерную технику, в 1977 году спросили, почему DEC не поддерживает идею создания персональных компьютеров, он ответил: «Я не вижу никакого смысла в том, чтобы в каждом доме стоял компьютер». Возможно, президент корпорации DEC Кен Олсен (Ken Olsen) уже тогда предвидел, сколько опасностей таят миллионы и миллиарды людей, вооруженных домашними компьютерами и объединенной единой глобальной инфокоммуникационной сетью, но перспектива огромных прибылей всегда оказывалась сильней любых прогнозов. Корпорация DEC вообще прекратила свое существование, а компьютеры быстро проникли в жизнь и быт людей.

Теперь многие бытовые электронные устройства, такие как цифровые приемники, игровые приставки и радиоприемники с часами, производятся со встроенными компьютерами, а домашние сети широко используются для развлечения, включая слушание, просмотр и создание музыки, фотографий и видео. Как и в случае с компаниями, домашние пользователи могут получить доступ к информации, общаться с другими людьми и покупать продукты и услуги с помощью электронной коммерции. Основная выгода возникает теперь из соединения за пределами дома. Боб Меткэйлф, изобретатель Ethernet, выдвинул гипотезу, что значение или эффективность сети пропорциональна квадрату числа пользователей, потому что это – примерно число различных соединений, которые могут быть сделаны. Эта гипотеза известна как «закон Меткэйлфа». Она помогает объяснить, как огромная популярность Интернет возникает из его размера.

Доступ к большей части информации осуществляется по модели клиент-сервер, но есть и другой популярный тип общения, основанный на технологии равноранговых сетей (peer-to-peer). В некоторой группе пользователей каждый может общаться с каждым, разделение на клиентские и серверные машины отсутствует. Многие одноранговые сети не имеют никакой центральной базы данных. Вместо этого каждый пользователь поддерживает свою собственную базу данных и формирует список других пользователей по соседству, к которым могут обращаться новые пользователи. В результате создается большая местная база данных, доступная для всех пользователей данной группы.

Из равноранговых сетей выросла самая популярная интернет-технология e-mail и в будущем этот вид коммуникаций будет активно развиваться.

Другая категория использования сетей – коммуникация от человека к человеку – ответ XXI столетия телефону XIX века. В конечном счете, использование инфокоммуникационных сетей, чтобы улучшить общение между людьми, может оказаться важнее, чем любое другое.

В социальных сетях потоки информации управляются отношениями, о которых люди договариваются друг с другом. Один из самых популярных сайтов социальных сетей – Facebook. Он позволяет обновлять свои личные профили и получать общий доступ к этим обновлениям с теми, кого они объявили своими друзьями.

Еще более свободно группы людей могут сотрудничать, создавая контент. Технология Wiki, например, это веб-сайт, который совместно редактируют члены сообщества. Самая известная Wiki – Википедия, энциклопедия, которую любой может редактировать.

Еще одной категорией стала электронная коммерция, в которой теперь организуется и доступ к финансовым учреждениям. Многие уже давно оплачивают свои векселя, управляют банковскими счетами и работают с вкладами с помощью соответствующих сетевых служб. Появились электронные «блошиные рынки» – это онлайновые аукционы по распродаже подержаных вещей. В отличие от традиционных форм электронной коммерции, использующих модель «клиент-сервер», такой бизнес ближе к равноранговым сетям, где пользователи могут действовать и как продавцы, и как покупатели.

Еще одна категория – развлечения. Она делает огромные успехи в последние годы в связи с распространением музыки, радио- и телевизионных программ и фильмов в Интернет, начинающем конкурировать с традиционными механизмами. Телевизионные

программы многие смотрят теперь по системе IPTV (IP Tele Vision), которая основана на IP-технологии.

Другая форма развлечения – игры. Уже сейчас существуют игры-симуляторы в реальном времени с большим количеством участников, например, прятки в виртуальном средневековом замке или симуляторы полетов, в которых одна команда пытается сбить игроков команды противника.

И, наконец, концепция «умный дом», в которой все большее количество потребительских электронных устройств объединяются в сеть.

Технология под названием RFID (Radio Frequency Identification, радиочастотная идентификация) продвинет эту идею еще дальше в будущее. Метки RFID пассивны (т. е. не имеют никакой батареи), имеют размер почтовой марки и уже могут быть прикреплены к книгам, паспортам, домашним животным, кредитным картам и другим элементам дома и на улице. Это позволяет считывателям RFID определять местонахождение и общаться на расстоянии до нескольких метров. Цена тегов RFID быстро уменьшается и они не только заменят штриховые коды, но и могут превратить реальный мир в Интернет.

Сравнение двух подходов показывает, что зарубежные авторы исходят, в первую очередь, из интересов пользователей, понимая простую вещь: основную прибыль в инфокоммуникациях дает не отдельная компания или ведомство, а огромная масса индивидуальных пользователей. Отсюда закон Меткэйлфа. Так забота о прибылях совмещается с заботой о людях и движет технический прогресс. Не меньшей причиной технического прогресса является и личная заинтересованность разработчиков новых технологий, создателей и руководителей инфокоммуникационных компаний, многие из которых стали миллионерами и миллиардерами.

У нас в СССР разработчики аналога Арпанет (Интернет) системы «Родник-2», принятой в эксплуатацию в 1984 году, были отмечены в 1987 году Ленинской и Государственной премиями (примерно 400 руб. на человека – одна месячная зарплата) и несколькими орденами и медалями. Мы работали для Родины, но Родине это не помогло. «Родник-2» проработал в интересах КГБ СССР около 8 лет, после чего Родина развалилась.

6.6. Задачи исследования жизненного цикла инфокоммуникационных сетей

Процесс жизнедеятельности ИКС является системой более высокого порядка сложности, чем техническая структура и архитектура, т. к. включает в себя и саму техническую систему, и обслуживающий персонал, и организационные структуры, осуществляющие эксплуатацию системы и взаимодействие с окружающим социумом, а также сложнейшие процессы разработки, производства, создания, эксплуатации и развития ИКС. Этот процесс, названный жизненным циклом (ЖЦ) системы, обладает всеми характеристиками сложной системы, которые подлежат анализу и оптимизации.

Комплекс задач по исследованию жизненного цикла ИКС как сложной системы можно разделить на три направления, которые в совокупности образуют научную базу для анализа и оптимизации структуры, архитектуры и жизненного цикла ИКС.

Первое направление исследует структурные показатели сети, связанные с топологией, комплексом оборудования и затратами на создание системы. Второе направление исследует показатели архитектуры ИКС, связанные с процессами ее функционирования на уровне протоколов и интерфейсов и определяющие объемы программного обеспечения и производительности технических средств. Третье направление исследует процессы жизнедеятельности системы, т. е. ее жизненный цикл, с целью определения комплексной эффективности ИКС на всем промежутке ее жизнедеятельности с учетом результатов исследований структуры и архитектуры сети. Наибольший научный задел имеет первое направление исследований, значительно меньший – второе и практически нулевой – третье,

особенно в части комплексного исследования эффективности на всем ЖЦ с объединением результатов исследований по всем трем направлениям.

Формируя ТЗ на разработку и создание инфокоммуникационной сети, Заказчик формулирует технические требования к ее показателям, выполнение которых становится главной задачей Разработчика на стадии разработки, производства оборудования, создания опытного района, проведения испытаний и сдачи его в эксплуатацию. К техническим показателям ИКС, которые обычно присутствуют в ТЗ, относятся: производительность, пропускная способность, степень удовлетворения информационной потребности, отказоустойчивость, живучесть, готовность, вероятностно-временные характеристики (ВВХ), коэффициент необнаруженных ошибок и др. Некоторые из этих показателей могут выбираться в качестве критериев эффективности системы. Весьма важными для технической системы являются показатели ресурсосбережения, эргономики, эстетики, безопасности, стандартизации, совместимости сети в общей инфраструктуре инфокоммуникаций, конкурентоспособности на внутреннем и мировом рынке, защиты от несанкционированного доступа.

Для оценки работы аппаратуры в условиях эксплуатации иногда оцениваются такие показатели, как вероятность исправной работы оборудования на некотором отрезке времени, коэффициенты готовности, простоя и среднего времени ремонта и профилактического обслуживания, вероятность своевременного выполнения задания и т. п.

К технико-экономическим показателям, наиболее часто используемым разработчиками для сравнительной оценки вариантов построения системы, относятся приведенные затраты П, связанные с капитальными вложениями К через нормативный коэффициент эффективности E_H и эксплуатационными расходами Э:

$$П = E_H К + Э .$$

Наряду с этим показателем сравнительной эффективности в планово-проектной практике используются показатели общей эффективности, отражающие соотношение затрат (в производстве), дохода или прибыли на 1 рубль вложений. К этой группе показателей относятся показатели прибыли и срока окупаемости затрат.

Разработка моделей, методов, алгоритмов анализа и оптимизации рассмотренных показателей мы относим к первому направлению исследований ИКС, назвав его условно исследованием физической структуры ИКС.

По этому направлению существует обширная научно-техническая литература, обеспечивающая разработчиков разнообразными методами и алгоритмами анализа технических и технико-экономических показателей системы и оптимизация ее структурных параметров.

Другим направлением исследований является архитектура ИКС, т. е. комплекс разрабатываемых или выбираемых протоколов, алгоритмов, интерфейсов. От них зависят такие показатели системы, как объемы подлежащего разработке программного обеспечения (ПО), степень сложности реализации алгоритмов в технических средствах, производительность технических средств, показатели достоверности передачи информации (вероятности необнаруженных ошибок, потери сообщений или их частей, вставок сообщений или их фрагментов, засылок сообщений или их фрагментов не по адресу), вероятностно-временные характеристики передачи информации и др.

По сравнению с первым направлением исследование архитектуры ИКС развито значительно слабей.

В [8] отмечен ряд проблем, решение которых во многом зависит от архитектуры сети. К ним относятся:

проблема надежности передачи информации в смысле борьбы с возникающими в потоке информации ошибками алгоритмическими методами. Здесь на определенных

уровнях используются коды для обнаружения и исправления ошибок. Другая проблема надежности – обеспечить надежный путь пакетам информации, которая получила название проблемы маршрутизации;

проблема масштабируемости, связана с развитием и ростом сети;

проблема распределения ресурсов, одним из решений которой является динамическое использование пропускной способности без выделения узлам фиксированной части пропускной способности;

проблема защиты от различных видов угроз. Большинство проектов защиты основаны на методах криптографии.

Основная задача третьего направления исследований жизненного цикла систем состоит в анализе характеристик и оптимизации жизненного цикла по выбранному критерию при соблюдении определенных ограничений на различных стадиях и этапах ЖЦ. Единый критерий эффективности для всего ЖЦ выбрать не так просто в силу существенного различия стадий разработки и эксплуатации. Если стадия разработки является полностью затратной составляющей, то на стадии эксплуатации появляются категории дохода и прибыли, которые в сущности и определяют эффективность всего ЖЦ системы. Рассматривая, в основном, коммерческие ИКС, приходим к заключению, что эффективность жизненного цикла системы должна выражаться через экономические критерии.

На стадии разработки анализу подлежат:

структура ЖЦ, включая стадию эксплуатации и развития в обозримом будущем, с целью определения этапов и циклов разработки, этапов расширения и ввода в эксплуатацию компонентов системы, этапов развития и ввода в строй новых подсистем, служб и услуг и т. д.;

временные характеристики ЖЦ и отдельных этапов и циклов разработки, эксплуатации и развития;

экономические характеристики ЖЦ с определением затрат на этапах и циклах стадии разработки, а также затрат и доходов на стадии эксплуатации и развития с целью подготовки исходных данных для формирования бизнес-плана проекта системы.

Важнейшей задачей на стадии разработки является оптимизация жизненного цикла системы с целью получения максимального эффекта от ее жизнедеятельности на всех этапах разработки, эксплуатации и развития.

Эти задачи первоначально решаются на первых этапах разработки системы при формировании бизнес-плана, а затем на всех последующих этапах разработки, эксплуатации и развития с целью уточнения структуры ЖЦ и его характеристик в зависимости от результатов предыдущих этапов.

Публикаций по исследованиям жизненного цикла инфокоммуникационных сетей в России практически нет, за исключением, может быть, книги авторов [4]. В то же время такие исследования для практики являются наиболее важными, т. к. для заказчика и владельца сети определяющими всегда будут характеристики процесса ее жизнедеятельности во времени на стадиях разработки, эксплуатации и развития сети. В данной энциклопедии (книга 3) мы рассмотрим некоторые работы, посвященные методам анализа и оптимизации структуры, архитектуры и жизненного цикла ИКС, как первый этап формирования теоретической базы инфокоммуникационных сетей.

Литература

1. Воробьев С. П., Шибанов В. С. Введение в инфокоммуникационные сети// Телекоммуникационные технологии. 2001. Вып. 2. – С. 3–17

2. Уилсон А., Уилсон М. Информация, вычислительные машины и проектирование систем. Перевод с англ. – М.: Издательство «Мир», 1988. – 416 с.

3. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в Глобальной информационной инфраструктуре. – СПб: Наука. 2008. – 552 с.

4. Воробьев С. П., Давыдов А. Е., Курносов В. И., Жизненный цикл инфокоммуникационных сетей. – М.: Наука. 2011. – 344 с.

5. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Советов Б. Я. Задачи инфокоммуникаций в информационном обществе// Материалы X-й Санкт-Петербургской Международной конференции «Региональная информатика – 2006». – СПб: СПОИСУ. 2007.

6. Шехтман Л. И. Эффективность телекоммуникационных систем. Препринт № 934. РТИ РАН. 1993. – 56 с.

7. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Советов Б. Я. Социально-финансовая база инфокоммуникаций в информационном обществе.// Материалы X-й Санкт-Петербургской Международной конференции «Региональная информатика – 2006» (РИ-2006). – СПб.: СПОИСУ. 2007.

8. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е издание. – СПб: Питер. 2012. – 960 с.

ГЛАВА 7. КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

7.1. Качество обслуживания: основные понятия и определения

Качество обслуживания является одним из важнейших факторов повышения эффективности жизненного цикла инфокоммуникационной сети, т. к. от него, в первую очередь, зависит пользовательский интерес к тем или иным службам и услугам сети. Учитывая, что международные организации МСЭ, ETSI и другие в перспективных сетях следующих поколений (NGN) рекомендуют использовать метод коммутации пакетов, в данной главе даются основные понятия, определения, рассматриваются классы обслуживания, а также методы и механизмы поддержки качества обслуживания в таких сетях.

В стандарте МОС 8402 дается следующее определение качества услуг: «совокупность свойств и характеристик услуг, относящихся к их способности удовлетворять установленные или предполагаемые потребности». В Рекомендации Е 800 1996 г. качество услуг электросвязи определяется как «общий эффект рабочих характеристик службы, который определяет степень удовлетворенности пользователя этой службой». В этих определениях главенствующую роль имеют требования пользователя при оценке качества услуг. С целью обеспечения этих требований была создана система предоставления гарантированного качества услуг – QoS.

Сущность QoS заключается в том, что пользователь выдает службе связи требования на услуги желательного качества, а служба выполняет эту заявку или сообщает пользователю о невозможности ее реализации. Требуемое качество услуг достигается за счет следующих мероприятий [1]:

разделение пользователей и их заявок на несколько категорий с различными приоритетами;

введение системы управления трафиком при передаче и коммутации пакетов, гарантирующей пользователю заказанное им качество услуг.

В службах IP система управления трафиком первоначально базировалась на протоколе резервирования ресурсов – RSVP (Resource Reservation Protocol). Этот протокол обеспечивает определенную полосу пропускания, контролируемую задержку и отсутствие потерь при переполнении очередей. Применялись и другие мероприятия, приближающие систему управления IP к требованиям QoS.

Одним из наиболее удачных протоколов считается протокол коммутации по меткам, в котором добавленные к IP-пакетам специальные метки указывают маршрутизаторам определенный маршрут для пакетов одного сообщения, что приводит к увеличению быстродействия маршрутизатора [1, 2]. Такие протоколы получили название MPLS (Multi Protocol Label Switching). Они позволяют использовать преимущества основного IP-протокола TCP, который осуществляет виртуальное соединение, и протокола UDP, который исключает переменные задержки пакетов из-за разных путей их прохождения по сети.

Однако недостатков у технологии QoS оставалось еще много, и это привело к необходимости разработки так называемого соглашения об уровне услуг – SLA (Service Level Agreement).

За рынок услуг борются как операторы связи, так и поставщики разнообразного контента, что требует четкого определения взаимоотношений между участниками рынка. Для этого и было придумано соглашение об уровне обслуживания SLA, которое представляет собой контракт между операторами связи (и/или провайдером услуг) и потребителем или между двумя операторами. Введение SLA защищает права потребителей и права «малых» операторов связи и гарантирует некоторый заданный

набор показателей обслуживания. Соглашение SLA может содержать самые разные показатели, в том числе: показатели качества обслуживания, тарифы, взаимную отчетность, обязательства и штрафные санкции за их нарушение и т. п. [3].

Важный принцип SLA – обеспечение непрерывного контроля качества услуг в процессе передачи информации. Предусматриваются три варианта контроля:

установка у пользователей аналогичной системы контроля;

получение доступа к результатам системы контроля поставщика услуг;

передача функций контроля третьей, специализированной организации.

Стратегия SLA полностью отвечает положению Федерального закона «О техническом регулировании» (2003 г.) об отсутствии общегосударственного регламентирования норм на характеристики качества услуг. При этом операторы и их ассоциации будут разрабатывать и использовать нормативы на технические характеристики (в том числе качество услуг связи), которые на основе технологий QoS и SLA позволят им обеспечить высокое качество связи [1].

7.2. Анализ параметров, характеризующих QoS в пакетной сети

Самый существенный вклад в развитие концепции QoS (качества обслуживания) внес Международный союз электросвязи (МСЭ). Рекомендация МСЭ G. 1000 разделяет рабочие характеристики обслуживания на функциональные компоненты и связывает их с сетевыми характеристиками, определенными в ряде рекомендаций МСЭ, таких как Y.1540 и Y.1541.

Основные параметры, характеризующие QoS в сетях IP, в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т 1.380 / Y. 1540, представлены на рис. 7.1.

Рис. 7.1. Основные параметры качества обслуживания в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т I.380 / Y.1540

Производительность сети (или скорость передачи данных) определяется как эффективная скорость передачи, измеряемая в битах в секунду.

Надежность сети (сетевых элементов) определяется через ряд параметров, в которых наиболее часто используется коэффициент готовности, вычисляемый как отношение времени простоя объекта к суммарному времени наблюдения объекта, включающему время простоя и время между отказами.

Параметры доставки пакетов (задержка доставки пакета, вариация задержки пакета – джиттер, коэффициент потери пакетов, коэффициент ошибок пакетов).

Сеанс связи состоит из трех фаз – установления соединения, передачи информации и разъединения соединения.

Параметры доставки пакетов IP далее будут рассматриваться как основные параметры. Такой акцент обусловлен тем, что надежность сети – это требование к оборудованию, производительность сети – это следствие выбора технологии канального/физического уровня и конфигурации оборудования, а на параметры доставки пакетов IP серьёзно влияют механизмы обеспечения качества обслуживания, о которых пойдет речь чуть позже. Рекомендация ITU T Y.1540 определяет следующие параметры, характеризующие доставку IP-пакетов:

задержка доставки пакета IP (IP packet transfer delay, IPTD). Параметр IPTD определяется как время доставки пакета между источником и получателем для всех пакетов – как успешно переданных, так и для пакетов, пораженных ошибками;

вариация задержки пакета IP (IP packet delay variation, IPDV). Вариация задержки пакета IP, или джиттер, проявляется в том, что последовательные пакеты прибывают к получателю в нерегулярные моменты времени;

коэффициент потери пакетов IP (IP packet loss ratio, IPLR). Коэффициент IPLR определяется как отношение суммарного числа потерянных пакетов к общему числу принятых пакетов в выбранном наборе переданных и принятых пакетов;

коэффициент ошибок пакетов IP (IP packet error ratio, IPER). Коэффициент IPER определяется как суммарное число пакетов, принятых с ошибками, к сумме успешно принятых пакетов и пакетов, принятых с ошибками. В системах с удалением ошибочных пакетов этот параметр приводит к потере пакетов, т. е. может рассматриваться как степень влияния ошибок в сети на потери пакетов.

В России разработка нормативно-правовой базы по проблематике NGN ведется на основании международных стандартов, предлагаемых МСЭ, ETSI, но с учетом Российской специфики. Так, например, в ГОСТ РВ 5819-102-2007 коэффициент ошибок пакетов IP исключен из перечня параметров доставки пакетов (рис. 7.2).

Таким образом, в ГОСТ 5819-102-2007 введены следующие параметры, определяющие качество базовой услуги переноса:

среднее время передачи (переноса пакета);

отклонение времени передачи от среднего времени его передачи (девиация времени передачи пакета);

допустимый процент потерь пользовательских пакетов.

Если исключить параметр, предложенный МСЭ – коэффициент ошибки пакетов, то оставшиеся три параметра, в целом, совпадают. Эти параметры, как наиболее важные по степени влияния на сквозное качество обслуживания, будут рассматриваться дальше.

Соответствие параметров доставки пакетов, определенных в документах МСЭ и ГОСТ 5819-102-2007 представлено на рис. 7.3.

7.3. Классы обслуживания

7.3.1. Классы обслуживания, определенные МСЭ-Т

В соответствии с рекомендацией МСЭ-Т Y.1541 определены 8 классов сетевого QoS, каждый из которых соответствует определённым приложениям (таблица 7.1).

В предложенной МСЭ классификации учитываются приложения, генерирующие различный трафик, но, естественно, не учитывается отдельный класс для трафика особого приоритета, который должен быть вынесен в отдельный класс и для него должны применяться свои модели и механизмы обеспечения качества обслуживания.

Рис. 7.2. Параметры, определяющие качество обслуживания в соответствии с ГОСТ РВ 5819-102-2007

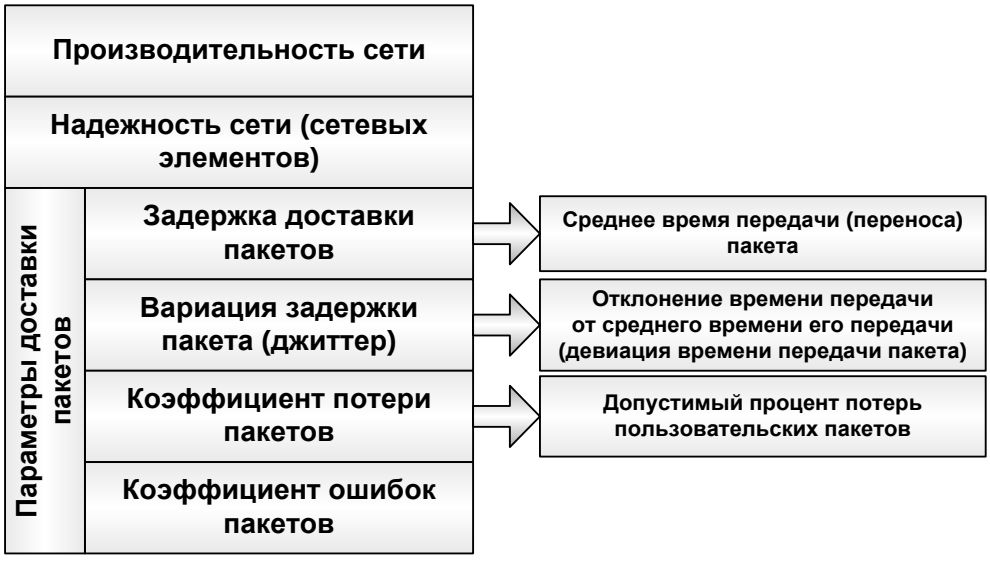


Рис. 7.3. Соответствие параметров доставки пакетов, определенных в документах МСЭ и ГОСТ 5819-102-2007

Таблица 7.1

Классы сетевого QoS

Класс 0	Приложения реального времени, чувствительные к дрожанию, с повышенной степенью взаимодействия (VoIP, видеоконференции), ограниченные маршруты и дистанция
Класс 1	Приложения реального времени, чувствительные к дрожанию, интерактивные (VoIP, видеоконференции), менее ограниченные маршруты и дистанция
Класс 2	Данные транзакций, с повышенной степенью интерактивности (сигнализация), менее ограниченные маршруты и дистанция
Класс 3	Данные транзакций, интерактивные приложения, ограниченные маршруты и дистанция
Класс 4	Приложения только с низкими потерями данных (короткие транзакции, массовая передача данных, потоки видео)
Класс 5	Традиционные приложения стандартных сетей IP
Класс 6 Класс 7	Ряд условных классов QoS, предназначенных для поддержки рабочих характеристик пользовательских приложений, работающих с высокой скоростью передачи данных

7.3.2. Классы обслуживания, определенные IETF

Комитет IETF определил набор из 14 стандартных классов обслуживания трафика, в число которых входит класс негарантируемого обслуживания BE, класс срочной пересылки пакетов EF и 12 классов гарантируемой пересылки пакетов AF (таблицы 7.2, 7.3).

Таблица 7.2

Связь классов QoSY.1541 и классов комитета IETF

Класс IETF	Соответствие классам сетевого QoS МСЭ-Т Y.1541	Примечание
Негарантируемого обслуживания BE (BestEffort)	Класс 5	Трафик не получает никакой специальной обработки
Срочной пересылки пакетов EF (ExpeditedForwarding)	Классы 2, 3, 4	Трафик встречает минимальную задержку и низкую вероятность потерь
Гарантируемой пересылки пакетов AF (AssuredForwarding)	Классы 0, 1	12 классов, получаемых посредством четырёх очередей, имеющих три уровня очерёдности отбрасывания

В таблице приведены значения поля DSCP, которые устанавливаются на терминальном оборудовании или на пограничном маршрутизаторе. Анализируя это поле, узлы сети (маршрутизаторы) принимают решения при разделении трафика на очереди, а в случае переполнения очереди учитывается вероятность отброса пакетов.

Классы, определённые IETF, имеют более плотную привязку к конкретным моделям и механизмам обеспечения качества и имеют взаимосвязь с рекомендациями МСЭ-Т.

Таблица 7.3

Классы гарантируемой пересылки пакетов и их значения приоритетов

Приоритет	Очередь 1	Очередь 2	Очередь 3	Очередь 4
Низкий приоритет отбрасывания	001010	010010	011010	100010
Средний приоритет отбрасывания	001100	010100	011100	100100
Высокий приоритет отбрасывания	001110	010111	011110	100110

Кроме того, в рекомендации МСЭ-Т Y.1541 рассматривается взаимосвязь возможности передачи данных дифференцированных служб IETF к классам QoS сети IP.

В отечественном ГОСТ РВ 5819.102-2007 при построении служб переноса на основе технологии АТМ определены следующие классы качества услуг переноса QoS:

класс 1 (A) – поток ячеек, передаваемый с постоянной скоростью, ориентированный на установление виртуального соединения, требующий синхронизации приемника с источником;

класс 2 (B) – поток ячеек, передаваемый с переменной скоростью, ориентированный на установление виртуального соединения, требующий синхронизации приемника с источником;

класс 3 (C) – поток ячеек, передаваемый с переменной скоростью, ориентированный на установление виртуального соединения, не требующий синхронизации приемника с источником;

класс 4 (D) – поток ячеек, передаваемый с переменной скоростью, не ориентированный на установление виртуального соединения, не требующий синхронизации приемника с источником;

класс U – поток ячеек, не предъявляющий требований к параметрам качества услуги.

Как видно, определены классы качества обслуживания переноса QoS только на основе конкретной технологии (АТМ), что является недостатком, т. к. классификация трафика должна быть максимально инвариантна к используемой технологии.

К каждому классу обслуживания предъявляются определенные требования к рабочим характеристикам сети в соответствии с классами трафика. В таблице 7.4 показаны требования к вероятностно-временным и другим характеристикам сети, сформулированные МСЭ-Т в Х.1541.

Как уже говорилось выше, рекомендация МСЭ учитывает все типы трафика, которые могут использоваться поставщиками услуг связи коммерческих сетей, но не учитывается трафик особого приоритета для специализированных задач управления.

7.4. Методы и механизмы поддержки качества обслуживания

Для перехода к моделям и механизмам, при использовании которых можно будет обеспечить заданный уровень качества обслуживания, МСЭ разработал архитектурную модель поддержки качества обслуживания.

Основой архитектурной модели для качества обслуживания является набор общих сетевых механизмов управления ответом сети на запрос услуги, который может быть

Таблица 7.4

Требования к рабочим характеристикам сети

Характеристики сети	Классы качества обслуживания (QoS)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Задержка доставки пакета IP, IPTD	100 мс	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Н	100 мс	400 мс
Вариация задержки пакета IP, IPDV (джиттер)	50 мс	50 мс	Н	Н	Н	Н	50 мс	50 мс
Коэффициент потери пакетов IP, IPLR	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	Н	1×10^{-5}	1×10^{-5}
Коэффициент ошибок пакетов IP, IPER	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	Н	1×10^{-6}	1×10^{-6}

специфическим для некоторого сетевого элемента, для сигнализации между сетевыми элементами или для управления и администрирования трафиком при его прохождении через сеть. Конструктивные блоки для качества обслуживания распределены по трём плоскостям (рис. 7.4):

Рис. 7.4. Архитектура сетевых механизмов поддержки качества обслуживания в сетях с пакетной передачей

плоскость управления, содержащая механизмы управления трактами, через которые проходит трафик пользователя. В состав этих механизмов входит управление допуском, маршрутизация для QoS и резервирование ресурсов;

плоскость данных, содержащая механизмы, работающие непосредственно с трафиком пользователя. В состав этих механизмов входит управление буферами, предотвращение перегрузки, маркировки пакетов, организация очередей и диспетчеризация, классификация трафика, правила обработки трафика и моделирование трафика;

плоскость административного управления, содержащая механизмы, относящиеся к эксплуатации, администрированию и административному управлению сетью. В состав этих механизмов входят: соглашение об уровне обслуживания (SLA), восстановление трафика, измерения и организация, измерение и регистрация, а также заданные правила доставки информации.

Блоки QoS, рассмотренные соответствующими рабочими группами Комитета IETF, реализованы в виде большого набора общих сетевых методов и механизмов для обеспечения качества обслуживания в сетях с коммутацией пакетов.

Кроме того, для подбора механизмов и моделей обеспечения качества обслуживания необходимо провести разграничение степени влияния оконечного оборудования и степени влияния сети на показатели качества обслуживания (рис. 7.5).

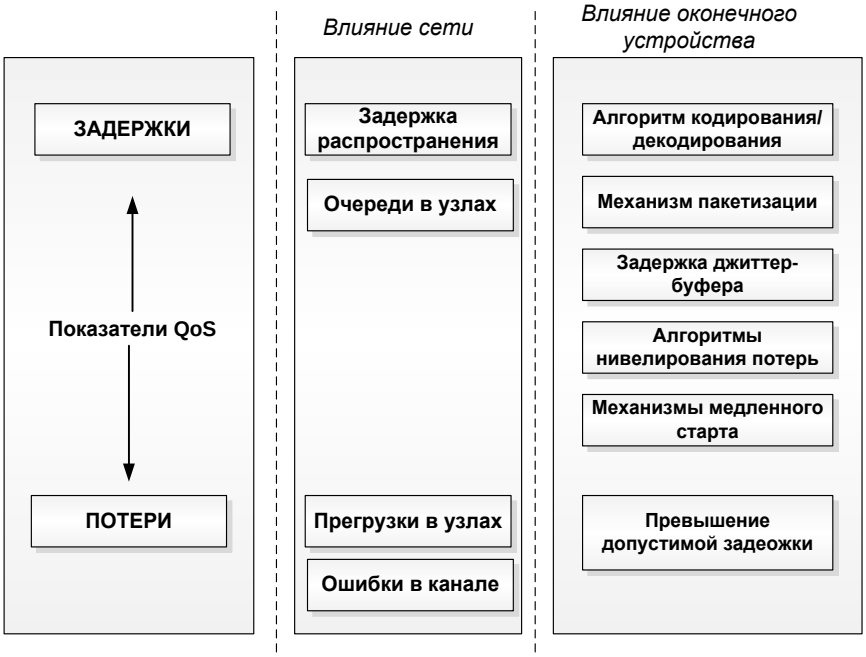


Рис. 7.5. Степень влияния сети и оконечных устройств на показатели качества обслуживания

Из методов и механизмов обеспечения качества обслуживания особое место занимают такие стандартные методы, как метод интегрированных услуг (IntServ) и метод дифференцированных услуг (DiffServ). Для этих методов приводятся примеры использования с учётом проблем, связанных с обеспечением информационной безопасности.

Метод IntServ

Идея отдельной обработки потоков трафика, запросивших определенный уровень качества обслуживания, была реализована комитетом IETF в 1994 году и представляла собой первый действенный механизм обеспечения качества обслуживания в IP-сетях.

Для трафика реального времени вводится два класса обслуживания: контролируемой загрузки сети (идентичен традиционному подходу негарантируемого обслуживания «Best Effort, BE») и гарантируемого обслуживания (предоставление определенной полосы пропускания, гарантии задержек в определенных пределах и отсутствия потерь при переполнении очередей).

Основными компонентами метода IntServ являются: механизм управления допуском, механизм организации очередей, механизм резервирования ресурсов, механизм классификации и отслеживания трафика.

В качестве сигнального протокола для информирования сети о требованиях протоколов к качеству обслуживания был предложен протокол резервирования ресурсов RSVP. Протокол позволяет запрашивать, например: гарантируемую пропускную способность канала, предсказуемую задержку, максимальный уровень потерь, но резервирование выполняется лишь в том случае, если имеются требуемые ресурсы.

Подробные сведения о методе IntServ можно найти в [4, 5]. Здесь мы рассмотрим проблемы обслуживания трафика особого приоритета, связанные с применением средств криптозащиты.

Протокол RSVP является протоколом 4-го уровня модели OSI, но не является при этом транспортным протоколом (RFC 2205). Таким образом, запросы протокола RSVP будут являться для протокола IP-данными (инкапсулированы в IP-пакет).

Резервирование должно происходить на каждом маршрутизаторе сети. Маршрутизаторы, получая IP-пакет, извлекают сигнальную информацию RSVP в случае, если в заголовке IP-пакета стоит признак протокола вышестоящего уровня, соответствующий RSVP.

Управляющие сообщения RSVP посылаются оконечным оборудованием, следовательно, сигнальная информация RSVP должна будет пройти через пограничное средство защиты, прежде чем выйдет в транспортную сеть.

Обобщенная модель пограничного средства защиты приведена на рис. 7.6.

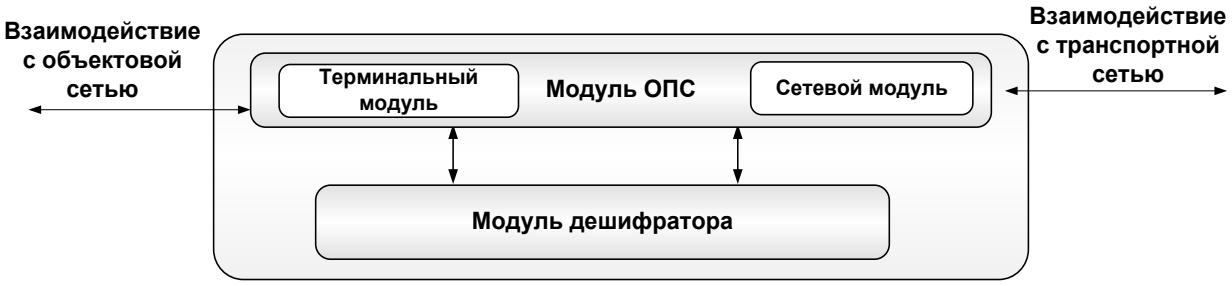


Рис.7.6. Обобщенная модель пограничного средства защиты

На рис. 7.7 приведён алгоритм изменения IP-пакета при прохождении через пограничное средство защиты.

Таким образом, любая информация, находящаяся в поле данных IP-пакета закрывается криптографическими методами при прохождении шифратора, а, следовательно, маршрутизаторы в транспортной сети не могут получить запросы на резервирование ресурсов.

Следовательно, используя стандартный алгоритм резервирования ресурсов посредством сигнального протокола RSVP невозможно использовать IntServ.

Реализовать резервирование ресурсов для трафика особого приоритета возможно, если использовать следующий алгоритм:

терминальное оборудование, которое является источником трафика особого приоритета, при генерации этого трафика назначает каждому пакету приоритет в поле DSCP. Важно, чтобы этот код не использовался другими типами трафика;

сетевой шифратор должен транслировать поле DSCP в заголовок нового IP-пакета;

стоящий после сетевого шифратора (в сетевой части) пограничный маршрутизатор, при получении трафика особого приоритета (пакетов с особым полем DSCP, которым маркируется трафик особого приоритета) вызывает RSVP приложение и резервирует ресурсы для этого трафика.

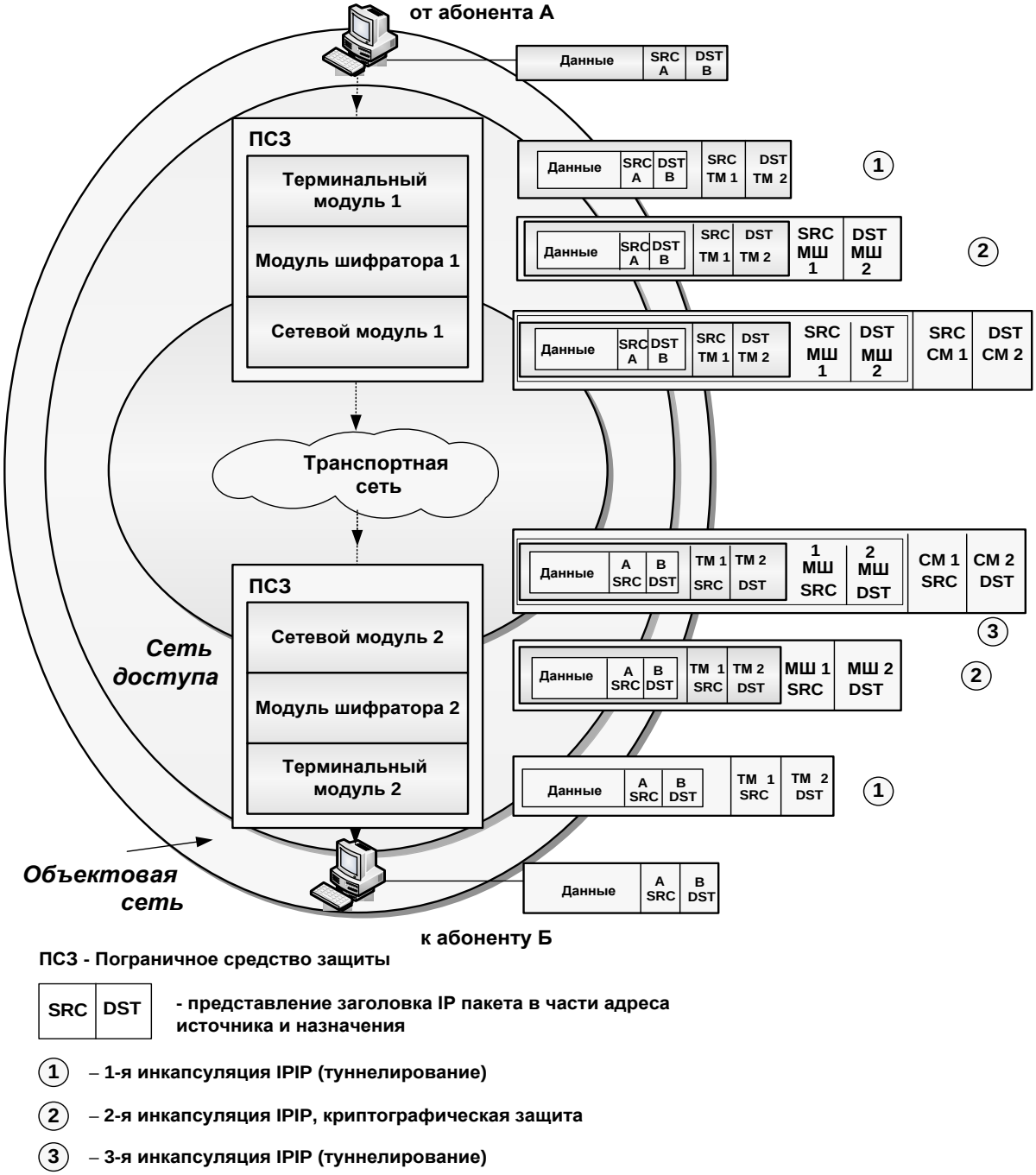


Рис. 7.7. Изменение пакета IP при прохождении пограничного средства защиты

Таким образом, резервирование происходит не от абонента до абонента, а от пограничного маршрутизатора до пограничного маршрутизатора.

При такой реализации необходимо генерировать ложный трафик особого приоритета, чтобы исключить беспрепятственное обнаружение трафика.

Метод DiffServ

В соответствии с моделью дифференцированного обслуживания разнотипного трафика Diff-Serv, байт ToS (Type of Service) в заголовке IP-пакета получил название DS (Differentiated Service), а шесть его битов отведены под код DiffServ (DSCP). Каждому значению этого кода соответствует свой класс PHB (Per-Hop Behavior Forwarding Class), определяющий уровень обслуживания в каждом из сетевых узлов. Пакеты каждого класса должны обрабатываться в соответствии с определенными для этого класса требованиями к качеству обслуживания.

Модель DiffServ (рис. 7.8) описывает архитектуру сети как совокупность пограничных участков и ядра.

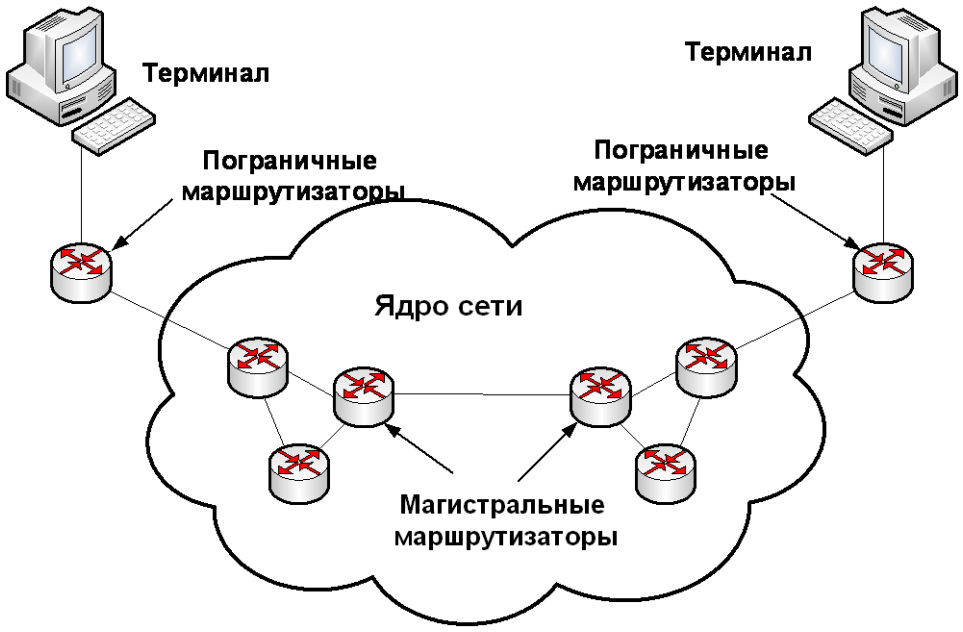


Рис. 7.8. Модель DiffServ

Поступающий в сеть трафик классифицируется и нормализуется пограничными маршрутизаторами. Нормализация трафика подразумевает изменение его параметров, проверку соответствия заданным правилам предоставления услуг, профилирование (при этом пакеты, не укладывающиеся в рамки установленных правил, могут быть отсеяны) и другие операции. В ядре магистральные маршрутизаторы обрабатывают трафик в соответствии с классом PHB, код которого указан в поле DS (код DSCP).

Достоинства модели DiffServ состоят в том, что она, во-первых, обеспечивает единое понимание того, как должен обрабатываться трафик определенного класса, а во-вторых, позволяет разделить весь трафик на небольшое число классов и не анализировать каждый информационный поток отдельно.

Механизм обеспечения QoS на уровне сетевого устройства, применяемый в Diff-Serv, включает в себя четыре операции. Сначала пакеты классифицируются на основании их заголовка. Затем они маркируются в соответствии с произведенной классификацией (в поле DSCP). В зависимости от маркировки выбирается алгоритм передачи (при необходимости – с выборочным удалением пакетов), позволяющий избежать заторов

в сети. Заключительная операция, чаще всего, состоит в организации очередей с учетом приоритетов.

Чтобы обеспечить гарантированный уровень качества обслуживания для трафика особого приоритета и взвешенное распределение ресурсов для разнотипного трафика предлагается на каждом маршрутизаторе сети конфигурировать (или разрабатывать соответствующие модули, если нет готовой реализации) гибридные приоритетные очереди. Модель организации гибридных очередей представлена на рис. 7.9.

Как видно из рис. 7.9, модель организации гибридных очередей позволяет создать отдельную очередь для трафика особого приоритета, которая будет использовать дисциплину PQ (Priority Queuing). Эта дисциплина подразумевает, что пока есть хотя бы один пакет трафика особого приоритета, весь остальной трафик обслуживаться не будет.

Остальные типы трафика делятся на очереди в соответствии с их классом трафика. Для обработки второй группы очередей используется дисциплина CBWFQ (взвешенное справедливое обслуживание на основе классов). Эта дисциплина обеспечивает взвешенную приоритетную обработку трафика. В отличие от дисциплины PQ трафик с большим приоритетом не может полностью захватить ресурсы, а может лишь использовать ресурсы в соответствии с его весом.

Вторая группа очередей (CBWFQ) начинает работать только при отсутствии первой группы – PQ.

На рис. 7.9 можно увидеть упрощенный пример результата работы механизма организации гибридных очередей – в очередь выходного (в правой части рисунка) интерфейса пакеты направляются в следующей последовательности: сначала все пакеты трафика особого приоритета, далее пакеты остальных типов трафика в соответствии с их весом (приоритетом).

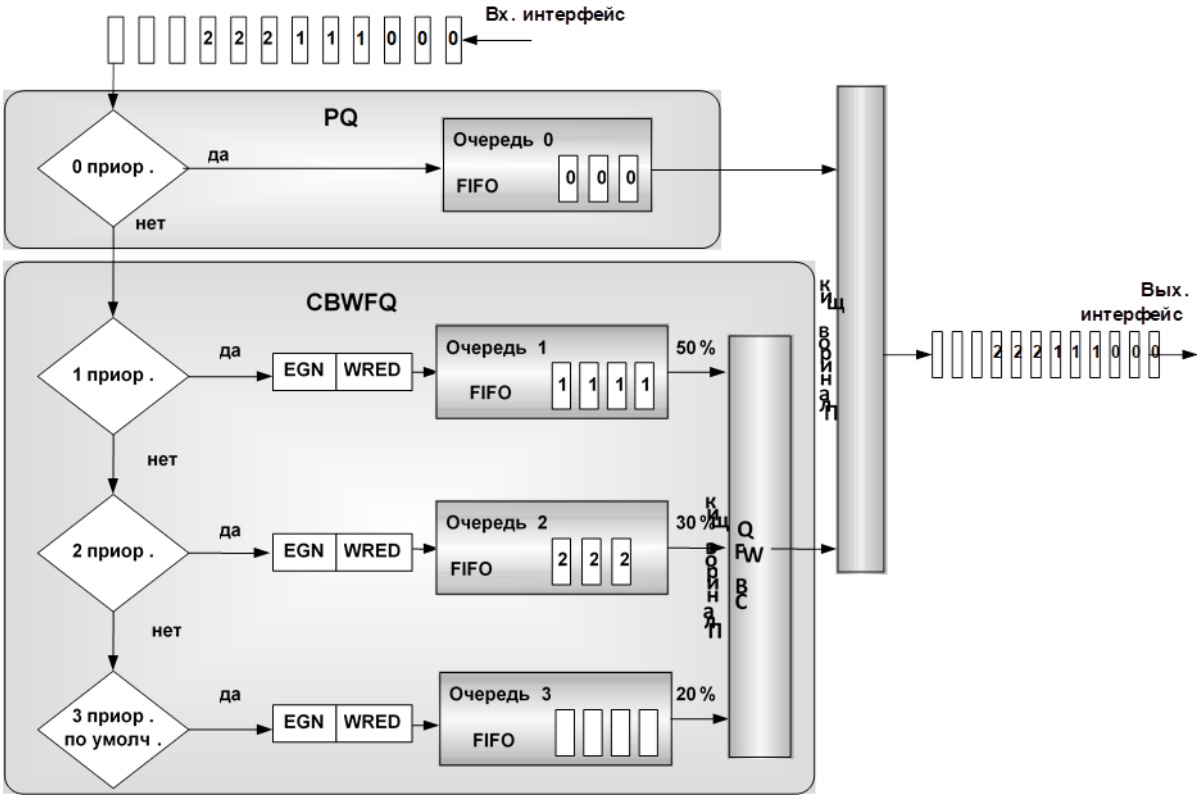


Рис. 7.9. Модель организации гибридных очередей

Также используются механизмы ECN (явное уведомление о перегрузке) и WRED (взвешенное раннее случайное обнаружение) для всех типов трафика, кроме трафика

особого приоритета. Использование этих механизмов позволит не допустить переполнения очередей маршрутизаторов и избежать эффекта глобальной синхронизации. Отсутствие этих механизмов в первой группе обусловлено недопустимостью отбрасывания пакетов особого приоритета.

Таким образом, каждый тип трафика может получить соответствующий уровень качества обслуживания. Трафик с особым приоритетом получает гарантированное качество обслуживания при условии, что в сети нет «чужого» трафика, промаркированного таким же кодом DSCP, и при условии, что трафик особого приоритета не требует большую часть ресурсов от маршрутизаторов сети.

Выше приведён только пример конфигурации интерфейсов маршрутизатора. В реальной сети вопросы обеспечения качества обслуживания должны решаться комплексно, конфигурация элементов сети должна динамически подстраиваться под изменяющиеся параметры. Поэтому рекомендовать сейчас какой-либо один вариант обеспечения качества обслуживания неправильно.

Литература

1. Шварцман В. О. Качество услуг сетей следующего поколения// Электросвязь. 2006. № 3. – С. 6–10.

2. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в глобальной информационной инфраструктуре.– СПб.: Наука. 2008. – 552 с.

3. Шнепс-Шнеппе М. А. О соглашениях SLA в условиях NGN и услуг Triple Play // Электросвязь. 2006. № 3. – С. 19–21.

4. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. – СПб.: Питер. 1999. – 699 с.

5. Кох Р., Яновский Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М.: Радио и связь. 2001. – 280 с.

ЧАСТЬ 3
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕТЕХНОЛОГИИ

ГЛАВА 8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Данная глава посвящена описанию информационных технологий, которые будут использоваться в инфокоммуникационных сетях следующего поколения для организации различных информационных служб этих сетей и предоставления через них разнообразных информационных услуг пользователям.

8.1. Основные определения

Термин «технология» имеет множество толкований. В широком смысле под технологией понимают науку о законах производства материальных благ, вкладывая в нее три основные части: идеологию, то есть принципы производства; орудия труда, то есть станки, машины, агрегаты; кадры, владеющие профессиональными навыками [1]. Эти составляющие называют соответственно информационной, инструментальной и социальной. Для конкретного производства, в нашем случае производства информационных услуг, технологию понимают в узком смысле как совокупность приемов и методов, определяющих последовательность действий для реализации производственного процесса. Для любой технологии могут быть выделены цель, предмет и средства. В развитии технологии выделяют два принципиально разных этапа: один характеризуется непрерывным совершенствованием установившейся базисной технологии; другой отличается отказом от существующей технологии и переходом к принципиально иной.

Информационная технология – это совокупность методов и способов получения, обработки, представления информации, направленных на изменение ее состояния, свойств, формы, содержания и осуществляемых в интересах пользователей.

Конкретная информационная технология определяется в результате компиляции и синтеза базовых технологических операций, специализированных технологий и средств реализации. Информационная технология базируется на реализации информационных процессов, разнообразие которых требует выделения базовых, характерных для любой информационной технологии.

Базовый технологический процесс основан на использовании стандартных моделей и инструментальных средств и может быть составной частью информационной технологии. К их числу можно отнести: операции извлечения, транспортировки, хранения, обработки и представления информации.

Процесс извлечения информации связан с переходом от реального представления предметной области к его описанию в формальном виде и в виде данных, которые отражают его представление.

В процессе транспортирования осуществляют передачу информации на расстояние для ускоренного обмена и организации быстрого доступа к ней, используя при этом различные способы преобразования.

Процесс обработки информации состоит в получении одних «информационных объектов» путем выполнения некоторых алгоритмов; он является одной из основных операций, выполняемых над информацией и главным средством увеличения ее объема и разнообразия.

Процесс хранения связан с необходимостью накопления и долговременного хранения данных, обеспечением их актуальности, целостности, безопасности, доступности.

Процесс представления и использования информации направлен на решение задачи доступа к информации в удобной для пользователя форме.

8.2. Базовые информационные технологии

Базовые информационные технологии строятся на основе базовых технологических операций, но кроме этого включают ряд специфических моделей и инструментальных средств. Этот вид технологий ориентирован на решение определенного класса задач и используется в конкретных технологиях в виде отдельной компоненты. Среди них выделяются [1]:

мультимедиа-технологии;

геоинформационные технологии;

технологии защиты информации;

CASE-технологии;

телекоммуникационные технологии;

технологии искусственного интеллекта.

Специфика конкретной предметной области находит отражение в специализированных информационных технологиях, например, организационное управление, управление технологическими процессами, обучение и др.

CASE-технология (Computer Aided Engineering – компьютерное автоматизированное проектирование программного обеспечения) является своеобразной «технологической оснасткой», позволяющей осуществить автоматизированное проектирование информационных технологий.

Основными характерными особенностями мультимедиа-технологий являются:

объединение многокомпонентной информационной среды (текста, звука, графики, фото, видео) в однородном цифровом представлении;

обеспечение надежного (отсутствие искажений при копировании) и долговечного хранения (гарантийный срок хранения – десятки лет) больших объемов информации;

простота переработки информации (от рутинных до творческих операций).

Геоинформационные технологии предназначены для широкого внедрения в практику методов и средств работы с пространственно-временными данными, представляемыми в виде электронных карт и предметно-ориентированных сред обработки разнородной информации для различных категорий пользователей.

В проблеме защиты информации выделяют две базовые подзадачи:

обеспечение безопасности обработки и хранения информации в каждом из компьютеров, входящих в сеть;

защита информации, передаваемой по сети.

Решение первой задачи основано на многоуровневой защите автономных компьютерных ресурсов от несанкционированных и некорректных действий пользователей программ.

Безопасность информации при сетевом обмене требует обеспечения ее конфиденциальности и подлинности. Защита информации в процессе передачи достигается на основе защиты каналов передачи данных, а также криптографического закрытия передаваемых сообщений. На рис. 8.1 представлены цели и способы защиты передаваемых данных [2].

Для рассмотрения технологий искусственного интеллекта воспользуемся определением «интеллектуальной системы» проф. Д. А. Поспелова [3]: «Система называется интеллектуальной, если в ней реализованы следующие основные функции:

накапливать знания об окружающем систему мире, классифицировать и оценивать их с точки зрения прагматической полезности и непротиворечивости, инициировать

процессы получения новых знаний, осуществлять соотнесение новых знаний с ранее хранимыми;

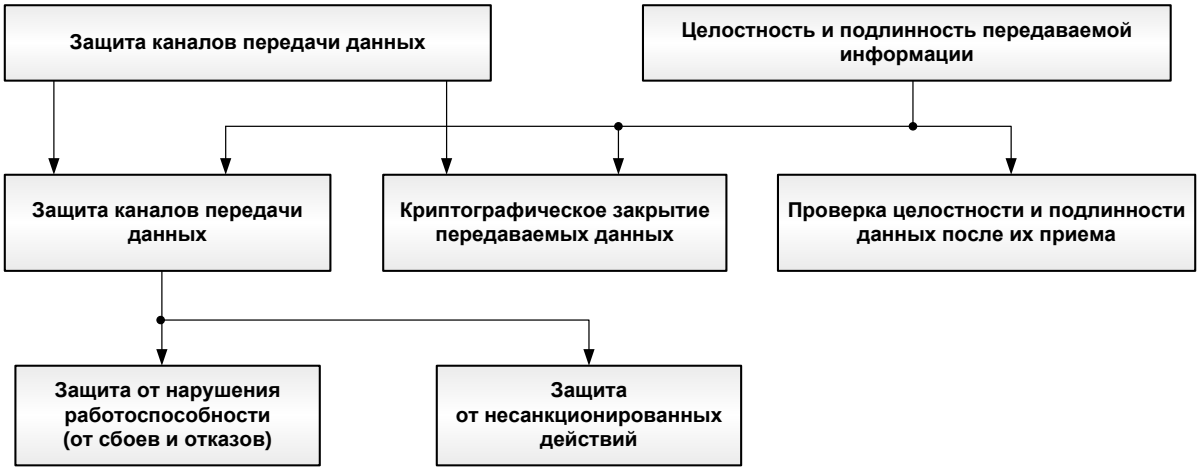


Рис. 8.1. Цели и способы защиты передаваемых данных

пополнять поступившие знания с помощью логического вывода, отражающего закономерности в окружающем систему мире или в накопленных ею ранее знаниях, получать обобщенные знания на основе более частных знаний и логически планировать свою деятельность;

общаться с человеком на языке, максимально приближенном к естественному человеческому языку, и получать информацию из каналов, аналогичных тем, которые использует человек при восприятии окружающего мира, уметь формировать для себя или по просьбе человека (пользователя) объяснение собственной деятельности, оказывать пользователю помощь за счет тех знаний, которые хранятся в памяти, и тех логических средств рассуждений, которые присущи системе».

Выделяют следующие разновидности интеллектуальных систем:

интеллектуальные информационно-поисковые системы;

экспертные системы (ЭС);

расчетно-логические системы;

гибридные экспертные системы.

Интеллектуальные информационно-поисковые системы являются системами взаимодействия с проблемно-ориентированными (фактографическими) базами данных на естественном, точнее ограниченном как грамматически, так и лексически (профессиональной лексикой) естественном языке (языке деловой прозы). Для них характерно использование, помимо базы знаний, реализующей семантическую модель представления знаний о проблемной области, лингвистического процессора.

Экспертные системы являются одним из бурно развивающихся классов интеллектуальных систем. Данные системы в первую очередь стали развиваться в математически слабоформализованных областях науки и техники, таких как медицина, геология, биология и др. Для них характерна аккумуляция в системе знаний и правил рассуждений опытных специалистов в данной предметной области, а также наличие специальной системы объяснений.

Расчетно-логические системы позволяют решать управленческие и проектные задачи по их постановкам (описаниям) и исходным данным вне зависимости от сложности математических моделей этих задач. При этом конечному пользователю предоставляется возможность контролировать в режиме диалога все стадии вычислительного процесса.

В общем случае, по описанию проблемы на языке предметной области обеспечивается автоматическое построение математической модели и автоматический синтез рабочих программ при формулировке функциональных задач из данной предметной области. Эти свойства реализуются благодаря наличию базы знаний в виде функциональной семантической сети и компонентов дедуктивного вывода и планирования.

В последнее время в специальный класс выделяются гибридные экспертные системы. Указанные системы должны вобрать в себя лучшие черты как экспертных, так и расчетно-логических и информационно-поисковых систем.

Информационные технологии являются не только объектом исследований и разработок, но средством создания информационных систем в различных предметных областях. В следующих разделах данной главы мы рассмотрим некоторые примеры применения информационных технологий для создания информационных служб инфокоммуникационных сетей.

8.3. Информационная служба инфокоммуникационной сети

Информационная служба (ИС) инфокоммуникационной сети предназначена для информирования пользователей относительно свойств различных сфер взаимодействия и областей деятельности, начиная от элементарных справок адресного характера и кончая методами и моделями решения разнообразных практических и теоретических задач, профессиональных и бытовых, а также оперативных рекомендаций на все случаи жизни.

Информационная функция ИКС является не только ускорителем деятельности людей, освобождением их от рутинной работы по добыванию, представлению разнообразных сведений, а главным образом – усилителем общественного интеллекта, объединяющим и организующим фактором социальной жизни и деятельности.

Запросы пользователей на информацию можно классифицировать следующим образом:

вполне определенная справочная информация;

описательная информация, неопределенная, получаемая по ключевым словам;

ориентационная информация, получаемая по ассоциациям.

По типу требуемой информации запросы разделяются на:

количественные и качественные характеристики предметов, объектов, процессов, действий, личностей (групп, сообществ), теорий, знаний, гипотез, предположений, образов, описаний;

разъяснительные, познавательные, рекомендательные сведения и сюжеты – лекции, наблюдения, оценки, рецепты, развлекательные программы, источники, выдержки и т. п.;

непосредственные данные о происходивших и происходящих событиях – образы, съемки, теленаблюдения, аудиокартины.

Предложенная классификация достаточно условна и подлежит дальнейшим исследованиям и уточнениям.

Оперативным источником информации служат банки информации (БИ), сосредоточенные в информационных центрах и порталах, телепортах конкретных групп пользователей.

Информация, содержащаяся в БИ, должна непрерывно пополняться и обновляться, а объем ее увеличиваться – как на основании текущих запросов пользователей, удовлетворяемых из внешних источников, так и посредством целенаправленного поиска.

Банки информации должны включать:

средства формирования (поиска, обновления и пополнения) информационного ресурса;

средства хранения информации;

средства анализа запросов пользователей;

информационный массив;

информационно-поисковую систему;

средства передачи информации;

языковые средства (система автоматического перевода информации на язык пользователя).

Средства формирования информационного ресурса должны выполнять сложные интеллектуальные задачи:

поиска новой ценной информации;

разработки сжатого представления этой информации для хранения;

разработки способа оперативной адресации к ней;

выявление устаревшей, малоценной и избыточной информации в БИ.

Формирование ресурса – специальная задача экспертной системы. Эти системы должны быть созданы в структурах телепортов, информационных центров, порталов.

Средства хранения информации – оперативная, субоперативная, долговременная память. Используются три способа хранения: непосредственный, сжатый и образный.

При непосредственном способе информация записывается в виде цифрового кода, схем, текста и т. д. в машинной памяти соответствующего вида. Сжатый способ состоит в применении разнообразных методов сжатия информации. Образный способ заключается в хранении закодированного видеоотображения объекта (статического или движущегося), фотографии или кинофильма, либо голограмм объектов. Перекодировка для передачи пользователю производится во время воспроизведения.

Для анализа запросов пользователей требуется специальная экспертная система, учитывающая индивидуальные особенности пользователей, включая их платежеспособность. В развитой информационной службе удельный вес относительно простых справочных запросов не будет превышать 0,3. Остальные запросы – профессионально-ориентированные сведения, характер которых пользователю известен только приблизительно. Поэтому перед такими экспертными системами стоит непростая задача – отвечать на неопределенные вопросы исчерпывающим и доступным для пользователя образом.

В некоторых случаях на экспертную систему возлагается задача анализа содержания искаженных факсов, восстановления искаженных видеоизображений и других работ подобного рода.

8.4. Банки информации инфокоммуникационных сетей

Банк информации может содержать три типа банков: банк данных (БД), банк знаний (БЗ) и банк моделей (БМ).

Банк данных может содержать:

адресную информацию (начиная от телефонных номеров и до адресов производственных структур, коммерческих фирм, банков и т. д.);

транспортную информацию (расписание движения всех видов транспорта);

товарную информацию (о наличии и стоимости товаров, месте приобретения, порядке оплаты и т. д.);

коммерческую информацию;

бытовую информацию;

информацию о погоде и т. д.

Банки данных должны быть во всех информационных центрах и порталах, но иметь различное содержание в зависимости от групп пользователей.

Банки знаний могут формироваться в информационных центрах и порталах высших категорий (региональных, федеральных). Они могут содержать:

гипотезы;
теории;
методики;
описания (объектов, устройств, процессов);
средства доступа к патентной информации;
политические, экономические, социологические концепции;
географические и другие описания различных регионов и стран;
футурологические сведения;
оперативную информацию о чрезвычайных ситуациях в России и мире и т. д. Учитывая высокие темпы развития науки и накопления знаний, этот банк нуждается в постоянной корректировке его содержания.

Банк моделей может содержать математические модели различных объектов, процессов, явлений, событий, а также программы (вычислительные, модельные, эвристические) решения типовых задач. Модели подбираются применительно к группам пользователей и размещаются в их информационных порталах.

Создание БМ для информационных служб ИКС – перспективная задача, требующая совместных усилий математиков, системных программистов и отраслевых специалистов. Основная проблема в их создании, особенно на первых этапах – слабое коммерческое обоснование.

Информационно-поисковые системы (ИПС) должны осуществлять подборку материалов по запросам пользователей. Такие системы хорошо разработаны и находят широкое применение в различных областях деятельности. Особенность ИПС в составе информационной системы ИКС состоит в необходимости рационального соответствия между выборкой из собственного БИ с запросами материалов извне. Если соответствующих материалов в БИ нет, то ИПС должна давать запрос в соответствующую внешнюю структуру (БИ более высокого уровня иерархии, библиотеку, архив, ведомство и т. д.) в России или за рубежом. Если требуемый материал имеется, ИПС производит его поиск и выдачу пользователю в соответствующей форме.

Рассмотренные в данном разделе общие положения построения информационной системы ИКС могут быть использованы при построении любых информационных центров, порталов, создаваемых в интересах конкретных групп пользователей.

8.5. Порталы как средство организации информационных служб инфокоммуникационных сетей

8.5.1. Определение и классификация порталов

Порталы в Интернет и бизнесе существуют уже давно. Очевидно, что опыт их построения и использования будет переходить и в практику порталостроения инфокоммуникационных сетей следующего поколения. В [5] предлагается следующее базовое определение портала: это Web-сайт, предназначенный для специфической аудитории, который обеспечивает объединение информационного наполнения и доставку важной для данной аудитории информации, совместную работу и коллективные услуги, доступ к услугам и приложениям для избранной аудитории, предоставляемый на основе строгой персонализации. Применительно к электронному бизнесу и Интернет, авторы [5] предлагают следующую классификацию порталов.

Мегапорталы или горизонтальные порталы.

Так называются оригинальные Интернет-порталы, обращенные ко всему Интернет-сообществу, а не к специфической группе, объединенной определенным интересом. Важным аспектом деятельности мегапорталов является доставка традиционной медиа-информации.

Вертикальные порталы или субпорталы.

Они обслуживают узкоспециализированные сообщества или рынки, такие, как рынок товаров для здравоохранения или товаров только для женщин. Вертикальный портал существует практически для каждой аудитории, имеющей свою нишу в среде Web, и любой такой рынок имеет более одного вертикального портала.

Порталы типа B2B являются своего рода электронным рынком, который создан, чтобы предприятия могли взаимодействовать друг с другом или завершать свои общие бизнес-операции. Такие порталы предоставляют клиентам множество механизмов электронного бизнеса (например, закупки, проведение прямых и обратных аукционов). Корпоративные порталы разворачиваются для удобства отдельного предприятия. Любой, кому необходимо использование ИТ-ресурсов предприятия, может получить к ним доступ через корпоративный портал. Корпоративные порталы могут быть по своей природе горизонтальными, охватывающими весь объем информации, приложений и процессов предприятия, или вертикальными, сосредоточенными на специфическом бизнес-процессе, функции или приложении.

8.5.2. Корпоративные порталы

Корпоративные порталы – это окна доступа к корпоративной информации, приложениям и процессам. Они имеют те же самые базовые свойства, что и Интернет-порталы, но в то же время обладают рядом очень важных отличий и дополнительных характеристик. Корпоративные порталы станут ключевым компонентом унифицированного доступа к приложениям, управлению информацией и знаниями внутри предприятия, а также между предприятиями и их торговыми партнерами и клиентами. Корпоративные и Интернет-порталы различаются по охвату пользователей, которых они обслуживают, и по своим деловым целям. Корпоративные порталы предназначены для пользователей одного предприятия, и их цель – единственно выгода этого предприятия, в то время как Интернет-порталы предназначены для широкого круга пользователей и их целью является выгода провайдера портала и сообщества, для которого этот портал предназначен.

Многие варианты использования термина «портал» выходят за границы определения, данного выше, но тем не менее стали общепринятыми. К таким «псевдопорталам» принадлежат следующие.

Голосовые порталы – совершенно новый и очень специфический тип портала. Они доставляют информационное наполнение Web или Web-услуги посредством интерфейса на базе телефонной связи. Люди набирают номер своего голосового портала и, используя голосовые команды или клавиатуру телефона, получают информацию или завершают транзакции. Голосовые порталы составляют очень маленький специализированный рынок, но он очень быстро растет.

Персональные порталы предоставляют персональный «Вебтоп» (Webtop) индивидуальным потребителям. Типичные функции такого портала – электронная почта, ведение календаря и персональный информационный менеджер. Персональные порталы могут являться компонентами мегапортала, но бывают и абсолютно независимыми от него.

Другие варианты употребления термина «портал» на самом деле скрывают за собой все те же корпоративные порталы. Это исполнительные порталы, порталы управления, порталы разработчиков, порталы знаний, порталы коммерческой информации.

Более короткое определение портала дают авторы [6].Они рассматривают портал, как точку быстрого доступа к контенту и приложениям и как единый универсальный способ работы с разнообразными информационными ресурсами, имея в виду корпоративные порталы. Компании развертывают у себя такие порталы по различным

соображениям. Многие используют их в качестве основных интерфейсов корпоративных интрасетей, предоставляющих персоналу доступ к необходимым для работы данным. Другие рассматривают порталы как инфраструктуру для поддержки совместных работ и обмена опытом с партнерами и заказчиками. Широкие возможности корпоративных порталов представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Возможности корпоративных порталов

Сбор информации	Индексирование информации из различных внешних и внутренних источников. Поддержка различных форматов хранения информации
Организация и классификация информации	Определение иерархической структуры контента, создание визуальных карт знаний. Возможность для пользователей и администраторов вручную разделять контент по категориям. Автоматическая категоризация индексированного контента
Доступ, представление ираспространение информации	Web-интефейс для агрегирования и представления контента. Функции поиска во внутренних и внешних источниках. Уведомление пользователей о поступлении нового или изменении старого контента. Персонализация для автоматической доставки нужного контента пользователям. Средства, ограничивающие доступ к контенту.
Средства совместной работы	Инструменты для объединения пользователей вокруг определенных проектов: виртуальные совещания, форумы, доски объявлений, средства обмена сообщениями и т. д. Поддержка управления документооборотом: отметки о начале и конце работы с документом, контроль версий. Средства автоматизации документооборота и управления процессами
Настройка под конкретные нужды	Гибкая настройка интерфейса портала, в том числе самими пользователями. Поддержка существующих систем и технологии третьих фирм

8.5.3. Телевизионные порталы

Другим интересным направлением в порталостроении являются телевизионные порталы [7]. Существуют разные концепции их интерфейсов и приложений.

Концептуальная модель телепортала.

В [7] предлагается следующая концептуальная модель телепортала. Структурно в телепортал входят четыре основных приложения:

электронная программа телепередач;

видеопортал;

Интернет-портал;

портал среды обитания (домашний портал).

Возможны и другие приложения.

Многие приложения Интернет-портала в телевизионном исполнении будут инкапсулированы в другие приложения телепортала и непосредственно в интерактивные телепередачи. Телезрителю будут доступны следующие интерфейсы: мультимедийные, графические, гипертекстовые, оконные или Windows-подобные. По сути это компьютерные интерфейсы, которые очень хорошо знакомы пользователям персональных компьютеров, но не очень привычны для обычных телезрителей. Это выдвигает повышенные требования к созданию дружественных интерфейсов для неподготовленных в компьютерном отношении пользователей. Сами телезрители тоже должны сделать шаг навстречу новому телевидению, освоив новые для них интерфейсы.

Каждому зрителю требуется свой телевизионный приемник, чтобы смотреть свою рекламу, свой фильм, свою передачу. На рис. 8.2. представлена концептуальная модель телепортала.

Первый уровень определяет содержательную структуру телепортала. Он может быть расширен другими приложениями (например, банковскими услугами, региональной справочной информацией или местными новостями). Второй уровень определяет интерфейсы взаимодействия с контентом. На третьем уровне определены устройства отображения контента. Обычные телевизоры не соотносятся с понятием телевизионного портала. Из модели можно вывести множество схем нетрадиционного телепросмотра, соотнесенные с персональным компьютером, мобильными и домашними Интернет-устройствами. Однако на сегодняшний день центральное место де-факто отведено телевизору. Большое количество моделей телевизионных приставок, создаваемых ведущими фирмами, свидетельствует о том, что приложения телепортала в первую очередь будут реализованы для бытовых телевизоров. Затем телевизоры будут объединены в видеосеть с другими устройствами (персональными компьютерами, Интернет-устройствами, мобильными устройствами), обеспечивая Интернет и телевидение в любое время и в любом месте.

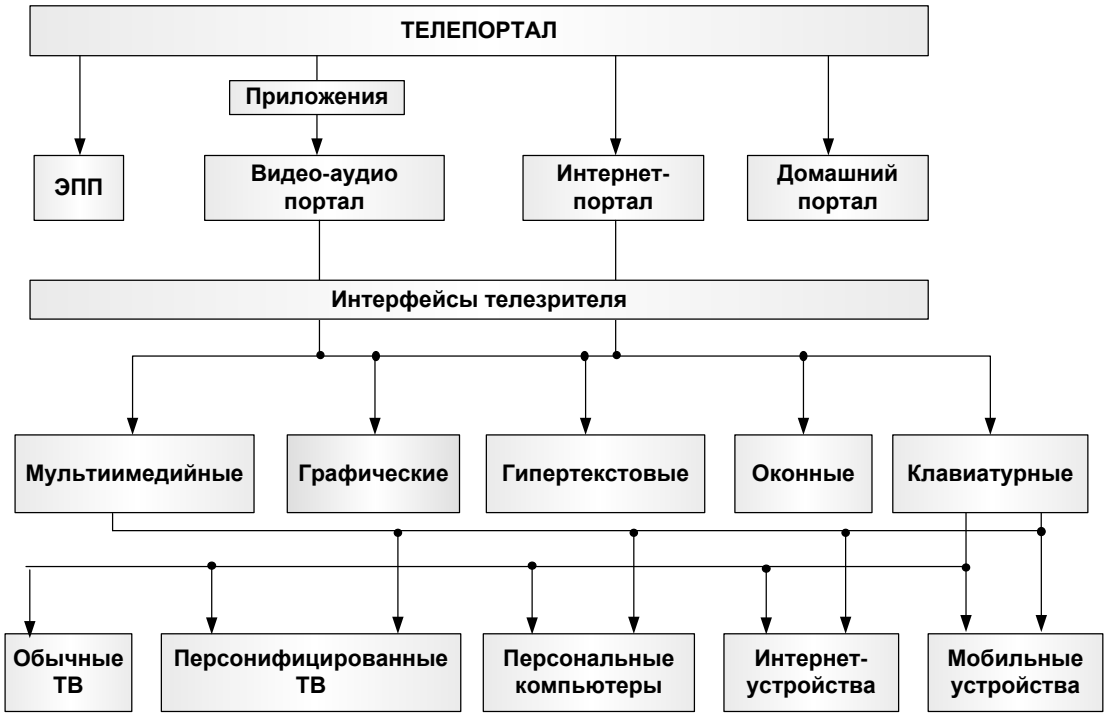


Рис. 8.2. Концептуальная модель телепортала

8.5.4. Концепции построения телевизионных порталов

Концепция Phillips

Аналитики Phillips исходят из того, что телевидение, Интернет, телефония, электронная почта, факс, игры становятся все ближе друг к другу и уже практически слились в единое целое. Центральное место в этом слиянии отводится персональному телевидению. Под персональным ТВ, в частности, понимается возможность выбора телезрителем при помощи видеопортала того или иного содержания (рис. 8.3). Концепция Phillips определяет одно из важных приложений телевизионного портала – это видеопортал для доступа к персонифицированному видео- и аудиоконтенту.

Рис. 8.3. Доступ к содержанию в новом телевидении.

Концепция Microsoft

Сегодня корпорация Microsoft ставит для себя новую цель – обеспечить доступ к ресурсам Интернет для любого устройства из любого места в любое время. Под устройствами подразумеваются не только компьютеры, но и те предметы обихода, которые окружают нас в повседневной жизни. Это может быть телевизор, телефон, музыкальный центр, игровые приставки и т. д. Телевизору отводится особое место. С точки зрения телезрителя, Web, традиционное и интерактивное телевидение сливаются в одно целое.

Концепция Cisco

Концепция Cisco – исходная модель домашнего портала. Интернет связывает всех членов семьи внутри дома и за его пределами. По дому размещаются терминальные устройства, образующие распределенную информационную сеть. Телевизионный приемник рассматривается в качестве одного из терминальных устройств и не ставится в центре управления Интернет-домом. Как превратить распределенную информационную сеть Cisco в домашний портал? Надо сконцентрировать итерфейсы Интернет-устройств в одном устройстве. Им может быть телевизор. Это повысит удобство использования сети, сохранив все преимущества распределенного доступа к Интернет-устройствам.

Концепция MPEG

Концепция MPEG – интерфейсы телезрителя для поиска аудио- и видеосодержания. Стандарт MPEG-7, получивший название Multimedia Content Description interface, предназначен для описания мультимедийного содержания. Поисковая машина MPEG-7 используется подобно поисковым системам в Интернет. Только ищет она не текстовые данные, а мультимедийные: музыку, песни, кинофильмы, телепередачи и т. д. Сам поиск осуществляется не по фразам естественного языка, а по фрагментам мультимедийного содержания. Концепция MPEG наполняет конкретным содержанием понятие «видеопортал». Видеопорталы в отличие от Web-порталов должны представлять

телезрителю мультимедийные интерфейсы доступа к аудио-, видеосодержанию. В обзорах стандарта MPEG-7 приводятся следующие примеры интерфейсов:

музыка: проиграйте несколько нот на клавиатуре, и вы получите список музыкальных произведений, содержащих требуемую мелодию или ряд изображений, тем или иным образом подходящих к нотам, например по эмоциональной тональности;

графика: нарисуйте несколько линий на экране, и вы получите набор картинок, содержащих аналогичную графику, логотипы, идеограммы и т. п.;

изображение: выберите объекты, включая цветовые зоны или текстуры, и вы получите примеры, из которых сможете отобрать интересующие вас объекты для того, чтобы найти подходящую графическую картинку, фотографию, клип и т. д.;

движение: используя имеющийся набор объектов, опишите движения и отношения между объектами, и вы получите список анимационных изображений, соответствующих описанным временным и пространственным отношениям;

сценарий: используя имеющийся контент, опишите действия, и вы получите список сценариев, в которых есть аналогичные или похожие действия;

голос: указав отрывок записи голоса Паваротти, вы получите список записей Паваротти, в которых он поет или просто присутствует.

Все шесть типов интерфейсов предполагают объектно-ориентированный подход к описанию мультимедийного содержания.

8.6. Информационные службы государственных и административных структур

8.6.1. Понятие электронного правительства

История показала, что разногласия между обществом и властью преодолеваются, в основном, или внутренними революционными преобразованиями, или внешним силовым воздействием. Современные концепции построения информационной инфраструктуры позволяют без революционных взрывов и потрясений поэтапно перераспределять властные полномочия в пользу общества и передавать ряд регулирующих функций его политическим, экономическим, социальным и иным самоорганизующимся структурам. Автор [8] предлагает концепцию электронного правительства, в соответствии с которой:

вся система органов государственной власти и госучреждений, обобщенно – правительство, рассматривается как единая сервисная организация, предназначенная для оказания услуг населению;

деятельность правительства должна быть открытой и информационно прозрачной для граждан. Оно должно быть доступно каждому субъекту общества в любой момент времени и из любой точки;

для совершенствования оказания услуг населению и повышения эффективности функционирования правительства в его деятельности используется современная сетевая информационная среда.

Практическая задача электронного правительства – трансформация внутренних и внешних взаимоотношений в системе государственного управления на основе использования ИКТ и сетевой инфокоммуникационной инфраструктуры для оптимизации процесса реализации государственных задач.

Проведенные исследования показывают, что многие страны уже добились определенных успехов в формировании электронного правительства. В США электронное правительство начало функционировать с 2003 года, в Японии – несколько позже. Сегодня всем достаточно ясно, что реализация электронного правительства может стать локомотивом преобразования всех сфер жизнедеятельности социума, основополагающим

стратегическим направлением, ключевой задачей государственной власти в осуществлении перехода к информационному обществу [8].

8.6.2. Формирование электронного правительства в США

В США тема «электронного правительства» уже прошла значительную часть своего жизненного цикла и внешний интерес к этой теме существенно ослаб. А вот бизнес-интерес заметно вырос, т. к. в этом секторе обращаются миллиарды долларов и он неуклонно растет. В США правительство чутко откликается на яркие идеи и старается не отставать от частного сектора, при этом все проекты правительства отличаются большим размахом. Общая сумма, которую тратит только федеральное правительство США в год на информационные технологии составляет около 43 млрд. долларов, что почти вдвое превышало бюджет России в 2000 году [9].

Из этой суммы на тематику «электронное правительство» тратится 2,2 млрд. долларов, так как это только небольшая область использования информационных технологий. Под электронным правительством понимают государственные электронные системы, предназначенные для взаимодействия с населением страны и структурами, не входящими в правительство, например, бизнес, общественные организации, региональные и муниципальные органы власти и др.

Главная цель электронного правительства США не абстракции, вроде открытого правительства, а повышение эффективности его деятельности через повышение производительности труда членов и обслуживающего персонала правительства.

Начало электронного правительства в США было положено созданием web-сайта Белого Дома в 1993 году. Примером систем электронного правительства являются представление в сети информации о работе государственных структур или оплата налогов через Интернет. Расходы на электронное правительство в США растут на 10 % ежегодно, что существенно выше среднего роста расходов правительства.

8.6.3. Электронное правительство в Европе

При создании европейского электронного правительства ставились следующие ключевые цели [10].

Ни один гражданин не должен остаться в стороне. Все граждане, включая социально не защищенные группы, являются равноправными пользователями услуг электронного правительства. Для того чтобы добиться этой цели, европейским государственным администрациям необходимо сделать более легким и рентабельным доступ к государственной информации и правительственным услугам через инновационное использование ИКТ.

Обеспечение результативности и эффективности предоставления государственных услуг. Высокий уровень удовлетворения пользователей государственными услугами должен быть обеспечен на основе использования правительством инновационных ИКТ, которые позволят уменьшить административное бремя на граждан и бизнес, гарантировать, что системы э-правительства отвечают текущим и перспективным потребностям пользователей, а также повышают прозрачность действий государственных администраций и их ответственность перед гражданами.

Достижение высокой степени соответствия электронных услуг потребностям общества. Государство должно создавать разнообразные электронные услуги, соответствующие социально-экономическим потребностям граждан и бизнеса и приносящие им реальную пользу на всем панъевропейском пространстве.

Повышение степени вовлеченности населения и демократизация процессов принятия решений. Использование эффективных и гибких электронных коммуникаций на базе современных ИКТ, предоставление обществу необходимой информации

о готовящихся решениях и законах должны увеличивать степень вовлеченности граждан в те демократические процессы, которые непосредственно способствуют достижению максимально широкого консенсуса в разнообразных социальных, культурных и экономических сферах на всех уровнях ЕС (национальном, региональном, общем).

Создание ключевых технических решений. Соответствующие технические средства, стандарты и другие виды поддержки должны облегчать продвижение электронного правительства в ЕС. Например, нужно содействовать полной интероперабельности при взаимодействии между системами электронного правительства (в частности, при использовании электронной подписи и при электронной идентификации).

В [10] отмечаются основные барьеры на пути формирования электронного правительства.

На первое место исследователи поставили ошибки, допускаемые высшими политическими руководителями страны в постановке задачи, а также руководителями проектов при их выполнении. Следующим серьезным барьером названо хроническое *недофинансирование.* Одной из причин этого может быть некачественный анализ показателя стоимость/выгоды (cost/benefit) на этапе формирования проектного бюджета. В итоге это может привести к тому, что объемы инвестиций окажутся ниже уровня, необходимого для поддержания инновационности проектов по электронному правительству.

Труднопреодолимым барьером является и существующее *цифровое расслоение.* Это понятие охватывает неравенство в навыках, в доступе к соответствующим системам и технологиям, в уровне знаний, в мотивации и множестве других факторов. Все это вместе взятое может ощутимо ограничить спрос на услуги электронного правительства.

В качестве существенного препятствия рассматривается также *неудовлетворительная координация* при выполнении проектов электронных правительств. Слабая координация и гармонизация решений тормозит формирование сетей и услуг, пересекающих границы государств и регионов.

Еще один барьер – *организационная жесткость.* Широкое использование преимуществ электронного правительства может быть значительно ограничено или даже блокировано из-за отсутствия гибкости на уровне всей организации либо отдельных ее подразделений и рабочих мест. Эта гибкость требуется при внедрении необходимых изменений в деятельность государственной организации, в ее различные административные процессы и организационные структуры. Такие изменения обычно бывают направлены на то, чтобы повысить в целом эффективность работы всей организации при опоре на использование электронных сетей и электронной информации и при предоставлении ею э-услуг.

Большое значение как фактору, препятствующему развитию электронных правительств, придается недостаточному уровню *доверия к ним граждан и бизнеса.* Растущие опасения по поводу неадекватного уровня безопасности и обеспечения приватности при работе в электронных сетях могут подорвать веру в реальность заявлений о том, что электронное правительство может уменьшить риски несанкционированного доступа к персональной информации, онлайнового мошенничества и т. п.

8.6.4. Электронное правительство в России

Что касается России, то уровень ее готовности к повсеместному внедрению ИКТ оставляет желать лучшего. Нормативно-правовые базы не развиты, остро стоит кадровый вопрос. Вместе с тем, стремление использовать передовые ИКТ очень высоко.

Важной составляющей готовности России к информационному обществу является ее готовность к реализации «электронного правительства». Успешность и оптимальная

эффективность функционирования этой программы напрямую связаны с тем, насколько широко она охватывает все регионы страны. Исследования, проведенные по оценке индекса готовности страны к информационному обществу [11] показали, что эта готовность в большинстве регионов в значительной степени основывается на стремлении соответствовать современным информационным технологиям. Регионы готовы морально, но ни законодательная, ни материальная базы, ни компьютерная грамотность населения и работников органов власти пока не оказываются надежными опорами для программы «Электронное правительство».

Привыкшие к точности формулировок специалисты с осторожностью применяют термин «электронное правительство». Действительно, информационно-коммуникационные технологии не имеют никакого отношения к созданию каких-то параллельных или дополнительных структур или рычагов власти, но ИКТ так глубоко проникают в практику государственного строительства и позволяют так существенно оптимизировать работу самых разных органов управления, что современное правительство, ответственно подходящее к возложенным на него обществом задачам, просто обязано стать отчасти «электронным».

Становление «электронного правительства» началось с присутствия государственных служб и организаций в сети Интернет. При этом рассылка бумажных документов постепенно заменяется их публикацией на информационных веб-узлах. Граждане и сотрудники других организаций могут найти на них большой объем информации о режиме работы организации, ответственных лицах, ознакомиться с нормативными документами и комментариями к ним.

Второй этап развития «электронного правительства» начинается с появлением электронных форм и процедур обмена информацией. Они превращают информационный веб-узел в инструмент взаимодействия с гражданами и организациями, позволяющий перенести в Интернет многие процессы, которые ранее решались только посредством личного визита в учреждение. На этом этапе для государственных служб становится важной проблема удостоверения личности пользователя. Сегодня для этих целей могут использоваться пароли, цифровые сертификаты и смарт-карты. Как правило, создаваемые в это время веб-узлы государственных органов имеют средства персонализации и аутентификации пользователей, поиска и рубрикации, обратной связи и являются, таким образом, Интернет-порталами в современном понимании.

На третьем этапе формируется «информационная экономика», характеризующаяся тем, что самые сложные операции управления, вовлекающие многие государственные учреждения, предприятия и граждан, выполняются полностью в электронной форме. Для того чтобы банковские, производственные, социальные, образовательные, медицинские и другие информационные системы «нашли общий язык» и при этом взаимодействовали понятным и удобным образом с людьми, применяется специальный стандарт – универсальный язык разметки информации XML.

Сегодня передовые страны находятся на стадии перехода от второго к третьему этапу развития «электронного правительства».

8.6.5. Государственные порталы

Согласно современным принципам построения информационной инфраструктуры организации, взаимодействие государственного учреждения с гражданами, бизнесом и другими органами управления должно быть организовано через информационный портал (порталы), представляющий «единую точку доступа» ко всем необходимым ресурсам.

Объединение ресурсов органа государственного управления в портал имеет следующие существенные преимущества:

позволяет полно и объективно информировать граждан о том, какой объем услуг, сервисов и социального обеспечения им предоставляется;

вовлекает граждан и организации в активную работу по поддержке курса, инициатив и программ Правительства;

обеспечивает «прозрачное», постоянное и оперативное взаимодействие государственного органа с хозяйствующими субъектами, причем может быть достигнута существенная экономия времени и средств как субъектов, так и бюджета. Портал позволяет воплотить на практике концепцию «единого окна» для решения широкого круга вопросов регулирования хозяйственной деятельности (регистрация, лицензирование, налоги, субсидии и пр.);

обеспечивает оптимизацию взаимодействия государственных структур при решении как повседневных, так и сложных оперативных вопросов.

К основным функциям информационного портала органа государственного управления относятся:

Поиск и получение информации.

Создание информационного портала имеет смысл только в том случае, если представленная на нем информация будет полной, точной и актуальной. Для ее организации обычно применяют несколько методов: объявления об обновлениях, полнотекстовый поиск, иерархический рубрикатор. Публикуемая информация обычно должна включать сведения о вышестоящих организациях, устав или регламент работы учреждения, расположение и рабочие часы офисов, список ответственных сотрудников с указанием приемных часов, базу нормативных документов, правил составления или заполнения различных заявлений и форм. На портале обычно также публикуются соответственные общественно-политические, экономические, местные новости.

Взаимодействие граждан и организаций с органом государственной власти.

Данная функция обеспечивается набором сервисов, позволяющих гражданам и организациям запрашивать и получать (полностью или частично) необходимые справки или разрешения. Информационный портал может также предоставить им возможность передавать в органы государственного управления предусмотренную законом отчетность (налоговую, статистическую). Безусловно, помимо удобного интерфейса, позволяющего гражданам и представителям организаций с разным уровнем владения компьютером легко осуществлять подготовку и отправку своих сообщений, такая система должна обеспечивать необходимую защиту конфиденциальной информации.

Проведение органами государственной власти мероприятий для граждан и организаций.

Специальный блок («торговая площадка») портала может обеспечить при необходимости проведение тендеров среди организаций и предприятий на проведение тех или иных работ для государственных нужд. Орган государственной власти публикует на своем портале объявление о тендере, условия участия в нем и набор специальных форм, которые необходимо заполнить претенденту. Программное обеспечение портала помогает собрать поступающие заявки и подвести итоги.

Размещаемая на портале информация должна соответствовать законодательству Российской Федерации (включая законодательство о защите авторских прав), отраслевым и региональным нормативным документам, уставу и/или положению соответствующего органа, уместным специальным инструкциям.

Структура портала и конкретный состав размещаемой информации должны быть подробно специфицированы в техническом задании на разработку портала и отражать специфику конкретного органа управления. Как минимум, портал должен содержать:

основные нормативные документы, определяющие функции и порядок работы учреждения;

документы или ссылки на документы вышестоящих учреждений;

исчерпывающую информацию о расположении, расписании работы и, в случае необходимости, персоналиях учреждения;

актуальные материалы, публикуемые учреждением в соответствии с его функциями;

новости работы учреждения;

тематически связанные новости;

рекомендации физическим или юридическим лицам по решению их типичных проблем (рекомендуется собрать их в типовые «сценарии»);

поиск по разделам.

В некоторых странах, например входящих в Европейский Союз, особое внимание уделяется дистанционному обучению через порталы центральных и местных органов власти. Граждане могут пройти курсы самой различной направленности – от основ техники безопасности до компьютерной грамотности. Для этого есть утвержденные типовые программы и экзамены, например, широко известный ECDL (European Computer Driving License) – своего рода «Европейские права на управление компьютером». Чем больше граждан прошло обучение через портал данного муниципалитета, тем больше его шансы на привлечение дополнительных инвестиций и новых предприятий в регион, тем больше число рабочих мест и тем выше уровень жизни.

Современный портал позволяет пользователю до определенной степени настроить состав просматриваемых страниц для удобства восприятия. Кроме того, портал может анализировать и, с согласия пользователя, накапливать в так называемых «профилях» некоторую информацию о его интересах, что позволяет акцентировать внимание на наиболее важной для него информации.

Портал организации, руководители и сотрудники которой ответственно подходят к исполнению своих функций, должен, если иное не диктуется спецификой учреждения, содержать разделы, в которых отдельные граждане или представители юридических лиц могут обращаться к уполномоченным служащим для решения своих вопросов. При этом следует уделить внимание тому, чтобы вопросы обрабатывались оперативно и качественно. Современные портальные решения предлагают богатый выбор инструментальных средств для маршрутизации запросов, помощи в подготовке ответов и протоколирования (журналирования) сроков/исполнения.

Большинство ведомств также может на своих порталах размещать объявления о тендерах на закупки для государственных нужд, а некоторые также – на конкурсную продажу лимитированных ресурсов (квот на лов рыбы, диапазонов радиочастот и пр.).

Далее будут рассмотрены несколько примеров правительственных порталов, построенных на базе платформы корпорации Microsoft [12].

8.6.6. Портал министерства/ведомства, не имеющего территориальных подразделений

К этой категории можно отнести министерства и ведомства Российской Федерации и ее субъектов, не осуществляющие непосредственного взаимодействия с юридическими и физическими лицами, но устанавливающие общие правила и условия деятельности в некоторых областях. Таким учреждениям еще не обязательно иметь мощную систему двунаправленного взаимодействия со своей целевой аудиторией, но они, как правило, публикуют такое количество быстро изменяющейся информации, имеющей важное значение, что для управления ею требуется профессиональная *система управления контентом*и соответствующий уполномоченный персонал (рис. 8.4).

Этот портал не связан непосредственно с обработкой обращений граждан или организаций, а профессиональная система управления контентом обеспечивает публикацию значительных объемов регулярно обновляемой информации.

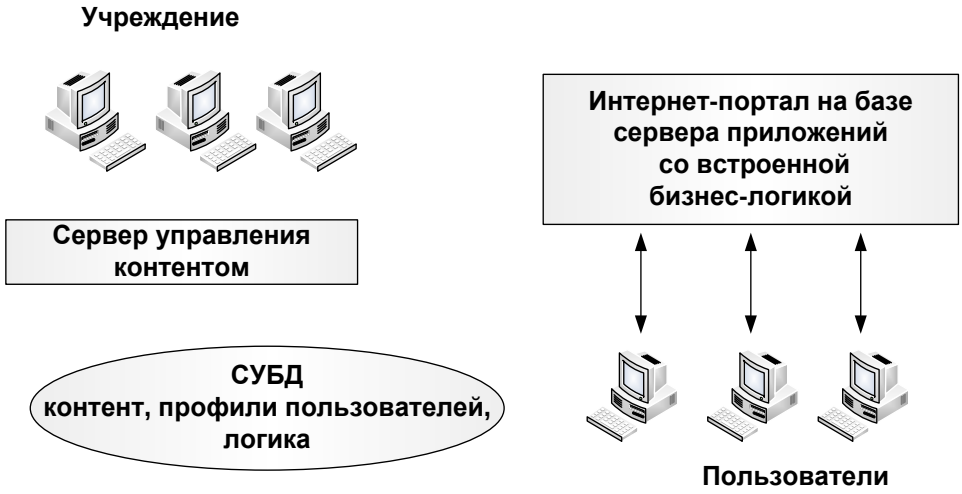


Рис. 8.4. Портал министерства/ведомства Российской Федерации

Любой, даже простой веб-узел/портал должен иметь средства публикации и удаления материалов, а система управления контентом дополнительно должна обеспечивать:

управление полномочиями сотрудников;

организацию процесса разработки, одобрения и публикации материалов;

«виртуализацию» – создание у сотрудников ощущения, что они готовят материалы прямо для портала, хотя в действительности до получения необходимых виз и разрешений они размещают их на некотором собственном «виртуальном портале»;

«стейджинг» – возможность практически мгновенно убрать с портала признанные ошибочными материалы с восстановлением предыдущего логически и визуально корректного состояния. «Стейджи» также могут использоваться для передачи подведомственным или родственным учреждениям как «заготовки» их порталов.

8.6.7. Портал крупного министерства/ведомства

К этой категории можно условно отнести государственные органы управления, в центральном аппарате и местных отделениях которых работает достаточно много (несколько тысяч) сотрудников, так или иначе вовлеченных в совместные служебные мероприятия, взаимодействие с гражданами или организациями, а также в публикацию материалов на веб-узле. Структура такого портала показана на рис. 8.5.

Здесь единая служба каталогов позволяет упростить организацию делопроизводства и администрирование прав доступа. Почтовая система позволяет обмениваться сообщениями, синхронизировать расписания, назначать встречи. Ее также можно использовать для рассылки важных уведомлений и других типовых операций делопроизводства.

Сотрудникам аппарата необходимо предоставить доступ к интранет-порталу и/или системе управления контентом. Индивидуальное предоставление прав доступа каждому сотруднику является очень сложной задачей даже для самой мощной ИТ-службы. Поэтому ее решение неизбежно связано с различного рода ошибками и накладками. В связи с этим администрирование прав доступа осуществляется на основе «ролей».

Определенные полномочия имеются у «ролей», которые могут в данный момент замещать те или иные сотрудники. В действительности в такой концепции нет ничего нового для государственного служащего, привыкшего к наличию четких штатных расписаний и должностных обязанностей. Однако последовательная реализация

концепции «роли» и универсальные каталоги, позволяющие централизованно хранить всю информацию об обязанностях и правах сотрудников крупных организаций (насчитывающих возможно, несколько миллионов сотрудников), появилась совсем недавно. Современные операционные системы должны непосредственно поддерживать облегченный протокол доступа к каталогам LDAP (Lightweight directory Access Protocol), информацию из которых могут использовать самые разные приложения – интранет-порталы, системы управления контентом, серверы электронной почты, приложения управления персоналом и т. д.

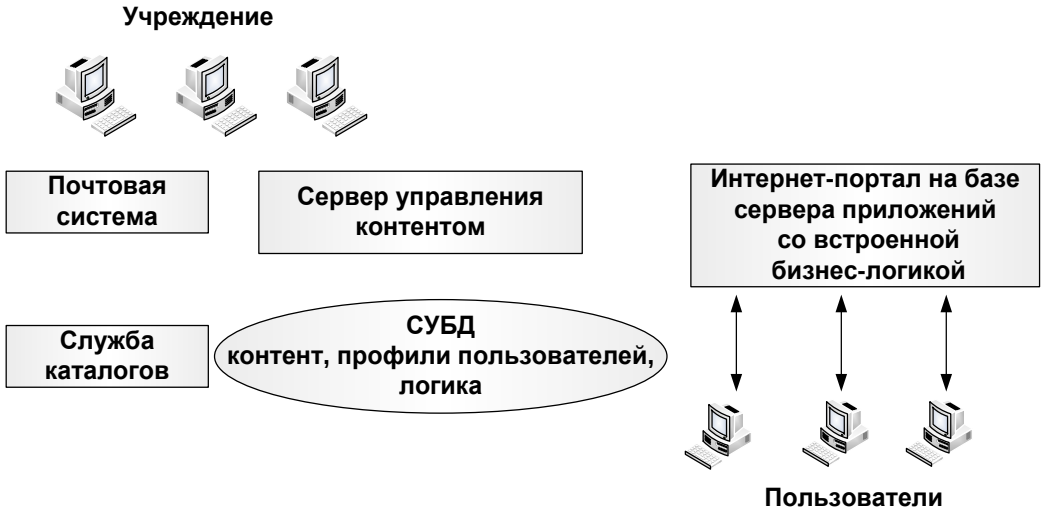


Рис. 8.5. Портал крупного министерства/ведомства

В Microsoft Windows 2000 Advanced Server реализована поддержка LDAP-подобных каталогов – служба Active Directory. Если в организации используется портал и/или почтовая система, они могут получать информацию о правах доступа, ролях, адресах электронной почты, номерах телефонов и т. д. из единой службы Active Directory.

Необходимой для крупного и особенно территориально распределенного учреждения является и система поддержки коллективной работы. Она включает электронную почту, средства планирования расписаний и мероприятий, а также, возможно, такие инструменты как служба «мгновенных» сообщений, видеоконференции и др.

Сегодня использование электронной почты стало неотъемлемой частью современного стиля работы практически всех, даже самых небольших государственных организаций и местных отделений. Однако интеграция электронной почты со службой каталогов, управлением контентом и порталами (рис. 8.5**)** является относительно новым шагом в архитектуре информационных систем государственных учреждений и применяется пока только в крупных организациях. Тем не менее, распространение опыта, накопленного в коммерческом секторе, будет способствовать расширению эксплуатации таких систем в государственных ведомствах.

8.6.8. Портал правительства

Гражданину не нужно знать, какой конкретный чиновник в каком из многочисленных ведомств уполномочен решить его частную проблему. В идеале ему даже не нужно знать, где расположены ближайшие отделения большинства государственных ведомств. Всё – от подачи налоговых деклараций и регистрации недвижимости до получения компенсаций или оплаты коммунальных услуг – он мог бы

сделать по Интернет. Теоретически на одном веб-узле могли бы быть в удобном виде собраны все федеральные и местные нормативные акты.

Построить такой всеобъемлющий портал непросто. Он, конечно, должен обладать высокой производительностью и надежностью, но это при современном уровне развития вычислительной техники вполне достижимо (некоторые крупные предприятия имеют более дорогие и сложные информационные системы, чем самые передовые правительства). Для достижения необходимой производительности и надежности можно использовать наращиваемые кластеры компьютеров, операционная система и другое программное обеспечение которых осуществляют динамическую балансировку их вычислительной нагрузки.

Основная проблема заключается в том, что для создания такого портала нужно согласовать процессы делопроизводства во многих ведомствах, определить области компетенции и ввести реальную ответственность за нарушения исполнительской дисциплины, но если все это преодолено, портал становится мощным инструментом и стимулом совершенствования всех областей работы правительства – от развития нормативной базы до укрепления отношений с гражданами и бизнесом. В этом и состоит смысл концепции «электронного правительства». На рис. 8.6 показана структура портала правительства.

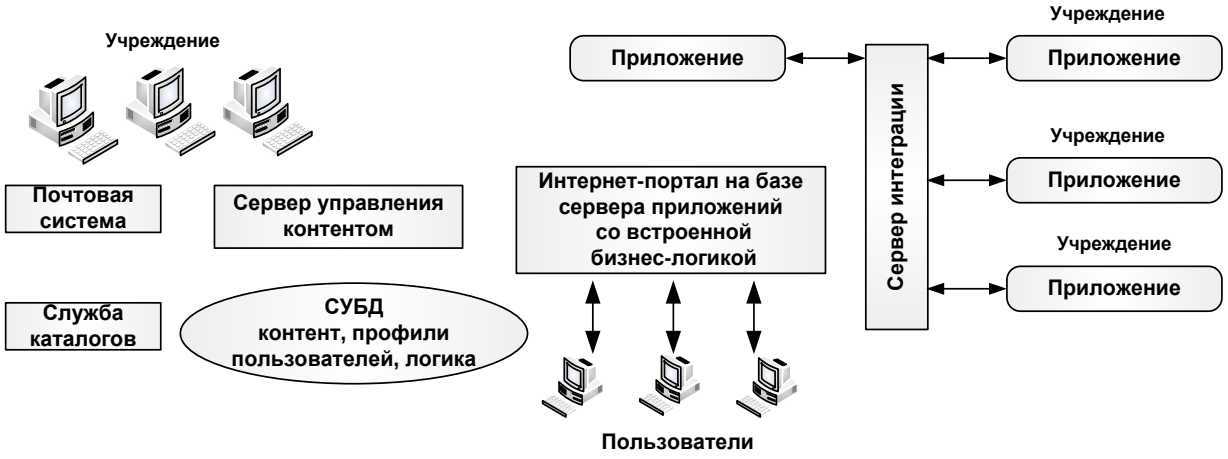


Рис. 8.6. Портал правительства

Портал правительства объединяет все центральные и местные отделения министерств/ведомств и предоставляет каждому посетителю строго необходимую информацию с учетом его потребностей, интересов, места расположения и пр. Портал обеспечивает контроль исполнения запросов и помогает находить правильные решения как типовых, так и сложных проблем.

Портал правительства должен «уметь» анализировать любые действия пользователя и предоставлять ему только действительно необходимую информацию с учетом его статуса, интересов, места размещения и пр. Соответственно, портал и связанный с ним сервер интеграции будут динамически маршрутизировать документы между многими государственными учреждениями и следить за их исполнением.

Работа над созданием всеобъемлющих правительственных порталов ведется во всех развитых странах, но лидерами здесь, несомненно, являются Великобритания и США. Шлюз государственных служб Великобритании является частью новой инициативы Британского правительства, предусматривающей организовать электронную связь 200 центральных и 482 местных государственных учреждений с 60 млн. граждан и 3 млн. коммерческих организаций в рамках всего Содружества. Среди наиболее успешных примеров правительственных порталов США следует отметить проект FirstGov – единый

Интернет-портал, объединяющий около 20 тыс. существующих государственных веб-узлов; проект Access Washington, предоставляющий населению штата Вашингтон доступ к информации и услугам любого ведомства штата; портал штата Пенсильвания, одной из главных особенностей которого является онлайновый аукционный веб-узел, предназначенный для организации государственных закупок.

8.7. Информационные технологии в системе образования

8.7.1. Информатизация в системе образования

Цель информатизации общества – создание гибридного интегрального интеллекта всей цивилизации, способного предвидеть и управлять развитием человечества. Образовательная система в таком обществе должна быть системой опережающей. Переход от консервативной образовательной системы к опережающей должен базироваться на опережающем формировании информационного пространства Российского образования и широком использовании информационных технологий [13].

Вхождение России в единое мировое информационное пространство ставит серьезные проблемы перед отечественным образованием. Начиная с 80-х годов 20 века, сумма знаний в обществе возрастает вдвое каждые 2 года. Изменится и структура знаний: доля традиционных знаний уменьшится с 70 до 40 %, прагматических – с 15 до 10 %, но возрастет доля новых знаний – с 5 до 15 % и знаний, направленных на развитие творческих способностей личности – с 3 до 25 %. Современное образование является поддерживающим, перспективное образование должно стать в информационном обществе опережающим [1].

Такое развитие информационного пространства требует обеспечения как психологической, так и профессиональной подготовленности всех участников образовательного процесса.

В процессе информатизации образования необходимо выделить следующие аспекты:

методологический;

экономический;

технический;

технологический;

методический.

Проанализируем состояние и развитие каждого аспекта.

Методологический аспект. Здесь главной проблемой является выработка основных принципов образовательного процесса, соответствующих современному уровню информационных технологий. К сожалению, на данном этапе новые технологии искусственно накладываются на традиционные образовательные формы. Поэтому необходимо найти новые подходы к формированию основных требований к каждому уровню образования. Например, как сочетать традиционные требования умения грамотно писать и считать с возможностями компьютера, который это делает лучше и в силу присущей человеку лени не способствует формированию таких навыков. Аналогичный пример касается чтения. Легкий доступ к информационным ресурсам, создание которых никто не контролирует, атрофирует у человека стремление работать с литературой. Такие же тенденции прослеживаются в области черчения и других дисциплин. Реальные лабораторные исследования заменяются работой в виртуальной среде, но поскольку технический прогресс остановить невозможно, крайне важно выработать новые образовательные стандарты.

Экономический аспект. Экономической основой информационного общества являются отрасли информационной индустрии (телекоммуникационная, компьютерная, электронная, аудиовизуальная), которые переживают процесс технологической

конвергенции и корпоративных слияний. Происходит интенсивный процесс формирования мировой «информационной экономики», заключающийся в глобализации информационных, информационно-технологических и телекоммуникационных рынков, возникновении мировых лидеров информационной индустрии, превращении «электронной торговли» по телекоммуникациям в средство ведения бизнеса.

К сожалению, наша страна активно не участвует в информационной индустрии, что во многом приводит к навязыванию западных стандартов в образовании.

Технический аспект. В настоящее время создано и внедрено достаточно большое число программных и технических разработок, реализующих отдельные информационные технологии, но при этом используются различные методические подходы, несовместимые технические и программные средства, что затрудняет тиражирование, становится преградой на пути общения с информационными ресурсами и компьютерной техникой, приводит к распылению сил и средств. Наряду с этим различный подход к информатизации на школьном и вузовском уровнях вызывает большие трудности у учащихся при переходе с одного уровня обучения на другой, приводит к необходимости расходования учебного времени на освоение элементарных основ современных компьютерных технологий.

Отсутствие единой политики в области оснащения техническими и программными средствами в угоду сиюминутной выгоде инициирует использование устаревших информационных технологий, вызывает трудности при переходе с одного уровня обучения на другой, является препятствием для включения в мировую образовательную систему. Очень серьезным моментом, связанным с использованием низкосортной вычислительной техники, является игнорирование вопросов экологической безопасности работы с компьютерами. Этому аспекту за рубежом уделяется серьезное внимание и расходуются значительные средства на проведение в этой области научных исследований и практических мероприятий.

Технологический аспект. Технологической основой информационного общества являются телекоммуникационные и информационные технологии, которые стали лидерами технологического прогресса, неотъемлемым элементом любых современных технологий. Они порождают экономический рост, создают условия для свободного обращения в обществе больших массивов информации и знаний и приводят, в конечном счете, к становлению информационного общества.

Методический аспект. Основные преимущества современных информационных технологий (наглядность, возможность использования комбинированных форм представления информации – данные, стереозвучание, графическое изображение, анимация, обработка и хранение больших объемов информации, доступ к мировым информационным ресурсам) должны стать основой поддержки процесса образования. Усиление роли самостоятельной работы обучаемого позволяет внести существенные изменения в структуру и организацию учебного процесса, повысить эффективность и качество обучения, активизировать мотивацию познавательной деятельности в процессе обучения.

Положительным при использовании информационных технологий в образовании является повышение качества обучения за счет:

большей адаптации обучаемого к учебному материалу с учетом собственных возможностей и способностей;

возможности выбора более подходящего для обучаемого метода усвоения предмета;

регулирования интенсивности обучения на различных этапах учебного процесса;

самоконтроля;

доступа к ранее не досягаемым образовательным ресурсам российского и мирового уровня;

образной наглядной формы представления изучаемого материала;

развития самостоятельного обучения.

Отрицательными последствиями использования информационных технологий в образовании могут быть:

психобиологические, влияющие на физическое и психологическое состояние учащегося;

культурные, угрожающие самобытности обучаемых;

социально-экономические, создающие неравные возможности получения качественного образования;

политические, способствующие разрушению гражданского общества в национальных государствах;

этические и правовые, приводящие к бесконтрольному копированию и использованию чужой интеллектуальной собственности.

В этих условиях информатизация образования должна быть управляемой.

В настоящее время получили широкое применение следующие направления использования информационных технологий.

1. Компьютерные программы и обучающие системы, представляющие собой:

компьютерные учебники, предназначенные для формирования новых знаний и навыков;

диагностические или тестовые системы, предназначенные для диагностирования, оценивания и проверки знаний, способностей и умений;

тренажеры и имитационные программы, представляющие тот или иной аспект реальности, отражающие его основные структурные и функциональные характеристики и предназначенные для формирования практических навыков;

лабораторные комплексы, в основе которых лежат моделирующие программы, предоставляющие в распоряжение обучаемого возможности использования математической модели для исследования определенной реальности;

экспертные системы, предназначенные для обучения навыкам принятия решений на основе накопленного опыта и знаний;

базы данных и базы знаний по различным областям, обеспечивающие доступ к накопленным знаниям;

прикладные и инструментальные программные средства, обеспечивающие выполнение конкретных учебных операций (обработку текстов, составление таблиц, редактирование графической информации и др.).

2. Системы на базе мультимедиа-технологии, построенные с применением видеотехники, накопителей на CD-ROM.

3. Интеллектуальные обучающие экспертные системы, которые специализируются по конкретным областям применения и имеют практическое значение как в процессе обучения, так и в учебных исследованиях.

4. Информационные среды на основе баз данных и баз знаний, позволяющие осуществить как прямой, так и удаленный доступ к информационным ресурсам.

5. Телекоммуникационные системы, реализующие электронную почту, телеконференции и т. д. и позволяющие осуществить выход в мировые коммуникационные сети.

6. Электронные настольные типографии, позволяющие в индивидуальном режиме с высокой скоростью осуществить выпуск учебных пособий и документов на различных носителях.

7. Электронные библиотеки как распределенного, так и централизованного характера, позволяющие по-новому реализовать доступ учащихся к мировым информационным ресурсам.

8. Геоинформационные системы, которые базируются на технологии объединения компьютерной картографии и систем управления базами данных. В итоге удается создать

многослойные электронные карты, опорный слой которых описывает базовые явления или ситуации, а каждый последующий – задает один из аспектов, процессов или явлений.

9. Системы защиты информации различной ориентации (от несанкционированного доступа при хранении, от искажений при передаче, от подслушивания и т. д.).

При создании компьютерных обучающих средств могут быть использованы различные базовые информационные технологии. Новые возможности, открываемые при внедрении современных информационных технологий в образовании, можно проиллюстрировать на примере мультимедиа-технологий. Появилась возможность создавать учебники, учебные пособия и другие методические материалы на машинном носителе. Они могут быть разделены на следующие группы:

учебники, представляющие собой текстовое изложение материала с большим числом иллюстраций, которые могут быть установлены на сервере и переданы через сеть на домашний компьютер. При ограниченном количестве материала такой учебник может быть реализован в прямом доступе пользователя к серверу;

учебники с высокой динамикой иллюстративного материала. Наряду с основным материалом они содержат средства интерактивного доступа, анимации и мультипликации, а также видеоизображения, в динамике демонстрирующие принципы и способы реализации отдельных процессов и явлений. Огромный объем памяти позволяет реализовать на одном оптическом диске энциклопедию, справочник, путеводитель и т. д.;

современные компьютерные обучающие системы для проведения учебно-исследовательских работ. Они реализуют моделирование как процессов, так и явлений, т. е. создают новую учебную компьютерную среду, в которой обучаемый является активным участником и может сам вести учебный процесс;

системы виртуальной реальности, в которых учащийся становится участником компьютерной модели, отображающей окружающий мир. Для грамотного использования мультимедиа-продуктов этого типа крайне важно изучение их психологических особенностей и негативных воздействий на обучаемых;

системы дистанционного обучения. В сложных социально экономических условиях дистанционное образование становится особенно актуальным для отдаленных регионов, для людей с малой подвижностью, а также при самообразовании и самостоятельной работе учащихся.

К сожалению, большая часть учебных программных продуктов представляет собой аналоги существующих учебников. Более правильным является использование информационных технологий для изучения процессов и явлений, не поддающихся визуальному исследованию и изучению на основе существующих образовательных технологий. Другой сферой применения информационных технологий является домашнее образование.

Большое распространение в сфере образования получил Интернет. Ресурсы Интернет чрезвычайно обширны; от компьютерных учебников, энциклопедий до шпаргалок. Диапазон применения Интернет простирается от самостоятельной работы до дистанционного образования, а круг пользователей включает и учащихся, и учителей. Большинство учебных заведений имеет собственные сайты.

Все существующие образовательные сайты можно разделить на две группы: «стихийные» и «организованные».

«Стихийные» сайты, пользующиеся большой популярностью, содержат рефераты, курсовые, дипломы и т. п. Они однотипны по своей структуре, как правило, включают тематические рубрики.

«Организованные» сайты, имеют определенную структуру, направленную на решение ряда образовательных задач, и ориентированы на более широкий круг пользователей (преподавателей, учащихся, родителей). Портал «Поколение.ru» (www.pokoleniye.ru) включает разделы, являющиеся полноценными сайтами со своей

структурой: «Учитель.ru», «Родитель.ru», «Писатель.ru» и др. Сайт http://all.edu.ru представляет официальную информацию Минобразования РФ, Федерации образования в Интернет, «Учительской газеты» и других организаций об образовании. Сайт emigrant.com.ru рассказывает о возможностях образования в Интернет за рубежом. Следует отметить, что дистанционное образование в Интернет является бурно развивающимся направлением, приносящим большой доход. Основные достоинства такого обучения: низкая себестоимость, большая пропускная способность и интеграция в мировое образовательное пространство.

Очевидно, что именно на опыте Интернет будут строиться информационные службы системы образования в инфокоммуникационных сетях следующего поколения.

8.7.2. Дистанционное и электронное обучение

Эти хорошо развитые сегодня технологии являются прообразом системы телеобразования в составе информационных служб инфокоммуникационных сетей следующего поколения.

Термины «дистанционное обучение» и e-Learning (электронное обучение) часто употребляются как синонимы. На самом деле эти понятия не тождественны. В [14] приведены следующие определения этих терминов:

Дистанционное обучение – метод обучения, когда от слушателя не требуется физическое присутствие в определенном месте в процессе обучения. Как правило, тем или иным способом (например, по почте) учащемуся предоставляются учебные материалы – учебники, видео- и аудиокассеты, компакт-диски. Следуя методическим указаниям, студент самостоятельно изучает материалы, выполняет задания и отправляет их обратно на проверку. В последнее время для осуществления коммуникаций между обучающей организацией и студентом широко используется электронная почта, веб-сайты и видеоконференции на базе сетей общего доступа.

e-Learning – обучение (или элемент обучения), при помощи современных компьютерных технологий, Интернет.

К основным преимуществам e-Learning обычно относят:

отсутствие личной встречи с преподавателем (особенно актуально, если для личной встречи необходима командировка в другой город);

возможность обучения в удобное для учащегося время и в удобном темпе.

Обычно для e-Learning используются следующие средства: электронная почта, Интернет-форумы, Интернет-сообщества, видеолекции, видеоконференции, экспертные системы и т. п.

Как видим, в этих определениях довольно много общего. Более того, если дистанционное обучение (ДО) представить в компьютерно-сетевом варианте, то они практически совпадают. ДО и e-Learning можно представить как пересекающиеся множества: ДО как метод обучения с удаленным доступом может включать в себя элементы e-Learning; последнее может использоваться как в заочном (дистанционном), так и в очном варианте учебного процесса.

Электронное обучение на сегодняшний день представляет собой совокупность технических, программных, организационных, методологических решений, создание и использование которой сформировало достаточно зрелый рынок, успешно функционирующий в большинстве стран мира.

Сегодняшнему состоянию электронного обучения предшествовало несколько этапов развития образовательных технологий, которые постоянно видоизменялись, но новые никогда не вытесняли старые полностью, скорее происходило изменение форматов. Самая первая – бумажная – технология включает в себя двухмерную текстовую и графическую информацию, которая может быть представлена обучаемому на бумажном носителе

в виде книг, факсов, распечаток и т. д. Это одна из самых старых технологий, применяемых в обучении, актуальна и сегодня.

Технологии, основанные на передаче звука, задействуют телефон, радио, записи на аудиокассетах и CD. В середине 1920-х годов радио широко применялось в образовательных целях, так как это очень дешевый и доступный носитель.

В дальнейшем широкое развитие получили теле- и аудиоконференции. Видеотехнологии получили широкое распространение в виде обучающих телевизионных программ. С распространением вычислительной техники стали разрабатываться компьютерные приложения для обучения. С широким развитием Интернет в середине 90-х годов 20 века многие решения и наработки, созданные для реализации компьютерных технологий обучения, были адаптированы к сетевой специфике Интернет. Интернет-технологии могут обеспечивать как синхронный, так и асинхронный, как односторонний, так и двусторонний, как групповой, так и индивидуальный режимы обучения при большой легкости в использовании и для слушателей и для преподавателей.

В конце 1990-х годов появилось понятие «синдром одинокого студента», когда при обучении происходит только взаимодействие компьютер-человек. Зачастую слушатели, начавшие обучаться по тому или иному курсу, бросали его, ознакомившись с тремя-четырьмя абзацами текста.

Для борьбы с данными явлениями в 1997 году активное распространение получили специализированные LMS-решения (Learning Management System – система управления обучением). Такие программы автоматизировали управление образовательными событиями. Все LMS могут управлять регистрацией и входом в систему пользователей, каталогами курса, записывать данные и предоставлять отчеты об обучении; кроме того, средствами LMS обеспечивается взаимодействие всех участников обучения. Сегодня в мире насчитываются сотни производителей таких систем, существует и пять-шесть вполне зрелых российских разработок.

Помимо LMS распространение получали и средства разработки электронных курсов, позволяющие вполне удобно создавать учебные материалы людям, не являющимся большими ИТ-специалистами. С ростом библиотек электронных курсов появилась потребность в системах управления контентом (Content Management System или Learning Object Repositories), с помощью которых можно было накапливать, обрабатывать и использовать содержимое курсов.

В 1997 году был создан консорциум IMS (Instructional Management System) Global Learning Consortium, или Всемирный образовательный консорциум образовательных систем управления. Миссия консорциума – продвижение технологий e-Learning через разработку открытых спецификаций. Спецификации разрабатываются экспертами организаций-участников, после чего утверждаются Техническим комитетом и становятся доступными общественности на безвозмездной основе. Большинство спецификаций описывает обмен данными внутри образовательных систем, поэтому имеет привязку в виде элементов языка XML (extensible Markup Language), что позволяет немедленно использовать их при создании программных инструментов e-Learning. Тенденция, заключающаяся в следовании общепринятым спецификациям как разработчиками курсов, так и создателями LMS- и CMS-решений, остается одной из наиболее актуальных на протяжении последних лет.

Эффективность различных технологий электронного обучения, с точки зрения слушателя и сложности педагогического дизайна, показана на рис. 8.7 [14]. Следуя этой схеме, разработчики электронных курсов привлекают все больше интерактивных элементов, различных симуляций. В результате слушатель становится не просто потребителем текстовой и графической информации, он активно действует в процессе обучения, что заметно увеличивает его вовлеченность в процесс.

Электронное обучение сегодня широко используется при построении систем корпоративного обучения. Все чаще происходит интеграция e-Learning-решения в информационную систему предприятия. Технологически система корпоративного электронного обучения представляет собой часть системы компании, нередко интегрируется с кадровой подсистемой (системой управления персоналом), корпоративным информационным порталом, корпоративной системой управления знаниями, системами поддержки принятия управленческих решений и другими приложениями.

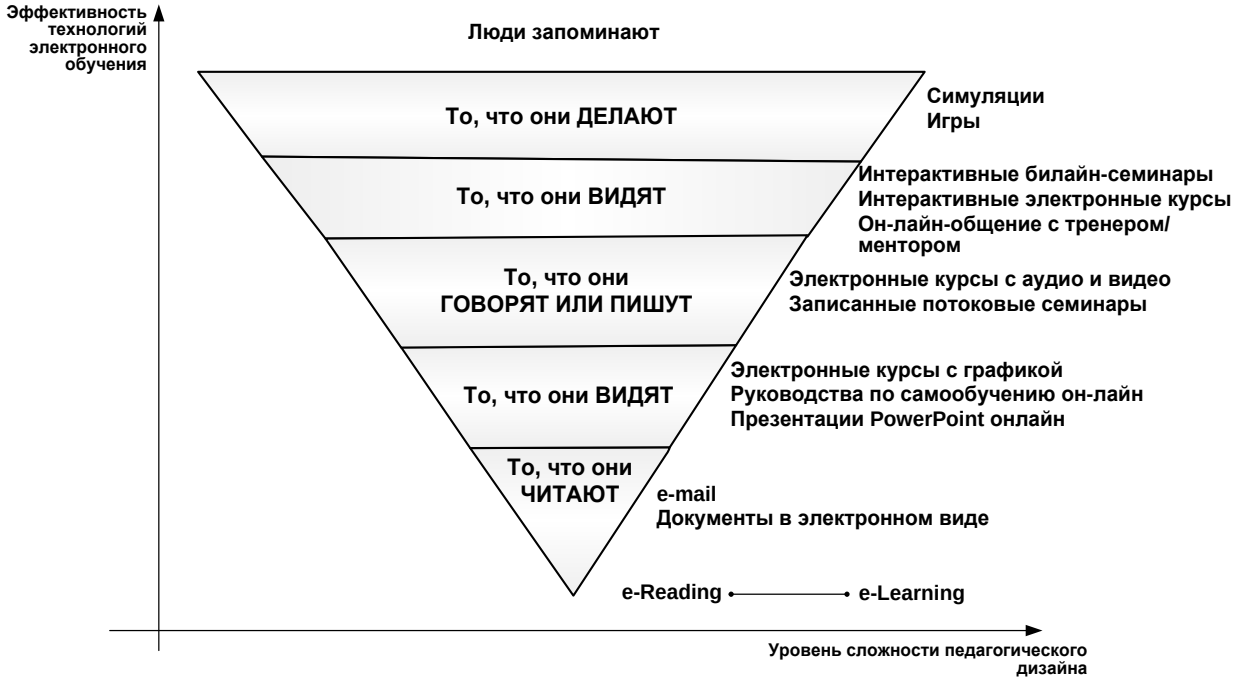


Рис. 8.7. Эффективность технологий электронного обучения

8.7.3. Предложения корпорации Microsoft по использованию информационных технологий в образовании

Эффективная интеграция информационных технологий в образовании является ключом к решению проблемы подготовки нового поколения работников, который требует соблюдения четкого баланса между лучшими методами традиционного обучения и новым пониманием самого процесса обучения. Такая интеграция зависит от использования ИТ для продвижения и углубления коммуникаций, а также для обеспечения нового уровня образования. Корпорация Microsoft называет такой подход в области использования информационных технологий в образовании термином Connected Learning Community.

Connected Learning Community представляет собой простую, но достаточно мощную концепцию, имеющую сегодня гораздо большую важность, чем несколько лет назад, когда она только появилась. Согласно этой концепции, мир является постоянно обновляемой средой обучения, в которой использование информационных технологий расширяет возможности обучения, предоставляя необходимый практический опыт их внедрения. В рамках Connected Learning Community новые вычислительные устройства, мощное программное обеспечение и глобальное распределение веб-услуг представляют собой единое целое, обеспечивающее неограниченные возможности обучения в любое время и в любом месте. Концепция Connected Learning Community претворяется в жизнь во многих странах. В одних случаях такие сообщества возникают на базе учебных

заведений, успешно интегрировавших ИТ в процесс обучения, в других – являются результатом работы добровольных активистов. Возможности для формирования сообществ не ограничены и зависят от воображения и энергии создателей. Независимо от используемого подхода, существует три фундаментальных блока, образующих любое сообщество:

1. *Современная инфраструктура обучения*

Современная инфраструктура обучения представляет собой информационную инфраструктуру, которая включает технологии (оборудование, программное обеспечение, периферийные устройства и связь с Интернет) и людей, обладающих знаниями и практическим опытом, которыми они хотят обмениваться друг с другом.

Инфраструктура обучения для каждого сообщества будет состоять из комбинации перечисленных выше элементов, но в то же время она будет уникальной, отражая потребности, интересы и имеющиеся ресурсы сообщества.

2. *Неограниченный доступ – в любое время и в любом месте*

Сообщество может только выиграть от внедрения современной инфраструктуры обучения, если его члены обладают неограниченным доступом к ней. В Connected Learning Community учащиеся всех возрастов и способностей получают этот доступ с помощью настольных компьютеров, ноутбуков, карманных компьютеров и других устройств, имеющихся в школах, дома, в библиотеках, коммерческих фирмах, юношеских центрах, публичных киосках и других местах. Следует отметить, что использование инфраструктуры обучения в Connected Learning Community совершенно не предполагает наличие собственного компьютера.

3. *Естественная интеграция информационных технологий*

Как показывает практика, приобретение технологий является первым и, возможно, самым простым шагом в использовании этой технологии для усовершенствования процессов и операций. Реформирование организации так, чтобы она стала получать выгоду от новой технологии – это следующий, более сложный шаг. Поэтому третьим элементом создания Connected Learning Community является интеграция технологий – полное слияние с современной инфраструктурой обучения и организация доступа к ней.

Такое взаимодействие приводит к созданию новых уровней обучения и реализации новых возможностей управления учебными заведениями. Для учащихся информационные технологии превращаются в ежедневный инструмент обучения, для преподавателей – в средство разработки учебных планов, а для администраторов – в источник непрерывного усовершенствования организации учебного заведения.

Далее рассматривается использование ИТ в школьном и высшем образовании.

Школы и информационные технологии

Концепция Connected Learning Community рассматривает школы в качестве места, где ученики и преподаватели встречаются, обсуждают проекты, формулируют цели обучения, ищут помощи друг у друга.

Используя компьютерные сети и программное обеспечение для предприятий школы могут управлять ресурсами (финансы, инвентарь, расписание занятий, кадры) и получать информацию о выполнении предопределенных задач. Так, правление Edmonton Catholic School Board, обслуживающее 34 тыс. учащихся в 84 школах в канадской области Edmonton, использует электронную почту, календарные расписания и общедоступные папки для осуществления управления и рассылки инструкций во все школы. При этом затраты на поддержку информационных технологий неуклонно падают, а производительность труда административных работников растет, благодаря уменьшению бумажной работы и ускорению доставки информации.

Ученики пользуются этими технологиями в течение всего дня для получения от преподавателей заданий и ответов, а также для нахождения необходимых им

информационных ресурсов. Используя информационные технологии, школы поощряют преподавателей на проведение экспериментов, внедряя групповое преподавание, увеличивая продолжительность занятий, реализуя эмпирическое обучение и другие педагогические модели. Подобные организационные изменения помогают раскрыть творческий потенциал учащихся.

В 1996 году школа San Antonio в провинции Пиура (Piura) в Перу открыла компьютерную лабораторию, оснащенную доступом в Интернет. С тех пор процесс обучения изменился кардинальным образом. Учащиеся быстро заняли лидирующие позиции в использовании новых инструментальных средств. Под их воздействием преподаватели преодолели свое нежелание учиться и закончили курсы университета в Piura. Так, использование компьютеров привело к созданию новых методик преподавания.

Сообщества и информационные технологии

Поскольку занятия в школах проводятся по рабочим дням, родителям учеников трудно было найти время для поддержания контактов с преподавателями. Слишком часто родители могли получить информацию об успеваемости своих детей и посещении ими занятий, расписаний уроков или меню в школьной столовой и т. д. только по почте или по телефону.

Благодаря использованию электронной почты, списков рассылки и школьных веб-узлов преподаватели и административные работники могут сообщать родителям о ходе процесса обучения их детей, а также сообщать другую информацию о школе и проводимых к ней мероприятиях. Учащиеся, преподаватели и административные работники теперь имеют возможность общаться с ровесниками, коллегами и экспертами из местного компьютерного сообщества, а также со всего мира – это приносит выгоду и той и другой стороне.

Благодаря установлению более тесных связей с сообществами, школы стали превращаться в центры обучения. В ЮАР, например, ученики и их родители, у которых никогда раньше не было доступа к информационным технологиям, теперь могут освоить компьютер, научиться работать с различным программным обеспечением и получить доступ в Интернет в двадцати двух «Электронных деревнях» (Digital Villages) страны. Каждый день такую «деревню» посещает более 100 человек. Таким образом, жители сельскохозяйственных районов ЮАР получили шанс приобрести новые навыки, узнать больше об окружающем их мире и получить перспективы на будущее.

Использование информационных технологий в высшем образовании

Многие специалисты считают, что в связи с происходящими в мире процессами, необходимо радикальным образом трансформировать высшее образование в нечто такое, чего никогда раньше не было. Однако, это не так. Взаимодействие между людьми – между преподавателями и студентами, а также между самими студентами – лежит в основе полноценного образования. Демографические и экономические изменения влияют на такие взаимоотношения, повышая важность общения профессорско-преподавательского состава со студентами. Информационные же технологии являются именно тем средством, которые способствуют поддержанию такого общения.

Считается, что в высшем образовании происходили три большие революции. Первая – это переход от устных традиций к письменному слову, вторая – смена разделения студентов на небольшие группы современной системой библиотек и студенческих городков, а третья была вызвана информационными технологиями. Каждое из этих революционных изменений улучшало качество образования, сохраняло лучшие из старых методов, давая в то же время дорогу новым технологиям. В каждом из таких изменений взаимоотношения между преподавателями и студентами оставались основой системы образования. Это справедливо и сегодня.

Исследования показывают, что компании сейчас ищут в выпускниках высших учебных заведений те качества, которые могут быть привиты во время общения между преподавателями и студентами, а именно:

способность критически мыслить и эффективно общаться как в устной, так и в письменной форме;

умение работать в группах, причем как в своей собственной области, так и в смежных дисциплинах;

умение быстро адаптироваться к новым технологиям;

знание глобальной окружающей среды и культурных особенностей, что необходимо для работы в условиях всемирного разделения труда.

Влияние информационных технологий на эффективность общения между преподавателями и студентами

Если попросить любого студента назвать любимого преподавателя, он вспомнит того, кто обладает наиболее важным качеством – индивидуальным подходом к каждому учащемуся. Все помнят того преподавателя, который тратил дополнительное время на общение, обеспечивая тем самым обратную связь и поддерживая новые идеи.

Информационные технологии не *подменяют* собой человеческое общение – они просто решают определенные задачи, давая тем самым возможность сконцентрироваться на идеях при встречах с коллегами. Одним из таких продуктов, делающих личное общение более привлекательным и эффективным, является Microsoft Net Meeting, приложение для проведения видео-конференций.

Совместно используемый контент заранее доступен всем заинтересованным участникам, а участие в конференции можно принимать, не покидая своих офисов. Такой подход дает возможность участникам заранее обдумать цель встречи, а уже затем извлечь максимальную пользу из личного общения.

Использование подобных технологий имеет широкие возможности и в высшем образовании. Так, студенты могут заранее просматривать учебные планы, знакомиться с содержанием курсов и сравнивать свои успехи с предлагаемыми темпами обучения на факультете – до того, как они встретятся со своим постоянно занятым куратором. Благодаря этому общение с ним может стать намного содержательнее. С другой стороны, студенты могут заранее прослушать лекции, изучить необходимый материал с помощью Интернет, а затем, уже подготовленными, придти на лекцию, чтобы делать именно то, для чего они там собрались: обмениваться идеями, обсуждать различные точки зрения и т. д. Сами лекции могут стать короче и проводиться в разное время. Как показывают результаты исследований, такие преобразования в процессе обучения студентов приводят к повышению качества полученных знаний.

Например, на кафедре математики в Технологическом институте штата Вирджиния был создан MathEmporium – обучающий центр, состоящий из 500 рабочих станций и предназначенный для обучения 3,5 тыс. студентов линейной алгебре. В отличие от лекций, на которых студенты просто сидят и делают записи, изучение материала в центре проходит в виде выполнения лабораторных работ, причем каждый студент может делать это по-разному в соответствии с уровнем его знаний и способностей.

Литература

1. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Информационные технологии. – М.: Высшая школа. 2003. – 263 с.

2. Зима В. М., Молдовян А. А., Молдовян Н. А. Безопасность глобальных сетевых технологий. – СПб.: Изд-во СП6ГУ. 1999.

3. Поспелов Д. А. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии. – М.: Высшая школа. 1988.

4. Шехтман Л. И. Информационная служба телекоммуникационной системы. – М.: РТИ им. акад. А. Л. Минца РАН, препринт № 937. 1993. – 42 с.

5. Д Файфер, Т. Кемпф, М. Краммер. Корпоративная портализация электронного бизнеса // Сетевой журнал. 2001. № 3.

6. А. Бхатт, Д. Финнер. Одиссея порталов // Сети и системы связи. 2001. № 10 (74).

7. Гусев В. Телевизионные порталы. Концепция построения // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2001. № 1 (13).

8. Нисневич Ю. А. Электронное правительство как постиндустриальная философия государственного управления // ИнформКурьерСвязь 2003, № 4.

9. Малков Л. Электронное правительства США: «модель 2001-го года // PCWEEK/RE, 2006. № 45.

10. Дрожжинов В., Штрик А. Барьеры на пути строительства э-правительства: уроки ЕС // PCWEEK/RE, 2006. № 45

11. Шалманов С., Полькина Т., Рудычева Н. Переходный период // CNEWS, июнь 2006.

12. http://www.microsoft.com/rus/government/.

13. Концепция информатизации сферы образования Российской Федерации // Проблемы информатизации высшей школы: Бюллетень. – 1998. № 3–4.

14. Печенкин А. e-learning: этапы большого пути // PCWEEK/RE/ 2006. № 32.

ГЛАВА 9. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

В соответствии с классификацией, предложенной выше, рассмотрим технологии построения глобальных сетей, которые, по нашему мнению, или найдут применение в сетях следующего поколения, или будут существовать параллельно в сетях предыдущих поколений, взаимодействуя с NGN. Эти технологии распространяются также на городские сети и используются для разработки, проектирования, создания и эксплуатации больших, распределенных инфокоммуникационных сетей, охватывающих значительные территории (город, область, регион, страна, весь мир). Они представляют собой взаимосвязанный комплекс разных технологий: локальных сетей, передачи и коммутации, транспортных, сетевого управления, абонентского доступа и других, обеспечивающих оптимальным образом решение задач, стоящих перед глобальной сетью.

Рассматриваемая здесь группа технологий построения глобальных сетей представлена на рис. 9.1.

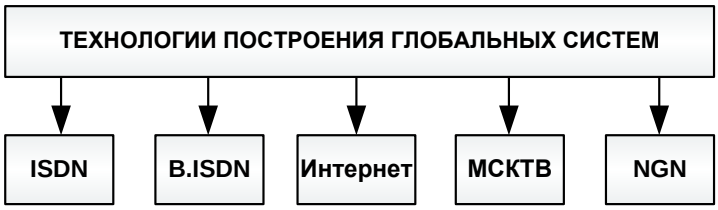


Рис. 9.1. Технологии построения глобальных сетей

9.1. Технологии цифровой сети интегрального обслуживания (N.ISDN)

Идеи перехода телефонных сетей общего пользования на полностью цифровую обработку сигналов, при которой конечный абонент передает информацию непосредственно в цифровой форме, высказывались давно. Сначала предполагалось, что абоненты этой сети будут передавать только голосовые сообщения. Идея такой сети, получившей название IDN (Integrated Digital Network), была высказана еще в 1959 году. Однако в дальнейшем развитие компьютерных технологий и необходимость передачи данных, а также необходимость поддержания для абонентов разнообразных услуг прикладного уровня – факсимильной связи, телекса, видеотекса, голосовой почты и ряда других – привели к идее создания цифровой сети интегрального обслуживания – ISDN (Integrated Services Digital Network).

Впервые понятие цифровой сети интегрального обслуживания было сформулировано МККТТ в 1972 году. К настоящему времени может быть дано следующее определение ISDN [1]:

ISDN – это сеть, образованная на основе телефонной цифровой сети (IDN), обеспечивающая сквозные цифровые соединения, поддерживающая широкий диапазон видов обслуживания, включая речевые и неречевые виды обслуживания, к которым пользователь получает доступ посредством ограниченного комплекта стандартных многоцелевых интерфейсов пользователя.

Отправным пунктом существования ISDN является наличие цифровой сети связи. В своей основе любая цифровая сеть может быть использована для этой цели, однако на практике использование телефонной сети является более предпочтительным, т. к. она отличается большой масштабностью и может включать абонентов, как из деловых кругов, так и частных.

Широкое внедрение ISDN требует, чтобы линии доступа пользователей были цифровыми. Однако, это не означает что внедрение ISDN последует за полной реализацией IDN. В большинстве стран эти два процесса в развитии связи осуществлялись параллельно.

Более того, для стран, имеющих низкую плотность цифровой телефонной сети и неразвитые выделенные специализированные (нетелефонные) сети, экономически было целесообразно развивать сразу сеть ISDN, пропуская этап развития сети IDN.

Важнейшим условием развития ISDN являлась быстрая, эффективная стандартизация в мировом масштабе. Целью международных стандартов не было определение того, как должна строиться ISDN. Напротив, специфическим требованием развития ISDN является возможность модификаций и внедрения новых функций на основе гибкости и модульности.

Идеологию ISDN разрабатывал МККТТ, в котором была выделена специальная XVIII группа. В 1980 году появился стандарт G.705, в котором излагались общие идеи этой сети. Конкретные спецификации ISDN появились в 1984 году в виде серии рекомендаций I. В некоторых случаях они допускали неоднозначное толкование и в 1988 году рекомендации были пересмотрены и приняли более детальный и законченный вид, хотя некоторые неоднозначности еще сохранились. В 1992 и 1993 годах рекомендации были еще раз пересмотрены.

МККТТ рассматривало ISDN в двух аспектах:

как новую сеть, длительное время вынужденную сосуществовать с другими сетями;

как перспективу развития сетей связи, имея в виду замену выделенных сетей сетями ISDN вплоть до «эры ISDN», характеризующейся наличием единой сети ISDN;

Разработка архитектуры ISDN в МККТТ проводилась в следующих направлениях:

разработка структуры протоколов ISDN;

идентификация сетевых интерфейсов, требующих стандартизации, и их стандартизация;

оптимальное размещение функций ISDN по компонентам сети при реализации;

разработка гипотетических моделей для описания ISDN;

разработка рекомендаций по внедрению и развитию ISDN;

разработка рекомендаций по вопросам сигнализации в ISDN;

разработка рекомендаций по внедрению новых технологий и элементной базы в сеть (например, спутниковой связи, волоконно-оптической коммутации и др.).

Сетевые функции в ISDN разделяются на две категории:

сетевые транспортные функции, которые обеспечивают транспортировку информации от одного из интерфейсов пользователь/сеть к другому интерфейсу пользователь/сеть (в эту же категорию отнесены такие функции, как управление сетью, статистика и другие, связанные с сетевыми транспортными функциями);

функции применения (обслуживания), которые специализируются для каждого определенного вида обслуживания; функции применения могут выполняться как в сети ISDN, так и вне её, в последнем случае доступ к функциям обеспечивается через стандартный интерфейс пользователь/сеть.

Общий подход к специализации транспортных функций ISDN показан на рис. 9.2.

Гипотетическая структура ISDN показана на рис. 9.3. Здесь ТС ISDN – транспортная станция ISDN, Ш – шлюз, МС ISDN – местная станция ISDN. Сетевое окончание NT для обеспечения возможно большей гибкости функционально разделяется на NT1 и NT2. Функция окончания NT1 является функцией 1-го (физического) уровня модели взаимодействия открытых систем (ВОС). Сюда могут быть отнесены:

функции формирования, приема и передачи линейных сигналов;

функции 1-го уровня по техобслуживанию линий (такие, как тестирование шлейфа): синхронизация;

Рис. 9.2. Типовые категории транспортных функций ISDN

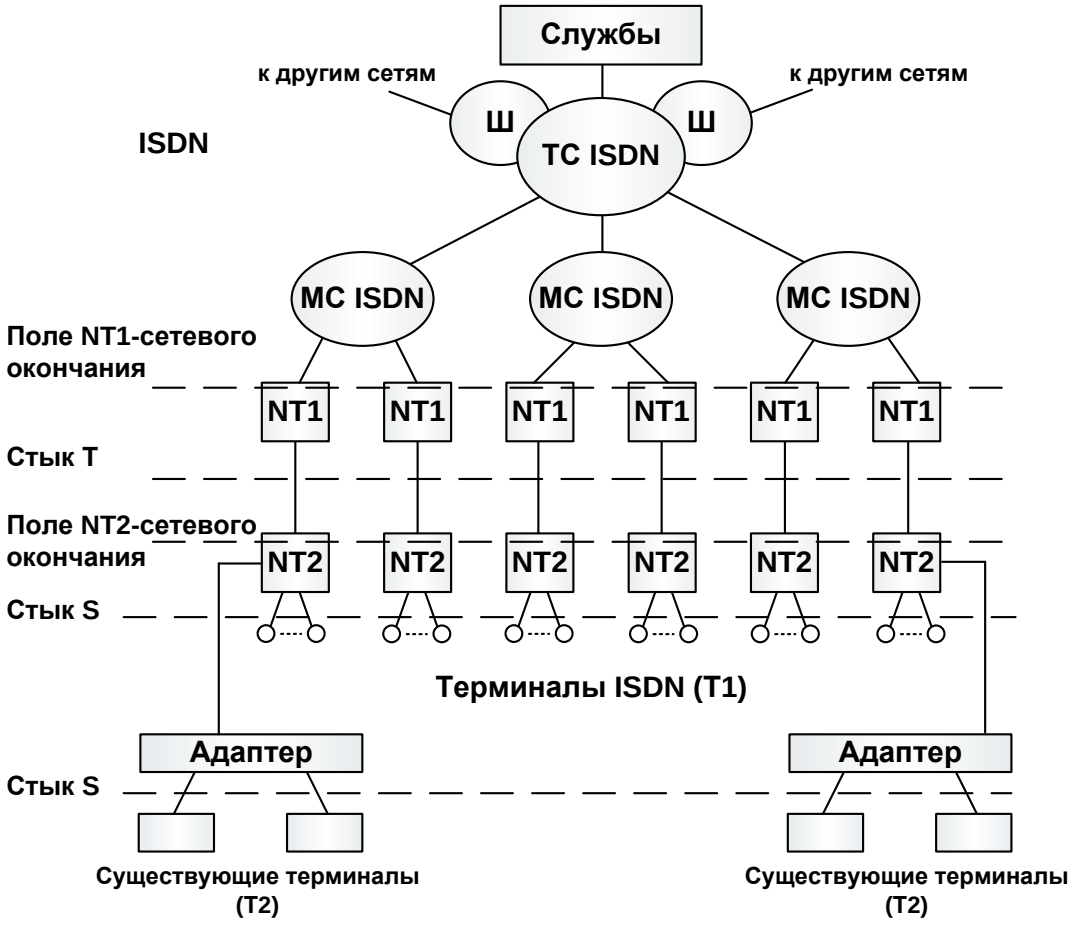


Рис. 9.3. Гипотетическая структура ISDN

функции мультиплексирования 1-го уровня;
функции интерфейсного окончания, включая многоканальные окончания.

Функциями NT2 могут быть:

обработка в соответствии с протоколами уровней 2 и 3 ВОС;
мультиплексирование на уровнях 2 и 3;
коммутация;
функции техобслуживания для уровней 2 и 3.

Терминальное оборудование ТЕ делится на два типа:
Tl (TE1), удовлетворяющие стандартам ISDN;
T2, не удовлетворяющие стандартам ISDN.

Терминалы T1 стыкуются непосредственно с NT; терминалы T2 через дополнительный стык «R» подключаются к терминальным адаптерам (ТА) и через них к стыку NT ISDN.

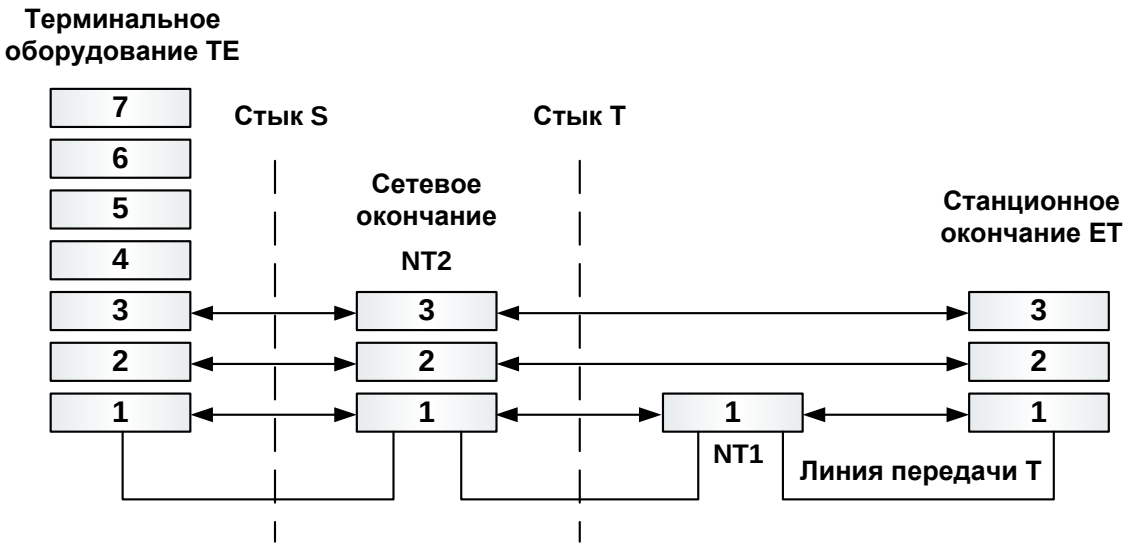


Рис. 9.4. Структура протоколов абонентского участка ISDN

На рис. 9.4 представлена протокольная структура абонентского участка, включающая следующие составные части; ТЕ, NT2, NT1 и станционное окончание ET, а также абонентские стыки «S» – между ТЕ и NT2 и «T» – между «T» и NT1.

Задачей МККТТ являлась разработка стыков, включая разработку всех протоколов, показанных на рис. 9.4, и обеспечение стандартизации скоростей передачи информации на стыках. Для анализа и построения логических структур ISDN МККТТ предложила классификацию типов информации, передаваемой в ISDN, которая приведена в таблице 9.1.

МККТТ разработала модель протоколов ISDN, представляющая собой множество конфигураций протоколов для различных соединений между пользователями ISDN и элементами сети. Модель протоколов основана на модели ВОС (рекомендация X.200).

Для описания протоколов ISDN была разработана базовая модель (рис. 9.5), которая может быть использована для описания различных элементов как терминального оборудования пользователя, так и элементов сети. Для базовой модели используется трехмерное представление с целью более удобного описания трех функциональных информационных групп: U – информация пользователя, S – сигнализация, M – управление сетью для нужд администрации сети.

Информация пользователя в большинстве случаев передается по сети без изменений. Для описания этой функциональной группы используется семиуровневая архитектура.

Выделение группы S модели сделано для того, чтобы сосредоточить все аспекты сигнализации и управления в одном подблоке в едином виде. Рассматриваются два основных вида (механизма) сигнализации:

сигнализация внутри полосы информационного канала (например, X.2I, X.25);

сигнализация вне полосы информационного канала (ОКС № 7, Д-канал)

Для описания группы S также используется семиуровневая структура. Однако это не означает, что группа S для всех типов соединений представлена 7 уровнями.

Таблица 9.1

Структура и характеристика информации, рассматриваемой МККТТ для передачи в ISDN

Информационные группы	U-пользователя	V	V1	Цифровая речь 64 кбит/с МККТТ G.711
			V2	Цифровая речь, кодированная произвольными частотами 8/16/32 кбит/с
			V3	Цифровая речь 64 кбит/с, не соответствующая G.711
			V4	Пакетизированный цифровой речевой поток
		d	d1	Данные со скоростями передачи МККТТ X.1
			d2	Цифровая информация 64 кбит/с
			d3	Цифровая информация с произвольными скоростями передачи 8/16/32
		P		Данные с малыми скоростями передач
		W		Цифровая информация со скоростями передачи 64 кбит/с
		U	U1	Цифровая информация со скоростью первичного тракта 2048 кбит/с
			U2	Цифровая информация до 2 уровня < 8448 кбит/с
			U1	Цифровая информация со скоростями >U2 до 140 Мбит/с
		t		Цифровая телеметрическая информация с очень малыми скоростями передачи в соответствии с X.1 / порядка 0.1 кбит/с
	S-сигнализация		q	Сигналы аналогового телефонного аппарата/декадные/многочастотные/
			s	Цифровая сигнализация пользователь / сеть и сеть / сеть
	M-организация			Администрация
				Управление. Связь пользователей с администрацией. Управление сетью
				Пока не классифицирована

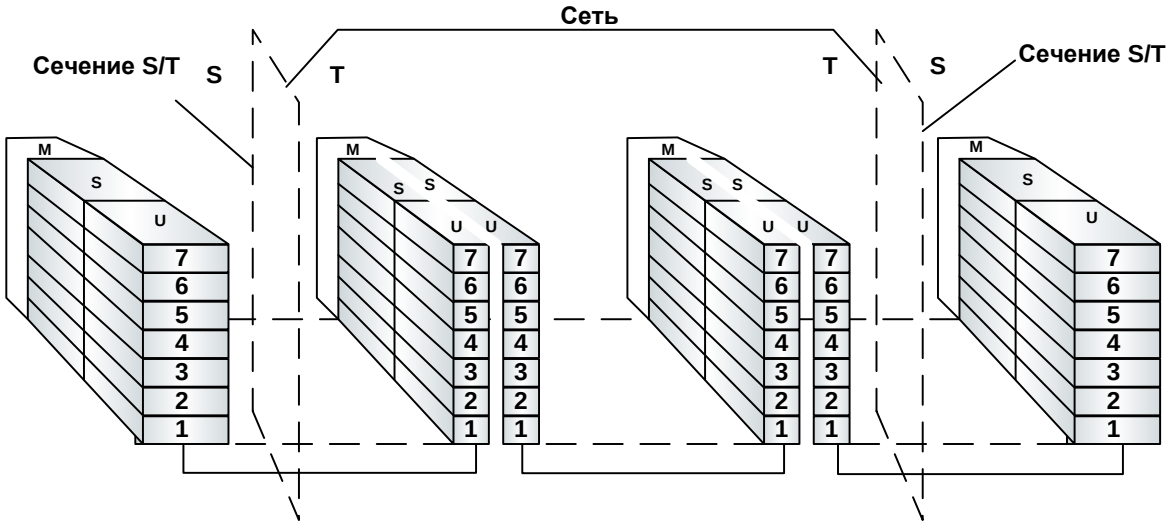


Рис. 9.5. Базовая модель структуры протоколов ISDN

Для различных применений сети были использованы два способа: с использованием 7 уровней и 2 уровней. В последнем случае верхние 4 уровня могут использоваться для сигнализации пользователь-пользователь.

Информационная группа M представляет собой все аспекты местного управления, относящегося к администрации сети и связанного с преобразованием информации пользователя или сигнальной информации.

Эта группа ответственна за административные функции, связанные с другими двумя группами информации U и S.

Примерами таких функций являются реакция на обрыв соединения, управление сетью, сбор статистики и др.

ISDN предусматривает несколько видов служб [2]:

некоммутируемые средства (выделенные цифровые каналы);

коммутируемая телефонная сеть общего пользования;

сеть передачи данных с коммутацией каналов;

сеть передачи данных с коммутацией пакетов;

сеть передачи данных с трансляцией кадров (frame relay);

средства контроля и управления работой сети.

Это очень широкий спектр услуг, покрываемый транспортными службами ISDN.

Стандарты ISDN описывают также ряд услуг прикладного уровня: факсимильную связь на скорости 64 кбит/с, телексную связь на скорости 9600 бит/с, видеотекс на скорости 9600 бит/с и некоторые другие.

Внедрение сетей ISDN началось с конца 80-х годов прошлого столетия. Однако высокая техническая сложность пользовательского интерфейса, отсутствие единых стандартов на многие жизненно важные функции, а также необходимость крупных капиталовложений для перевооружения телефонных АТС и каналов связи привели к тому, что инкубационный период затянулся на многие годы. Доля абонентов ISDN даже в наиболее развитых странах (Германия, Франция и др.) составляет немногим более 5 % от общего числа абонентов телефонной сети.

9.2. Технологии широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания (B.ISDN)

Создание технологии B.ISDN (Broadband ISDN) – это попытка предоставить одну универсальную, широкоразветвленную и высокоскоростную сеть вместо множества сложных неоднородных существующих сетей. Первая работа над стандартом такой универсальной сети была начата в 1990 году, а проект стандарта получил название B.ISDN [3].

Вначале предполагалось, что развитие B.ISDN будет осуществляться на основе традиционной технологии – коммутации каналов. Для организации широкополосных соединений будут использоваться каналы со скоростями от 1,9 до 140 Мбит/с (набор возможных скоростей соответствовал скоростям, принятым для плезиохронной цифровой иерархии). Однако возможности технологии коммутации каналов оказались недостаточными для удовлетворения возросших требований со стороны B.ISDN к адаптивному распределению сетевых ресурсов, поддержки сложных конфигураций соединений, передачи мультимедиа информации и т. д.

Поиск более подходящего решения заставил разработчиков концепции ISDN обратиться к технологии коммутации пакетов, обладающей необходимыми качествами и традиционно применяющейся в сетях передачи данных и информационно-вычислительных сетях. Универсальность этой технологии доказало множество теоретических и практических разработок по передаче речи и синхронных потоков информации по сетям, работающим по протоколам X25, TCP/IP и т. д. Тем не менее непосредственное использование указанных протоколов передачи данных в высокоскоростных сетях общего назначения не представлялось возможным по следующим причинам.

Во-первых, поскольку эти протоколы изначально разрабатывались применительно к задачам передачи данных, в них не была учтена поддержка ряда функций, необходимых для передачи других видов информации.

Во-вторых, большинство протоколов были рассчитаны на работу по аналоговым каналам связи в условиях низкой помехозащищенности.

Поэтому они перегружены множеством непроизводительных функций, направленных на повышение верности передачи, актуальность которых с появлением цифровых систем передачи и на базе волоконно-оптических линий связи во многом пропала.

Шагом вперед по направлению к высокоскоростным системам передачи данных явилась разработка протоколов Frame Relay, где путем упрощения, а то и устранения ряда процедур третьего (сетевого) и второго (канального) уровней удалось существенно повысить производительность оборудования. В то же время для B.ISDN требовались более универсальные и многофункциональные методы передачи и коммутации.

В связи с этим была разработана новая технология коммутации пакетов ATM, основными особенностями которой являются:

ориентация на технологию так называемой быстрой коммутации пакетов;

фиксированная длина коммутируемого элемента;

использование двух иерархически связанных типов соединения – виртуальных каналов и виртуальных трактов.

Технология быстрой коммутации пакетов подразумевает физическое соединение входных и выходных цепей коммутатора.

Соединения ATM идентифицируются в соответствии с двумя уровнями иерархии – виртуального канала и виртуального тракта, при этом один виртуальный тракт может содержать множество виртуальных каналов (рис. 9.6). Виртуальность здесь означает, что такое соединение обладает определенными свойствами канала или тракта, но как физический объект оно не существует. Само по себе понятие виртуального канала и виртуального тракта не являются новыми и по отдельности используются в различных технологиях передачи, где необходимо обеспечить разделение единого физического ресурса между несколькими взаимодействующими логическими объектами (X25, SDH). В ATM они используются совместно, образуя привычную для традиционных сетей связи иерархию, обеспечивая при этом возможность более гибкого и эффективного управления соединениями. Например, для передачи информации мультимедиа соединение между двумя пользователями может быть установлено на уровне виртуального тракта, а каналы этого тракта будут использоваться для передачи отдельных компонент информации. Или, на узлах транзита маршрутизация может осуществляться только на уровне виртуальных трактов, без анализа идентификаторов виртуальных каналов, что позволит повысить производительность оборудования [4].

Рис. 9.6. Взаимосвязь между виртуальными каналами
и виртуальными трактами

Следует также отметить еще одну особенность ATM – ориентированность на соединение. Это означает, что механизм управления маршрутизацией вынесен за рамки протокола ATM. При этом подразумевается, что ячейки в процессе передачи между двумя

оконечными устройствами в рамках одного предварительно установленного соединения на одних и тех же участках между сетевыми узлами будут иметь одни и те же значения идентификаторов виртуального канала и тракта.

B.ISDN и ATM – это два термина, которые часто используются как синонимы, т. е. под ATM-сетью обычно подразумевают B.ISDN. Однако, это не совсем точно.

B.ISDN – это набор стандартов комитета ITU, которые определяют такие вопросы, как широкополосная сигнализация, передача и управление интегрированными услугами в глобальных сетях, интерфейсы пользователь-сеть (User-to-Network Interface, UNI), сеть-сеть (Network-to-Network Interface, NNI) и др.

Согласно Рекомендациям МСЭ-Т 1.121, общие возможности B.ISDN можно представить следующим образом:

«B.ISDN поддерживает коммутируемые, полупостоянные и постоянные соединения типа «точка-точка» и «точка-несколько точек» и позволяет реализовать заказные услуги, постоянные услуги и услуги по требованию. Соединения B.ISDN поддерживают службы, использующие режимы как коммутации каналов, так и коммутации пакетов для целей моно- и/или мультимедиа, ориентированные или не ориентированные на соединение в одно- и двунаправленных конфигурациях.

B.ISDN будут включать возможности интеллектуальных сетей для предоставления дополнительных услуг, поддержания мощных инструментов технического обслуживания и эксплуатации, технического и административного управления сетью».

Важной особенностью B.ISDN является интеграция служб (услуг), как естественное расширение возможностей узкополосной ISDN, при этом «ключевым» элементом интеграции услуг является предоставление широкого набора услуг разным пользователям с применением ограниченного набора типов соединений и многоцелевых интерфейсов пользователь-сеть.

Другой особенностью B.ISDN является ее широкополосность. Широкополосными (broadband) службами (услугами) или системами являются такие, для которых требуются каналы, способные поддерживать скорости передачи, большие, чем 2 048 кбит/с.

Для реализации транспортных задач в B.ISDN в качестве базовой была принята модель, основанная на разбиении полезной нагрузки на небольшие части фиксированного размера, так называемые ячейки (cell), которые могли бы нести как информацию пользователя, так и служебную. Такой подход и соответствующая технология – асинхронный режим переноса (Asynchronous Transfer Mode, ATM) стали основой для создания B.ISDN .

Поскольку B.ISDN основана на ATM, то появляется механизм, гарантирующий целостность последовательности ячеек, т. е. ячейки будут доставляться пользователю именно в том порядке, в котором они были переданы.

Сетевая структура B.ISDN определяет физическую структуру сети, т. е. физические объекты, их интерфейсы, иерархию и взаимосвязи. Для ее описания используют следующие основные понятия:

сетевое окончание – элемент, реализующий граничные функции сети;

сетевой узел – устройство, реализующее функции ATM и функции мультиплексирования, или концентрации, или коммутации и др. Узлы, не реализующие функции ATM (например, оперативные переключатели SDH, которые могут применяться на участках транспортной сети), не являются сетевыми с точки зрения архитектуры B.ISDN;

звено – элемент сети, соединяющий сетевое окончание и сетевой узел или два сетевых узла;

участок (секция) – составной элемент, объединяющий смежные узлы и соединяющие их звенья. Понятие «участок» используется для описания взаимодействия узлов высокого ранга, когда необходимо абстрагироваться от промежуточных элементов.

Особенностью сетевой структуры B.ISDN (рис. 9.7) является то, что в ней предусмотрено только два уровня иерархии: нижний, соответствующий уровню местной сети, и верхний, включающий сеть транзита и сеть международного транзита.

Местная сеть (рис. 9.8) определена в границах между сетевым окончанием и местной станцией коммутации. Соответственно сеть транзита определена как сеть, соединяющая местные станции коммутации.

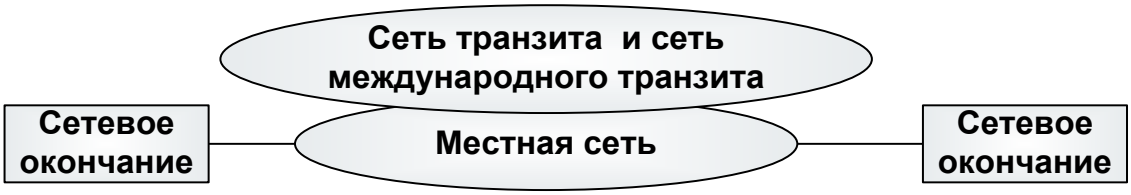


Рис. 9.7. Сетевая структура B.ISDN

Используя введенные понятия, на местной сети можно выделить участок доступа, границами которого являются сетевое окончание с одной стороны и местная станция коммутации с другой. В состав участка доступа могут входить мультиплексоры и оперативные переключатели. Совокупность участков доступа составляет сеть доступа.

Аналогично на сети транзита можно определить участок транзита, границами которого являются станции коммутации. В состав участка транзита могут входить оперативные переключатели B.ISDN .

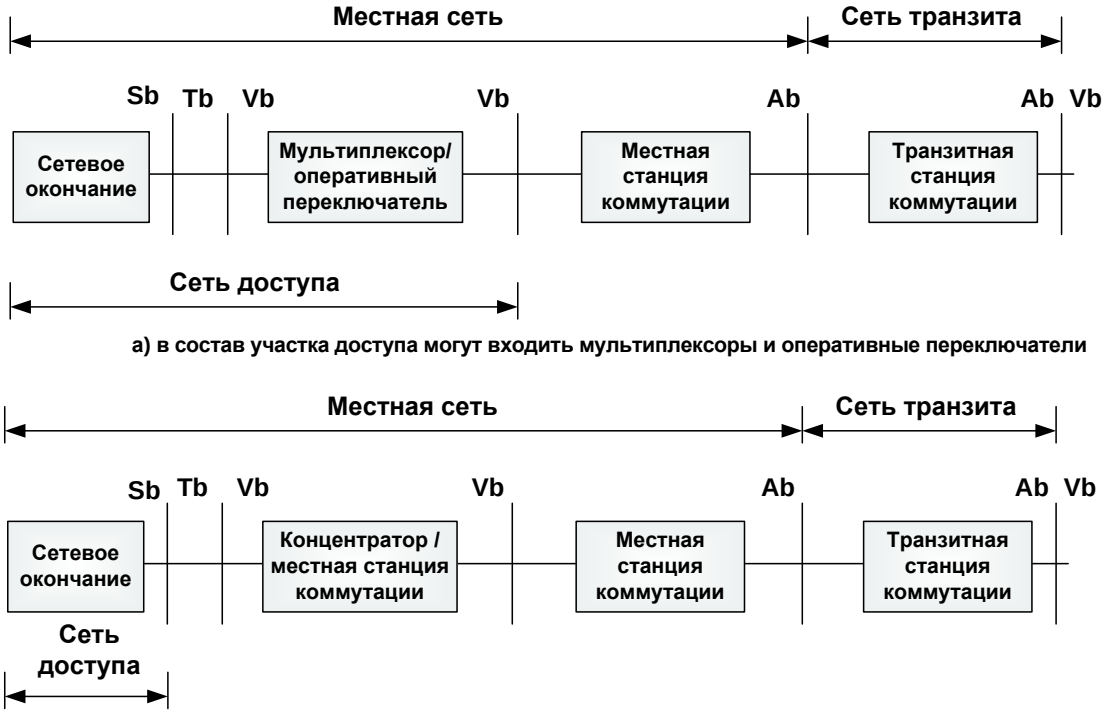


Рис. 9.8. Основные элементы сетевой структуры B.ISDN

Как уже было отмечено, ATM определен для B.ISDN не только как базовый режим коммутации, но и как режим переноса информации. При этом в B.ISDN происходит слияние первичной и вторичной сетей как независимых физических объектов. Однако их логическое разделение сохраняется: роль первичной сети выполняет слой виртуальных

трактов, управляемый со стороны плоскости обслуживания, а роль вторичной сети – слой виртуальных каналов, управляемый со стороны плоскости управления.

Модель протоколов B.ISDN является расширением модели, описанной в рекомендации МСЭ-Т I.320 для ISDN, и полностью соответствует принципам, положенным в основу разработки эталонной модели протоколов ВОС.

Общий вид эталонной модели протоколов B.ISDN на технологии ATM представлен на рис. 9.9.

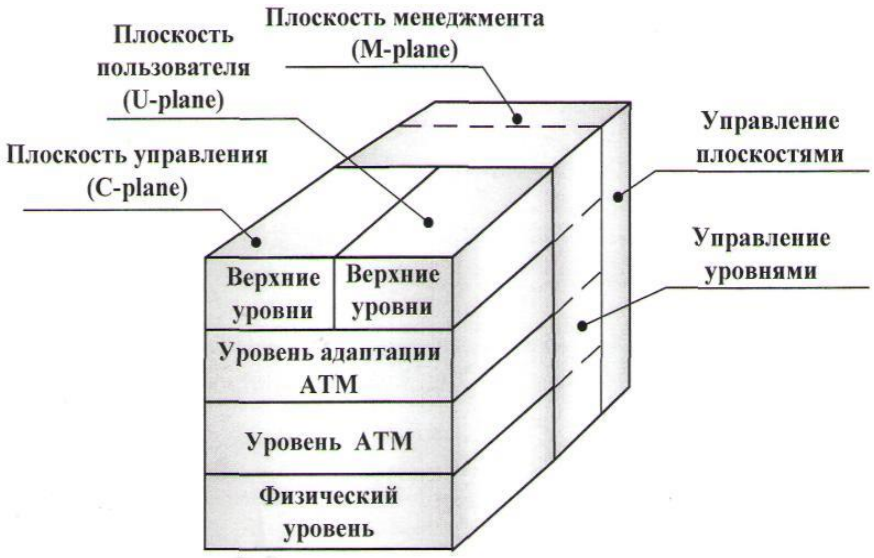


Рис. 9.9. Эталонная модель протоколов B.ISDN

Модель включает в свой состав три плоскости: плоскость пользователя, плоскость управления и плоскость менеджмента.

Плоскость пользователя (U-plane) обеспечивает транспортировку всех видов информации в совокупности с соответствующими механизмами защиты от ошибок, контроля и управления потоком, ограничения нагрузки и т. п. Плоскость пользователя имеет уровневую структуру.

Плоскость управления (C-plane) определяет протоколы установления, контроля и разъединения соединений. Ей принадлежат все функции сигнализации кроме протоколов метасигнализации. Плоскость управления также имеет уровневую структуру.

Плоскость менеджмента (M-plane) обеспечивает выполнение функций двух типов: менеджмент (управление) плоскостями и менеджмент (управление) уровнями. Функции управления плоскостями обеспечивают координацию между всеми «гранями» модели протоколов и относятся ко всей B.ISDN, связывая ее в единое целое. Область управления плоскостями не имеет уровневой структуры.

Функции управления уровнями решают задачи распределения сетевых ресурсов, согласования их с параметрами трафика, обработки информации, эксплуатации и технического обслуживания и управления сетью. Процедуры метасигнализации также относятся к функциям управления уровнями. Управление уровнями имеет уровневую структуру.

Первые три уровня эталонной модели протоколов B.ISDN – это физический уровень, уровень ATM, где происходит структурирование ячеек, и уровень адаптации ATM, который поддерживает услуги более высокого уровня, например, эмуляцию каналов, высокоскоростную передачу данных без установления соединения, ретрансляцию кадров и т. п.

Физический уровень соответствует 1-му уровню эталонной модели ВОС, уровень АТМ и часть уровня адаптации АТМ соответствует 2-му (канальному) уровню, более высокие уровни соответствуют сетевому уровню МОС и выше.

Рис. 9.10 показывает соотношение уровней структуры B.ISDN и уровневой структуры эталонной модели ВОС, а также деление уровней B.ISDN на подуровни.

Основные функции уровней и их деление на подуровни приведены в таблице 9.2.

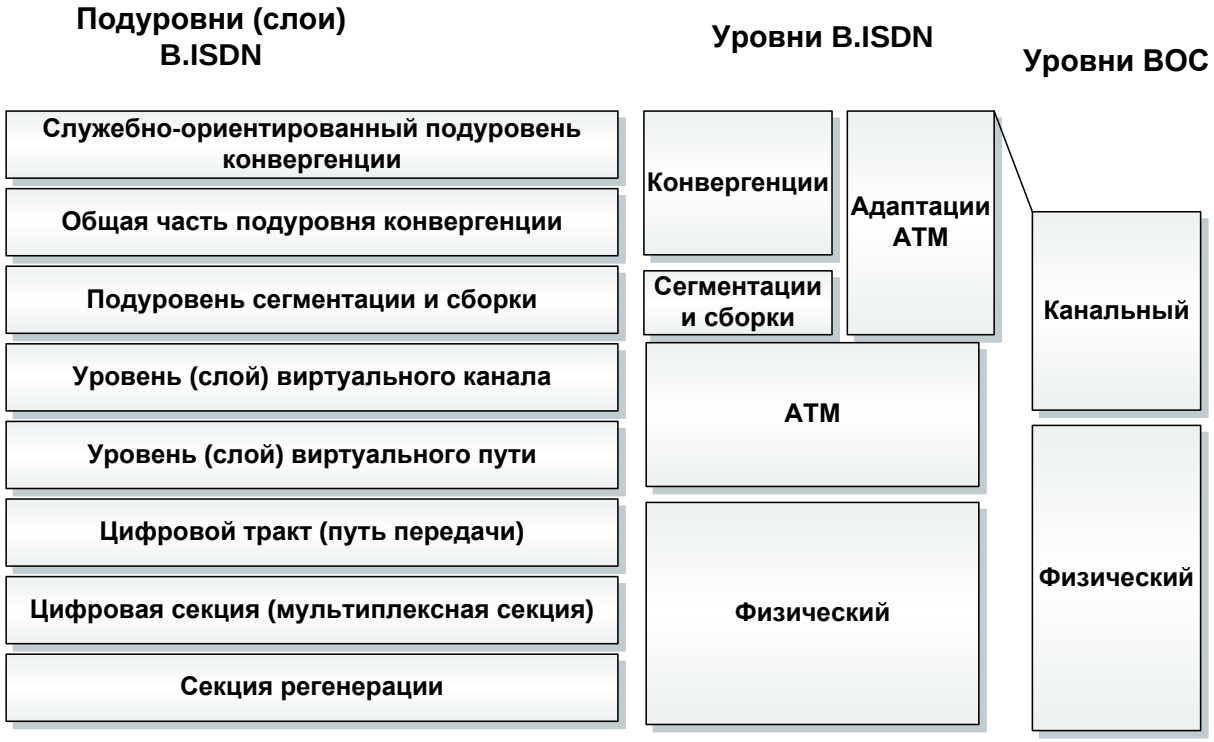


Рис. 9.10. Уровни и подуровни B.ISDN и уровни ВОС

Широкополосная B.ISDN кроме всех служб узкополосной ISDN, к которым относятся различные речевые службы, а также службы передачи данных (телетекст, телефакс, видеотекс, электронная почта) в рамках скорости основного цифрового канала B = 64 кбит/с, предлагает абонентам целый ряд принципиально новых служб.

Широкополосная служба – совокупность технических средств и сетевых характеристик, предоставляемых эксплуатационными организациями абонентам для удовлетворения их специфических потребностей с помощью интегрального абонентского доступа.

Широкополосная услуга – любое использование сетевых возможностей (служб) со стороны абонента. Сетевые возможности могут использоваться для нескольких услуг.

В соответствии с рекомендацией МККТТ I.211 службы широкополосной ЦСИО классифицируются следующим образом.

Две основные группы служб: интерактивные и распределительные. В интерактивных службах происходит двунаправленный обмен информацией между абонентами, либо между вызывающим абонентом и объектом службы, в то время как в распределительных службах такого обмена не происходит.

Интерактивные службы в свою очередь подразделяются на три категории.

Диалоговые (разговорные) службы (Conversational services) – службы предоставляющие возможность двунаправленного (дуплексного) обмена информацией в реальном масштабе времени между пользователями службы или между пользователем и специальным устройством (например, для обработки данных).

Таблица 9.2

Основные функции уровней эталонной модели протоколов B.ISDN

Уровень	Подуровень	Основные функции
Уровень	Конвергенция	Конвергенция к службе
	Сегментации и сборки	Сегментация и сборка
ATM		• Общее управление потоком • Генерация/удаление заголовка ячейки • Преобразование идентификаторов виртуальных путей и виртуальных каналов • Мультиплексирование/демультиплексирование ячеек
Физический	Конвергенции с системой передачи	• Согласование скорости ячеек • Формирование поля контроля ошибок/обнаружение и исправление ошибок • Адаптация потока ячеек к кадру системы передачи/выделения ячеек • Генерация кадра системы передачи/восстановление кадра
	Зависящий от физической среды	• Синхронизация • Передача двоичного сигнала в данной среде

Службы передачи сообщений (Messaging services) – службы, предоставляющие связь от точки к точке между пользователями через устройства промежуточного хранения информации (электронные почтовые ящики и/или устройства обработки данных). Примерами таких служб являются службы обработки сообщений и службы передачи движущихся изображений или аудиоинформации.

Службы с выборкой (Retrieval services). Абонент службы с выборкой может запросить информацию, предоставляемую для общего пользования и хранящуюся в банке данных или в других информационных центрах. Информация выдается абоненту только по его индивидуальному запросу. Момент начала передачи информации контролируется самим абонентом. Примерами таких служб являются службы, предоставляющие абонентам возможность выборки фильмов, аудио программ, архивной информации и т. п.

Распределительные службы, в отличие от интерактивных, характеризуются однонаправленным потоком информации от точки к нескольким точкам.

Распределительные службы подразделяются на два больших класса.

Распределительные службы без индивидуального управления процессом предоставления информации. Эта категория служб включает в себя так называемые вещательные службы. Они поддерживают передачу непрерывных потоков информации от централизованного источника в сторону неограниченного числа правомочных абонентов. При этом пользователь не имеет возможности повлиять ни на начало, ни на порядок предоставления передаваемой ему информации. Примеры таких служб – телевизионное вещание и передача аудиопрограмм.

К категории распределительных служб с индивидуальным управлением процессом предоставления информации относятся вещательные службы, в которых, в отличие от предыдущей категории служб, поток информации, предоставляемой абоненту, подразделяется на циклически повторяемые фрагменты или блоки. При этом абонент имеет возможность по своему усмотрению управлять моментом начала, а также порядком следования информационных блоков. Отдельные блоки информации при этом всегда передаются с самого начала. Примером такой службы является широкополосная вещательная видеография.

Несмотря на универсальность и возможности предоставления практически полного комплекта служб и услуг, темпы развития B.ISDN и сетей ATM оказались существенно более медленными, чем ожидалось. Причинами этого были как сложность и относительно высокая стоимость реализации и эксплуатации сетей ATM, так и появление конкурирующих технологий, в первую очередь, Интернет. Технология IP может составить серьезную конкуренцию технологии ATM в качестве универсальной сетевой технологии. Однако, если сеть крупномасштабная и в ней необходимо обеспечить гарантированное качество обслуживания и эффективное использование сетевых ресурсов, то наилучшим решением для операторов таких сетей в настоящее время является технология ATM. Определенные перспективы применения технологии ATM в сетях будущего многие аналитики связывают с возможностью применения новых протоколов, основанных на интеграции ATM и IP [5].

9.3. Технологии Интернет

В отличие от предыдущих технологий Интернет является технологией построения глобальных инфокоммуникационных сетей, в которых определяющий вес имеют информационные службы.

Стремительное развитие «всемирной паутины» началось в середине 90-х годов прошлого века и определялось рядом ключевых свойств, заложенных в Интернет еще на начальных этапах разработки [5].

Универсальность. Это свойство определяется применением протоколов IP во всех сетевых сегментах, начиная от локальных сетей и кончая магистральными. Они используются для передачи всех видов информации: аудио, видео, данных. На базе IP-ориентированных протоколов строятся как фиксированные, так и беспроводные сети.

Масштабируемость. Это свойство было заложено еще разработчиками ARPANET, т. к. с самого начала была поставлена задача создания протокола, позволяющего объединять большое число сетей. Сегодняшние масштабы Интернет и темпы её развития подтверждают высокую степень масштабируемости этой сети.

Открытость. Это означает, что в сети при выполнении небольшого числа правил, определяющих структуру протоколов и интерфейсов, могут взаимодействовать разнотипные аппаратные и программные средства, что реализуется шлюзами, обеспечивающими согласование протоколов.

Интернет не является обычной компьютерной сетью. Он состоит из многих тысяч мелких локальных сетей, соединенных между собой с помощью специализированных компьютеров, называемых маршрутизаторами [6].

Маршрутизаторы объединяют сети, использующие различные аппаратные технологии. Пользователи могут строить свои локальные сети по любым технологиям, удовлетворяющим их требованиям, зная, что в дальнейшем они смогут работать друг с другом, подключившись к Интернет через маршрутизаторы. Маршрутизаторы объединяют не только локальные сети, но и локальные с территориально-распределительными. На рис. 9.11 показана архитектура территориально-распределительной магистральной сети, объединяющей множество локальных сетей.

Маршрутизаторы обеспечивают соединение между компьютерами, подключенными к местной локальной сети и компьютерами других сетей. Каждая МЛС может использоваться для подключения дополнительных локальных сетей. Например, МЛС 2 обеспечивает подключение ЛС 2, а МЛС 6 – ЛС 6, МЛС 7 и через нее ЛС 7.

Таким образом, изобретение технологии маршрутизации позволило осуществлять коммуникации между разными типами сетей, а также дала возможность предприятиям и организациям выбирать самостоятельно тот или иной тип локальной сети, который наилучшим образом подходит под их нужды и имеющиеся финансовые средства.

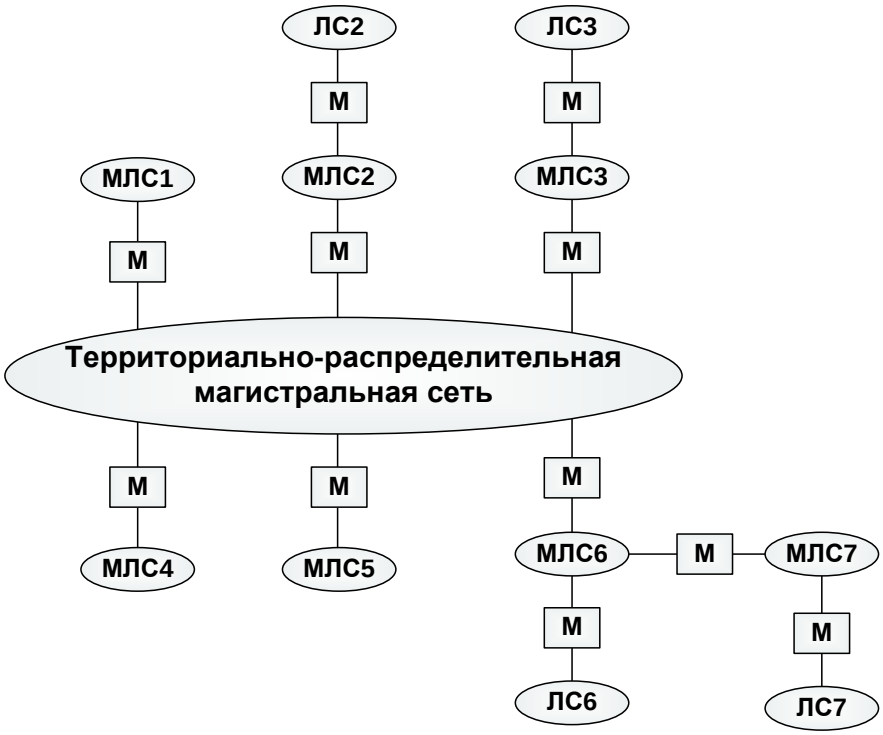


Рис. 9.11. Пример построения архитектуры Интернет

Другой проблемой подключения компьютеров и локальных сетей к Интернет была проблема «последней мили». До середины 90-х годов существовала только одна технология для решения этой проблемы – аренда цифровой линии передачи. Обычно этот способ используется коммерческими компаниями, имеющими возможность оплачивать аренду линии. Для мелких компаний и индивидуальных пользователей был предложен способ доступа в Интернет по существующим телефонным линиям (dial-up). Для этого пользователь должен быть оснащен модемом и специальным программным обеспечением, поддерживающим работу модема. Принцип работы такой системы показан на рис. 9.12.

Рис. 9.12. Доступ в Интернет по телефонной сети

Потребность в увеличении скорости передачи у пользователей выделенных линий стала следующей проблемой для разработчиков Интернет. В течение 90-х годов ими были предложены три новые технологии, обеспечивающие более высокие скорости передачи и меньшую стоимость:

кабельные модемы, использующие линии связи систем кабельного телевидения;

технологии DSL, работающие по обычным телефонным линиям;

беспроводные технологии, позволяющие передавать данные через радиолинии подобно системе сотовой связи.

Все эти технологии дополняют друг друга и имеют собственные области применения, но важнейшей составляющей глобальной сети Интернет является протокол обмена данными, для обозначения которого используется аббревиатура IP. Он описывает правила, определяющие детали процесса взаимодействия компьютеров и точно указывает, как должны формироваться пакеты и каким образом маршрутизаторы должны пересылать эти пакеты к месту назначения. Так как все службы Интернет используют протокол IP, его программное обеспечение должно быть на каждом компьютере, подключаемом к сети Интернет.

Каждый пакет, передаваемый по Интернет, должен иметь определенный формат, описанный в протоколе IP. Такие пакеты называются IP-дейтаграммами. IP трансформирует объединение сетей и маршрутизаторов в единую коммуникационную систему, представляя работу Интернет, как единой большой сети.

Для передачи информации от одного компьютера к другому каждый компьютер должен знать адреса других. Уникальный номер, присваиваемый каждому компьютеру в Сети, называется Интернет-адресом, или IP-адресом. Правила присвоения адресов были разработаны специально для обеспечения эффективности маршрутизации IP-дейтаграмм.

Программное обеспечение IP не было предназначено для борьбы с перегрузками и другими явлениями, связанными с коммутацией пакетов в Сети. Для этих целей был изобретен протокол управления передачей – TCP (Transmission Control Protocol), который вместе с IP получил единое название набора протоколов TCP/IP.

Протокол TCP обеспечивает соединение между программами двух компьютеров. Он восстанавливает потерянные дейтаграммы и удаляет дублированные, а также восстанавливает порядок следования дейтаграмм. Программы TCP для решения этих проблем используют таймеры и подтверждение передачи.

Интернет предлагает огромное количество различных служб, каждая из которых использует методы распределенных вычислений. Эта схема называется клиент-серверными вычислениями. Несмотря на разнообразие служб и различий работы с ними, все программное обеспечение использует эту единую схему.

В клиент-серверной среде каждая программа относится либо к категории клиентов, либо серверов. Серверное программное обеспечение предоставляет услуги и обычно стартует автоматически после включения машины. Серверы работают постоянно и готовы обрабатывать запросы в любое время. Клиентская программа соединяется с сервером, посылает запрос и показывает его ответ пользователю.

Рассмотренные особенности функциональной архитектуры Интернет обеспечили возможность реализации огромного числа разнообразных служб, количество которых постоянно растет. Одной из наиболее популярных служб является служба электронной почты. Каждый пользователь этой службы имеет свой почтовый ящик, которому присвоен уникальный адрес.

Любой пользователь Интернет имеет возможность послать письмо другому и только хозяин может просматривать свой почтовый ящик. Сегодня служба электронной почты расширилась до предоставления коммуникаций группам людей или компьютерным программам, что позволило использовать электронную почту для доступа к огромному количеству удаленных служб.

Расширением возможностей электронной почты является служба электронной доски объявлений или сетевых новостей. Она позволяет пользователям присоединяться к одной или нескольким дискуссионным группам и участвовать в обсуждениях с любым из ее участников.

Другой важнейшей службой Интернет является служба просмотра информации, позволяющая пользователям получать или просматривать данные, находящиеся на удаленных системах. Большинство подобных служб работает в интерактивном режиме: пользователь вводит запрос в систему, которая отвечает на него копией запрашиваемого элемента, выводимого на экран компьютера. На рис. 9.13 показан принцип работы системы просмотра.

Пользователь запускает в своем компьютере специальную программу, называемую браузер, и с помощью нее производит выбор и просмотр необходимой информации.

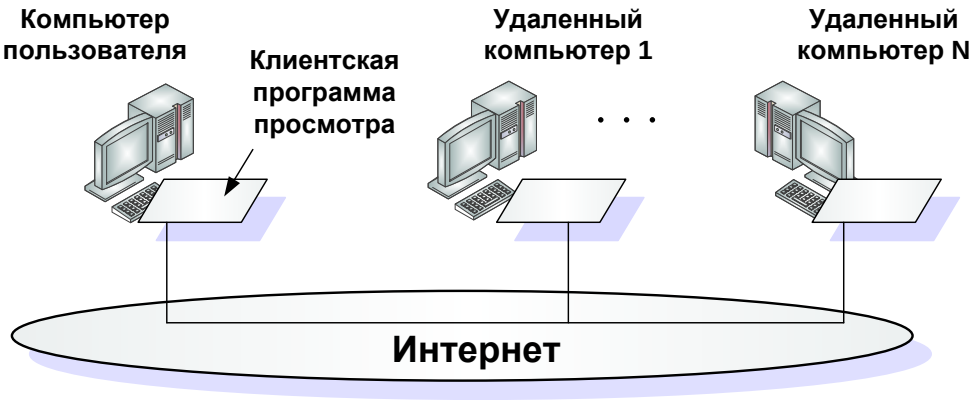


Рис. 9.13. Работа службы просмотра по технологии клиент-сервер

Большое распространение в Интернет получили системы гипермедиа, которые могут содержать ссылки как на текстовую, так и на иные виды информации. Если пользователь выбирает ссылку на какой-либо документ, то система покажет этот документ. Если элемент гипермедиа системы содержит ссылку на другие виды информации, то пользователю будет воспроизведен аудио- или видеофрагмент. Технологии гипермедиа используются в наиболее популярной службе Интернет World Wide Web, WWW, или всемирная паутина, которая является механизмом, объединяющим информацию, хранящуюся на многих компьютерах. При помощи WWW ссылки, находящиеся в документах одного компьютера, могут указывать на текстовую или иную информацию, хранящуюся на других системах.

Службы передачи аудио и видео информации сделали Интернет полностью мультисервисной сетью. Эти службы позволяют [6]:

посылать голосовые сообщения одному или нескольким людям;

посылать телевизионное изображение;

передавать аудио или видео сигналы через Интернет;

просматривать и редактировать документ одновременно группой людей.

Реализация таких служб требует высокой пропускной способности сети и абонентских участков, поэтому пользоваться ими могут только абоненты, организовавшие для себя высокоскоростной доступ в Интернет.

В Интернет реализовано много других служб, таких как передача файлов, удаленный вход в систему и число их постоянно растет.

Взрывной рост числа пользователей Интернет и web-сайтов обусловили формирование среди сторонников Интернет мнение о возможности преобразования сети Интернет в некую универсальную сеть, обеспечивающую все виды услуг. Однако критики

указывают на анархичный характер развития сети, быстрое истощение сетевых ресурсов, низкий уровень безопасности и отсутствие гарантированного качества обслуживания.

Возможно, что в результате совершенствования и устранения этих недостатков появится глобальная сеть, удовлетворяющая требованиям сети следующего поколения, NGN.

9.4. Технологии мультисервисных сетей кабельного телевидения

Технология мультисервисных сетей кабельного телевидения (МСКТВ) детально проработана в работах авторов [7–11], а также в трудах [12, 13]. Интерес к таким сетям не ослабевает, особенно в США, где они являются существенной составляющей информационной супермагистрали, так как они, с одной стороны, относятся к классу широкополосных систем, что позволяет реализовывать различные интеллектуальные службы, требующие широкой полосы пропускания, а с другой – являются привычными для многочисленных пользователей кабельного телевидения (КТВ).

Широкополосность, требуемая для МСКТВ на всех уровнях и не идущая в сравнение со спектрами, необходимыми для передачи других видов информации, приводит к тому, что оптимальным сетевым вариантом для всех остальных сетей и систем передачи информации становится их наложение на МСКТВ. В составе развитой МСКТВ на базе ВОЛС и технологий IP, MPLS, ATM или других более совершенных все прочие сигналы, включая цифровую телефонию и данные, цифровое радиовещание и Интернет, с точки зрения требующихся для их передачи цифровых потоков становятся лишь малозаметным дополнением и практически вписываются в МСКТВ в качестве сигналов дополнительной информации. Также теряют актуальность разнообразные системы сетевого доступа (xDSL, ISDN и др.), так как с решением проблемы МСКТВ решение всех проблем доступа обеспечивается автоматически. МСКТВ как и Интернет относятся к классу инфокоммуникационных сетей, обеспечивая узкополосные и широкополосные телекоммуникационные службы подобно B.ISDN и множество информационных служб типа телемедицина, телеобразование и др.

Базой для построения перспективных МСКТВ служат цифровые интерактивные сети телевизионного вещания. Их развитие определяет глобальный подход [14], ориентированный на создание комплексных интерактивных систем для использования как в наземном, так и в спутниковом телевизионном и звуковом вещании. Этот подход предусматривает мобилизацию всех возможных, в первую очередь радиотехнических, средств для передачи обратных сигналов от телезрителей к компьютерным центрам сбора и обработки информации. Он стал основой международной стратегии и тактики исследований интерактивности с учетом сложившихся структур аналоговых трактов вещания и модели цифровой системы вещания, рис. 9.14 [14].

С учетом глобального подхода к интерактивности и рассмотренной модели была разработана функциональная модель интерактивной системы [12], включенная в Рекомендацию МСЭ-Р ВТ.1369. В этой модели, показанной на рис. 9.15 используются следующие интерфейсы:

A_a – интерфейс между абонентским блоком (пультом) управления (АПУ) и модулем интерактивного интерфейса. Может быть внешним или встроенным в блок АПУ;

A_o – интерфейс между АПУ и блоком сетевого интерфейса. Может быть внешним или встроенным в АПУ;

A_b – интерфейс между модулем интерактивного интерфейса и средствами для организации интерактивных каналов;

A_1 – интерфейс между блоком сетевого интерфейса и средствами для вещательных и интерактивных систем передачи;

A_x – интерфейс между средствами вещания и адаптером двухсторонней связи для интерактивной сети;

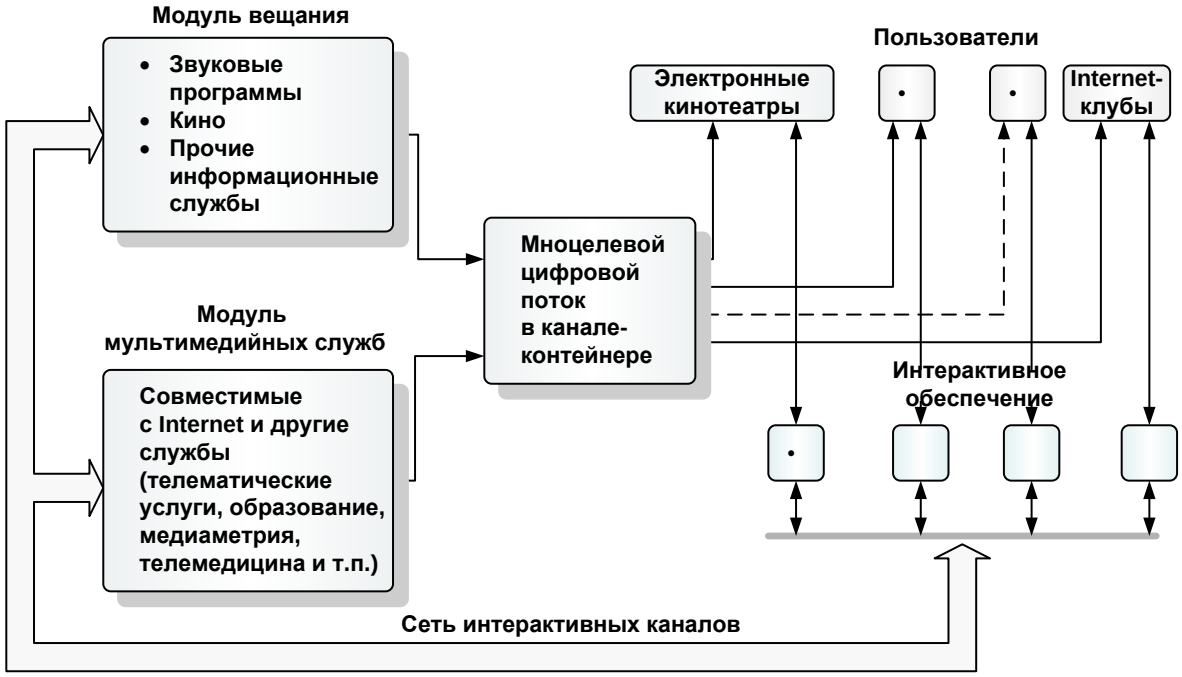


Рис. 9.14. Глобальная модель системы вещания

A_4 – интерфейс между средствами для вещательных и интерактивных систем передачи и соответствующими адаптерами сетей;

A_y – интерфейс между адаптером интерактивной сети и провайдером интерактивных услуг;

A_9 – интерфейс между адаптерами интерактивной и вещательной сетей и провайдерами интерактивных и вещательных услуг.

Интерфейсы A_a, A_o, A_y, A_9 не зависят от сети обратных каналов, а интерфейсы A_b, A_l, A_x, A_4 – зависят.

В состав системы входит интерактивный канал, позволяющий телезрителю вести диалог с провайдерами услуг. Различают прямой и обратный интерактивные каналы. Прямой канал может быть «врезан» в канал вещания путем уплотнения передаваемой вещательной информации.

Для организации интерактивного канала могут быть использованы:

существующие телефонные сети общего пользования PSTN, цифровые сети с интеграцией служб ISDN, асимметричные цифровые абонентские линии ADSL и др.;

Интернет;

существующие системы КТВ с обратными каналами;

спутниковые системы;

системы подвижной радиотелефолнной связи и др.

Для описания структур сетей электросвязи часто используют модели системы доставки информации пользователям [13] или сквозные тракты передачи информации [15] от источника до получателя. Структура такого сквозного тракта МСКТВ, соответствующая модели кабельной сети системы доставки, представлена на рис. 9.16.

В структуру сквозного тракта входят транспортная сеть (или сетевое ядро), сеть доступа, внутридомовая сеть, а также линии раздела между сетями и устройствами, соответствующие эталонным точкам стыка A_o – A_4, A_9.

Основными функциями транспортной сети являются:

надежная передача информации между объектами провайдера услуг сети и сетью доступа;

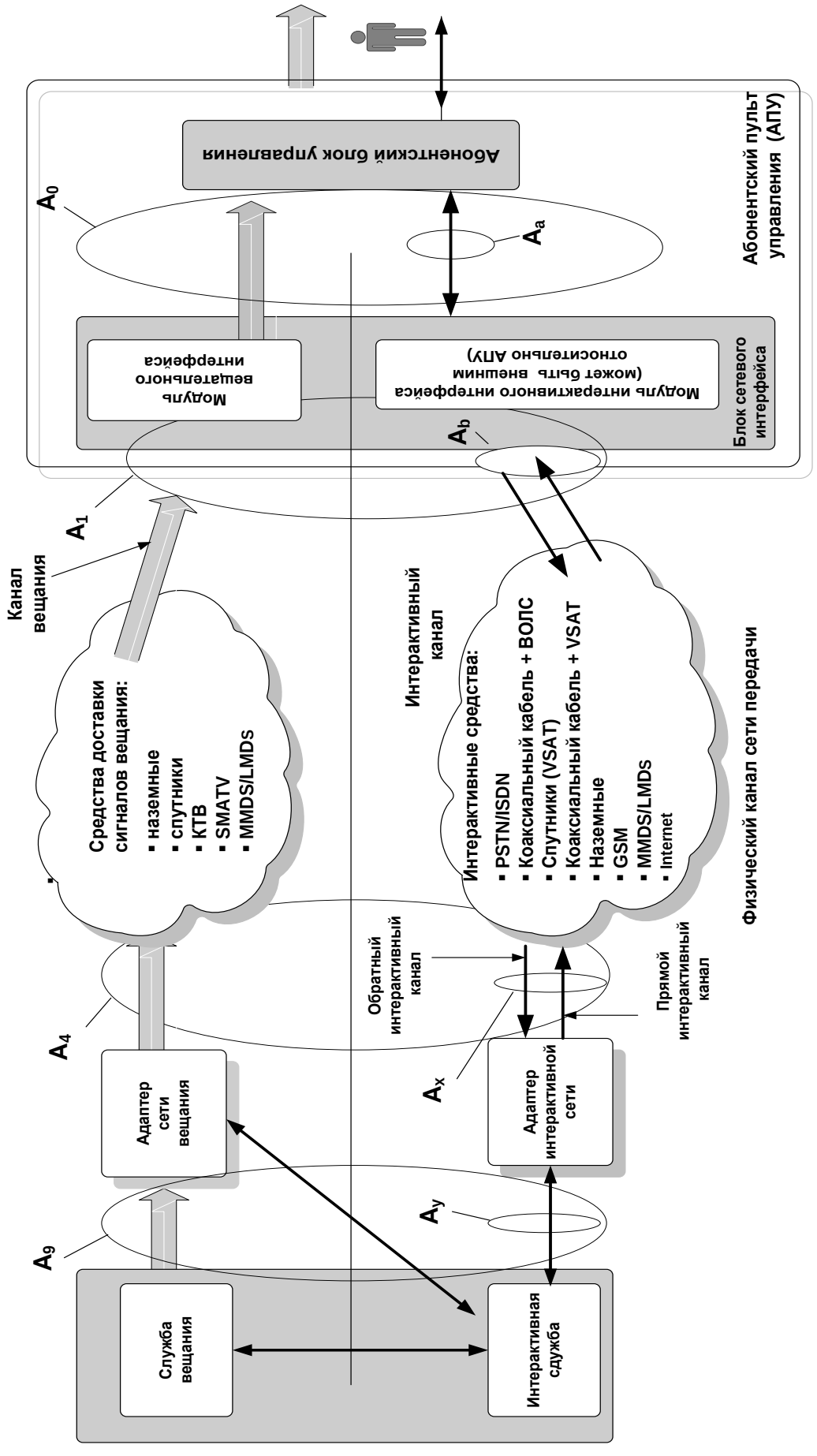


Рис. 9.15. Функциональная модель интерактивной ТВ-системы

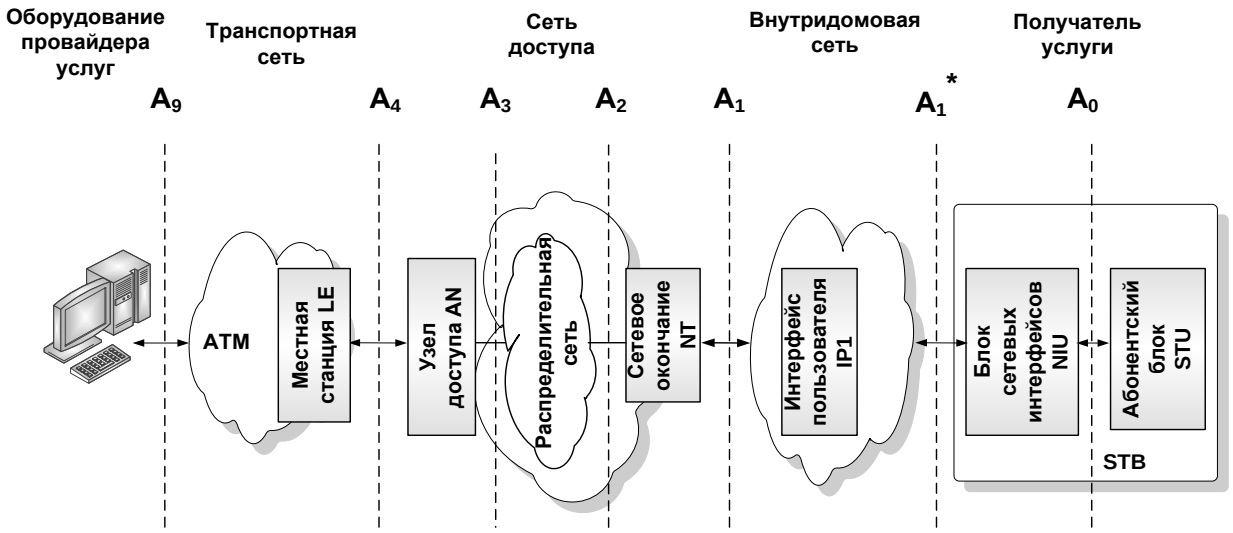


Рис. 9.16. Структура сквозного тракта передачи информации МСКТВ

коммутация информационных потоков между объектами провайдера услуг сети и сетью доступа;

установление и разъединение соединений;

обеспечение технического обслуживания.

В минимальном случае сетевое ядро может представлять собой один коммутатор, в максимальном – глобальную, транспортную сеть. Для мультиплексирования, коммутации и передачи информации по транспортной сети используется технология ATM или другая, более перспективная, обеспечивающая:

транспортирование по сети информации любого вида независимо от скорости передачи;

высокую гибкость и адаптацию сети к изменению уровня требований пользователей к объему, скорости и качеству информации;

повышение эффективности сетевых ресурсов за счет статистического мультиплексирования множества источников с пачечным трафиком;

снижение общих затрат на проектирование, строительство и эксплуатацию сети.

Подключение оборудования провайдера услуг к транспортной сети производится через интерфейс A_y, а подключение со стороны абонента осуществляется с помощью местного коммутатора (Local Exchange – LE).

Сеть доступа, структура которой показана на рис. 9.17, должна обеспечивать следующие функции [13]:

транспортировку сигналов других служб (телефония, аналоговое ТВ, службы ЦСИС и пр.);

Рис. 9.17. Структура типовой сети доступа

передачу, мультиплексирование, концентрацию и вещание услуг и прикладных информационных потоков между конечными пользователями и остальной частью системы доставки, включая транспортную сеть и серверы;

контроль и управление сетью.

Сеть доступа состоит из узла доступа (Access Node – AN), распределительной сети и блока сетевого окончания (Network Termination – NT). Узел доступа AN получает сигналы от коммутатора LE транспортной сети по стыку A_4 и адаптирует их для передачи по распределительной сети конкретного типа.

Распределительная сеть обеспечивает транспортировку сигналов от транспортной сети до сетевого окончания, выдающего сигналы на абонентский интерфейс. Распределительная сеть может иметь самые разные топологию, среду передачи и протоколы, что будет влиять на сигналы и интерфейсы в точках A_2 и A_4.

Основной функцией блока сетевого окончания NT является разделение сети доступа, находящейся в ведении сетевого оператора, и внутридомовой сети, которой владеет конечный пользователь. Другой важной функцией блока NT может быть окончание среды передачи и топологии сети доступа или адаптация сигналов для другой сети передачи и топологии абонентской сети. В случае пассивного сетевого окончания NT, стыки A_1 и A_2 являются идентичными. Если интерфейсные окончания сети доступа содержат различные активные компоненты, то вводятся раздельные точки стыка A_2 для NT и A_3 для AN.

Внутридомовая сеть расположена между абонентским оборудованием и сетевым окончанием сети доступа, как показано на рис. 9.16. Варианты построения домовых сетей разнообразны – от простой кабельной разводки до локальных сетей различной топологии и сетей с возможностью коммутации сигналов. Чтобы учесть все возможные варианты домашних сетей на модели системы, в пределах внутри домовой сети введен дополнительный интерфейс помещения пользователя (User Premises Interface – UPI).

В состав абонентского оборудования (рис. 9.16) входят блок сетевых интерфейсов (Network Interface Unit – NIU) и блок обработки данных (Set-Top Unit – STU).

В зависимости от организации домовой сети абонентское оборудование имеет сетевой интерфейс A_1 или A_1^*. Функцию преобразования сетевого интерфейса в независимый от сети интерфейс A_0 выполняет блок сетевых интерфейсов NIU. Подключение терминалов пользователя к интерактивной сети осуществляет абонентский блок STU, реализующий со стороны сети интерфейс A_0. Интерфейс A_0 имеет сложную организацию и подразделяется на три шины:

высокоскоростная шина данных нисходящего потока;

двунаправленная шина ячеек ATM;

шина местного управления.

Высокоскоростная шина данных нисходящего потока имеет структуру синхронного параллельного интерфейса, реализуемого в соответствии с европейским стандартом EN 5083–9, и предназначена для переноса пакетов формата MPEG–2 к терминалам пользователя. Двунаправленная шина ячеек ATM выполнена в соответствии со спецификацией UTOPIA ATM Форума и предназначена для интерактивного обмена информацией в виде ячеек ATM. Шина местного управления предназначена для установки параметров блока сетевых интерфейсов и абонентского блока STU оборудования пользователя.

Магистральные транспортные сети МСКТВ позволяют объединить в единое информационное пространство большое число различных систем, включая сети КТВ**,** корпоративные сети ПД и ПД ОП, Интернет, ТфСОП и др. сети.

Магистральная транспортная сеть МСКТВ строится, как правило, по кольцевой схеме. Пример ее построения с оптическими волокнами, раздельными для распределения широковещательных программ и обмена интерактивными данными, приведен на рис. 9.18

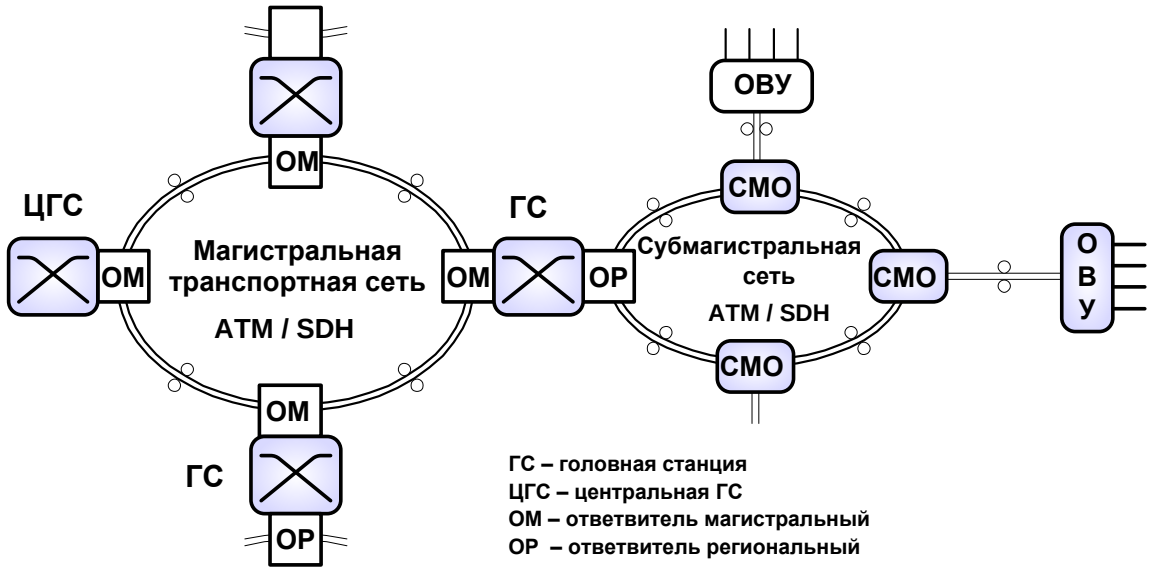


Рис. 9.18. Кольцевые магистральная и субмагистральная сети

На головных станциях (ГС) сети устанавливаются высокопроизводи-тельные ATM-коммутаторы, обеспечивающие выход как в кольцевую сеть SDH, так и во взаимодействующие сети: Интернет, ТфСОП, СПД ОП, а также к провайдерам других услуг.

Магистральная сеть МСКТВ, выполненная на базе оптоволоконных линий связи состоит из двух независимых подсетей – распределительной для передачи широковещательных аналоговых и цифровых программ ТВ и наложенной транспортной цифровой подсети для передачи интерактивных данных. Для передачи широковещательных программ используются отдельные волокна, а для организации дуплексного канала передачи данных – пара других волокон. В качестве разветвительных элементов на ВОЛС используются магистральные ответвители, в состав которых входят оптические кросс-коннекторы и синхронные цифровые мультиплексоры.

Магистральные ответвители берут на себя все функции по добавлению, удалению и транзиту информации. Эти модули имеют двунаправленные электрические и оптические интерфейсы STM-1. Наличие стандартных интерфейсов дает возможность передачи цифровых потоков по различным типам взаимодействующих сетей. Магистральные ответвители обеспечивают также возможность передачи IP-потоков от стандартных ATM-сетей.

Вся обработка цифровых сигналов базируется на существующих международных стандартах для MPEG-2, ATM и SDH. MPEG-2 является оптимальным методом компрессии цифровых видеосигналов для передачи по сетям SDH. Особенности SDH-структур позволяют иметь практически неограниченное количество каскадно включенных магистральных ответвителей. Это обеспечивает возможность построения крупных городских сетей большой протяженности.

Непосредственно к магистральной транспортной сети МСКТВ примыкает субмагистральная волоконно-оптическая сеть, строящаяся также по кольцевой схеме и включающая в себя оптические субмагистральные ответвители (СМО), к которым подключаются оптико-волоконные узлы (ОВУ). Оптико-волоконный узел является оконечным устройством волоконно-оптической магистрали МСКТВ и обеспечивает переход от оптоволоконной к коаксиальной части. ОВУ располагается в непосредственной близости от группы обслуживаемых домов или прямо в большом многоквартирном доме, что сокращает длину коаксиальных линий распределительной

сети, уменьшает количество усилителей и влияние помех. ОВУ преобразует оптические сигналы в электрические и, наоборот, электрические сигналы в оптические. Кроме того, он разветвляет электрические сигналы прямого потока на несколько направлений коаксиальной части МСКТВ (обычно на 4 направления). В ОВУ может также использоваться предварительное разветвление оптических сигналов на 4 составляющие (волны) по технологии WDM или HDWDM. В этом случае число коаксиальных направлений распределительной сети будет составлять 16. При использовании оптического волокна в магистральной и субмагистральной сетях МСКТВ очень важно полностью использовать его ресурс. Для этого применяются, помимо технологий спектрального уплотнения WDM или HDWDM, технологии SDH и ATM, обеспечивающие высокие скорости передачи информации (155, 622 Мбит/с и 2.5 Гбит/с).

Большая гибкость волоконно-оптических магистральных транспортных сетей позволяет реконструировать сеть SDH, что особенно важно для построения МСКТВ в крупных городах с миллионным населением. Использование оборудования SDH в качестве базовой системы передачи обеспечивает взаимодействие с существующими цифровыми и аналоговыми сетями. Для построения трассы магистральной сети МСКТВ возможно использование кабельной канализации и линий метрополитена. В некоторых случаях трассы могут прокладываться по воздуху между домами.

Иногда волоконно-оптическую часть МСКТВ целесообразно иметь полностью кольцевой структуры, в которой и РЦ МСКТВ, и ОВУ соединяются волоконно-оптическими линиями. Такая сеть, показанная на рис. 9.19, обладает большей надежностью за счет использования двойных колец и более экономична из-за уменьшения длины волоконно-оптических линий. Однако выбор структуры определяется конкретными условиями, имеющимися в данном регионе.

Системы абонентского доступа могут строиться на основе использования систем кабельных модемов (СКМ), set-top-box (STB) или их комбинаций. Наибольшее распространение получили системы кабельных модемов. В комплект оборудования абонентского доступа на основе СКМ входят:

кабельный контроллер, расположенный на ГС;

кабельный модем абонента;

система управления.

Кабельные контроллеры представляют собой оборудование, предназначенное для организации цифровых наложенных служб передачи данных и речи на базе сети КТВ. Их работа регламентируется стандартом IEEE 802.14. Последний описывает асимметричную двунаправленную передачу сигналов, которая допускает для прямых каналов соединения типа «точка-множество точек» с обобщенной топологией доступа разветвленного дерева, а для сигналов обратного канала соединения типа «множество точек-точка» – с топологией шинного доступа. Цифровые сигналы прямого канала формируются кабельным контроллером и совместно с широковещательными сигналами передаются в прямой канал магистрального кабеля. Ширина полосы прямого канала принята равной 8 МГц, исходя из параметров телевизионной частотной сетки. Для передачи цифровых потоков прямого канала применяется 4-, 16- или 64-позиционная квадратурная амплитудная манипуляция, что позволяет передавать в полосе 8 МГц цифровой поток со скоростью 30 Мбит/с. На каждом коаксиальном луче может быть реализовано несколько прямых каналов с использованием техники частотного разделения.

Сигналы обратного канала формируются абонентскими кабельными модемами и «восходят» к контроллеру головной станции по общей распределенной среде. Поскольку обратный канал целиком предназначен для передачи цифрового трафика, нет никаких системных ограничений на ширину обратного канала. Согласно стандарту IEEE 802.14, ширина полосы для одного цифрового канала в обратном потоке установлена в 1,8 МГц. Из-за высокого уровня шумов в обратном канале в основном применяется

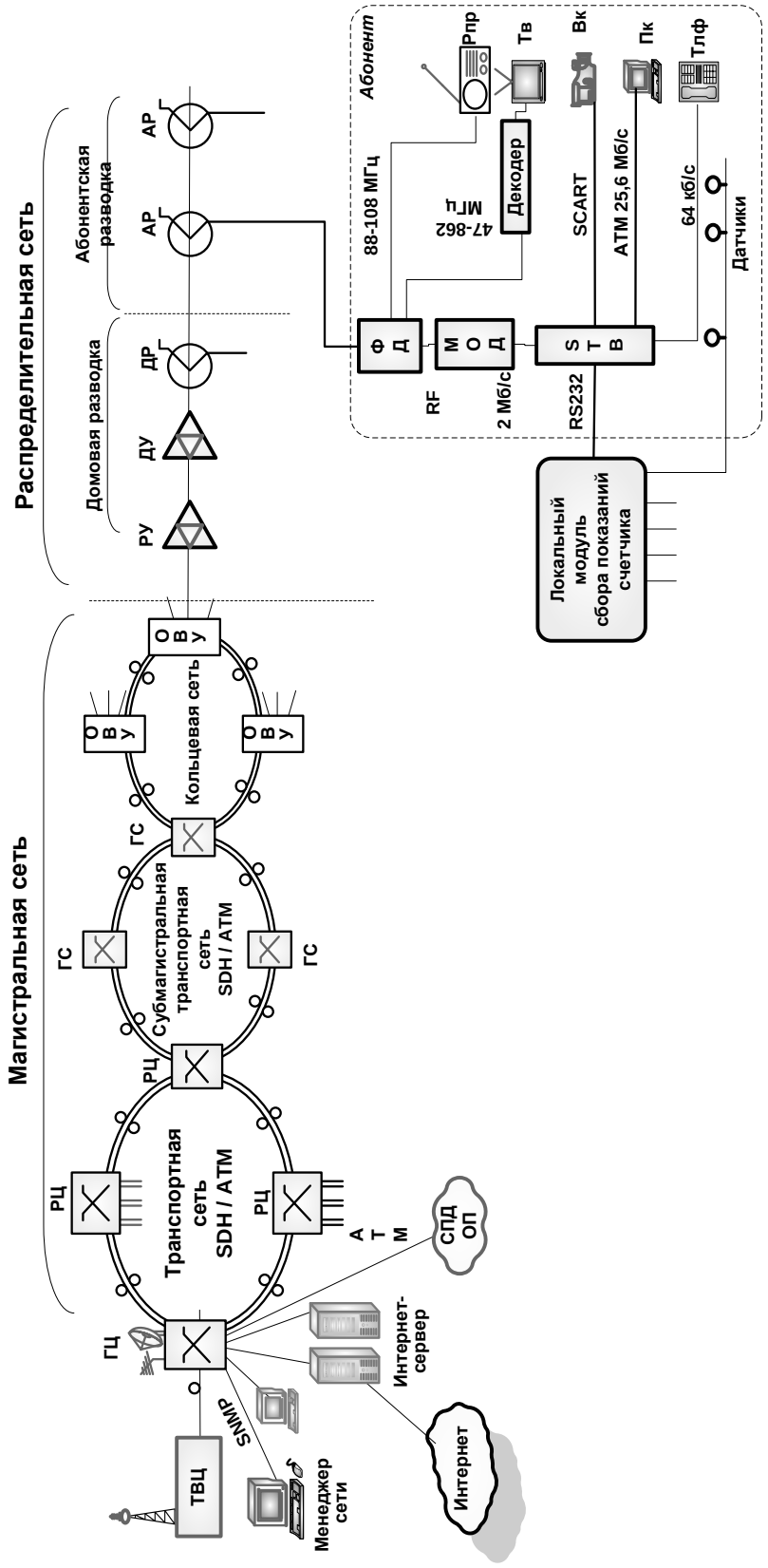


Рис. 9.19. Кольцевая структура волоконно-оптической части МСКТВ

4-позиционная фазовая модуляция, что позволяет передавать в одном канале цифровой поток со скоростью до 2 Мбит/с. Рассмотренная технология широко применяется в мире для построения многофункциональных интерактивных систем массового информационного обслуживания. Операторы КТВ во многих городах России также принимают эту концепцию в качестве стратегической для развития своих сетей [7, 8].

Литература

1. Боккер П. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы. – М.: Радио и связь. 1991. – 304 с.

2. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер. 2000. – 668 с.

3. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. СПб.: Питер. 1999. – 699 с.

4. Назаров А. Н., Симонов М. В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. М.: Эко-Трендз. 1998. – 234 с.

5. Кох Р., Яновский Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. М.: Радио и связь. 2001. – 280 с.

6. Комер Д. Принципы функционирования Интернета. СПб.: Питер. 2002. – 379 с.

7. Барабаш П. А., Воробьев С. П. Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. СПб.: Наука. 2000. – 336 с.

8. Барабаш П. А., Воробьев С. П. Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. 2-е издание. СПб.: Наука. 2004. – 405 с.

9. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В. От кабельного телевидения к мультисервисным сетям// Broadband. Кабельное телевидение и мультисервисные сети. 2004. Вып. 2.

10. Воробьев С. П. Махровский О. В., Шибанов В. С. Кабельное телевидение как основа развития широкополосных мультисервисных сетей // Телекоммуникационные технологии. 2005. Вып. 1.

11. Воробьев С. П., Махровский О. В. О выборе технологии для сетей следующего поколения // Век качества. 2006. Вып. 4. – С. 46–49.

12. Кривошеев М. И., Федунин В. Г. Интерактивное телевидение. М.: Радио исвязь, 2000.

13. Зубарев Ю. Б., Кривошеев М. И., Красносельский И. Н. Цифровое телевизионное вещание. Основы. Методы. Системы. М.: НИИР, 2001.

14. Кривошеев М. И. Новый подход к массовой многоцелевой интерактивности // Электросвязь, 1997. № 5.

15. Воробьев С. П. Технология и методологические основы проектирования системного алгоритмического обеспечения сетей передачи информации // Средства связи. 1989. Вып. 3. – С. 60–67.

ГЛАВА 10. ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ И КОММУТАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПОСТРОЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Группа рассматриваемых здесь протоколов передачи и коммутации и определяемых ими технологий показана на рис. 10.1.

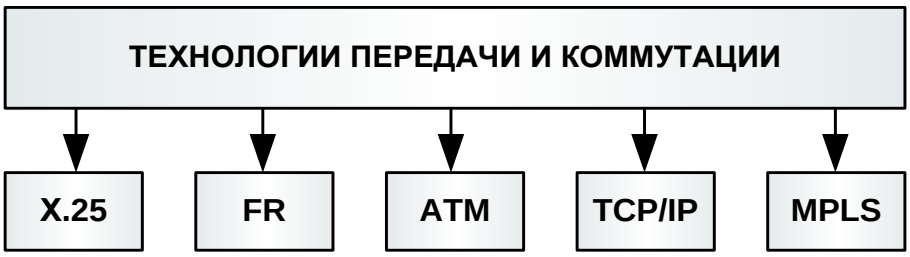


Рис. 10.1. Технологии передачи и коммутации

Эти технологии хорошо известны и подробно рассмотрены в технической литературе.

Они используются для построения, в основном, глобальных сетей, многие из которых носят их названия: X.25, сети FR, сети ATM и т. д.

10.1. Протокол пакетной передачи и коммутации X.25

X.25 представляет собой комплект протоколов трех нижних уровней модели OSI, разработанный МККТТ для интерфейса между терминалами пользователей и сетью с коммутацией пакетов. Первая рекомендация X.25 была утверждена на 6–й пленарной ассамблее МККТТ в 1976 году, а переработанные версии появились в 1980 и 1984 годах. К началу 80–х годов протоколы уже широко применялись для передачи данных во многих странах мира [1]. Последняя версия этой рекомендации содержится в «голубой книге» МККТТ 1988 г. [2].

На рис. 10.2 показана взаимосвязь между архитектурами X.25 и OSI.

На физическом уровне протокол X.25 определяет электрический интерфейс между оконечным оборудованием данных (ООД) (Data Terminal Equipment - DTE) и аппаратурой окончания канала данных (АКД, Data Circuit-Terminating Equipment - DCE).

Второй уровень содержит функции по управлению звеном данных с использованием протокола LAPB. Этому протоколу отводится роль формирования кадров, которые переносят через интерфейс X.25 пакеты данных.

Третий уровень содержит функции, необходимые для упаковки данных и для создания виртуальных каналов, по которым эти данные передаются.

Кроме того, рекомендация X.25 содержит указания об использовании других стандартов, связанных с X.25 и используемых при построении сетей ПД X.25. К ним относятся:

X.32 – определяет интерфейс ООД/АКД при доступе ООД через телефонную сеть общего пользования или сеть с коммутацией каналов;

X.3 и X.28 – определяют процедуры обмена данными для пользователей, имеющих средства сборки/разборки пакетов;

X.75 – определяет процедуры обеспечения обмена данными для пользователей различных сетей X.25;

LAPB – определяет протоколы функционирования звена данных [3, 4];

X.21 и X.21 bis – определяют физический стык между ООД и АКД [5];

X.214 и X.224 – определяют услуги и протоколы транспортного уровня [6].

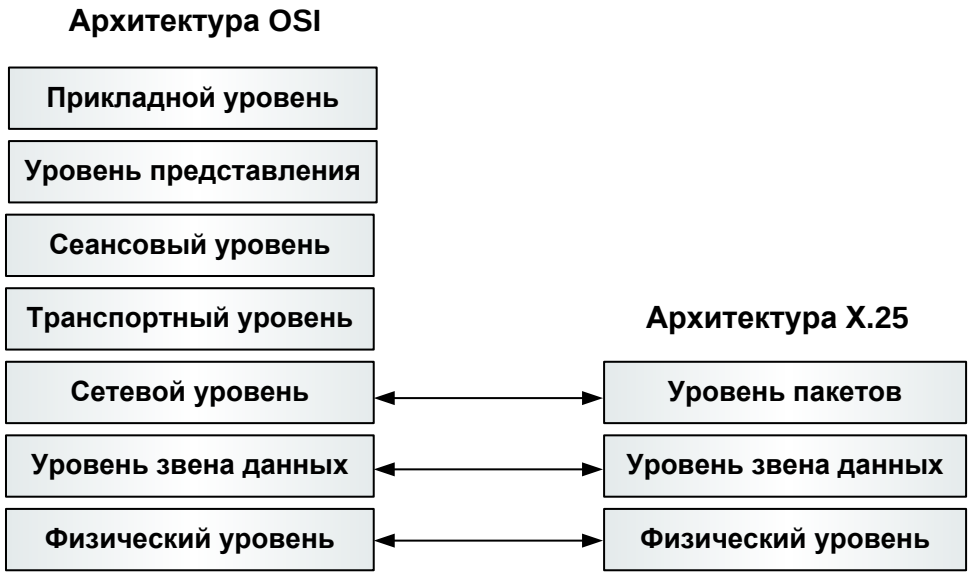


Рис. 10.2. Взаимосвязь между архитектурами OSI и X.25

Взаимосвязь средств, реализующих рекомендацию X.25 и перечисленные стандарты, показана на рис. 10.3. В комплексе пользователя (КПл) реализуются протоколы транспортного и верхних уровней (ВУ) ЭМВОС. В комплексе средств передачи данных (КСПД) в соответствии с рекомендацией X.25 (X.32) реализуются процедуры сетевого уровня (3 уровня – УЗ) [7].

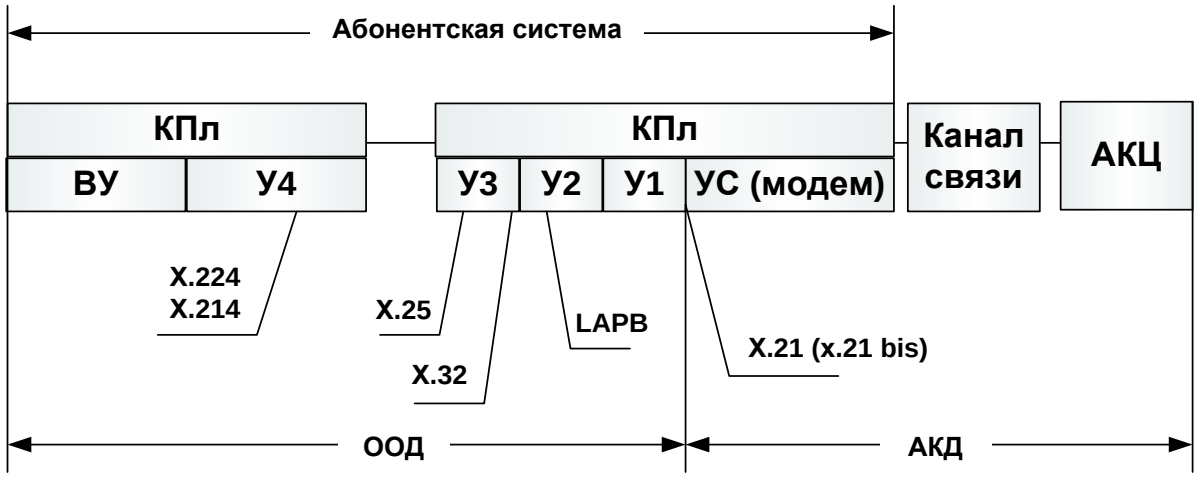


Рис. 10.3. Структура стандартов X.25

Рассмотрим более детально функции уровней X.25 и их взаимосвязь с другими стандартами.

Физический уровень.

В рекомендациях X.25 (X.25/1) для реализации физического уровня предлагается использовать протоколы X.21 и X.21 bis. Стыки между ООД и АКД, описываемые этими стандартами, содержат:

механические характеристики;

электрические характеристики;

функциональные характеристики, задающие тип, число и назначение соединительных цепей стыка ООД/АКД;

процедурные характеристики, определяющие последовательность изменения состояния цепей интерфейса ООД/АКД, т. е. логику взаимодействия на физическом уровне.

Рекомендация X.21. «Интерфейс между ООД и АКД для синхронной работы в сетях ПД общего пользования» используется при сопряжении с синхронными цифровыми каналами как в сетях с коммутацией каналов, так и в сетях на основе выделенных линий. Механические характеристики интерфейса X.21 соответствуют характеристикам 15-контактного разъема типа DB-15. Функционально (или процедурно) интерфейс X.21 может находиться либо в режиме сквозного переноса данных, либо в режиме управления, при котором управляющая информация поступает в коде МТК-5.

Рекомендация X.21bis. «Использование ООД, рассчитанных на сопряжение с синхронными модемами, удовлетворяющими рекомендации серии V, на сетях обмена данными общего пользования» используется при сопряжении с аналоговыми каналами. Рекомендация допускает как дуплексную, так и полудуплексную работу. Электрические и механические характеристики цепей интерфейса могут соответствовать рекомендациям V.28, X.26 и иметь 25- или 37-контактный разъем, соответственно.

X.3 и X.28 определяют процедуры обмена данными для пользователей, не имеющих средств сборки/разборки пакетов. В частности, данные стандарты определяют параметры терминала и PAD, а также протокол взаимодействия терминала с устройством PAD. В сущности, протоколы X.3 и X.28 определяют протокол эмуляции терминала, подобный протоколу telnet-стека протоколов TCP/IP или программе Hyper Terminal в ОС Windows при работе с модемом с помощью Hayes-команд (с AT-префиксом).

X.29 используется для дистанционного управления устройствами PAD по сети.

X.32 определяет интерфейс ООД/АКД (или терминал/PAD) при доступе через телефонную сеть общего пользования или сеть с коммутацией каналов.

Уровень звена данных.

В рекомендации X.25/2 указывается на необходимость использования на уровне звена данных процедуры управления звеном LAPB (*Link Access Protocol, Balanced*), являющейся вариантом процедуры HDLC (*High-level Data Link Control*), при котором обеспечивается обмен по двухточечному соединению. Процедура является сбалансированной (симметричной), т. е. как ООД, так и АКД могут инициировать начало обмена данными.

В соответствии с протоколом LAPB обмен данными осуществляется кадрами, формат которых приведен на рис. 10.4.

Поле «*Флаг*» разграничивает окончание предыдущего кадра и начало следующего. Флаг имеет длину1 байт и постоянное значение «01111110». Для исключения случайного совпадения комбинаций бит в информационном поле данных с флагом используется процедура бит-стаффинга, в соответствии с которой передатчик, формирующий кадр, после каждой комбинации из пяти единиц «11111» вставляет бит «0», а приемник, обнаружив данную комбинацию, этот бит изымает.

Подобное добавление служебных бит нарушает кратность длины кадра величине байта, однако это допустимо для бит-ориентированных протоколов, к которым относится протокол LAPB (в байт- или символ-ориентированных протоколах для исключения случайного совпадения информации с флагом вместо вставки бит используется вставка байт/символов).

Использование флагов позволяет не оговаривать заранее длину информационного поля данных. Поэтому она может произвольно меняться в зависимости от размера пакета сетевого уровня или от качества используемой среды передачи (чем хуже качество, тем короче должны быть кадры и наоборот). Как правило, при установлении соединения согласуется только максимальный размер информационного поля данных. В сетях X.25 он обычно не превышает максимальную длину пакетов 2^{10} = 1 024 байт.

Флаг 01111110	Адрес	Управление	Данные (пакет)	Проверочная последовательность (CRC)	Флаг 01111110
1 байт	1 байт	1–2 байта	1…2^{10} байт	2 байта	1 байт

Рис. 10.4.Формат кадра X.25/2 (LAPB)

Поле *«Адрес»* в составе кадра при двухточечном соединении на уровне звена данных X.25 используется для идентификации команд и ответов. Команды от АКД к ООД и ответы на них имеют адреса «11000000», а команды от ООД к АКД и ответы на них имеют адреса «10000000». Кадры с другими адресами не рассматриваются и стираются как в ООД, так и в АКД.

Поле *«Управление»***.**

В процедуре LAPB используется информационные (I), служебные (S) и ненумерованные (U) кадры, которые отличаются структурой поля управления, показанной на рис. 10.5.

В информационном кадре первый бит поля управления равен 0, биты 2, 3 и 4 используются для передачи порядкового номера P(S), биты 6, 7, 8 – номера P(R) ожидаемого кадра приема, являющегося также групповой квитанцией по ранее принятым кадрам. Номера P(S) и P(R) используются для реализации механизма окна и обеспечения целостности потока данных. Бит P/F (пятый) используется для организации повторения кадров.

Биты управления	1	2	3	4	5	6	7	8
I-кадр	0	P(S)			P/F	P(R)		
S-кадр	1	1	S	S	P/F	P(R)		
U-кадр	1	1	M	M	P/F	M	M	M

Рис. 10.5. Структура поля управления кадраLAPB

Изменением номера P(R) можно регулировать ширину окна W. Служебные кадры могут быть нумерованными (S-формат) и ненумерованными (U-формат). S-кадры используются для организации процедуры решающей обратной связи и реализуют служебные сигналы:

RR – готов к приему;

RNR – не готов к приему;

REI – переспрос.

В процедурах установления соединения, разъединения и сброса используются U-кадры, которыми обмениваются ООД и АКД.

Поле «*Данные*» имеется только в информационных I-кадрах и предназначено для передачи без изменений пакета сетевого уровня X.25.

Поле «*Проверочная последовательность*» (CRC – Cyclic Redundancy Code) предназначено для обнаружения ошибок в кадре (без учета флагов).

Важной отличительной особенностью технологии X.25/2 (LAPB) является обязательный запрос повторения кадров, в которых после проверки поля CRC обнаруживаются ошибки. Для этого используется процедура отрицательного подтверждения с помощью служебных S-кадров REJ. Не убедившись в правильном

приеме очередного кадра, уровень звена данных не будет принимать следующие кадры. Это является одной из причин (но далеко не единственной) случайных и длительных задержек передачи информации в сетях X.25.

На уровне звена данных в сетях X.25 широко используется также процедура управления потоком кадров с помощью S-кадров RNR (приостановить передачу) и RR (продолжать передачу). Это также является причиной случайных задержек. Но, как правило, приостанавливать передачу приходится из-за проблем в приемнике не на уровне звена данных, а на сетевом уровне, который может перегрузиться потоком пакетов, прибывающих с разных направлений.

Сетевой уровень.

В соответствии с рекомендацией X.25/3 протокол сетевого уровня (PLP – *Packet-Layerprotocol*) предоставляет пользователю возможность информационного взаимодействия с другими пользователями сети посредством *временных* (SVC – *Switch Virtual Circuit)* или *постоянных* (PVC – *Permanent Virtual Circuit) виртуальных каналов*, а также путем обмена *дейтаграммами*. Режим обмена дейтаграммами не получил большого распространения, и в последних версиях стандарта он отсутствует. *Наиболее распространены временные соединения* (SVC), так как они обеспечивают лучшее использование ограниченной пропускной способности глобальной сети при наличии большого количества пользователей.

В рекомендации X.25 предусмотрена организация виртуальных (логических) каналов в виде сквозных соединений через три нижних уровня, по которым передаются пакеты данных. Каждому виртуальному соединению присваиваются номера группы и логического канала. Число групп равно 15, в каждой из них содержится 255 логических каналов. Каждому пользователю при его постановке на учет администрацией сети может выделяться множество логических каналов.

Протокол PLP позволяет работать не только поверх LAPB, но и поверх LLC2 в локальных сетях и поверх LAPD в сети ISDN, а также поверх протоколов других СПД. С точки зрения основной функции сетевого уровня протокол PLP является протоколом управления маршрутизацией, т. е. протоколом, управляющим коммутацией пакетов в центрах коммутации пакетов (ЦКП) с цельюих передачи между конкретными абонентскими системами через сеть X.25 от узла к узлу по заранее проложенному (как правило, вручную) маршруту (возможно не по одному) на основании маршрутных таблиц, хранящихся в памяти каждого ЦКП, и адресных признаков (адресных данных), записанных в специальном служебном поле пакетов. Специальных собственных протоколов маршрутизации, динамически выбирающих наилучшие маршруты и автоматически корректирующих маршрутные таблицы, в сетях X.25 нет.

В соответствии с протоколом X.25/3 обмен данными осуществляется пакетами, формат которых приведен на рис. 10.6 (*а*…*д*) [8].

На рис. 10.6*а* показан общий вид пакета, включающего четыре поля (первые три из которых образуют заголовок пакета):

GFI*(General Format Identifier)* – общий идентификатор формата;

LCI*(Local Channel Identifier)* – идентификатор логического канала;

PTI *(Packet Type Identifier)* – идентификатор типа пакета;

Data – служебные и/или информационные данные.

Рекомендация X.25/3 предусматривает использование нескольких типов пакетов, которые можно условно разделить на три группы: служебные (установления и разъединения соединения, управления потоком, прерывания, сброса, рестарта и диагностики), информационные и совмещенные (дейтаграммные).

На рис. 10.6*б* и 10.6*в* показаны форматы служебных пакетов (общий вид и более подробный вид служебного пакета «Запрос соединения»), а на рис. 10.6*г* и 10.6*д* показаны форматы двух типов информационных пакетов (с циклической нумерацией по mod 8

и по mod 128). Отличительным признаком служебных пакетов является значение «1» в первом бите третьего октета (в поле PTI). Указателем типа информационных пакетов являются 5-й и 6-й биты первого октета (поле GFI).

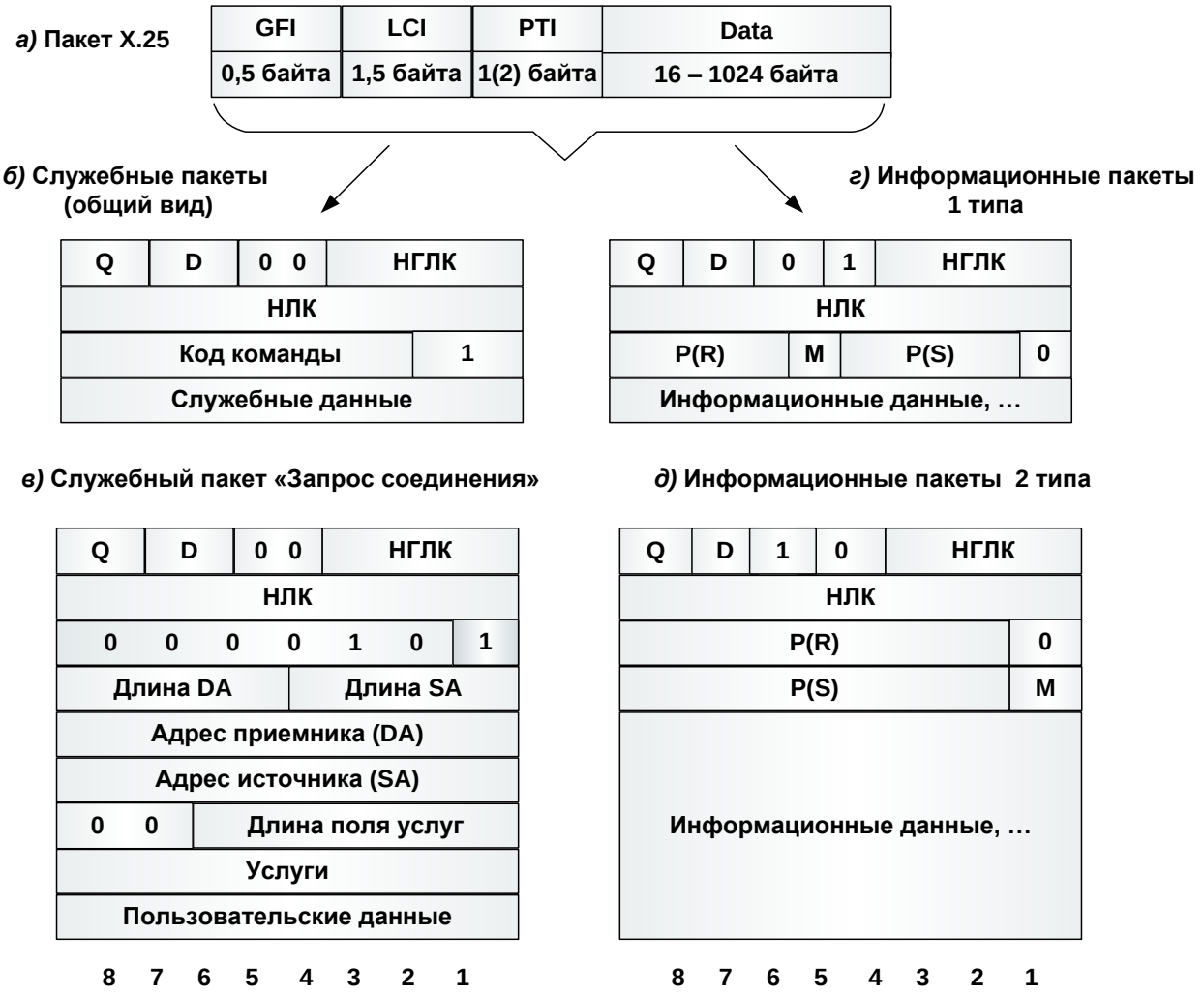


Рис. 10.6. Формат пакетов X.25/3

В обозначениях полей пакетов различного формата, приведенных на рис. 10.6, использованы следующие условные обозначения:

Q – бит-индикатор категории данных (служебные/информационные);

D – подтверждение приема оконечным узлом (да/нет);

НГЛК (LGN – *Logical Group Number*) – номер группы логических каналов;

НЛК (LCN – *Logical Channel Number*) – номер логического канала;

P(S) – порядковый номер передаваемого пакета;

P(R) – порядковый номер ожидаемого пакета;

M – признак продолжения передачи пакетов данных (в первом и промежуточных пакетах M=1, а в последнем пакете M=0);

DA (*Destination Address*) – адрес получателя;

SA (*Source Address*) – адрес отправителя.

В связи с тем, что в 70-е годы 20 века, когда появилась технология X.25, еще не существовала 7-уровневая ЭМВОС и отсутствовало понятие транспортного уровня, ряд функций последнего фактически взял на себя сетевой уровень в дополнение к основным функциям, связанным с маршрутизацией. Это видно из назначения ряда служебных полей

пакетов, обрабатываемых во взаимодействующих устройствах ООД (через всю сеть из конца в конец), в частности, полей Q и D, а также P(S) и P(R).

К протоколам сетевого уровня X.25 можно условно отнести также стандарты X.75 и X.121.

Стандарт X.75 определяет процедуры обеспечения обмена данными для пользователей различных сетей X.25. Архитектура нижних трех уровней в стандарте X.75 полностью соответствует стандарту X.25. Соединение при реализации стандарта X.75 организуется через СТКП в соответствии со стандартом X.92 «Гипотетические эталонные соединения для синхронных сетей передачи данных общего пользования» через последовательность нескольких виртуальных соединений, каждое со своими процедурами управления потоком, защитой от ошибок и т. д. СТКП реализует процедуры сигнализации при установлении соединения и процедуры передачи пакетов при обмене данными между пользователями. Формат пакетов при межсетевом взаимодействии используется такой же, как и в сетях X.25, но в пакеты добавляется поле служебных программ, обеспечивающих межсетевое взаимодействие. В стандарте X.75 предусмотрена возможность образования трактов из нескольких звеньев между ЦКП различных сетей с целью повышения надежности соединения. Процедуры обмена по трактам занимают верхний уровень по отношению к процедурам уровня звена данных X.25. Сетевой уровень воспринимает тракт как единое звено передачи данных.

Стандарт X.121 определяет международную систему нумерации адресов для сетей передачи данных общего пользования.

Старт-стопные терминалы в сети X.25 не имеют конечных адресов. Адрес присваивается порту PAD, который подключен к коммутатору пакетов X.25 с помощью выделенного канала. Если сеть X.25 не связана с внешним миром, то она может использовать адрес любой длины (в пределах формата поля адреса) и давать адресам произвольные значения. Максимальная длина поля адреса в пакете X.25 составляет 16 байт.

Однако, если сеть X.25 хочет обмениваться данными с другими сетями X.25, то в ней нужно придерживаться адресации стандарта X.121.

Адреса X.121 (называемые также IDN – *International Data Numbers*) имеют разную длину, которая может доходить до 14 десятичных знаков. Первые четыре цифры IDN называют кодом идентификации сети (DNIC – Data Network Identification Code). DNIC поделен на две части; первая часть (3 цифры) определяет страну, в которой находится сеть, а вторая – номер сети X.25 в данной стране. Таким образом, внутри каждой страны можно организовать только 10 сетей X.25. Если же требуется перенумеровать больше, чем 10 сетей для одной страны, проблема решается тем, что одной стране дается несколько кодов. Например, Россия имела до 1995 года один код – 250, а в 1995 году ей был выделен еще один код – 251. Остальные цифры называются номером национального терминала (NTN – *National Terminal Number*). Эти цифры позволяют идентифицировать определенное ООД в сети X.25.

Международные сети X.25 могут также использовать международный стандарт нумерации абонентов ISO 7498. По стандарту ISO 7498 для нумерации сетей X.25 к адресу в формате X.121 добавляется только один байт префикса, несущий код 36 (использование в адресе только кодов десятичных цифр) или 37 (использование произвольных двоичных комбинаций). Этот код позволяет универсальным коммутаторам, например коммутаторам сети ISDN, поддерживающим также и коммутацию пакетов X.25, автоматически распознавать тип адреса и правильно выполнять маршрутизацию запроса на установление соединения.

На рис. 10.7 показана типовая структура сети ПД, построенной на основе протоколов X.25, представленных на рисунке в виде стека протоколов [9].

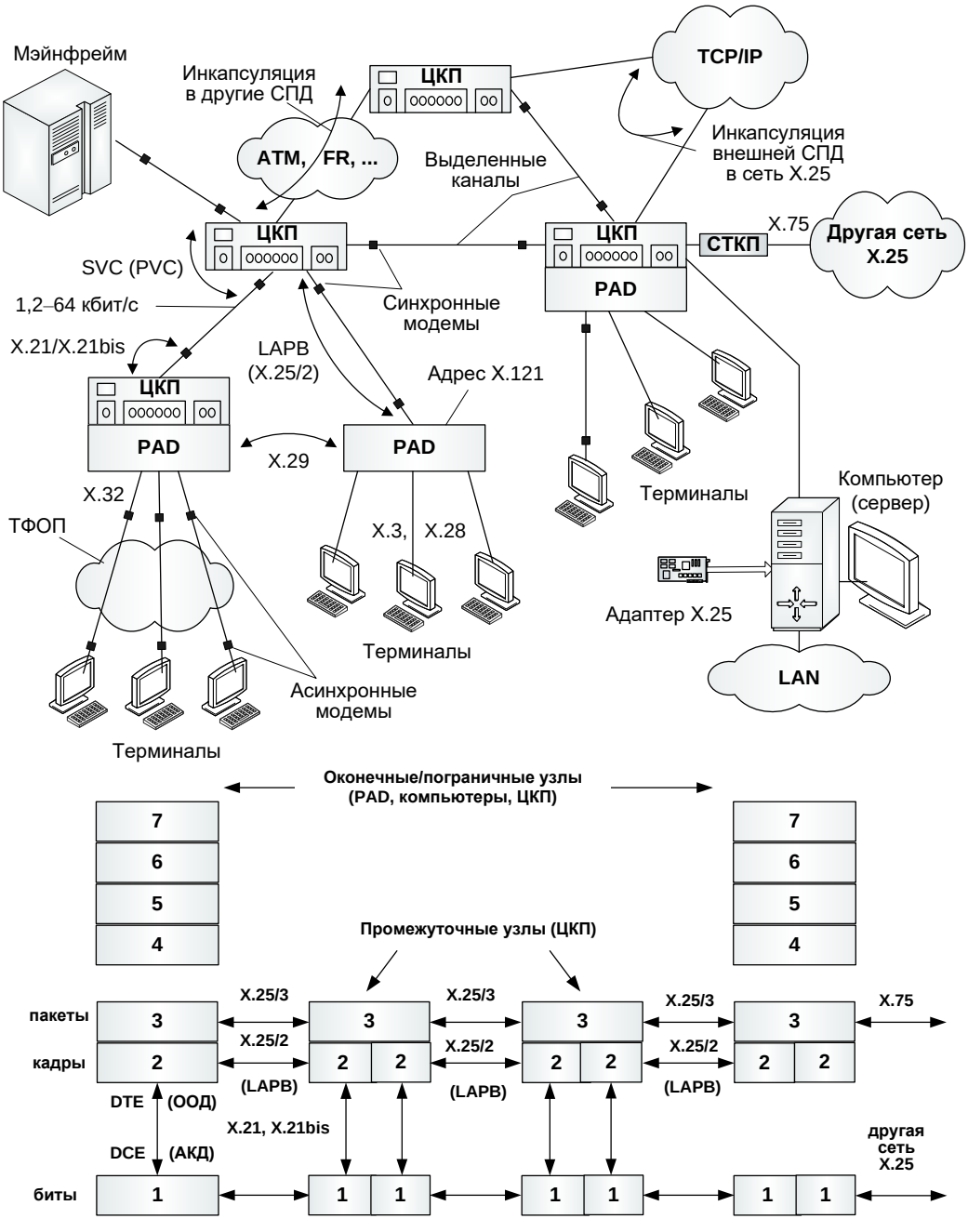


Рис. 10.7. Типовая структура сети и стек протоколов X.25

10.2. Протокол передачи и коммутации кадров Frame Relay

Протокол *Frame Relay* (FR) – был создан для замены протокола X.25 на высокоскоростных каналах связи [7]. Стандарты FR описывают интерфейс доступа к сетям с быстрой коммутацией пакетов и включают процедуры (протоколы) двух нижних уровней ЭМВОС – физического и звена данных (не полностью, но с дополнительными функциями сетевого уровня). Как и X.25, технология обеспечивает образование и поддержку множества независимых виртуальных каналов в одном звене, но не имеет средств коррекции и восстановления кадров при возникновении ошибок. Вместо средств управления потоком в протоколе FR реализованы функции извещения о перегрузках в сети. Могут использоваться также более длинные кадры, чем в протоколе X.25/2.

FR позволяет эффективно передавать крайне неравномерно распределенный во времени трафик. Отличается малым временем задержки, высокими скоростями (до 2 Мбит/с), эффективным использованием пропускной способности каналов передачи. В отличие от сетей X.25 позволяет не только передавать собственно данные, но обеспечивать интерактивный обмен оцифрованными речевыми сообщениями. Недостаток – требует каналов высокого качества (с вероятностью ошибки 10^{-7} и лучше).

Первые разработки протокола FR появились в компании BellLabs – исследовательском подразделении фирмы Lucent Technology (бывшей AT&T). В 1988 году протокол FR (как дополнительная служба) был включен в стандарт ISDN в виде Рекомендации I.122 и утвержден МККТТ. К моменту появления окончательного варианта стандарта ISDN Рекомендация I.122 превратилась в протокол со своей областью применения. В сентябре 1990 года компании *Digital Equipment Corporation, Cisco Systems, Strata Com (*сегодня подразделение *Cisco Systems)* и *Northern Telecom* объединились для усовершенствования стандарта FR в международный консорциум, зарегистрированный годом позже как *Frame Relay Forum* (FRF), включающего несколько сотен поставщиков оборудования и услуг [9]. Помимо FRF разработкой и исследованием стандартов FR в настоящее время занимаются Американский национальный институт по стандартизации ANSI и Международный союз электросвязи ITU-T. В настоящее время метод ретрансляции кадров стандартизован в следующих документах:

ITU-T – I.122, I.233, I.370 ,I.555, Q.92, Q.922, Q.931, Q.933, Q.2931;

ANSI – T1.602, T1.606, T1.607-1990, T1S1/91-695, T1.617, T1.618.

В 1992 году FRF принят проект, который рассматривает только спецификации для постоянных виртуальных каналов (PVC) и интерфейса «пользователь-сеть» (UNI – *User Network Interface*). В него не вошли стандарты для коммутируемых виртуальных каналов (SVC) и интерфейса межсетевого взаимодействия (NNI – *Network Network Interface*). Однако в дальнейшем такие стандарты были приняты: FRF.2 (NNI PVC), FRF.4 (UNI SVC), FRF.10 (NNI SVC). В последующем был также принят стандарт FRF.11, определяющий режим передачи голоса по сетям FR (с использованием сжатия и поддержкой телефонной сигнализации) и мультиплексирование субканалов. Указанный выше первоначальный проект FRF не рассматривал стандарты для физических интерфейсов, поэтому при создании сетей FR допускается использование различных физических интерфейсов, среди которых V.35, G.703, X.21 и др.

Типовая структура и состав сети Frame Relay показаны на рис. 10.8. Данный рисунок составлен так, чтобы показать сходство (преемственность) и отличия сетей FR по отношению к сетям X.25. Основными элементами сети FR являются оконечные устройства (терминалы), *устройства доступа* FRAD (*Frame Relay Access Device* или по аналогии с PAD – *Frame Relay Assembler / Disassembler*) и узлы коммутации, а также связывающие их между собой каналы физической среды передачи. Узлы коммутации, которые обозначены на рис. 10.8 как ЦКП, отражая тем самым принадлежность к «пакетным» сетям, в которых «пакетами» часто называют любые коммутируемые блоки данных (а не только ПБД сетевого уровня).

В литературе узлы коммутации FR, используемые для соединения локальных сетей, часто обозначают в виде мостов (bridge) или коммутаторов (switch).

Так же как в сетях X.25, в роли оконечных устройств сетей FR могут выступать (а в основном только они и выступают) компьютеры и локальные сети, подключаемые к сети FR через адаптер FR, коммутатор или маршрутизатор, поддерживающий на своих интерфейсах протоколы FR. Неинтеллектуальные старт-стопные терминалы в сетях FR практически не используются.

Сети FR, появившиеся намного позже сетей X.25, почти сразу же были сориентированы на возможное объединение с другими сетями, как путем инкапсуляции пакетов других (внешних) сетей (например, TCP/IP, X.25, LAN и др.) в кадры FR, так

и путем инкапсуляции кадров FR в ПБД других (внутренних) сетей (например, ATM и др.). Возможность передачи речи в сетях FR побудила развитие технологий VoFR (Voice ower Frame Relay – голос поверх Frame Relay) и создание шлюзов с ТФОП.

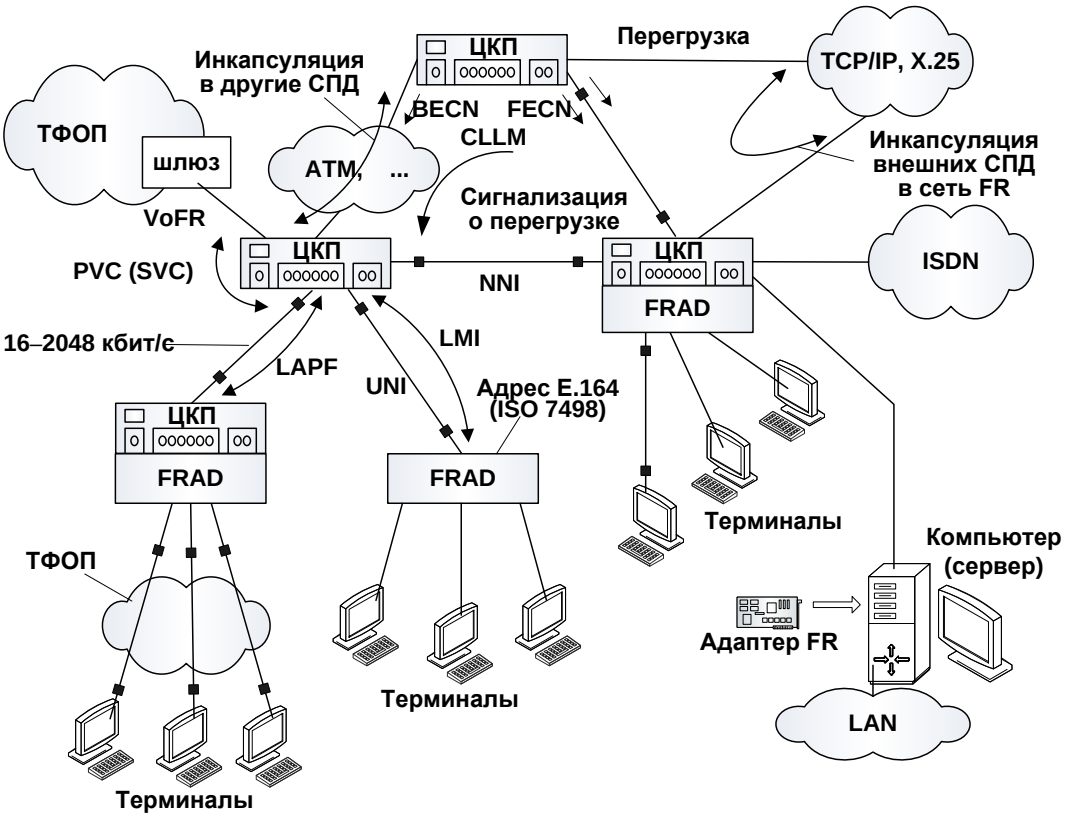


Рис. 10.8. Типовая структура и состав сети Frame Relay

До уровня широко используемых глобальных сетей, подобных X.25 или TCP/IP, сетиFR пока не поднялись, но они очень популярны в корпоративных (ведомственных) сетях (в том числе военного назначения), в частности, для объединения локальных сетей, а также в сетях доступа отдельных компьютеров и локальных сетей к глобальным сетям (ATM, TCP/IP, ISDN).

Стек (профиль) основных протоколов, определяющий архитектуру сети FR, показан на рис. 10.9.

В сетях FR на уровне звена данных используется процедура управления звеном LAPF (Link Access Protokol, Frame Relay), являющейся, с одной стороны упрощенным, а с другой стороны, дополненным вариантом процедуры HDLC (High-level Data Link Control).

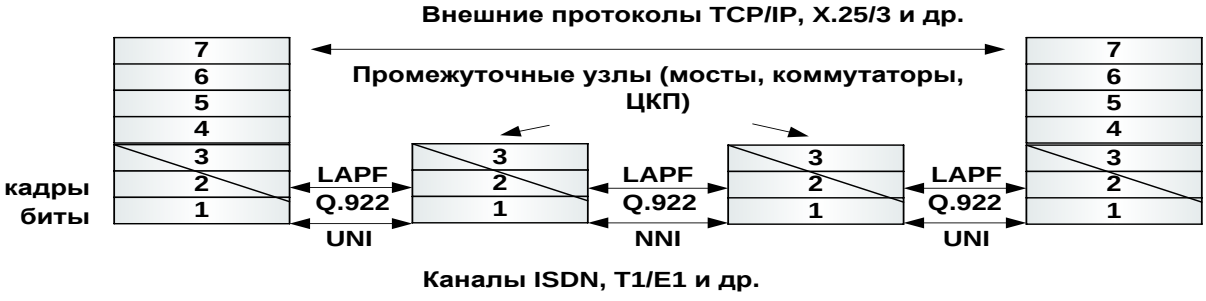


Рис. 10.9. Стек протоколов Frame Relay

Протокол LAPF (стандарт Q.922 ITU-T) имеет два режима работы – *основной (core)* и *управляющий (control)***.** В основном режиме, который фактически практикуется в сегодняшних сетях FR, кадры передаются без преобразования и контроля, как и в коммутаторах локальных сетей. За счет этого сети FR обладают весьма высокой производительностью, так как кадры в коммутаторах не подвергаются преобразованию, а сеть не передает квитанции подтверждения между коммутаторами на каждый пользовательский кадр, как это происходит в сети X.25.

Протокол LAPF control является необязательной надстройкой над LAPF core, которая выполняет функции контроля доставки кадров и управления потоком.

Формат кадра протокола LAPF приведен на рис. 10.10.

Так же как X.25/2, Frame Relay является бит-ориентированным синхронным протоколом второго уровня ЭМВОС и использует кадр в качестве основного ПБД.

Поле *«Флаг»* служит для разграничения кадров таким же образом, как в кадре LAPB (X.25/2).

Поле «*Заголовок»* может содержать от 2 (стандарт FRF) до 4 (стандарты ANSI и ITU-T) октетов (байт) и включает следующие элементы.

DLCI (*Data Link Connection Identifier*) – идентификатор виртуального канала данных (соединения). Служит для выполнения функций маршрутизации кадров в коммутаторах. Наличие функций маршрутизации в сетях FR является их важной отличительной особенностью, поскольку выходит за рамки полномочий стандарта HDLC и второго уровня ЭМВОС.

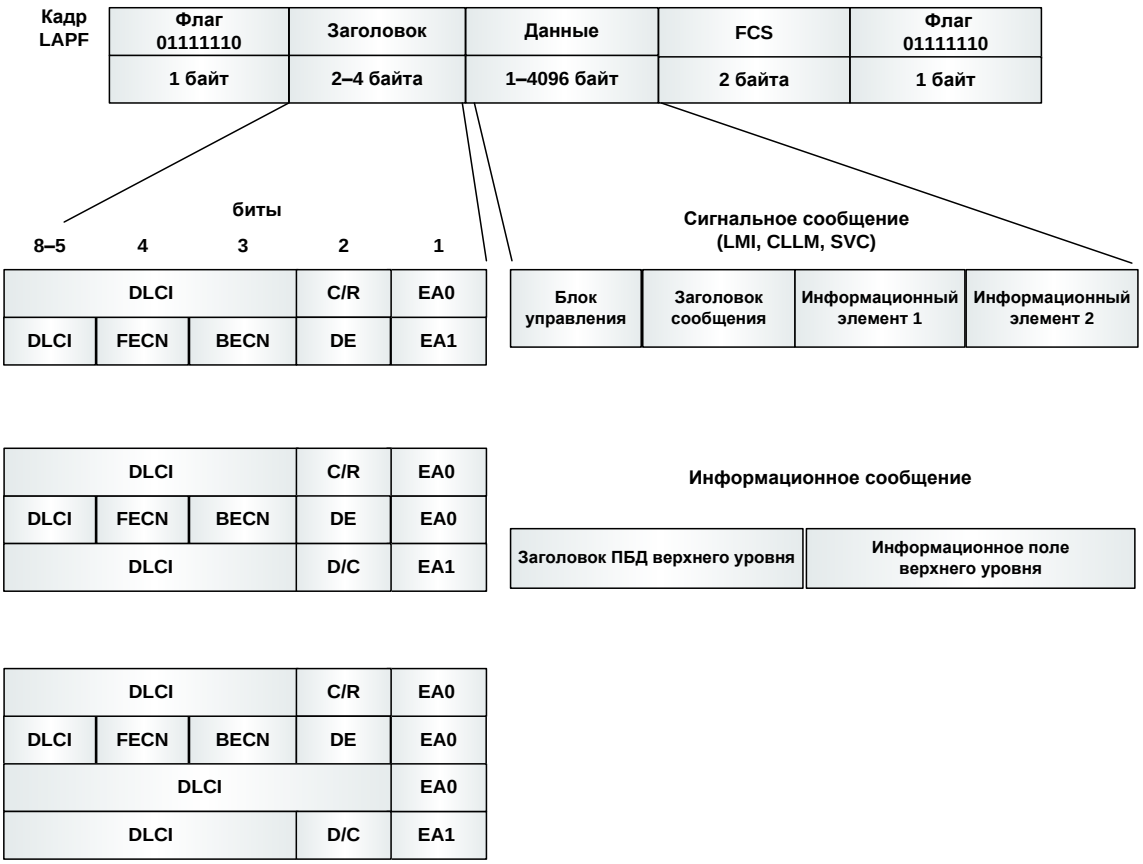


Рис. 10.10. Формат кадра Frame Relay (LAPF)

При использовании двух байт в заголовке DLCI состоит из 10 бит, что позволяет использовать до 2^{10} = 1 024 виртуальных соединений в каждом звене. Десятиразрядный

формат DLCI является основным. При использовании трех байт в заголовке DLCI имеет длину 16 бит, а при использовании четырех байт – 23 бита.

Стандарты Frame Relay (ANSI, ITU-T) распределяют адреса DLCI между пользователями и сетью следующим образом:

0 и 1023 – используются для виртуальных служебных каналов;

1–15 – зарезервированы для дальнейшего применения;

16–991 – используются абонентами для нумерации PVC и SVC;

992–1007 – используются для внутрисетевых соединений;

1 008–1 022 – зарезервированы для дальнейшего применения.

Таким образом, в любом интерфейсе Frame Relay для оконечных устройств пользователя отводится 976 адресов DLCI.

CR (*Command / Response*) – бит «опрос/финал» («команда/ответ»). Зарезервирован для возможного применения в протоколах более высоких уровней ЭМВОС. Этот бит не используется протоколом FR и «прозрачен» для аппаратно-программных средств сети FR.

EA (*Extended Address*) – бит расширения адреса. Используется для расширения заголовка на целое число дополнительных октетов с целью указания адреса, состоящего более чем из 10 бит. Если этот бит установлен в ноль, то он называется EA0 и означает, что в следующем байте имеется продолжение поля адреса, а если этот бит равен 1, то он называется EA1 и индицирует окончание поля заголовка.

FECN (*Forward Explicit Congestion Notification*) – бит уведомления (сигнализации) приемника о явной перегрузке. Устанавливается в 1 для уведомления получателя кадра о том, что произошла перегрузка в направлении передачи данного кадра.

BECN (*Backward Explicit Congestion Notification*) – бит уведомления (сигнализации) источника о явной перегрузке. Устанавливается в 1 для уведомления источника сообщения о том, что произошла перегрузка в направлении, обратном направлению передачи кадра, содержащего этот бит.

DE (*Discard Eligibility*) – бит разрешения сброса. Устанавливается в «1» в случае явной перегрузки и указывает на то, что данный кадр может быть уничтожен в первую очередь.

Поле «*Данные*» содержит информационные данные пользователя и состоит из целого числа октетов. Его максимальный размер определен стандартом FRF и составляет 1600 октетов, но возможны и другие максимальные размеры (вплоть до 2^{12} = 4 096 октетов).

Поле «*FCS*» (*Frame Check Sequence*) – проверочная последовательность кадра. Используется для обнаружения возможных ошибок при передаче кадров так же, как поле CRC в кадре X.25/2 (LAPB), и так же состоит из 2 октетов.

Одним из существенных отличий протокола FR от HDLC является то, что он не предусматривает передачу управляющих сообщений (нет ненумерованных и супервизорных кадров, как в HDLC). Для передачи служебной информации используются специально выделенные виртуальные каналы сигнализации (с DLCI = 0 или DLCI = 1023).

Другое важное отличие – отсутствие циклической нумерации передаваемых кадров. Это связано с тем, что в протоколе FR отсутствуют механизмы подтверждения правильно принятых кадров.

Основная процедура передачи кадров протокола FR состоит в том, что если кадр получен без искажений, он должен быть направлен далее по соответствующему маршруту (а если с искажениями, то он просто стирается). В случае возникновения перегрузки в сети FR предусмотрено предупреждение источника и приемника, а также узлов коммутации вдоль маршрута следования пакетов начиная с узлов, соседствующих с узлом, на котором возникла перегрузка. Для этого в кадрах FR используются биты FECN

(в кадрах, следующих от источника к приемнику) и BECN (во встречных кадрах, следующих от приемника к источнику), в которые записывается «1». Кроме того, для сигнализации о перегрузке может использоваться специальный объединенный протокол управления каналом CLLM (*Consolidated Link Layer Management*) с DLCI = 1 023, использующий информационное поле кадров для передачи служебной информации. Этот протокол используется для оповещения источника, в направлении которого нет попутных кадров для использования BECN.

Получив предупреждение о перегрузке, соседние узлы коммутации могут снизить скорость передачи или изменить маршрут следования кадров. Не дожидаясь реакции на перегрузку со стороны соседних узлов, для разрешения проблем, связанных с перегрузкой сети FR, ее узлы могут отказываться от приема каких-либо кадров вообще или только той части кадров, в заголовке которых бит DE = 1.

Особенностью технологии FR является отказ от коррекции обнаруженных в кадрах искажений. Протокол FR подразумевает, что конечные узлы будут обнаруживать и корректировать ошибки за счет работы протоколов транспортного или более высоких уровней. В этом отношении технология Frame Relay близка к технологиям локальных сетей, таким как Ethernet, Token Ring и FDDI, которые тоже только отбрасывают искаженные кадры, но сами не занимаются их повторной передачей (в отличие от сетей X.25, в которых предусмотрена возможность переспроса и повторной передачи кадров между соседними узлами коммутации).

Важной отличительной особенностью технологии FR является особое управление доступом в сеть и предоставление некоторых гарантий качества обслуживания.

Как уже отмечалось, доступ в сеть FR осуществляется через «порты» (интерфейсы) и адаптеры FR или устройства доступа (сборщики/разборщики кадров) FRAD. Управление доступом к сети FR возлагается на интерфейс локального управления LMI (*Local Management Interface*), на базе которого реализуется интерфейс PVC UNI. Для передачи служебной информации LMI используется служебный виртуальный канал сигнализации с DLCI = 0.

Интерфейс локального управления был разработан, в первую очередь, с целью предоставления пользователю информации о состоянии и конфигурации PVC. LMI реализуется в аппаратно-программных средствах ООД пользователя и выполняет следующие функции:

уведомление абонента о включении, наличии и отключении PVC;

уведомление абонента о готовности PVC;

проверка целостности соединения.

Интерфейс LMI в целом соответствует базовому стандарту FR. Различие состоит в расширении заголовка кадра FR с целью размещения дополнительных полей стандарта LMI. Расширенный кадр FR называют кадром LMI. Информационные элементы занимают один или несколько октетов в пределах кадра LMI (имеют переменную длину).

Технология FR применяется на сетях, имеющих качественные магистральные каналы связи, в основном, оптоволоконные. Каналы доступа могут быть и на витой паре, как это разрешает интерфейс G.703 или абонентское окончание ISDN. Хотя на величину задержки сеть FR гарантий не дает, тем не менее, передача голоса все шире внедряется в эти сети с использованием механизмов приоритизации виртуальных каналов и сегментации длинных кадров.

В России, где внедрение высокоскоростных цифровых каналов значительно отстает от Запада, для построения сетей FR рекомендуются следующие типы каналов:

Цифровые выделенные каналы связи. Их использование является наиболее очевидным и естественным вариантом, конечно, если таковые имеются или есть средства на их развертывание. Цифровые выделенные каналы доступны, в основном, в крупных

городах, где на их базе созданы современные сети связи, предоставляющие пользователям полосы пропускания от 64 до 2 048 кбит/с.

Физические линии. Если организация имеет в своем распоряжении физические (неуплотненные) линии, то при помощи соответствующих модемов (ближнего действия или HDSL) можно получить наложенные цифровые каналы со скоростью передачи до 2 Мбит/с. Если не применять специальных усилителей (репитеров), то такие каналы обеспечивают связь на расстоянии до 16 км. Причем дальность связи обратно пропорциональна диаметру провода и скорости передачи. На оптоволокне при помощи модемов RAD можно достичь быстродействия до 38 Мбит/с.

Выделенные каналы тональной частоты (ТЧ). Многочисленные эксперименты и практическая эксплуатация сетей Frame ге1ау подтвердили возможность использования каналов ТЧ в сетях Frame ге1ау. Основными условиями успеха являются применение качественных профессиональных модемов, постоянное слежение за состоянием каналов, а также оптимизация топологии сетей. При построении сети FR на базе каналов ТЧ следует избегать топологий с большим количеством промежуточных узлов, поскольку в противном случае FR будет работать неэффективно.

ИКМ-каналы. Во многих случаях предоставляемые в аренду каналы ТЧ построены на базе систем ИКМ. В них каждый абонентский аналоговый сигнал преобразуется в цифровой поток 64 кбит/с, передаваемый по цифровым трактам. При рассмотрении общей схемы использования такого канала в корпоративной сети можно заметить наличие избыточных преобразований цифрового сигнала в аналоговый и обратно.

Постоянный контроль за состоянием сети и активностью пользователей позволяет технологии FR обеспечивать *гарантированное качество обслуживания*, оцениваемое по некоторым показателям своевременности. Правда, в чистом виде гарантий по задержкам передачи кадров технология Frame Relay не дает (в отличие от более «продвинутых» в этом отношении сетей ATM), но, по крайней мере, обеспечивает гарантированную среднюю скорость доставки информации. Напомним, что X.25 и таких гарантий не дает (с другой стороны, X.25 гарантирует надежность доставки, чего не гарантирует FR).

Как и другие сети с коммутацией пакетов, сеть FR обеспечивает высокую эффективность использования пропускной способности физических каналов за счет использования метода статистического мультиплексирования кадров (пакетов), поступающих в сеть от различных пользователей (прикладных процессов). Особенностью реализации данного метода в сетях FR является соблюдение заранее оговариваемых соглашений о предоставлении сетью определенной средней статистической скорости передачи информации для каждого виртуального соединения в отдельности.

В целом для каждого виртуального соединения между пользователем и поставщиком услуг сети FR оговаривается несколько параметров, влияющих на качество обслуживания:

максимальный размер поля «данные» в кадре FR;

пропускная способность порта AR (*Access Rate*), посредством которого абонент подключается к сети FR;

гарантированная средняя скорость передачи данных CIR (*Committed Information Rate,*), при которой обеспечивается требуемое качество доставки (очевидно, CIR≤AR);

интервал измерений *T*;

гарантированный объем передаваемой информации (за время *T*) *Bc* (*Committed Burst Size*), для которого обеспечивается требование по качеству доставки (*Bc* = CIR *T*);

дополнительный объем передаваемой информации (за время *T*) *Be* (*Excess Burst Size*), для которого требования по качеству доставки могут не выполняться (*Be* = (AR – CIR) *T*).

Соотношение между параметрами AR, CIR, *Bc, Be и T* иллюстрирует рис. 10.11.

Для постоянных виртуальных каналов (PVC) перечисленные выше параметры входят в контракт на пользование услугами сети. При установлении коммутируемого

виртуального канала (SVC) соглашение о качестве обслуживания заключается автоматически с помощью протокола Q.931/933 – требуемые параметры CIR, *Bc* и *Be* передаются в пакете (кадре) запроса на установление соединения.

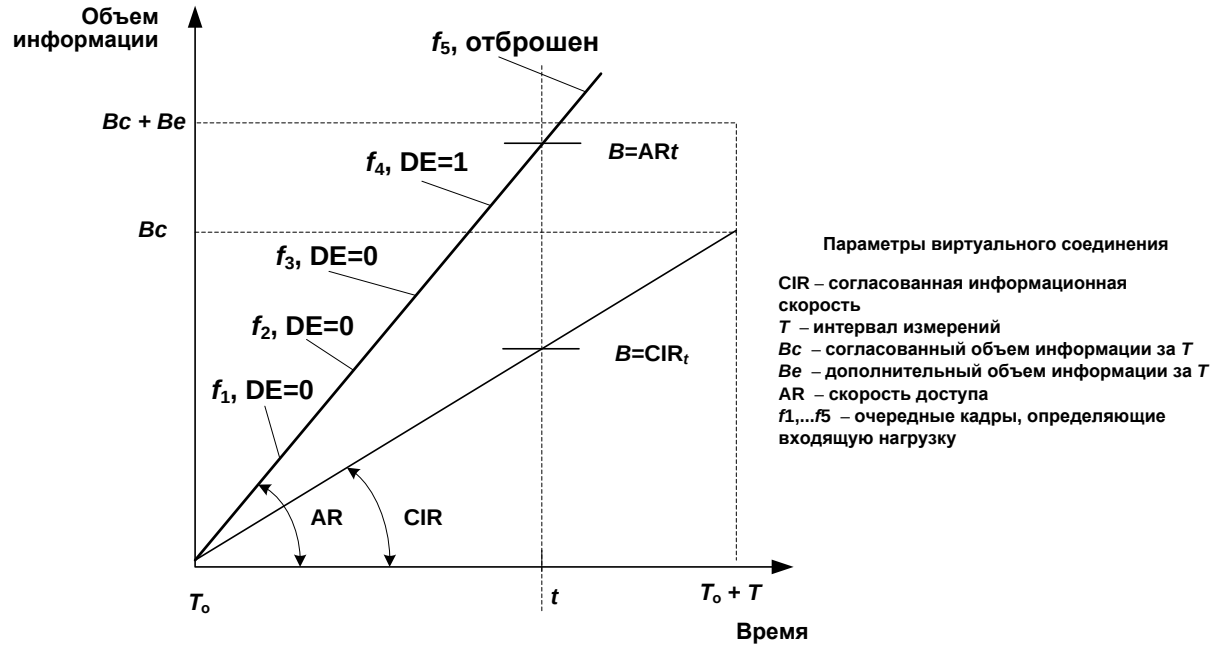


Рис. 10.11. Реакция сети Frame Relay на изменение входящей нагрузки

В общем случае пользователь не должен передавать в сеть данные со средней скоростью, превосходящей CIR. Если же он нарушает соглашение, то сеть не только не гарантирует доставку кадра, но помечает этот кадр признаком DE = 1, то есть как кадр, подлежащий удалению в первую очередь.

Однако кадры, отмеченные таким признаком, удаляются из сети только в том случае, если коммутаторы сети испытывают перегрузки. Если же перегрузок нет, то кадры с признаком DE = 1 доставляются адресату.

Такое щадящее поведение сети соответствует случаю, когда общее количество данных, переданных пользователем в сеть за период *T*, не превышает объема *Bc* + *Be*. Если же этот порог превышен, то кадр не помечается признаком DE, а немедленно удаляется из сети.

На рис. 10.11 изображен случай, когда за интервал времени *T* в сеть по виртуальному каналу поступило 5 кадров. Кадры f_1, f_2 и f_3 доставили в сеть данные, суммарный объем которых не превысил порог *Bc*, поэтому эти кадры ушли дальше транзитом с признаком DE = 0. Данные кадра f_4, прибавленные к данным кадров f_1, f_2 и f_3, уже превысили порог *Bc*, но еще не превысили порога *Bc* + *Be*, поэтому кадр f_4 также ушел дальше, но уже с признаком DE = 1. Данные кадра f_5, прибавленные к данным предыдущих кадров, превысили порог *Bc* + *Be*, поэтому этот кадр был удален из сети.

Для контроля соглашения о параметрах качества обслуживания все коммутаторы сети FR выполняют так называемый алгоритм *«дырявого ведра» (Leaky Bucket)*. Алгоритм использует счетчик поступивших от пользователя байт. Каждые *T* секунд этот счетчик уменьшается на величину *Bc* (или же сбрасывается в 0, если значение счетчика меньше, чем *Bc*). Все кадры, которые не увеличили значение счетчика свыше порога *Bc*, пропускаются в сеть со значением признака DE = 0. Кадры, которые привели к значению счетчика, большему *Bc*, но меньшему *Bc* + *Be*, также передаются в сеть, но с признаком DE = 1. И наконец, кадры, которые привели к значению счетчика, большему *Bc* + *Be*, отбрасываются коммутатором.

Пользователь может договориться о включении не всех параметров качества обслуживания на данном виртуальном канале, а только некоторых. Например, можно использовать только параметры CIR и *Bc*. Этот вариант дает более качественное обслуживание, так как кадры никогда не отбрасываются коммутатором сразу. Коммутатор только помечает кадры, которые превышают порог *Bc* за время *T*, признаком DE = 1. Если сеть не сталкивается с перегрузками, то кадры такого канала всегда доходят до конечного узла, даже если пользователь постоянно нарушает договор с сетью. Популярен еще один вид заказа на качество обслуживания, при котором оговаривается только порог *Be*, а скорость CIR полагается равной нулю (это самая дешевая услуга в сетях FR). Все кадры такого канала сразу же отмечаются признаком DE = 1, но отправляются в сеть, а при превышении порога *Be* они отбрасываются.

На основании описанных выше внутренних функциональных характеристик сети FR можно оценить ее основные внешние функциональные характеристики своевременности, достоверности и эффективности. При этом в модели сетевого уровня следует задавать параметры условных пакетов, целиком размещаемых (без фрагментации) в поле «данные» кадров FR, с нулевой служебной частью $W_{П.С} = 0$. Можно оценить внешние функциональные характеристики и при использовании реальных пакетов сетевого уровня других технологий, взаимодействующих в объединенных сетях с FR, например, X.25/3 или IP. В расчетах следует учесть, что кадры не переспрашиваются, но стираются, увеличивая выходную вероятность ошибки на бит, причем не только из-за обнаруженных ошибок в кадре, но и из-за ограниченной длины очереди в коммутаторах при перегрузках.

Обычные математические модели систем массового обслуживания не позволяют в явном виде учесть использование в сетях FR алгоритма «дырявого ведра» с параметрами CIR, *Bc* и *Be*. Однако косвенно оценить влияние данного алгоритма на внешние характеристики качества обслуживания можно следующим образом.

При задании (расчете) суммарной интенсивности (квазистационарной на интервалах, соизмеримых с длительностью интервала измерений *T*) поступления пакетов (кадров) на анализируемый порт *i*-го коммутатора $\Lambda_{П.i}$ на основании заданных маршрутов виртуальных соединений, проходящих через *i*-е звено, необходимо разделить все потоки на две группы $\Lambda_{П.i} = \Lambda_{П1.i} + \Lambda_{П2.i}$ с разными приоритетами кадров. К группе старшего приоритета (*r* = 1, что условно соответствует DE = 0) следует отнести потоки кадров *j* с интенсивностью $\Lambda_{П.i.j}$ не превышающей $CIR_j / W_{К.j}$, где $W_{К.j}$ – объем кадра в соединении *j*, а к группе младшего приоритета (*r* = 2, что условно соответствует DE = 1) следует отнести потоки кадров *k* с интенсивностью $\Lambda_{П.i.k}$ не превышающей $CIR_k / W_{К.k}$, где $W_{К.k}$ – объем кадра в соединении *k*. После этого влияние введенных приоритетов можно учесть с помощью соответствующих моделей систем массового обслуживания.

10.3. Стек протоколов TCP/IP

TCP/IP – это промышленный стандарт стека протоколов, разработанный для глобальных сетей, но широко используемый и в локальных сетях. Аббревиатура TCP/IP включает обозначение двух базовых протоколов, на основе которых строится сеть: TCP (*Transmission Control Protocol*) – *протокол управления передачей* и IP (*Internet Protocol*) – *межсетевой протокол*. В целом же стек протоколов TCP/IP включает протоколы четырех уровней (прикладного, транспортного, сетевого и уровня доступа или уровня сетевых интерфейсов), которые примерно соответствуют трем одноименным уровням ЭМВОС (кроме последнего уровня сетевых интерфейсов, который иногда условно соотносят ко 2-му уровню ЭМВОС). Собственного физического уровня и даже уровня звена данных стек TCP/IP не имеет и использует в качестве транспортной среды между узлами коммутации (шлюзами/маршрутизаторами) другие сети или выделенные каналы.

Из числа популярных современных технологий построения телекоммуникационных сетей технология TCP/IP выделяется тем, что формирует свою архитектуру не снизу вверх (от физической среды к прикладным процессам), а сверху вниз (от прикладных процессов к физической среде). Даже нумеруются уровни стека TCP/IP традиционно не снизу вверх (как в ЭМВОС), а сверху вниз (римскими цифрами). Причем подобно тому, как другие технологии построения ТКС, «не доходят» до верхнего прикладного уровня, технология TCP/IP «не доходит» до нижнего физического уровня. Однако обе группы технологий (в отсутствие промышленно освоенных протоколов OSI верхних уровней) хорошо стыкуются (на сетевом уровне или на уровне звена данных), дополняя друг друга и образуя полноценные современные инфокоммуникационные сети, способные предоставлять широкий набор услуг, пополняющийся каждый год все новыми и новыми. И в основном благодаря универсальности («всеядности») TCP/IP, как с точки зрения используемых разнообразных транспортных сетей, так и с точки зрения многочисленных обслуживаемых прикладных процессов.

Базовые протоколы TCP/IP были созданы в начале 70-х годов на основе разработок агентства перспективных научных исследований ARPA (*Advanced Research Projects Agency*) по заказу Министерства Обороны США (DoD – *Department of Defense*) – иногда к аббревиатуре ARPA добавляют букву D – DARPA, чтобы подчеркнуть причастность разработок к *оборонному* ведомству *Defense*. Созданная на основе технологии TCP/IP и поддерживаемая государственными субсидиями сеть ARPANET существовала до1990 года, а затем распалась на отдельные (но взаимосвязанные) коммерческие и государственные сети, превратившиеся со временем (но довольно быстро) во всемирную и хорошо ныне всем известную глобальную «сеть сетей» *Интернет (Internet)*.

Интернет не имеет единого «хозяина» или административно-финансового руководящего центра, но децентрализованное функционирование сети (состоящей из множества частных, ведомственных и национальных сетей разной государственной принадлежности) координируется специальными международными организациями сети Интернет:

IAB (*Internet Architecture Board*) – *совет по архитектуре Интернет* (первоначально – Координационный совет сети Интернет). Контролирует и координирует деятельность рабочих групп IETF и IRTF.

IETF (*Internet Engineering Task Force*) – *инженерная проблемная группа Интернет*. Вырабатывает решения по краткосрочным вопросам, включая протоколы, архитектуру и эксплуатацию. Предлагаемые стандарты публикуются в Интернет в виде *Запросов комментариев и предложений* (RFC). После выработки окончательной версии стандарта он поступает на утверждение в *группу управления инженеров Интернет* (IESG).

IRTF (*Internet Research Task Force*) – *научно-исследовательская проблемная группа Интернет*. Занимается долгосрочными вопросами, включая схемы адресации и технологии.

ICANN – *корпорация Интернет по присвоению имен и номеров*. Создана для исполнения полномочий федерального органа IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*) – агентства по выделению имен и уникальных параметров протоколов Internet (общеизвестных номеров портов, IP-адресов, имен доменов).

ISOC (*Internet Society*) – *общество Интернет*. Добровольная организация, которая представляет собой формульную структуру для администрирования Интернет.

Сети TCP/IP в настоящее время переживают этап возрождения (а может и перерождения), претендуя на роль лидера среди современных сетевых технологий. Вместо сети ISDN, которая согласно взглядам 80-х годов «де-юре» должна была стать основной глобальной сетью с интеграцией служб, реально или «де-факто» с середины 90-х годов такой сетью стала сеть Интернет. В отличие от ISDN Интернет оказалась более «мобильной» и «адаптивной» к изменяющимся условиям спроса и предложения

телекоммуникационных и информационных услуг (во многом благодаря особенностям стека TCP/IP), а следовательно, экономически более выгодной. Однако стихийный характер развития постоянно сопровождает Интернет множеством частных проблем совместимости и безопасности, которые, однако, довольно быстро решаются (в основном, методом «латания дыр») общими усилиями энтузиастов в лице частных лиц и заинтересованных крупных организаций.

Типовая структура и состав сети TCP/IP показаны на рис. 10.12. Данный рисунок составлен так, чтобы показать сходство и отличия сетей TCP/IP по отношению к сетям X.25 и FR.

Стек (профиль) основных протоколов, определяющий архитектуру сети TCP/IP, показан на рис. 10.13.

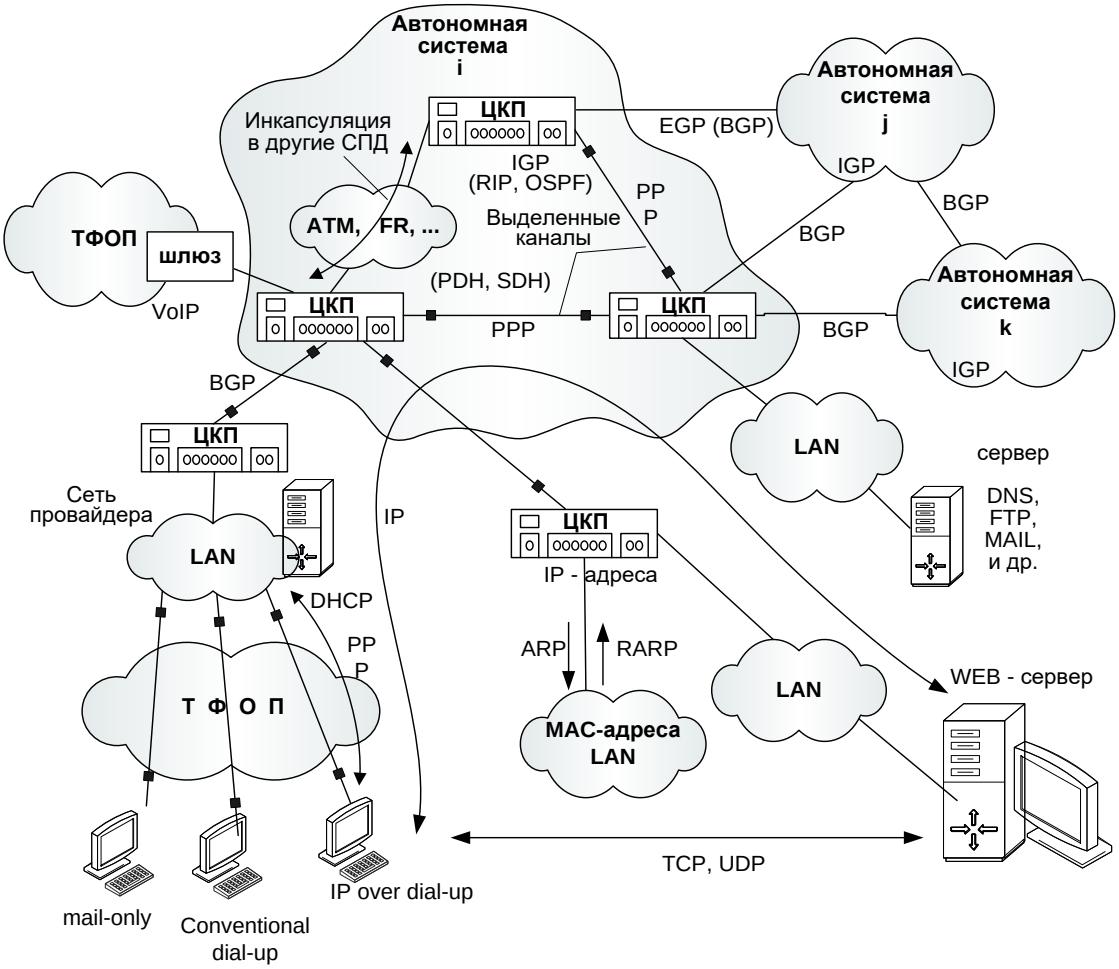


Рис. 10.12. Типовая структура и состав сети TCP/IP

Основными элементами сети TCP/IP являются оконечные устройства (компьютеры) и узлы коммутации, а также связывающие их между собой каналы физической среды передачи.

Узлы коммутации, обозначенные на рис. 10.12 как ЦКП, представляют собой маршрутизаторы IP-пакетов (в сети Интернет их принято называть шлюзами, что не совсем корректно с точки зрения современных сетевых представлений), а в роли физической среды обычно выступают различные сети, построенные на других сетевых технологиях (LAN или WAN) и со своими ПБД от уровня звена данных и выше, в которые инкапсулируются IP-пакеты для передачи от одного маршрутизатора к другому (или от оконечного устройства к ближайшему маршрутизатору).

Для соединения маршрутизаторов между собой и с оконечными устройствами используются также выделенные (или коммутируемые) цифровые каналы, но обязательно

в сочетании с вспомогательными протоколами пакетной передачи данных типа «точка-точка», в ПБД которых можно инкапсулировать IP-пакеты (например, PPP – см. далее).

В сети Интернет различают не только отдельные сети, но и более крупные объединения – автономные системы. *Автономная система* (*Autonomous System*) – это совокупность сетей под единым административным управлением, обеспечивающим общую для всех входящих в автономную систему маршрутизаторов политику маршрутизации. Обычно автономной системой управляет один поставщик услуг Интернет.

Первоначально в сети Интернет существовала одна особая автономная система (на территории США), выполняющая функции магистрали, к которой присоединялись другие автономные системы, образуя древовидную структуру. По мере развития Интернет для повышения ее эффективности постоянно возникала потребность в прямых связях между автономными системами. В итоге сегодня Интернет представляет собой объединение равноправных автономных систем с произвольной топологией связей.

Подключение оконечных устройств к ближайшему IP-маршрутизатору осуществляется по выделенному цифровому каналу или через сети абонентского доступа, в роли которых могут выступать сети LAN и WAN, построенные на самых разных технологиях.

В России наиболее популярным (физически и экономически пока наиболее доступным) для частных лиц является подключение к сети Интернет по коммутируемым аналоговым каналам ТФОП с использованием модемов на скорости до 33,6 кбит/с (в сеть) – 56 кбит/с (из сети).

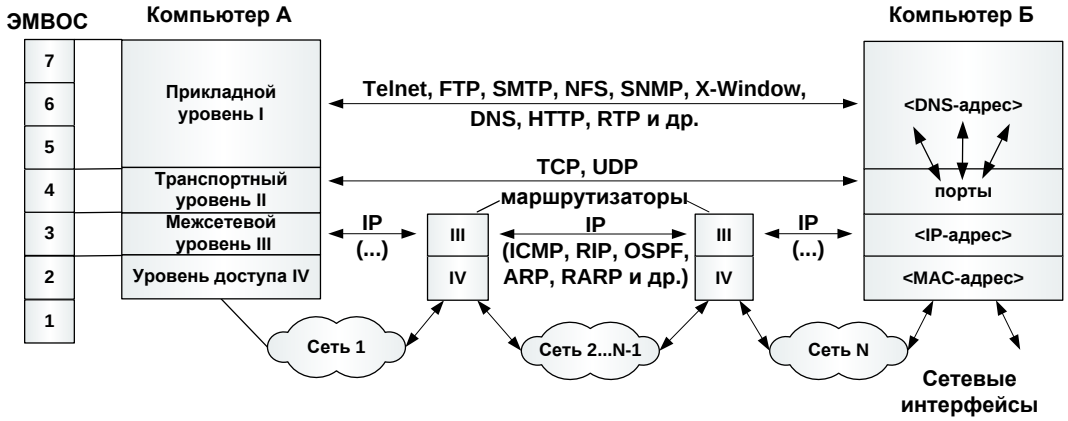


Рис. 10.13. Архитектура сети TCP/IP

На рис. 10.12 показаны примеры подключения домашних компьютеров к Интернет через ТФОП тремя способами:

mail-only – почтовое подключение, позволяющее только посылать и принимать электронную почту;

conventional dial-up – терминальный доступ по коммутируемому каналу, обеспечивающий диалоговую работу в режиме удаленного терминала с компьютером-хостом провайдера (организации – поставщика услуг Интернет), который выступает в роли посредника и берет на себя функции оконечного Интернет- устройства (конечного узла) с определенным IP-адресом;

IP-over dial-up – полноценный диалоговый доступ в Интернет в роли оконечного устройства (узла) с временным IP-адресом, предоставляемым компьютером-хостом на время сеанса связи.

В последнее время практически используется только последний способ, наиболее удобный и поддерживаемый как программным обеспечением всех компьютеров-хостов, так и широко распространенными среди домашних компьютеров операционными

системами Windows последних версий. Однако и первые два варианта пользуются спросом у пользователей, которые (в ущерб удобству) хотят снизить опасность проникновения программных вирусов из сети Интернет (это одна из главных проблем сети) или по экономическим соображениям.

На рис. 10.12 также приведены обозначения основных протоколов TCP/IP, определяющих процедуры взаимодействия различных элементов сети. Рассмотрим более подробно основные протоколы стека TCP/IP на каждом из четырех уровней: прикладном, транспортном, сетевом и уровне доступа – сверху вниз, согласно принятой нумерации уровней.

Прикладной уровень.

Прикладной уровень (иногда его называют *уровнем приложений – application layer*) объединяет службы, предоставляющие телекоммуникационные услуги различным пользовательским приложениям. В основном соответствует прикладному уровню ЭМВОС, но поскольку ниже него сразу располагается транспортный уровень, то считается, что он выполняет также функции уровня представления данных и сеансового уровня (хотя это не совсем верно – прикладным уровнем данные функции, скорее всего, просто игнорируются). Протоколы прикладного уровня ориентированы на конкретные службы. Они определяют как процедуры по организации взаимодействия определенного типа между прикладными процессами, так и форму представления информации при таком взаимодействии.

Основными протоколами прикладного уровня являются:

Telnet (*tele* – далеко, *net* – сеть) – протокол удаленного доступа, обеспечивающий посимвольный (побайтный) обмен информацией (в кодах ASCII – American Standard Code for Information Interchage) между терминалами и внутрисетевыми элементами (узлами, компьютерами-хостами). Передача осуществляется с использованием протокола TCP. По своим функциям Telnet похож на протокол X.28 в сети X.25. Работа с протоколом на компьютере напоминает работу с программой Hyper Terminal в ОС Windows.

FTP (*File Transfer Protocol*) – протокол передачи файлов. Распространен также широко как Telnet. Является одним из старейших протоколов семейства TCP/IP. Так же как Telnet он пользуется транспортными услугами TCP.

TFTP (*trivial FTP*) – простейший протокол передачи файлов. Использует транспортные услуги UDP. Распространен также широко, как Telnet. Является одним из старейших протоколов семейства TCP/IP. Так же как Telnet он пользуется транспортными услугами TCP.

SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*) – простой протокол передачи почты. Поддерживает передачу сообщений (электронной почты) между узлами сети (почтовыми серверами). Имея механизмы промежуточного хранения почты и механизмы повышения надежности доставки, протокол SMTP допускает использование различных транспортных служб. Он может работать даже в сетях, не использующих протоколы семейства TCP/IP.

NFS (*Network File System*) – сетевая файловая система. Использует транспортные услуги UDP и позволяет монтировать в единое целое файловые системы нескольких машин с ОС UNIX. Бездисковые рабочие станции получают доступ к дискам файл-сервера так, как будто это их локальные диски.

SNMP (*Simple Network Management Protocol*) – простой протокол управления сетью. Использует транспортные услуги UDP и предназначен для использования сетевыми управляющими станциями. Он позволяет управляющим станциям собирать информацию о положении дел в сети Internet. Протоколопределяетформат данных, их обработка и интерпретацияостаются на усмотрение управляющих станций или менеджера сети.

X-Window – протокол многооконного отображения графики и текста на растровых дисплеях рабочих станций (соответствует оконному интерфейсу в операционных системах UNIX и LINUX). Использует транспортные услуги TCP.

В 90-е годы появились новые протоколы прикладного уровня, значительно расширившие сферу услуг сетей TCP/IP. Основными из них являются следующие протоколы.

HTTP (*Hyper Text Transport Protocol*) – протокол передачи гипертекстовой информации. Основа формирования всемирной информационной службы (всемирной информационной паутины) – *WWW* (*World Wide Web*). Использует транспортные услуги TCP.

RTP (*Real-time Transport Protocol*) – протокол передачи данных в реальном времени. Разработан для обеспечения передачи аудио- и видеосигналов по сети Интернет с ограниченной допустимой задержкой (*IP-телефония*). Использует транспортные услуги UDP. Тесно связан с еще одним протоколом прикладного уровня – *RTCP* (*Real-time Transport Control Protocol*) – протоколом управления передачей в реальном времени. С помощью данного протокола прикладные программы могут приспосабливаться к изменению нагрузки на сеть. Например, в случае перегрузки, получив сигнал RTCP, алгоритм кодирования речи может увеличить сжатие (снизив качество).

Транспортный уровень.

Транспортный уровень (называемый также *основным* уровнем) обеспечивает обмен сообщениями между прикладными процессами. Идентификация процесса получателя осуществляется по расширенному адресу, состоящему из двух частей: IP-адреса, идентифицирующего оконечное устройство, и номера порта, идентифицирующего прикладной процесс. В данном случае «порт» – это не физический разъем или канальный вход/выход, а условный номер прикладного процесса или службы прикладного уровня.

В основном транспортный уровень стека TCP/IP соответствует транспортному уровню ЭМВОС. Однако в отличие от транспортного уровня ЭМВОС, на котором обеспечивается связь только с установлением соединения, на транспортном уровне стека TCP/IP поддерживаются два режима: с установлением соединения (при использовании протокола TCP) и без установления соединения (при использовании протокола UDP). Рассмотрим протоколы транспортного уровня TCP и UDP подробнее.

TCP (*Transmission Control Protocol*) – протокол управления передачей. Обеспечивает гарантированную доставку сообщений в режиме с установлением соединения. Протокольный блок данных TCP называется *сегментом* (как и в ЭМВОС).

Установление логического соединения позволяет нумеровать сегменты, подтверждать их прием квитанциями, в случае потери организовывать повторные передачи, распознавать и уничтожать дубликаты, доставлять прикладному уровню сегменты в том порядке, в котором они были отправлены. Протокол TCP позволяет объектам одного ранга на компьютере-отправителе и компьютере-получателе поддерживать обмен данными в дуплексном режиме.

С точки зрения способов обеспечения надежной доставки сегментов через всю сеть «из конца в конец» протокол TCP напоминает протокол X.25/2 (LAPB), обеспечивающий надежную доставку кадров на отдельных интервалах (звеньях) сети.

TCP предоставляет полноценную транспортную службу, которая обеспечивает обмен потоками данных. При этом протокол TCP не накладывает ограничений на состав потока, освобождая прикладной процесс от функции структурирования данных. Передача данных по протоколу TCP аналогична их записи в неструктурированный файл.

Целостность потока данных обеспечивается квитированием, при этом для управления потоком данных используется механизм окна. Управление шириной окна позволяет защищать от перегрузок как промежуточные узлы сети, так и буферную память протокола TCP, принимающего данные. Первую задачу решают маршрутизаторы, направляя протоколам оконечных станций требования об уменьшении размера окна. Вторая задача решается непосредственно протоколом TCP, который декларирует

выбранную ширину окна, используя при необходимости и нулевую ширину окна, т. е. запрещая передачу.

Форматы ПБД транспортного и сетевого уровней TCP/IP показаны на рис. 10.14.

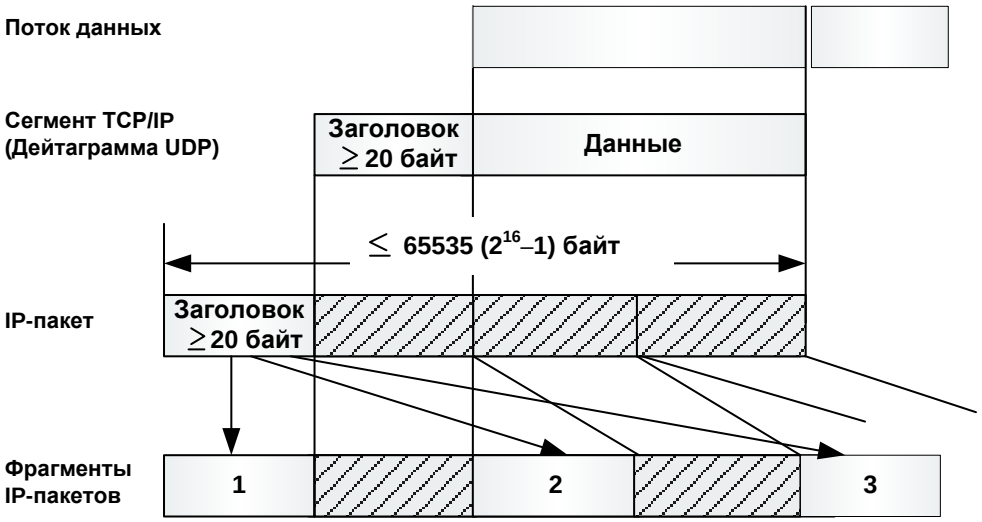


Рис. 10.14. Формат протокольных блоков данных TCP/IP

Сегмент TCP состоит из полей заголовка и данных. Длина информационного поля данных сегмента $W_{СИ}$ может меняться в широких пределах с учетом двух ограничений. Во-первых, каждый сегмент, включая его заголовок и заголовок IP-пакета не должен превышать $65\,535 = 2^{16}$ байт. Во-вторых, в каждой сети есть соответствующая используемым ПБД максимальная единица передачи (MTU – *Maximum Transfer Unit*), в которую должен помещаться сегмент (вместе с заголовком IP-пакета). Впрочем, если сегмент (пакет) проходит через последовательность сетей и попадает в сеть, чья единица MTU оказывается меньше него, то пограничный маршрутизатор фрагментирует его на несколько частей.

Сегменты могут и не содержать поля данных, т. е. $W_{С.И} = 0$, при передаче квитанций и управляющих сообщений.

Формат заголовка сегмента приведен на рис. 10.15.

Поля заголовка *«№ порта отправителя»* и *«№ порта получателя»* (по 16 бит каждое), идентифицируют службы прикладного уровня или прикладные процессы отправителя и получателя.

Поля *«№ последнего переданного байта»* и *«№ первого ожидаемого на приёме байта»* (по 32 бит каждое) используются для управления потоком данных. В отличие от циклической нумерации кадров и пакетов в сетях X.25 (с циклами 8 и 128 ПБД) в данном случае нумеруются не ПБД (сегменты), а байты в сегменте. Причем цикл нумерации составляет 2^{32} байт = 4 Гбайт, т. е. он вполне может использоваться не для относительной нумерации (по кругу), а для абсолютной (например, для последовательной нумерации байт в передаваемых файлах).

Поле *«Длины заголовка»* (4 бита) определяет длину заголовка сегмента TCP, измеренную в 32-битовых блоках (словах, соответствующих типовой адресуемой единице в 32–разрядных компьютерах). Длина заголовка не фиксирована, она зависит от числа бит в поле *«Дополнительная информация»*, которое округляется с помощью пустого поля *«Выравнивание»* в большую сторону до величины кратной 32 битам. Минимальный размер заголовка при отсутствии дополнительной информации $W_{CC} = 20$ байт. Максимальный размер, который можно записать в поле из 4 бит составляет $W_{CC} = 32 \text{ бит} \cdot (2^4 – 1) = 480 \text{ бит} = 60 \text{ байт}$.

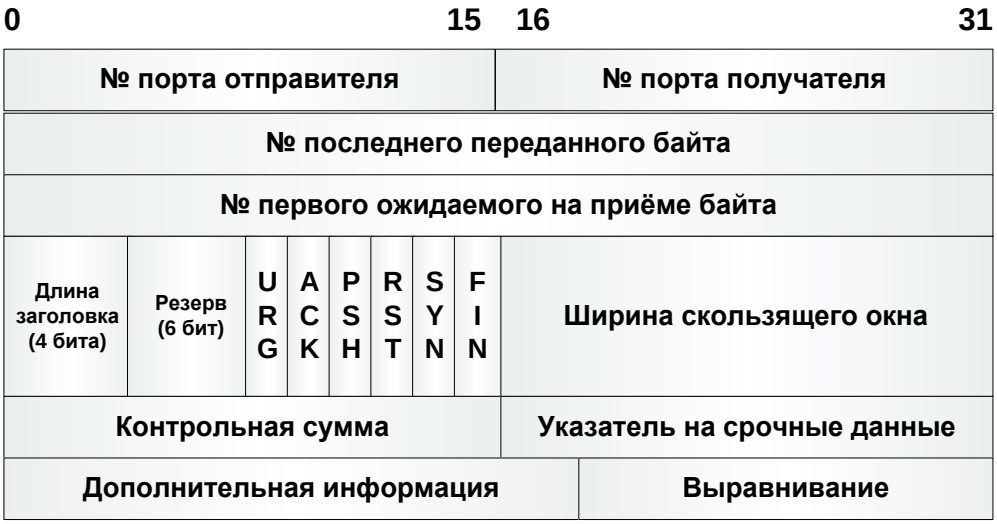


Рис. 10.15. Формат заголовка сегмента TCP

Следующие 6 бит зарезервированы для последующего использования.

Далее следуют 6 служебных бит (1-битных флагов). Активному состоянию служебных бит соответствует значение 1. Флаги используются в качестве следующих признаков (указателей):

URG – указатель наличия срочных данных в сегменте;

ACK – указатель наличия осмысленных данных в поле «*№ первого ожидаемого на приёме байта*», являющихся квитанцией на ранее принятые данные. В противном случае (при ACK = 0) указанное поле игнорируется;

PSH – указатель требования отправителя о том, чтобы получатель доставил данные в сегменте сразу прикладному процессу, а не хранил его в буфере;

RST – указатель запроса на сброс и переустановку соединения (из-за сбоя хоста или другой тупиковой ситуации);

SYN – признак *служебных сегментов* «*Connection Request*» – запрос соединения (при ACK = 1) и «*Connection Accepted*» – согласие на соединение (при ACK = 0);

FIN – признак того, что у отправителя нет больше данных для передачи. Используется для разрыва соединения.

У сегментов с битами FIN и SYN есть порядковые номера, что гарантирует правильный порядок их выполнения.

Поле «*Ширина скользящего окна*» (16 бит) используется для управления потоком данных в виртуальном соединении и сообщает, сколько байт может быть послано после получившего подтверждения байта. Очевидно, количество сегментов для пересылки этих байт зависит от размера информационного поля данных в сегменте. Нулевое значение данного поля является командой на приостановку передачи (что напоминает служебный кадр RNR в протоколе X.25). Командой на продолжение передачи является ненулевое значение данного поля при таком же значении поля ««*№ первого ожидаемого на приёме байта*», как у команды на приостановку передачи (что напоминает служебный кадр RR в протоколе X.25).

Поле «*Контрольная сумма*» (16 бит) содержит проверочную последовательность, позволяющую обнаруживать ошибки в сегменте так же, как в кадрах X.25/2 (CRC) и Frame Relay (FCS). Однако заполняется и проверяется данное поле по-другому, без использования циклического кодирования. Алгоритм вычисления контрольной суммы просто складывает все 16-ричные слова в дополненном до 1 коде, а затем вычисляет дополнение для всей суммы. В результате, когда получатель считает контрольную сумму всего сегмента, включая поле «Контрольная сумма» результат должен быть равен 0.

При вычислении контрольной суммы учитываются не только поля заголовка и данных сегмента, но и часть заголовка IP-пакета, именуемая *псевдозаголовком*. Псевдозаголовок содержит 32-разрядные IP-адреса отправителя и получателя, 8-битный номер протокола для TCP и 16-битную длину пакета с сегментом и еще 8 нулевых бит для округления до трех 32-разрядных слов. Включение псевдозаголовка в контрольную сумму TCP помогает обнаружить неверно доставленные пакеты, хотя это нарушает иерархию протоколов, так как IP-адреса в нем принадлежат IP-уровню, а не TCP-уровню.

Поле «*Указатель на срочные данные*» содержит смещение в байтах от текущего порядкового номера байта до места расположения срочных данных. Поле проверяется в случае, когда флаг URG установлен в 1. Таким образом в протоколе TCP/IP реализуются прерывающие сообщения прикладного уровня.

В поле «*Дополнительная информация*», рассмотренном выше, может использоваться хостами для передачи максимального размера сегмента, который они могут принять. По умолчанию этот размер равен 536 байт, что довольно мало и приводит к неэффективному использованию среды передачи (большой доле заголовков $(W_{ПС} + W_{СС}) / W_{С}$). Максимальный размер буфера 65 535 байт не всегда имеется в наличии у хостов, но и его наличия иногда бывает недостаточно для повышения эффективности в случае больших задержек в сети, так как максимальный размер окна как раз и составляет всего 65 535 байт, что связано с ограниченным размером поля «Ширина скользящего окна» – 16 бит. В рекомендации RFC 1323 был предложен дополнительный параметр «Масштаб окна», о значении которого два хоста могут договориться при установке соединения. Это число позволяет сдвигать поле «Ширина скользящего окна» до 14 разрядов влево (т. е. увеличивать его значение в 2^{14} раз). В итоге размер окна может достигать 2^{30} байт = 1 Гбайт.

Традиционное использование скользящего окна протоколом TCP соответствует реализации процедуры РОС-ПП, используемой в X.25/2 на уровне звена данных. Однако при больших задержках сбои в приеме отдельных сегментов при использовании данной процедуры приходится тратить много времени на повторную передачу правильно принятых сегментов, что снижает не только эффективность использования среды передачи, но заметно увеличивает время передачи сообщений в целом. Для устранения этого недостатка в рекомендации RFC 1106 было предложено использовать процедуру выборочного повтора, аналогичную процедуре РОС-АП, поддерживаемой стандартом HDLC, но не поддерживаемой X.25/2 (LAPB).

В целом протокол TCP поддерживает множество процедур, обеспечивающих эффективное управление TCP-соединением, передачей данных, борьбой с перегрузками, таймерами и т. д. [10, 11].

UDP (*User Datagram Protocol*) – дейтаграммный протокол пользователя. Не обеспечивает гарантированную доставку сообщений, а осуществляет ее «по возможности» («besteffort») без установления соединения. Протокольный блок данных UDP называется *дейтаграммой* (или датаграммой от слова datagram). Таким же словом иногда называют IP-пакеты, поскольку они доставляются на сетевом уровне тоже без установления соединения.

UDP обеспечивает ретрансляцию услуг протокола IP приложениям, т. е. прикладные программы через протокол UDP получают доступ к сетевому уровню, почти без обработки на транспортном уровне. Это позволяет приложениям по своим правилам (алгоритмам, протоколам) обмениваться дейтаграммами, эмулируя при необходимости недостающие протоколу UDP функции транспортного уровня, не пользуясь избыточными функциями TCP. Многие приложения «клиент – сервер» для того, чтобы обменяться одним запросом и ответом, предпочитают не устанавливать соединения, а пользоваться протоколом UDP (см. выше протоколы прикладного уровня, использующие транспортные услуги UDP).

Как и сегмент TCP дейтаграмма UDP состоит из заголовка и блока данных. Длина информационного поля данных дейтаграммы, как и сегмента, может достигать $W_{С.И}$ = 65 535 байт. Заголовок дейтаграммы намного проще, чем заголовок сегмента, и включает всего четыре 16-битных поля (см. рис. 10.16).

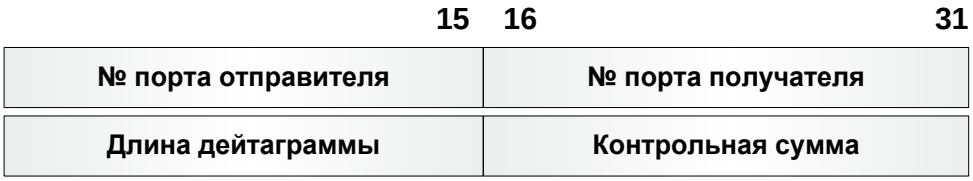


Рис. 10.16. Формат заголовка дейтаграммы UDP

Поля заголовка *«№ порта отправителя»* и *«№ порта получателя»* (по 16 бит каждое), так же как аналогичные поля в заголовке сегмента, идентифицируют службы прикладного уровня или прикладные процессы отправителя и получателя.

Поле «*Длина дейтаграммы*» включает суммарный размер 8-байтового заголовка и поля данных дейтаграммы.

Поле «*Контрольная сумма*» вычисляется и проверяется таким же способом, как и в сегменте TCP, включая аналогичный псевдозаголовок. Контрольная сумма может не вычисляться. Тогда это поле содержит нули.

Протокол UDP самостоятельно не может управлять потоком, следить за порядком следования дейтаграмм и переспрашивать искаженные или потерянные дейтаграммы (хотя обнаруживать искажения может).

Таким образом, основной функцией протокола UDP является мультиплексирование и демультиплексирование (распределение по портам) потока дейтаграмм между приложениями. Кроме этого, использование контрольной суммы позволяет контролировать достоверность данных [12].

Сетевой уровень.

Сетевой уровень (чаще называемый «*межсетевым*» от слова *internet* или «*уровнем межсетевого взаимодействия*») является стержнем всей архитектуры TCP/IP. Именно этот уровень обеспечивает перемещение пакетов от одних оконечных устройств (граничных узлов, хостов) к другим через маршрутизаторы в пределах всей сети.

В основном сетевой уровень стека TCP/IP соответствует сетевому уровню ЭМВОС. Однако в отличие от сетевого уровня ЭМВОС, на котором обеспечивается связь как с установлением соединения, так и без установления соединения, на сетевом уровне стека TCP/IP поддерживается только один дейтаграммный режим – без установления соединения.

При формировании маршрутно-адресных таблиц маршртизаторов может использоваться как статическая, так и динамическая маршрутизация.

Статическая маршрутизация используется в оконечных установках локальных сетей, а также в сетях с ограниченным числом абонентов. Маршрутно-адресные таблицы заполняются администратором вручную на основе контролируемого регулярного трафика на отдельных участках сети.

Динамическая маршрутизация используется в сложных разветвленных сетях с изменяющимся трафиком, в частности, в сети Интернет. Маршрутно-адресные таблицы заполняются автоматически и постоянно корректируются на основе данных, содержащихся в служебных сообщениях, которыми маршрутизаторы обмениваются между собой.

Основным протоколом сетевого уровня является *Internet protocol* (IP) – *межсетевой протокол*, в связи с чем сети TCP\IP часто именуют IP-*сетями*.

Рассмотрим данный протокол более подробно.

Протокол IP.

Протокол IP (Internet protocol) обеспечивает только маршрутизацию и доставку пакетов данных и полностью освобожден от задач обеспечения надежности. Функции транспортного и сетевого уровней четко разделены, чем исключено их дублирование.

Протокол IP реализуется программным обеспечением оконечных устройств пользователей (в т. ч. граничных хостов) и маршрутизаторов и не зависит от характеристик связывающих их WAN и LAN.

Важной особенностью протокола IP, отличающей его от других сетевых протоколов (например, от сетевого протокола IPX), является его *способность выполнять динамическую фрагментацию пакетов* при передаче их между сетями с различными, максимально допустимыми значениями поля данных кадров (пакетов) MTU. Свойство фрагментации во многом способствовало тому, что протокол IP смог занять доминирующие позиции в сложных составных сетях.

Имеется прямая связь между функциональной сложностью протокола и сложностью заголовка пакетов, которые этот протокол использует. Это объясняется тем, что основные служебные данные, на основании которых протокол выполняет то или иное действие, переносятся между двумя модулями, реализующими этот протокол на разных сетевых устройствах, именно в полях заголовков пакетов. Поэтому очень полезно изучить назначение каждого поля заголовка IP-пакета, и это изучение дает не только формальные знания о структуре пакета, но и объясняет все основные режимы работы протокола по обработке и передаче IP-дейтаграмм.

Формат заголовка пакета IP показан на рис. 10.17.

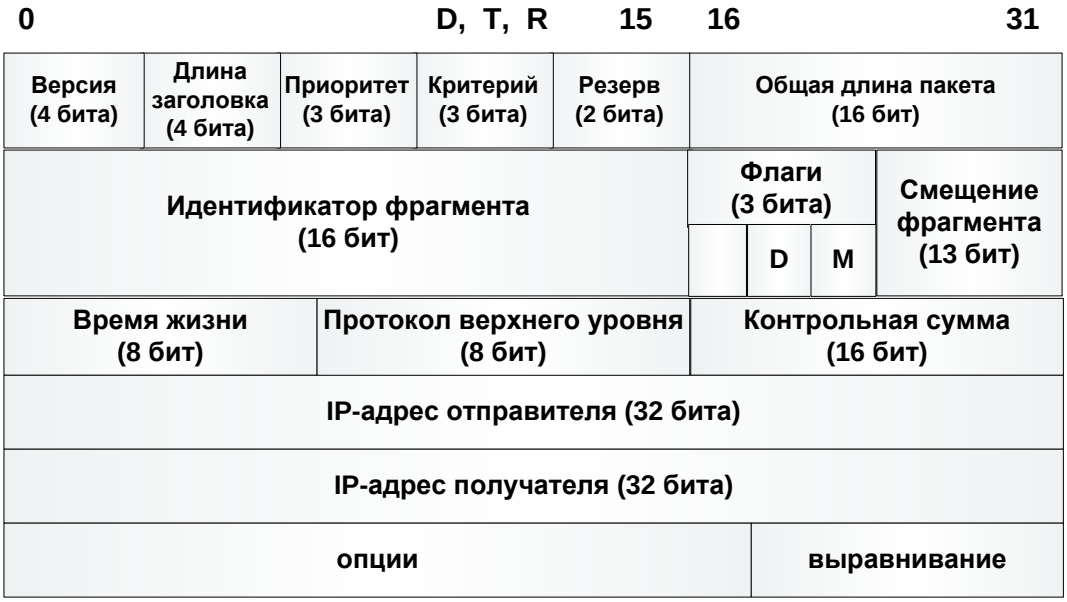


Рис. 10.17. Формат заголовка пакета IP

Поле «*Номер версии*» (*Version*) длиной 4 бита указывает версию протокола IP. Сейчас повсеместно используется версия 4 (IPv4) и готовится переход на версию 6 (IPv6).

Поле «*Длина заголовка*» (IHL) длиной 4 бита указывает значение длины заголовка, измеренное в 32-битовых словах. Минимальная (обычная) длина заголовка $W_{\text{П.С.}} = 20$ байт (пять 32-битовых слов). При увеличении объема служебной информации эта длина может быть увеличена за счет использования дополнительных байт в поле «Опции» (Options). Наибольший заголовок занимает 60 октетов.

Поле «*Приоритет*» (*Precedence*) длиной 3 бита задает приоритетность пакета. Приоритет может иметь значения от самого низкого – 0 (нормальный пакет) до самого высокого – 7 (пакет управляющей информации). Маршрутизаторы и компьютеры могут принимать во внимание приоритет пакета и обрабатывать более важные пакеты в первую очередь.

Поле «*Критерий*» длиной 3 бита задает критерий выбора маршрута. Реально выбор осуществляется между тремя альтернативами, каждой из которых соответствует свой 1-битный флаг: малой задержкой – бит D (delay), высокой достоверностью – бит T (true) и высокой пропускной способностью – бит R (rate).

Поля «Приоритет» и «Критерий» вместе с полем «Резерв» (из 2-х бит) часто объединяют в одно поле, называемое «*Тип сервиса*» (Type of Service) длиной один байт.

Поле «*Общая длина пакета*» (*Total Length of Packets*) длиной 2 байта означает общую длину пакета с учетом заголовка и поля данных. Максимальная длина пакета ограничена разрядностью поля, определяющего эту величину, и составляет 65 535 байт, однако в большинстве хост-компьютеров и сетей столь большие пакеты не используются. При передаче по сетям различного типа длина пакета выбирается с учетом максимальной длины пакетов (кадров), переносящих IP-пакеты (фрагменты IP-пакетов). В стандарте предусматривается, что все хосты должны быть готовы принимать пакеты (фрагменты пакетов) вплоть до 576 байт длиной.

Поле «*Идентификатор фрагмента*» (*Identification*) длиной 2 байта используется для распознавания пакетов, образовавшихся путем фрагментации исходного пакета. Все фрагменты одного пакета должны иметь одинаковое значение этого поля.

Поле «*Флаги*» (*Flags*) длиной 3 бита содержит признаки, связанные с фрагментацией. Установленный бит D (*Donot Fragment*) запрещает маршрутизатору фрагментировать данный пакет, а установленный бит M (*More Fragments*) говорит о том, что данный пакет является промежуточным (не последним) фрагментом. Еще один бит поля зарезервирован.

Поле «*Смещение фрагмента*» (*Fragment Offset*) длиной 13 бит задает смещение в блоках по 8 байт поля данных этого фрагмента от начала общего поля данных исходного пакета, подвергнутого фрагментации.

Поле «*Время жизни*» (*Time to Live*) занимает один байт и означает предельный срок, в течение которого пакет может перемещаться по сети. Время жизни данного пакета измеряется в секундах и задается источником передачи. На маршрутизаторах и в других узлах сети по истечении каждой секунды из текущего времени жизни вычитается единица; единица вычитается и в том случае, когда время задержки меньше секунды. Поскольку современные маршрутизаторы редко обрабатывают пакет дольше, чем за одну секунду, то время жизни можно считать равным максимальному числу узлов, которые разрешено пройти данному пакету до того, как он достигнет места назначения. Если параметр времени жизни станет нулевым до того, как пакет достигнет получателя, этот пакет будет уничтожен.

Поле «*Протокол верхнего уровня*» (Protocol) занимает один байт и указывает, какому протоколу верхнего уровня (или своего же – сетевого) принадлежит информация, размещенная в поле данных пакета (например, это могут быть сегменты протокола TCP, дейтаграммы UDP, пакеты ICMP или OSPF).

Поле «*Контрольная сумма*» (*Header Checksum*) длиной 2 байта рассчитывается только по заголовку пакета. Поскольку некоторые поля заголовка меняют свое значение в процессе передачи пакета по сети (например, время жизни), контрольная сумма проверяется и повторно рассчитывается при каждой обработке IP-заголовка. Контрольная сумма подсчитывается как дополнение к сумме всех 16-битовых слов заголовка. При вычислении контрольной суммы значение самого поля «контрольная сумма» устанавливается в нуль. Если контрольная сумма неверна, то пакет будет отброшен, как только ошибка будет обнаружена.

Поля «*IP-адрес отправителя*» (*Source IP Address*) и «*IP-адрес получателя*» (*Destination IP Address*) длиной по 32 бита задают адресную информацию, необходимую для маршрутизации пакетов .

Поле «*Опции*» (*IP Options*) длиной до 40 байт является необязательным и используется обычно только при отладке сети. Это поле состоит из нескольких подполей, каждое из которых может быть одним из восьми предопределенных типов. В этих подполях можно указывать точный маршрут прохождения маршрутизаторов, регистрировать проходимые пакетом маршрутизаторы, помещать данные системы безопасности, а также временные отметки.

Поле «*Выравнивание*» (*Padding*) используется для дополнения поля «Опции» (нулями) до величины, кратной 32 бит.

Важной характеристикой сетевого уровня TCP/IP и IP-протокола является адресация в сети, существенно отличающаяся от адресации в других глобальных сетях.

Адресация в IP-сетях.

В стеке TCP/IP используются три типа адресов:
физический (MAC-*адрес*);
сетевой (IP-*адрес*);
символьный (DNS-*имя*).

В терминологии TCP/IP под *физическим* (именуемым также *локальным* или *аппаратным*) адресом понимается такой тип адреса, который используется средствами базовой технологии для доставки данных в пределах подсети, являющейся элементом составной интерсети. В разных подсетях допустимы разные сетевые технологии, разные стеки протоколов, поэтому при создании стека TCP/IP предполагалось наличие разных типов локальных адресов. Если подсетью интерсети является локальная сеть, то локальный адрес – это 6-байтовый MAC-*адрес*. Однако протокол IP может работать и над протоколами более высокого уровня, например над протоколом IPX или X.25. В этом случае локальными адресами для протокола IP соответственно будут адреса IPX и X.25.

IP-*адреса* представляют собой основной тип адресов, на основании которых сетевой уровень передает пакеты между сетями, размещая их в 4-байтовых полях заголовка пакета (фрагмента) «IP-адрес отправителя» и «IP-адрес получателя». Принято записывать данные адреса в виде 4-х восьмеричных чисел (принимающих значения от 0 до 255), разделяемых точками: $N_1.N_2.N_3.N_4$, например, 192.68.0.1. IP-адрес назначается администратором во время конфигурирования компьютеров и маршрутизаторов. IP-адрес состоит из двух частей: *номера сети* и *номера узла*. Номер сети может быть выбран администратором произвольно, либо назначен по рекомендации специального подразделения Internet – Inter NIC (*Internet Network Information Center*), если сеть должна работать как составная часть Internet.

Номер узла в протоколе IP назначается независимо от локального адреса узла. Для преобразования IP-адреса в локальный адрес и обратно используются протоколы ARP и RARP. Каждый порт маршрутизатора имеет собственный IP-адрес. Если конечный узел входит в несколько IP-сетей, то он должен иметь несколько IP-адресов, по числу сетевых связей. Таким образом, IP-адрес характеризует не отдельный компьютер или маршрутизатор, а *одно сетевое соединение*.

Существуют 5 классов IP-адресов (A, B, C, D, E), отличающиеся количеством бит в номере сети и номере узла. Класс адреса определяется значением нескольких первых бит первого октета (см. табл. 10.1).

Адреса класса A предназначены для использования в больших сетях общего пользования. Они допускают большое количество номеров узлов.

Адреса класса B используются в сетях среднего размера, например, сетях университетов и крупных компаний.

Таблица 10.1

Классы IP-адресов

Класс	Начальные биты адреса (признак класса)	Диапазон значений первого октета	Возможное количество сетей	Возможное количество узлов
A	0	1–126	126	16 777 214
B	10	128–191	16 382	65 534
C	110	192–223	2 097 150	254
D	1110	224–239	–	2^{28}
E	11110	240–247	–	2^{27}

Адреса класса C используются в сетях с небольшим числом компьютеров.

Адреса класса D используются при обращениях к группам объектов адресования, а адреса класса E зарезервированы на будущее.

В протоколе IP существует несколько соглашений об особой интерпретации IP-адресов.

1. Если весь IP-адрес состоит только из двоичных нулей, то он обозначает адрес того узла, который сгенерировал этот пакет. Этот режим используется только в некоторых сообщениях ICMP.

2. Если в поле номера сети стоят только нули, то по умолчанию считается, что узел назначения принадлежит той же самой сети, что и узел, который отправил пакет.

3. Если все двоичные разряды IP-адреса равны 1, то пакет с таким адресом назначения должен рассылаться всем узлам, находящимся в той же сети, что и источник этого пакета. Такая рассылка называется ограниченным широковещательным сообщением (*limited broadcast*).

4. Если в поле номера узла назначения стоят только единицы, то пакет, имеющий такой адрес, рассылается всем узлам сети с заданным номером сети. Например, пакет с адресом 192.68.10.255 доставляется всем узлам сети 192.68.10.0. Такая рассылка называется широковещательным сообщением (*broadcast*).

С описанными классами IP-адресов связана *проблема нехватки адресов* из-за несоответствия размеров сетей (согласно классам) размерам реальных сетей. Сети класса A громадны, а класса C очень малы, свободных сетей класса B больше нет. Существуют несколько способов решения данной проблемы:

разделение сетей на подсети путем, так называемого, «маскирования» общей части адреса;

введение адресации, основанной на префиксах, разделяющих 32-битный адрес не на две части (номер сети и номер узла), а на большее количество частей, отражающих иерархическую вложенность подсетей, наподобие адресов ТФОП. Данный способ именуют технологией *бесклассовой междоменной маршрутизации* CIDR *(Classless Inter-Domain Routing)*;

использование трансляции адресов NAT (*NetworkAddressTranslator*). Узлам внутренней сети адреса назначаются так, как будто эта сеть работает автономно. Маршрутизатор, связывающий данную сеть с внешней сетью имеет некоторое количество внешних «нормальных» IP-адресов, которые при обращении к ним извне преобразуются (транслируются) во внутренние IP-адреса;

переход к новой 6-й версии протокола IP с размером адреса 128 байт.

Близким к третьему способу является способ, основанный на использовании протокола автоматического динамического назначения адресов DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), который часто используется для идентификации компьютеров

пользователей, работающих в сети не постоянно, а сеансами в разное время и из разных мест подключения к сети, в том числе через ТФОП.

Символьные имена. Символьные имена в IP-сетях называются *доменными* и строятся по иерархическому признаку. Составляющие полного символьного имени в IP-сетях разделяются точкой и перечисляются в следующем порядке: сначала простое имя конечного узла, затем имя группы узлов (например, имя организации), затем имя более крупной группы (поддомена) и так до имени домена самого высокого уровня, объединяющего организации:

по *географическому* принципу (например, ru – Россия, ua – Украина, uk – Великобритания, us – США);

по *организационному* принципу (edu – образовательные заведения, com – коммерческие организации, net – сетевые организации, gov – государственные организации, mil – военные организации).

Пример символьного имени: cityline.spb.ru.

Между доменным именем и IP-адресом узла нет никакого алгоритмического соответствия, поэтому необходимо использовать какие-то дополнительные таблицы или службы, чтобы узел сети однозначно определялся как по доменному имени, так и по IP-адресу. В сетях TCP/IP используется специальная распределенная *служба доменных имен* DNS (*Domain Name System*), которая устанавливает это соответствие на основании создаваемых администраторами сети таблиц соответствия. Поэтому доменные имена называют также DNS-*именами*.

Символьные DNS-имена при использовании протокола HTTP (например, при обращении к службе WWW в Интернет) часто сочетаются с полным адресом информационных ресурсов, именуемым URL (*User Resource Locator*) – локатор ресурсов пользователя.

Дополнительные протоколы сетевого уровня.

Наряду с протоколом IP к сетевому уровню стека TCP/IP принято относить также ряд вспомогательных служебных протоколов, дополняющих протокол IP множеством вспомогательных функций, в значительной степени определяющих облик современных IP-сетей и их возможности предоставления разнообразных сетевых услуг. В целом данные протоколы можно поделить на три группы:

сигнализации (ICMP);

адресования и маршрутизации (ARP, RARP, IGMP, BGP, RIP, IGRP, OSPF и др.);

обеспечения качества (RSVP, IntServ, DiffServ, MPLS и др.).

ICMP (*Internet Control Message Protocol*) – *протокол обмена управляющими сообщениями*. Позволяет маршрутизатору сообщить конечному узлу об ошибках, с которыми машрутизатор столкнулся при передаче какого-либо IP-пакета от данного конечного узла.

Сообщения протокола ICMP передаются по сети внутри пакета IP. Пакеты IP с сообщениями ICMP маршрутизируются точно так же, как и любые другие пакеты, без приоритетов, поэтому они также могут теряться. Кроме того, в загруженной сети они могут вызывать дополнительную загрузку маршрутизаторов.

Управляющие сообщения ICMP не могут направляться промежуточному маршрутизатору, который участвовал в передаче пакета, с которым возникли проблемы, так как пакет несет в себе только адрес источника и адрес назначения, не фиксируя адреса промежуточных маршрутизаторов.

Протокол ICMP – это протокол сообщения об ошибках, а не протокол коррекции ошибок. Конечный узел может предпринять некоторые действия для того, чтобы ошибка больше не возникала, но эти действия протоколом ICMP не регламентируются.

Протокол ICMP предоставляет сетевым администраторам средства для тестирования достижимости узлов сети. Во многих операционных системах используется утилита

(системная программа) *ping* (эхо-протокол), которая предназначена для тестирования достижимости узлов сети с помощью протокола ICMP.

Кроме того, маршрутизаторы могут использовать сообщения протокола ICMP для корректировки маршрутно-адресных таблиц в оконечных устройствах (компьютерах), которые всегда являются статическими и требуют согласования с изменяющимися (динамически) маршрутно-адресными таблицами маршрутизаторов.

ARP (*Address Resolution Protocol*) – *протокол разрешения адреса*. Используется для преобразования IP-адреса в локальный адрес.

RARP (*Reverse Address Resolution Protocol*) – *реверсивный ARP протокол*. Используется для преобразования локального адреса в IP-адрес.

IGMP (*Internet Group Management Protocol*) – *межсетевой протокол управления группами*. Используется для динамической регистрации отдельных хостов в многоадресной группе. Групповая IP-адресация позволяет уменьшать трафик за счет доставки одного потока информации сразу многим адресатам.

BGP (*Border Gateway Protocol*) – *пограничный межсетевой протокол*. Выполняет функции протокола маршрутизации между автономными системами. Является развитием протокола EGP (*Exterior Gateway Protocol*) – протокола внешних шлюзов. Может использоваться также внутри автономных систем в роли протокола внутренних шлюзов IGP (*Interior Gateway Protocol*), к которым также относятся протоколы RIP и IGRP. Имеет большой перечень опций, влияющих на выбор предпочтительных маршрутов.

RIP (*Routing Information Protocol*) – *протокол маршрутной информации*. Протокол маршрутизации по *вектору расстояния*. Основан на подсчете числа промежуточных ретрансляций в маршрутизаторах и не учитывает реальную пропускную способность каналов передачи данных между маршрутизаторами. Требует обмена между соседними маршрутизаторами сообщений об обновлении маршрутно-адресных таблиц. Самый старый протокол маршрутизации, постоянно критикуемый, но широко используемый в разных версиях.

IGRP (*Interior Gateway Routing Protocol*) – *протокол маршрутизации внутренних шлюзов*. Является развитием протокола RIP. Использует составную метрику, вычисляемую на основе взвешенных математических значений задержки, скорости передачи, надежности и загрузки. Допускает многотрактовую маршрутизацию (с резервированием).

OSPF (*Open Shortest Path Firs*) – *открытый протокол предпочтительного выбора кратчайшего пути*. Протокол маршрутизации по *состоянию канала*. Основан на алгоритме Дейкстры (Dijrstra) поиска кратчайших путей. Оптимизация маршрутов осуществляется обычно на основе измерения времени задержки пакетов. Требует отправки маршрутизаторами сообщений о состоянии прилегающих каналов всем остальным маршрутизаторам сети или ее части.

RSVP (*Resourcere Ser Vation Protocol*) – *протокол резервирования ресурсов*. Позволяет Internet-приложениям обеспечивать различное качество обслуживания QoS (*Quality of Service*) для разных потоков данных. Особенностью RSVP является то, что запросы на резервирование ресурсов (скорости передачи или, иначе, *полосы пропускания*) отправляются от получателей данных к отправителям, а не наоборот. Пока не все маршрутизаторы способны правильно обрабатывать сообщения RSVP. Альтернативой этому способу является алгоритм управления потоками на основе системы приоритетов, однако в существующей 4-й версии IP этот механизм развит не достаточно.

IntServ (*Integrated Service*) – протоколы рабочей группы IETF по интегрированному обслуживанию. Предполагают сигнализацию из конца в конец на основе RSVP. Определяют три класса обслуживания:

по мере возможности;

с контролируемой загруженностью;

с гарантированным обслуживанием.

DiffServ (*Differentiated Services*) – протоколы рабочей группы IETF по дифференцированному обслуживанию. Предлагают более простой по сравнению с RSVP и IntServ и масштабируемый метод обеспечения QoS для приложений реального времени. Основан на переопределении 8-битного поля в заголовке IP «Тип сервиса» в поле «Дифференцированное обслуживание». Классифицирует и объединяет однотипные потоки. Требует модернизации микропрограммного обеспечения маршрутизаторов.

MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) – многопротокольная коммутация меток. Благодаря данному протоколу сетевые устройства определяют маршруты на основании требований приложений к QoS и реальной пропускной способности промежуточных сетей на 2-м уровне ЭМВОС (относительно сетевого уровня TCP/IP). Является конкурентом DiffServ. Добавляет к пакетам IP при входе в сеть (и удаляет при выходе из сети) 32-разрядные метки для информирования коммутаторов и маршрутизаторов о природе трафика. Привносит в дейтаграммные пакетные сети элементы виртуальных каналов с установлением соединений.

Приведенные выше протоколы обеспечения качества являются элементами целой системы стандартов построения мультисервисных сетей с коммутацией пакетов, способных предоставлять комплекс мультимедийных услуг по передаче данных, речевой, видео и графической информации. Ряд организаций и разработанных ими стандартов в области мультимедиа услуг приведен в табл. 10.2.

*Уровень доступа (сетевых интерфейсов).*Самый нижний уровень стека TCP/IP соответствует уровню звена данных ЭМВОС (часто к нему относят и физический уровень, но непосредственно с физической средой уровень доступа не связан). Этот уровень в протоколах TCP/IP не регламентируется, но поддерживает все популярные стандарты уровня звена данных: для локальных сетей это Ethernet, TokenRing, FDDI, FastEthernet, 100VG-AnyLAN, для глобальных сетей – протоколы соединений «точка-точка» SLIP и PPP, протоколы глобальных сетей с коммутацией пакетов X.25, framerelay. Разработана также специальная спецификация, определяющая использование технологии ATM в качестве транспорта IP-пакетов. Обычно при появлении новой технологии локальных или глобальных сетей она быстро включается в стек TCP/IP за счет разработки соответствующего RFC, определяющего метод инкапсуляции пакетов IP в ее кадры.

Уровень доступа к сетям (к среде передачи) формирует кадры (фрагменты пакетов), имеющие формат, структура которого определяется характеристиками используемых сетей передачи данных или выделенных каналов. Основное назначение уровня доступа к сетям (сетевого интерфейса) – обеспечение независимости функционирования протоколов TCP/IP от среды передачи.

При использовании выделенных (или коммутируемых) цифровых каналов для соединения маршрутизаторов между собой и с оконечными устройствами применяются вспомогательные протоколы пакетной передачи данных типа «точка-точка», в ПБД которых можно инкапсулировать IP-пакеты. Наиболее популярным протоколом такого типа является протокол PPP.

PPP (*Point-to-PointProtocol*) – протокол «точка-точка». Этот протокол разработан группой IETF как часть стека TCP/IP для передачи кадров информации по последовательным глобальным каналам связи взамен устаревшего протокола SLIP (SerialLine IP). При разработке протокола PPPза основу был взят формат кадров HDLC и дополнен собственными полями. Поля протокола PPP вложены в поле данных кадра HDLC. Позже были разработаны стандарты, использующие вложение кадра PPP в кадры framerelay и других протоколов глобальных сетей.

Основное отличие PPP от других протоколов уровня звена данных состоит в том, что он добивается согласованной работы различных устройств с помощью переговорной процедуры, во время которой передаются различные параметры, такие как качество

Таблица 10.2

Организации, участвующие в стандартизации протоколов обеспечения мультимедиа услуг

Организация стандартизации	URL	Протоколы	Назначение стандартов/протоколов
International Telecommunication Union (ITU)	www.itu.int	T.120	Конференция по передаче данных в реальном времени (аудиографика)
		H.320	Видеоконференция ISDN
		H.323	Видео (аудиовизуальная) связь в локальных сетях
		H.324	Видео- и аудиосвязь через низкоскоростной канал передачи данных, например, через коммутируемое модемное соединение
European Telecommunication Standard Institute (ETSI)	www.etsi.org	OSP	Протокол открытого взаимодействия, обеспечивает передачу IP трафика на основе языка XML. Входит в проект TIPHON (Telecommunication and Harmonization over Network)
Internet Engineering Task Force (IETF)	www.ietf.org	SIP	Протокол инициализации сеансов связи для шлюзов VoIP и оконечного оборудования
		RSVP	Протокол резервирования ресурсов, обеспечивает приоритезацию пакетного трафика
		RTP	Протокол реального времени, обеспечивает передачу аудио- и видео- в реальном времени
		MGCP	Протокол управления медиа-шлюзом, определяет, как производится управление пакетами данных от различных служб (например, голоса и видео)
		LDAP	Упрощенный протокол доступа к каталогам, обеспечивает универсальную адресацию баз данных в сетях

линии, протокол аутентификации и инкапсулируемые протоколы сетевого уровня. Переговорная процедура происходит во время установления соединения.

Протокол PPP основан на четырех принципах: переговорное принятие параметров соединения, многопротокольная поддержка, расширяемость протокола, независимость от глобальных служб.

Одним из важных параметров PPP-соединения является режим аутентификации. Для целей аутентификации PPP предлагает по умолчанию протокол PAP (Password Authentication Protocol), передающий пароль по линии связи в открытом виде, или протокол CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol), не передающий пароль по линии связи и поэтому обеспечивающий большую безопасность сети.

Многопротокольная поддержка – способность протокола PPP поддерживать несколько протоколов сетевого уровня – обусловила распространение PPP как стандарта

де-факто. В отличие от протокола SLIP, который может переносить только IP-пакеты, или LAPB, который может переносить только пакеты X.25, PPP работает со многими протоколами сетевого уровня, включая IP, Novell IPX, Apple Talk, DECnet, XNS, Banyan VINES и OSI, а также протоколами уровня звена данных LAN.

Хотя протокол PPP и работает с кадром HDLC, но в нем отсутствуют процедуры контроля кадров и управления потоком протокола HDLC. Поэтому в PPP используется только один тип кадра HDLC – ненумерованный информационный. В поле управления такого кадра всегда содержится величина 03. Для исправления очень редких ошибок, возникающих в канале, необходимы протоколы верхних уровней – TCP, SPX, NetBUEl, NCP и т. п.

Одной из возможностей протокола PPP является использование нескольких физических линий для образования одного логического канала, так называемый транкинг-каналов. Эту возможность реализует дополнительный протокол, который носит название MLPPP (Multi Link PPP).

На основании описанных выше внутренних функциональных характеристик сети TCP/IP можно оценить ее основные внешние функциональные характеристики своевременности, достоверности и эффективности использования пропускной способности среды передачи. При этом, конечно, реально можно учесть лишь отдельные характеристики основных и вспомогательных протоколов TCP/IP, так как они отличаются огромным многообразием и обилием всевозможных параметров.

10.4. Технология коммутации имультиплексирования ячеек в асинхронном режиме передачи (ATM)

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) – а*синхронный режим передачи*. Представляет собой метод коммутации, мультиплексирования и передачи, являющийся разновидностью коммутации пакетов постоянной длины (53 байта), именуемых ячейками. Разрабатывался как наиболее перспективная технология построения высокоскоростных (широкополосных) ЦСИС. В рамках данной технологии в полной мере реализованы возможности максимально эффективного использования полосы пропускания каналов связи при передаче информации различной природы. ATM имеет трехуровневую архитектуру (физический уровень, уровень коммутации и уровень адаптации). Малая фиксированная длина ячеек и высокая скорость передачи (как правило, не менее 155 Мбит/с) обеспечивают малое время задержки передачи ячеек. Недостатки: высокая сложность (стоимость) и необходимость использования высококачественных каналов связи (с вероятностью ошибки 10^{-9}–10^{-12}).

Первоначально ATM задумывалась как единая универсальная технология связи, которая позволила бы избавиться от всего огромного разнообразия протоколов и технологий, использующихся для передачи той или иной информации. Считалось, что это нововведение будет одинаково хорошо подходить ко всем типам форм и приложений – как для использования в магистральной сети, так и, например, для доставки информации непосредственно до рабочего места. Идея, в принципе, была чрезвычайно хорошая, и многие сети, которые впоследствии были построены в разных странах мира, полностью основывались на ATM-технологии – начиная от рабочего места и заканчивая магистральными линиями связи. Такие сети обеспечивают высочайшие показатели производительности, надежности и универсальности.

Технология ATM предназначалась для построения перспективных широкополосных сетей интегрального обслуживания (Ш.ЦСИО) или B.ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network).

Первая концепция построения Ш-ЦСИО была представлена в рекомендации МККТТ I.121 (Красная книга, 1984 г.). В 1988–1990 гг. данная концепция была существенно

развита при поддержке ANSI (*American National Standards Institute*). Именно тогда были определены базовые механизмы асинхронного режима передачи (ATM) как транспортного механизма для широкополосной сети B-ISDN. В дальнейшем технология ATM приобрела самостоятельный статус и стала часто рассматриваться как аналог Ш-ЦСИО.

В 1991 г. была образована ассоциация ATM Forum, которая в настоящее время объединяет несколько сотен компаний. Ее главной задачей является ускорение разработок и внедрение продуктов ATM. Впоследствии ATM Forum приспособил и расширил стандарты B-ISDN для использования как в общедоступных, так и в частных (в т.ч. локальных) сетях. В частности, для использования ATM в локальных сетях были разработаны технологии LANE (*LAN Emulation*) – эмуляция локальной сети (обеспечивает возможность связывать локальные сети по магистрали ATM) и MPOA (*Multi Protocol Over ATM*) – многопротокольная маршрутизация по ATM (позволяет осуществлять маршрутизацию протоколов из традиционных локальных сетей по магистрали ATM).

ATM – очень гибкая технология, она позволяет передавать по сети различные типы трафика – голос, видео, данные, обеспечивая при этом достаточную пропускную способность для каждого из них и гарантируя своевременную доставку восприимчивой к задержкам информации при эффективном использовании дорогостоящих каналов связи. Например, для передачи видеосигнала допустима небольшая потеря информации, но недопустимы большие случайные задержки, в то время как для передачи файлов ситуация противоположная.

Технология ATM совмещает в себе подходы двух технологий – коммутации пакетов и коммутации каналов. От первой она взяла на вооружение передачу данных в виде адресуемых пакетов, а от второй – использование пакетов небольшого фиксированного размера, в результате чего задержки в сети становятся более предсказуемыми. С помощью техники *виртуальных каналов*, предварительного *заказа параметров качества* обслуживания канала и приоритетного обслуживания виртуальных каналовс разным качеством обслуживания удается добиться передачи в одной сети разных типов трафика без дискриминации [9].

Архитектура сети ATM охватывает функции четырех нижних уровней ЭМВОС, но делит их между своими тремя уровнями (рис. 10.18), перечисленными далее сверху вниз:

уровень адаптации ATM (AAL);
уровень ATM (ATM);
физический уровень (PHI).

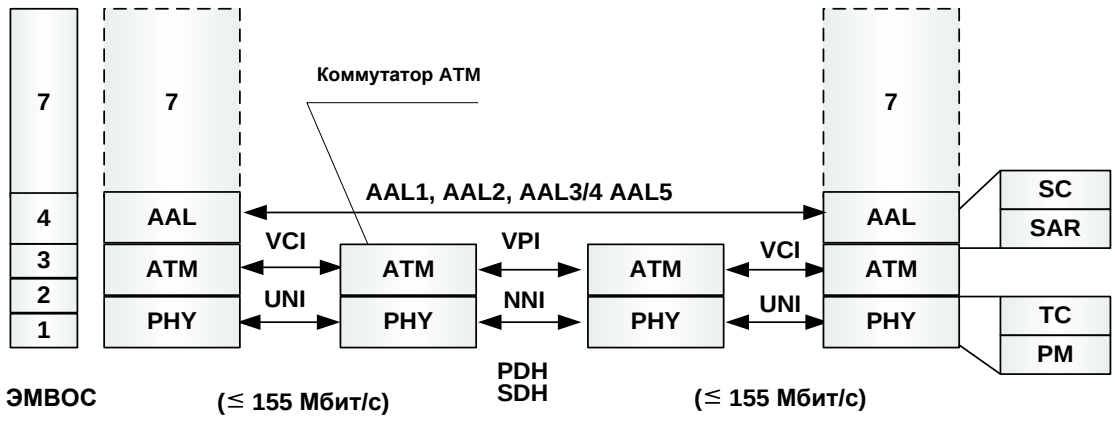


Рис. 10.18. Стек протоколов ATM

Рассмотрим основные характеристики стандартов (протоколов) ATM на каждом из уровней, начиная с нижнего.

Физический уровень (PHY).

В ATM, как и в ЭМВОС, стандарты для физического уровня устанавливают, каким образом отдельные биты должны проходить через среду передачи. Стандарты ATM для физического уровня также определяют, как из последовательности бит выделять границы ячеек (согласно ЭМВОС подобные функции выполняются на уровне звена данных).

Основной стандарт ATM не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня, а основывается на технологии SDH/SONET, принимая ее иерархию скоростей. В соответствии с этим начальная скорость доступа пользователя сети – это скорость STM-1/OC-3 (155 Мбит/с). Организация ATM Forum определила для ATM не все иерархии скоростей SDH, а только скорости STM-1/OC-3 (155 Мбит/с) и STM-3/OC-12 (622 Мбит/с). На скорости 155 Мбит/с можно использовать не только волоконно-оптический кабель, но и неэкранированную витую пару (UTP) категории 5, а также РРЛ и беспроводные оптические каналы. На скорости 22 Мбит/с допустим только волоконно-оптический кабель, причем как одномодовый, так и многомодовый.

Первоначально считалось, что использовать ATM на более низких скоростях нерационально. Однако отсутствие спроса на дорогие высокоскоростные каналы побудило разработчиков ввести в сети ATM и другие физические интерфейсы, отличные от SDH/ SONET.

В частности, были введены интерфейсы T1/E1 (1,5/2 Мбит/с) и T3/E3 (45/34 Мбит/с), распространенные в глобальных сетях, и интерфейсы локальных сетей – интерфейс с кодировкой 4B/5B со скоростью 100 Мбит/с (FDDI) и интерфейс со скоростью 25 Мбит/с, предложенный компанией IBM и утвержденный ATM Forum. Кроме того, для скорости 155,52 Мбит/с определен так называемый «cell-based» физический уровень, то есть уровень, основанный на ячейках, а не на кадрах SDH/SONET. Этот вариант физического уровня не использует кадры SDH/SONET, а отправляет по каналу связи непосредственно ячейки формата ATM, что сокращает накладные расходы на служебные данные, но несколько усложняет задачу кадровой синхронизации приемника с передатчиком.

Для беспроводной связи, в том числе спутниковой, существуют разработки так называемых сетей радио-ATM, работающих на скоростях до 10 Мбит/с и более.

Хотя ATM (как и все другие технологии пакетной коммутации и передачи) – это технология «асинхронной» передачи, но в качестве транспортной среды, как правило, все же используются синхронные (SDH/SONET) или плезиохронные (PDH) цифровые потоки. При этом специфика «асинхронности» проявляется в том, что ATM не требует цикловой системы синхронизации для выделения отдельных логических каналов (соединений), поскольку эту функцию выполняет механизм самовыделения ячеек на физическом уровне по метке.

Для выделения границ ячеек могут использоваться и другие методы (например, циклический отсчет ячеек по 53 байта в сочетании с использованием специальных служебных ячеек для заполнения пауз или использование указателей в синхронном транспортном модуле SDH). Принадлежность выделенных ячеек тому или иному соединению определяется на уровне ATM по специальному адресному признаку в заголовке ячейки (логическому идентификатору VPI и VCI). Таким образом, несколько соединений могут быть уплотнены в одном мультиплексном звене.

Уровень ATM.

Стандарты для уровня ATM регламентируют выполнение следующих основных функций:

функций передачи информационных сигналов в виде ячеек определенного формата;

функций управления трафиком (очередностью, скоростью, задержками и отбрасыванием ячеек);

функций установления соединений и маршрутизации.

Функции передачи информационных сигналов и управления трафиком подобны функциям уровня звена данных ЭМВОС, а функции установления соединений и маршрутизации ближе всего к функциям, которые определены стандартами ЭМВОС для сетевого уровня.

Важной отличительной особенностью стандартов для уровня ATM является регламентация процедур, обеспечивающих установление соединений с таким качеством сервиса QoS, которое запрашивают оконечные ATM-устройства или конечные станции коммутации.

Ячейка ATM имеет длину 53 байта и содержит два основных поля (рис. 10.19):

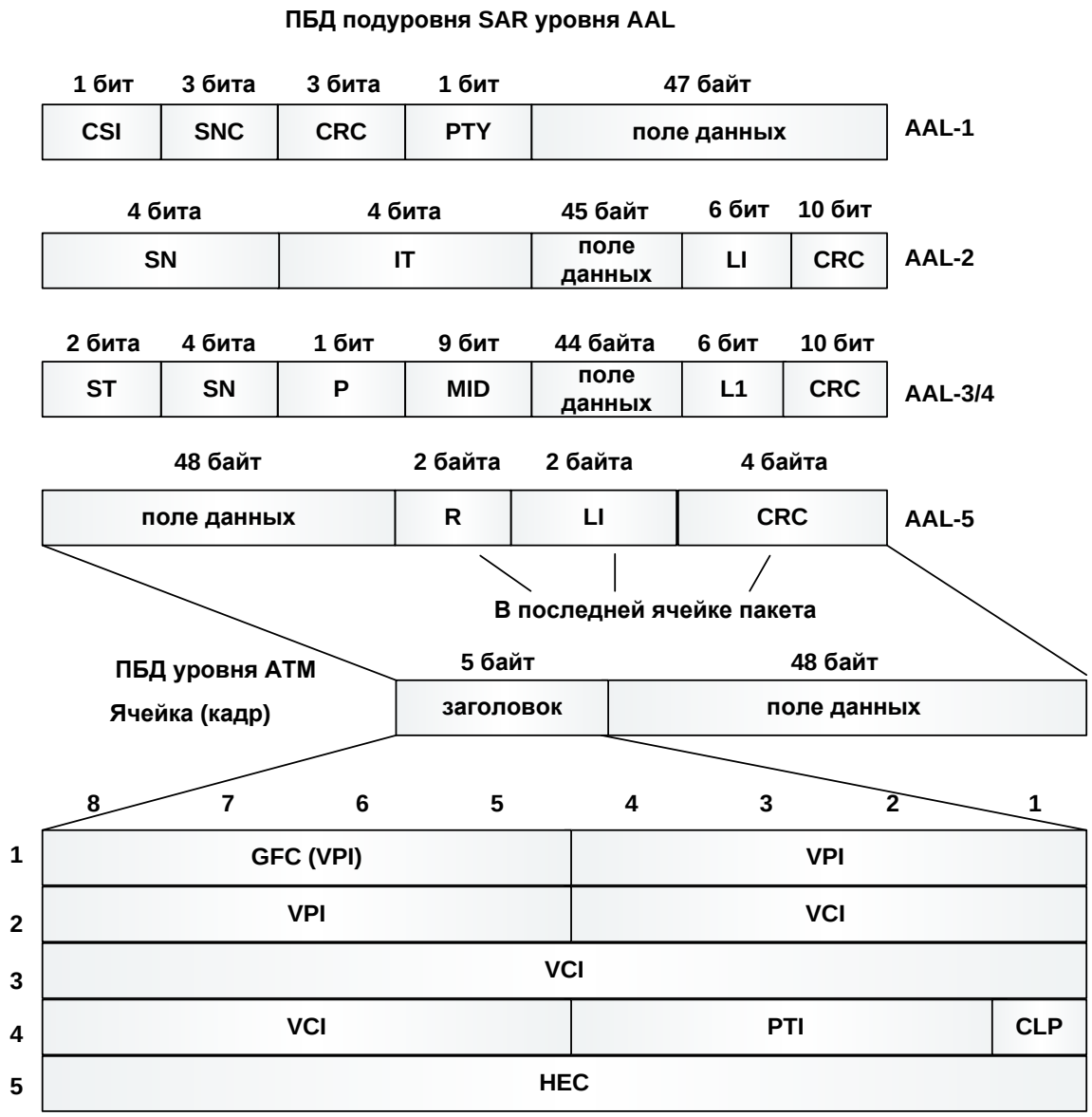


Рис. 10.19. Формат протокольных блоков данных ATM

заголовок (5 байт), основная роль которого состоит в обеспечении распознавания и маршрутизации ячеек, принадлежащих к одному и тому же виртуальному соединению;

поле данных (48 байт), содержащее информацию, циркулирующую на уровне адаптации ATM (AAL).

Используемые для широкополосного абонентского доступа ячейки UNI (*User Network Interface*) имеют заголовок, несколько отличный от заголовка в интерфейсе между узлами сети NNI (Network Node Interface).

Заголовок ячейки содержит следующие поля.

Поле GFC (*Generic Flow Control*) – управление общим потоком. Занимает 4 бита и присутствует только в ячейке UNI. Используется при взаимодействии конечного узла и первого коммутатора сети.

Поле VPI (*Virtual Path Identifier*) – идентификатор виртуального пути. Занимает 8 бит в ячейке UNI и 12 бит в ячейке NNI (за счет отсутствующего поля GFC).

ПолеVCI (*Virtual Channel Identifier*) – идентификатор виртуального канала. Занимает 16 бит.

Поле PTI(*Payload Type Identifier*) – идентификатор типа полезной нагрузки. Занимает 3 бита. Первый бит используется для указания типа полезной нагрузки: данные пользователя или служебное сетевое сообщение. В первом случае следующий 2-й бит выполняет функцию индикатора перегрузки (наподобие бита FECN в заголовке кадра Frame Relay), а 3-й бит – указателя типа блока данных (интерпретируется верхними уровнями, в частности, AAL-5 использует этот бит для указания последней ячейки при фрагментации длинных пакетов). Во втором случае следующие 2 бита интерпретируются различным образом системой управления ATM.

Поле CLP (Cell Loss Priority) – приоритет потери ячейки. Занимает 1 бит. Выполняет функцию аналогичную полю DE в заголовке кадра Frame Relay.

Поле HEC (Header Error Control) – контроль ошибок заголовка. Занимает 8 бит. Служит для обнаружения и частичного исправления (только одиночных) ошибок в заголовке. При установлении физического соединения отсутствие ошибок в последовательности 5 байт используется как признак обнаружения начала ячейки. Обработка этого байта является функцией физического уровня PHY, описанного выше.

Уровень адаптации ATM (AAL).

Стандарты для уровня адаптации ATM AAL (*ATM adaptation layer*) регламентируют выполнение следующих основных функций:

форматирование пакетов, передаваемых в поле данных ячеек;

предоставление управляющей информации для уровня ATM, необходимой для установления соединений с различным требуемым качеством сервиса QoS;

управление последовательностью и скоростью передачи пакетов (с целью предотвращения перегрузок).

Уровень AAL намного сильнее связан с областями использования, чем уровень ATM. Он повышает качество обслуживания, предоставляемого уровнем ATM, в соответствии с требованиями пользователя. Уровень AAL применяет протоколы из конца в конец, прозрачные для уровня ATM, что соответствует транспортному уровню ЭМВОС. Поэтому протокольные блоки данных, которыми оперирует уровень AAL, можно было бы назвать сегментами. Однако в литературе их чаще называют пакетами. Если ПБД (пакеты) уровня AAL превышают длину информационного поля ячейки ATM, то они сегментируются (фрагментируются).

Различные услуги требуют выполнения различных функций уровня адаптации. Однако, чтобы избежать слишком большого разнообразия, были выделены 4 класса обслуживания (A, B, C, D), отличающиеся сочетанием трех бинарных характеристик трафика (табл. 10.3):

битовая скорость передачи может быть постоянной или переменной;

установление соединений может требоваться или не требоваться;

строгая взаимосвязь между тактовыми частотами источника и приемника может требоваться или не требоваться.

Таблица 10.3

Типовое соответствие классов обслуживания, категорий услуг и типов AAL

A	B	C	D
CBR	VBR	ABR	UBR
С установлением соединения		Без установления	
Синхронно		С задержками	
Постоянная скорость		Переменная скорость	
Аудио- и видеосигналы	Сжатые аудио- и видеосигналы		Данные, TCP/IP, трафик LAN
AAL-1	AAL-2	AAL-3/4 , AAL-5	AAL-3/4

Иногда выделяют отдельный класс обслуживания X, для которого сочетание приведенных выше характеристик не соответствует ни одному из четырех классов A, B, C, D.

Для обеспечения качества услуг, соответствующих каждому из четырех классов обслуживания A, B, C, D, были определены четыре протокола уровня адаптации AAL-1, AAL-2, AAL-3 и AAL-4. Впоследствии протоколы AAL-3 и AAL-4 (из-за их незначительного различия) были объединены в один, названный AAL-3/4. Однако данный протокол оказался слишком сложным и мало востребованным. Поэтому был разработан другой протокол AAL-5 более простой, но с ограниченными возможностями. Кратко охарактеризовать данные протоколы можно следующим образом.

AAL-1 используется для передачи информации с постоянной битовой скоростью, которая требует строгой взаимосвязи между тактовыми частотами передачи и приема (например, для эмуляции речевого канала или цифрового канала передачи).

AAL-2 используется для передачи информации с переменной битовой скоростью, которая также требует строгой взаимосвязи между тактовыми частотами передачи и приема (например, для передачи сжатого видео с переменной битовой скоростью).

AAL-3/4 используется для передачи данных как с установлением соединений, так и без установления соединений.

AAL-5 используется для передачи данных только с установлением соединений.

В таблице 10.3 показано типовое соответствие классов обслуживания, категорий услуг и типов AAL, а также их типовое использование для различных типов трафика.

Возможны и другие соотношения классов обслуживания, категорий услуг и типов AAL, которыми можно варьировать при оптимизации параметров сети.

Уровень адаптации включает два подуровня SAR и CS.

Подуровень сегментации и сборки SAR (*Segmentation And Reassemblysublayer*) отвечает за изменение формата блоков данных пользователя и полезной нагрузки ячеек. Поля AAL, соответствующие этому подуровню, который относительно независим от служб пользователя, представлены в каждой ячейке (рис. 10.19). Этот подуровень способен обнаруживать потерю или дублирование ячеек благодаря их нумерации, однако само восстановление является функцией подуровня сведения. И наконец, подуровень SAR производит заполнение неполных ячеек.

Подуровень сведения (конвергенции) CS (*Convergence Sublayer*) выполняет большей частью специальные функции обслуживания пользователя. Поля AAL, относящиеся к этим функциям, содержатся только в одном месте блока данных пользователя (пакета).

Подуровень сведения при необходимости отвечает за обработку ошибок. Для этого он применяет протоколы для повторной передачи ошибочных данных или защищает данные, предоставляя приемнику возможность исправлять ошибки. Этот метод прямого исправления ошибок FEC (*Forward Error Correction*) используется, в частности, в приложениях реального времени. Подуровень CS может также обеспечивать синхронизацию из конца в конец.

При использовании AAL-1 и AAL-2 ПБД (пакеты), формируемые на подуровне CS сохраняют свой формат на подуровне SAR и имеют размер, соответствующий информационному полю ячейки (48 байт), а следовательно не нуждаются в дополнительной сегментации.

При использовании AAL-3/4 и AAL-5 пакеты, формируемые на подуровне CS могут иметь длину или больше, или меньше поля данных ячейки, поэтому на подуровне SAR с этими пакетами выполняется процедура или сегментации (фрагментации), или группирования (блокирования).

На рис. 10.20 и 10.21 показано соотношение форматов пакетов, формируемых на подуровне CS и их сегментов (фрагментов), формируемых на подуровне SAR, при использовании AAL-3/4 и AAL-5 соответственно.

Рис. 10.20. Соотношение ПБД, формируемых на различных подуровнях AAL-3/4

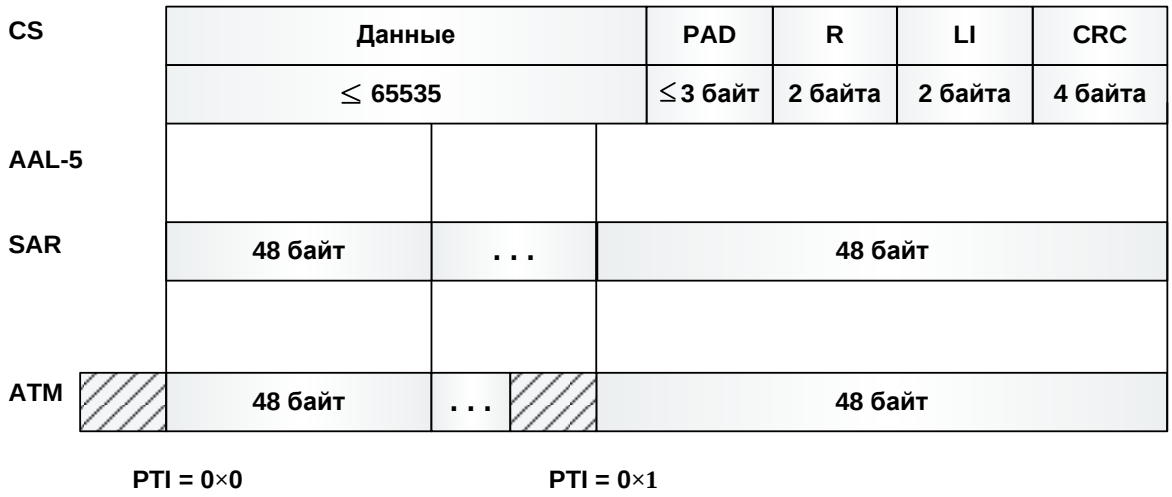


Рис. 10.21. Соотношение ПБД, формируемых на различных подуровнях AAL-5

Подуровень CS состоит из двух частей: подуровня сведения общей части CPCS (*Common Part Convergence Sublayer*) и подуровня сведения для конкретной службы SSCS (*Service Specific Convergence Sublayer*), что напоминает структуру прикладного уровня ЭМВОС.

При использовании протокола AAL-3/4 подуровень SSCS может функционировать в 2-х режимах: гарантированном (используются функции управления потоком и функции повторной передачи пропущенных или ошибочных блоков) и негарантированном (при необходимости указанные функции могут быть реализованы на верхних уровнях, выходящих за рамки уровней ATM). Функции CPCS обеспечивают поддержку протокола AAL-3/4 как с установлением соединений, так и без установления соединений. Остальные протоколы уровня AAL работают только с установлением соединений.

Служебные поля ПБД, формируемые на *подуровне SARAAL-1* имеют следующее назначение (рис. 10.19).

CSI (1 бит) – индикатор подуровня CS. Может содержать метку остаточного времени RTS (*Residual Time Stamp*) для установки синхронизации приемника (метка переносится битом CSI четырех *нечетных* ячеек, принадлежащих группе из восьми последовательных ячеек) или может использоваться для выделения блоков данных при эмуляции цифрового канала передачи (бит может присутствовать только в *четных* ячейках и индицирует наличие во втором байте указателя начала следующего блока данных среди оставшихся 46 байт поля данных ячейки). В *четных* ячейках данный бит может также использоваться для индикации начала группы ячеек с перемежением байт и дополнительной избыточностью, что позволяет устранять пачки ошибок при стирании ячеек (но при этом вводится дополнительная задержка на обработку данной группы ячеек).

SNC (3 бита) – циклический номер ячейки по mod 8.

CRC (3 бита) – проверочная последовательность. Позволяет исправлять одиночные ошибки в первом байте поля данных ячейки, содержащем служебную информацию в полях CSI и SNC.

PTY (1 бит) – бит четности. Позволяет обнаруживать двойные ошибки в служебном байте.

Служебные поля ПБД, формируемых на *подуровне SARAAL-2* (рис. 10.19), имеют следующее назначение.

SN (4 бита) – порядковый номер, включающий поля, аналогичные указанным выше полям CSI и SNC, необходимые для поддержания синхронизации.

IT (4 бита) – тип информации (в частности, индицирует начало, продолжение и конец информационного сообщения в текущей ячейке).

LI (6 бит) – указатель длины заполненной части в поле данных ячейки среди оставшихся 45 байт.

CRC (10 бит) – проверочная последовательность, позволяющая обнаруживать ошибки в поле данных ячейки.

Служебные поля ПБД, формируемых на *подуровне SARAAL-3/4* (рис. 10.19), имеют следующее назначение.

ST (2 бита) – тип сегмента (начало, середина, конец сообщения или односегментное сообщение).

SN (4 бита) – порядковый номер по mod 16 для обнаружения потерянных или вставленных ячеек.

P (1 бит) – приоритет данных в текущей ячейке (высокий или низкий).

MID (9 бит) – идентификатор мультиплексирования для идентификации ячеек, принадлежащих к различным потокам данных (до 512), мультиплексированных в одном и том же виртуальном соединении.

LI (6 бит) – указатель длины заполненной части в поле данных ячейки среди оставшихся 44 байт.

CRC (10 бит) – проверочная последовательность, позволяющая обнаруживать ошибки в поле данных ячейки.

Служебные поля ПБД, формируемых на *подуровне SARAAL-5* (рис. 10.20 и рис. 10.21), фактически отсутствуют.

Служебные поля пакетов, формируемых на *подуровне CSAAL-3/4* (рис. 10.20), имеют следующее назначение.

CPI (1 байт) – индикатор общей части. Указывает, как должны интерпретироваться последующие поля.

Btag (1 байт) – признак начала пакета. Используются для предотвращения случайного сцепления двух пакетов, возникающего из-за потери ячеек, несущих конец первого и начало второго.

BASize (2 байта) – предустановленный размер буфера.

PAD (≤ 3 байт) – дополнение поля данных до размера, кратного 4 байтам.

AL (1 байт) – выравнивание хвостовой служебной части пакета (дополнение до 4 байт).

Etag (1 байт) – признак конца пакета. Используется совместно с Btag (см. выше).

Length (2 байта) – длина информационного поля данных пакета.

Служебные поля пакетов, формируемых на *подуровне CSAAL-5* (рис. 10.21), имеют следующее назначение.

PAD (≤ 3 байт) – дополнение поля данных до размера, кратного 4 байтам.

R (2 байта) – резерв.

LI (2 байта) – указатель длины информационного поля данных пакета.

CRC (4 байта) – проверочная последовательность, позволяющая обнаруживать ошибки в пакете.

Типовая структура сети, построенной на базе технологии ATM, показана на рис. 10.22.

Общая конфигурация сети ATM соответствует структуре ISDN, но имеет отличие в специфике реализации высокоскоростных алгоритмов работы. Основными элементами сети ATM, как и ISDN, являются абонентские установки пользователей и узлы коммутации, а также связывающие их между собой цифровые каналы физической среды передачи (как правило, высокоскоростные – PDH и SDH). Узлы коммутации в данном случае являются классическими ЦКП, но по конструкции более близкие к высокоскоростным коммутаторам, чем к маршрутизаторам.

Обычно элементы абонентского окончания сети ATM, являющиеся основой Ш-ЦСИО, представляются такими же функциональными блоками и стыками, как в сети ISDN, но с дополнительной буквой «B» (*broadband*) в начале или в конце условных обозначений: B-TE, B-NT и т. д. или S_B, U_B и т. д.

Сети ATM принято подразделять на сети общего (*Public Network*) пользования (обычно это магистральные сети) и частные (*Private Network*) сети (могут выступать в роли сетей доступа к магистрали). Интерфейс пользователь-сеть UNI (User-Network Interface) может быть стыком в частной сети (в контрольной точке S_B) или стыком в сети общего пользования (в контрольной точке T_B или U_B). Сетевой интерфейс NNI (Network Node Interface) определяется как стандартный стык между сетями или между узлами сети.

Темпы внедрения технологии ATM оказались гораздо более низкими, чем ожидалось. Главная причина – это сложность и стоимость оборудования. Кроме того, появление ATM дало толчок к развитию других технологий. В первую очередь, это технология гигабитного Ethernet.

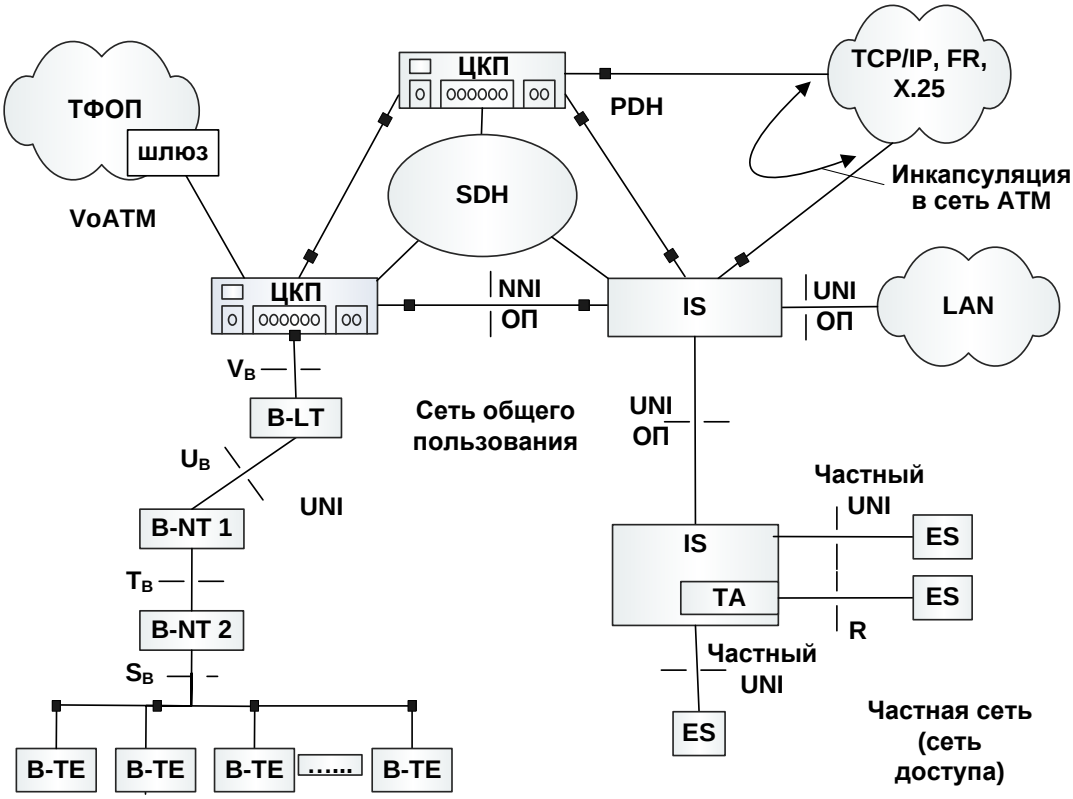


Рис. 10.22. Типовая структура и состав сети ATM

Гигабитный Ethernet по сравнению с ATM имеет как ряд преимуществ, так и очевидные недостатки. К преимуществам, прежде всего, следует отнести последовательность развития и невысокую стоимость технологии Ethernet. Видимо, это послужило основной причиной очень мощного и эффективного внедрения гигабитного Ethernet на рынок. Во многих случаях эта технология позволяет решать определенные задачи, например, связанные с высокоскоростной передачей данных или с передачей голоса. Однако следует понимать, что задача обеспечения гарантированного качества по передаче данных в гигабитном Ethernet полностью пока так и не решена. Сейчас, с появлением протоколов на основе IP, обеспечивающих приоритезацию трафика, это стало более реально, тем не менее следует иметь ввиду, что здесь эта проблема решается не так красиво, как в случае использования ATM.

Вторым пунктом в этом сравнении является технология SDH. Это классическая технология транспортных сетей. Она эффективно и очень широко используется по всему миру для создания сетей национального и регионального масштаба, не собирается сдавать своих позиций и прекрасно выполняет свои функции. SDH идеально подходит для решения задач передачи голосового трафика.

Поскольку эта технология достаточно долго присутствует на рынке, она тщательно проработана и абсолютно надежна. Существует масса доступного оборудования этого класса, которое прекрасно справляется со своими функциями. Однако для задач построения современных мультисервисных сетей SDH недостаточно гибка. С задачей перетранспортировки не только голосового трафика, но и одновременного трафика данных SDH справляется уже не столь успешно – именно с точки зрения эффективности использования каналов. Это обусловлено тем, что технология SDH не очень хорошо приспособлена к передаче трафика, типичного для сетей передачи данных. Другим конкурентом является технология IP over SONET, обеспечивающая непосредственную транспортировку пакетов по сетям SONET/SDH. Это некий альянс IP-пакетов и канальных

транспортных сетей, и при правильном структурировании сетей решение этой технологии бывает весьма эффективным. Однако для этого требуется наличие высокопроизводительных и дорогостоящих IP-маршрутизаторов, имеющих прямые интерфейсы к сетям SONET/SDH. Соревнование между ATM и SDH стимулировало появление совершенно новой технологии оптического мультиплексирования WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Сущность ее заключается в том, что для передачи информации через транспортную сеть на большое расстояние не нужно преобразовывать ее в какие бы то ни было специальные транспортные протоколы, например в SDH. Если сегмент сети работает на ATM или на гигабитном Ethernet, нужно передавать через транспортную сеть информацию, не преобразовывая ее в SDH. Для этого данному оператору на отдельной оптической частоте выделяется свой независимый оптический поток. Этот трафик прозрачный, без искажений и без конвертации, передается по транспортной сети до точки назначения, где выделяется точно в том же формате, в котором он был введен. Данная технология позволяет совершенно равнозначно и независимо друг от друга, по одному и тому же оптическому волокну одновременно передавать трафики и SDH-сетей, и ATM и гигабитного Ethernet.

Таким образом, надежды на то, что ATM будет универсальной технологией, не оправдались. Однако существуют определенные ниши и приложения, где ATM выступает гораздо эффективнее других конкурирующих технологий. Это доступ к современным высокоскоростным мультисервисным сетям с широким спектром услуг, включая мультимедиа. Данное направление стало еще более перспективным с внедрением технологий xDSL. ATM наиболее эффективно решает задачу формирования кластеров мощных серверов, при этом скорость общения компьютеров между собой может быть эквивалентна скорости доступа процессора к памяти. Развитие новых видов услуг, таких как различные интерактивные игры, интерактивное телевидение, видео по запросу, разного рода музыкальные приложения также будут сильно стимулировать использование ATM на рынке телекоммуникаций.

10.5. Технология быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях (MPLS)

MPLS (Multi Protocol Label Switching) – это технология быстрой коммутации пакетов в многопротокольных сетях, основанная на использовании меток. MPLS разрабатывается и позиционируется как способ построения высокоскоростных IP-магистралей, однако область ее применения не ограничивается протоколом IP, а распространяется на трафик любого маршрутизируемого протокола.

Традиционно главными требованиями, предъявляемыми к технологии магистральной сети, были высокая пропускная способность, малое значение задержки и хорошая масштабируемость. Однако теперь поставщику услуг недостаточно просто предоставлять доступ к своей IP-магистрали. Изменившиеся потребности пользователей включают в себя и доступ к интегрированным сервисам сети, и организацию виртуальных частных сетей (VPN), и ряд других интеллектуальных услуг. Растущий спрос на дополнительные услуги, реализуемые поверх простого IP-доступа, обещает принести Internet-провайдерам огромные доходы.

Для решения возникающих задач и разрабатывалась структура MPLS, которая обеспечивает построение магистральных сетей, имеющих практически неограниченные возможности масштабирования, повышенную скорость обработки трафика и беспрецедентную гибкость с точки зрения организации дополнительных сервисов. Кроме того, технология MPLS позволяет интегрировать сети IP и ATM, за счет чего поставщики услуг смогут не только сохранить средства, инвестированные в оборудование

асинхронной передачи, но и извлечь выгоду из совместного использования этих протоколов [13].

За развитие архитектуры MPLS отвечает рабочая группа с одноименным названием, входящая в секцию по маршрутизации консорциума IETF. В деятельности группы принимают активное участие представители крупнейших поставщиков сетевых решений и оборудования. Эта архитектура выросла из системы Tag Switching, предложенной Cisco Systems, однако некоторые идеи были заимствованы у конкурирующей технологии IP-коммутации, созданной компанией Ipsilon, и проекта ARIS корпорации IBM. В архитектуре MPLS собраны наиболее удачные элементы всех упомянутых разработок. Традиционный способ передачи данных в сетях IP выглядит следующим образом: очередной маршрутизатор получает пакет, извлекает из его заголовка адрес назначения и согласно своей таблице маршрутизации продвигает пакет дальше. Это так называемая «Hop by hop» парадигма и довольно ресурсоемкая процедура.

Технология MPLS предлагает помечать пакет с данными специальным идентификатором – меткой и заменить маршрутизацию коммутацией по меткам. Любой передаваемый пакет ассоциируется с тем или иным классом сетевого уровня (Forwarding Equivalence Class, FEC), каждый из которых идентифицируется определенной меткой. Значение метки уникально лишь для участка пути между соседними узлами сети MPLS, которые называются также маршрутизаторами, коммутирующими по меткам (Label Switching Router, LSR). Метка передается в составе любого пакета, причем способ ее привязки к пакету зависит от используемой технологии канального уровня.

Маршрутизатор LSR получает топологическую информацию о сети, участвуя в работе алгоритма маршрутизации OSPF, BGP, IS-IS. Затем он начинает взаимодействовать с соседними маршрутизаторами, распределяя метки, которые в дальнейшем будут применяться для коммутации. Обмен метками может производиться с помощью как специального протокола распределения меток (Label Distribution Protocol, LDP), так и модифицированных версий других протоколов сигнализации в сети (например, RSVR и др.). MPLS сеть состоит только из LSR. Каждый LSR содержит таблицу Label Forwarding Information Base (LFIB), в которой отражены соответствия входной метки, входного интерфейса, маршрута и выходной метки и выходного интерфейса.

Существуют две основные архитектуры MPLS: cell-mode (метки вставляются в заголовок ячейки, например VPI/PCI в ATM) и frame-mode (метки вставляются между заголовками Layer 2 и Layer 3 в пакете).

Путь, по которому проходит пакет в MPLS сети, называется Label Switching Path, LSP (рис. 10.23).

Рассмотрим процесс назначения меток в MPLS-сети. Предположим, в домене MPLS находятся LSR маршрутизаторы A, B и C (рис. 10.24). Все они получили топологическую информацию о сети с помощью протоколов маршрутизации (OSPF, IS-IS, BGP и т. д.), то есть IP маршрутизация установилась.

LSR C знает (имеет маршрут) о подключенной непосредственно к нему сети NET C.LSR C произвольно назначает для сети NET C входящую метку LABEL=X, например прописывает это в свою LFIB (рис. 10.25).

С помощью протокола LDP LSR C сообщает соседнему LSR B о значении метки X для сети NET C, которую LSR B вписывает в свою LFIB как выходную для интерфейса (рис. 10.26).

Дополнительно LSR B произвольно назначает входящую метку для NET C(Y) и с помощью LDP сообщает о ней LSR A (рис. 10.27).

LSR A заполняет свою LFIB записью о сети NET C.

Распределение меток между LSR в итоге приводит к установлению путей LSP в MPLS-домене.

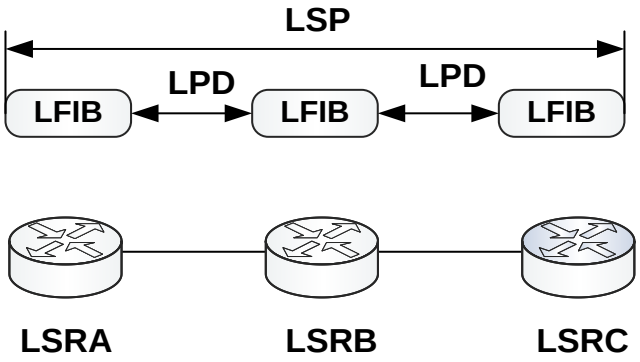


Рис. 10.23. Путь пакета в MPLS сети

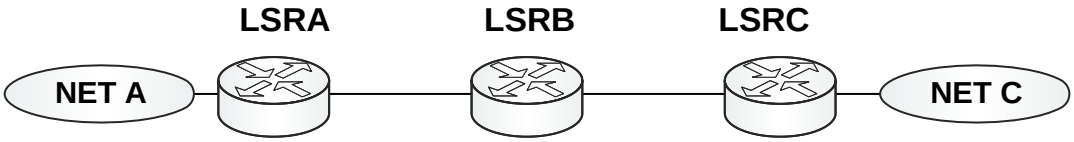


Рис. 10.24. MPLS домен, соединяющий сети NET A и NET C

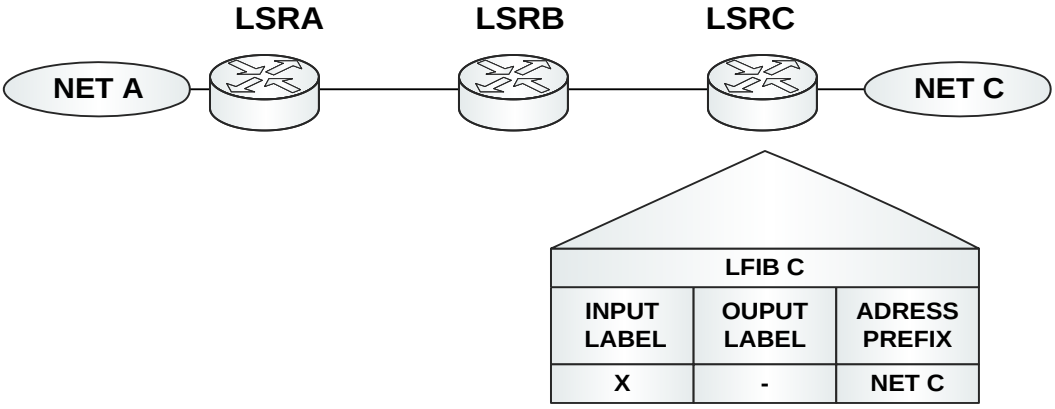


Рис. 10.25. Назначение метки в LSR C

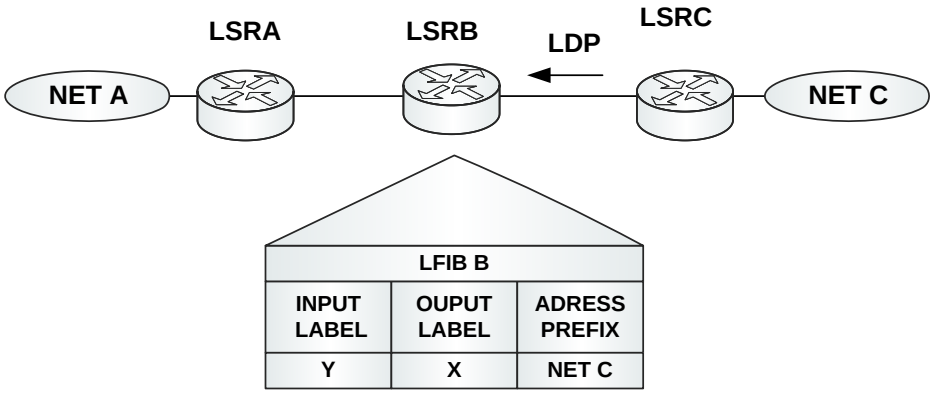


Рис. 10.26. Назначение метки в LSR B

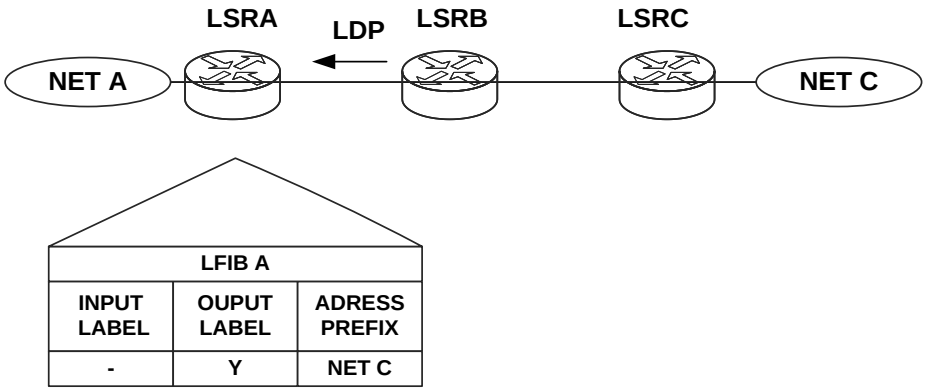


Рис. 10.27. Назначение метки в LSR A

Процесс коммутации пакетов в MPLS сети происходит следующим образом. Предположим, LSR A получает пакет, адресованный в сеть NET C. LSRA изучает свою LFIB и находит там запись о NET C и соответствующие ей метку Y и выходной интерфейс. К полученному пакету добавляется метка Y и пакет отправляется дальше через соответствующий интерфейс (рис. 10.28).

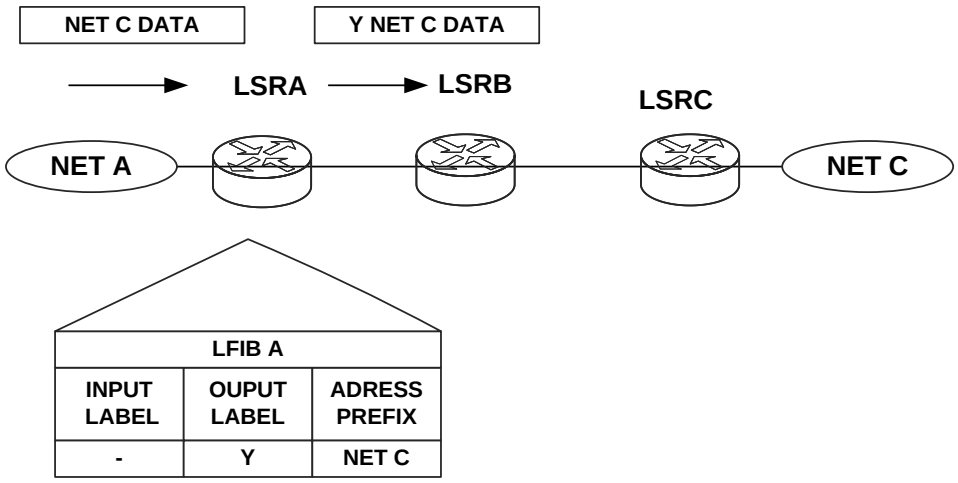


Рис. 10.28. Коммутация пакета в LSR A

LSR B получает пакет с меткой Y на определенном интерфейсе. По своей LFIB LSR B выясняет через какой интерфейс и с какой меткой (X) необходимо продвигать пакет дальше и выполняет необходимую замену (swapping) метки. Заметим, что на данном этапе заголовок сетевого уровня не анализируется – происходит коммутация по метке (рис. 10.29).

И, наконец, LSR C получает пакет с меткой X на входном интерфейсе. LSR C извлекает метку пакета и отправляет его в сеть назначения как обычный IP-пакет (рис. 10.30).

На самом деле MPLS допускает использование не одной метки, а целого набора последовательных идентификаторов – стека меток. В стеке различаются верхняя метка (Top Label) и все нижележащие. Стандартный механизм коммутации оперирует только с верхней меткой. Стек используется в случае расширений MPLS, таких как туннели, управление трафиком и прочих.

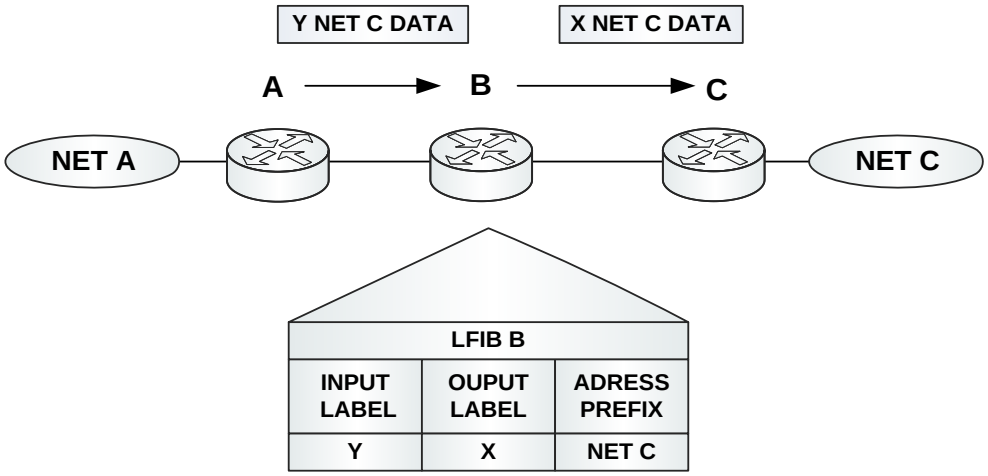


Рис. 10.29. Коммутация пакета по метке в LSR B

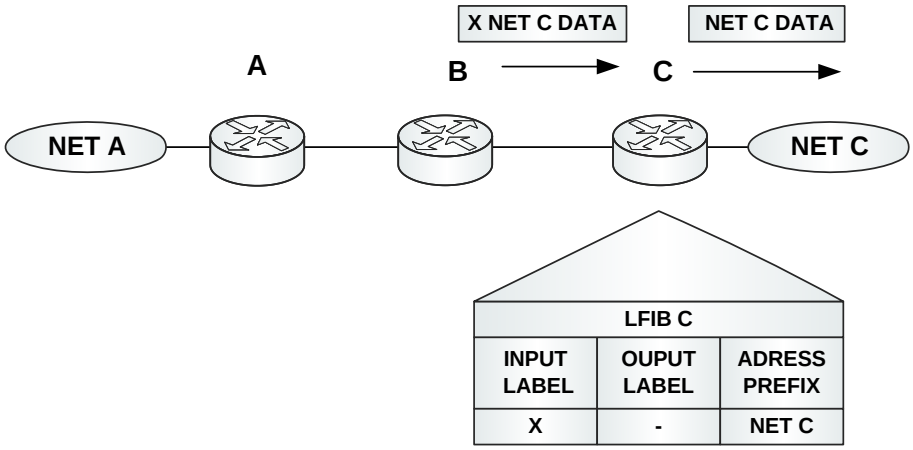


Рис. 10.30. Коммутация пакета по метке в LSR C

Как уже отмечалось, метка должна быть уникальной лишь в пределах соединения между каждой парой логически соседних LSR. Поэтому одно и то же ее значение может использоваться LSR для связи с различными соседними маршрутизаторами, если только имеется возможность определить, от какого из них пришел пакет с данной меткой. Другими словами, в соединениях «точка-точка» допускается применять один набор меток на модуль или все устройство. В реальных условиях угроза исчерпания пространства меток очень маловероятна.

Перед включением в состав пакета метка определенным образом кодируется. В случае использования протокола IP она помещается в специальный «тонкий» заголовок пакета, инкапсулирующего IP. В других ситуациях метка записывается в заголовок протокола канального уровня или кодируется в виде определенного значения VPI/VCI (сети ATM). Для пакетов протокола IPv6 метку можно разместить в поле идентификатора потока.

В рамках архитектуры MPLS вместе с пакетом разрешено передавать не одну метку, а целый их стек. Операции добавления/изъятия метки определены как операции на стеке (push/pop). Результат коммутации задает лишь верхняя метка стека, нижние же передаются прозрачно до операции изъятия верхней. Такой подход позволяет создавать иерархию потоков в сети MPLS и организовать туннельные передачи. Стек состоит из произвольного числа элементов, каждый из которых имеет длину 32 бита: 20 бит составляют собственно метку, 8 отводятся под счетчик времени жизни пакета, один

указывает на нижний предел стека, а три не используются. Метка может принимать любое значение, кроме нескольких зарезервированных.

Сеть MPLS условно делится на две функционально различные области: ядро сети и граничную область. В ядро входят устройства, минимальными требованиями к которым являются поддержка MPLS и участие в процессе маршрутизации трафика для того протокола, который коммутируется с помощью MPLS. В ядре маршрутизаторы занимаются только коммутацией, а все функции классификации пакетов по классам FEC, а также реализацию дополнительных сервисов фильтрации, явной маршрутизации, выравнивания нагрузки на сеть и управления трафиком берут на себя граничные LSR. Таким образом, весь объем интенсивных вычислений приходится на граничную область, а высокопроизводительная коммутация выполняется в ядре, что позволяет эффективно оптимизировать конфигурацию устройств MPLS в зависимости от их расположения в сети. Данная особенность MPLS – отделение процесса коммутации пакета от анализа IP-адресов в его заголовке – открывает ряд новых возможностей. Следствием такого подходя является то, что очередной сегмент LSR может не совпадать с очередным сегментом маршрута, который был бы выбран при традиционной маршрутизации. А поскольку на установление соответствия пакетов определенным классам FEC могут влиять не только IP-адреса, но и другие параметры, то нетрудно реализовать, например, назначение различных LSR пакетам, относящимся к различным потокам RSVP либо имеющим разные приоритеты обслуживания. Естественно, такой сценарий удается осуществить и в обычных маршрутизируемых сетях, но решения на базе MPLS проще и к тому же гораздо лучше поддаются масштабированию.

Каждый класс FEC обрабатывается отдельно от остальных не только потому, что для каждого класса строится свой путь LSR, но и по причине доступа к общим ресурсам, то есть к полосе пропускания канала и буферному пространству. Результатом является очень высокое качество обслуживания в сетях MPLS, а применение в LSR таких механизмов управления буферизацией и очередностью, как WRED (Weighted Random Early Detection), WFQ (Weighted Fair Queing) или CBWFQ (Class Based WFQ), дает администратору сети MPLS возможность эффективно контролировать распределение ресурсов, а также изолировать трафик отдельных пользователей.

Кроме того, при использовании явно задаваемого маршрута в сети MPLS не возникает проблем, типичных для стандартной IP-маршрутизацииот источника, так как вся информация о маршруте содержится в метке и пакету не требуется нести адреса промежуточных узлов, что расширяет возможности управления распределением нагрузки на сеть.

Литература

1. Гольдштейн Б. С. Протоколы сети доступа. Том 2. — М.: Радио и связь. 1999. – 317 с.

2. МККТТ: 19 Пленарная ассамблея. Синяя книга. Т. 8. 1988.

3. ГОСТ 28080–89 (СТ СЭВ 6179-88) СОИ. Протокол уровня звена данных. Метод синхронной побитовой передачи данных. – М.: Издательство госкомитета по стандартам. 1989.

4. ГОСТ 28696-90 (СТ СЭВ 6782-89, ИСО 8886-90). ИТ. Передача данных и обмен информацией между системами. Определение услуг уровня звена данных для ВОС. – М.: Издательство госкомитета по стандартам. 1990.

5. ГОСТ 27767-88. Стык станции коммутации данных с физическим каналом. Общие требования и нормы. – М.: Издательство госкомитета по стандартам. 1988.

6. ГОСТР 34.964-92 (ИСО 8602-87). ИТ. Взаимосвязь открытых систем. Протокол для обеспечения услуг транспортного уровня в режиме без установления соединения. – М.: Издательство госкомитета по стандартам. 1992.

7. Жигадло В.Э. Архитектура телекоммуникационных сетей. – СПб.: ВУС. 1999. – 388 с.

8. ГОСТР 34.950-92 (ИСО 8208-87). Взаимосвязь открытых систем. Передача данных. Протокол пакетного уровня X.25 для оконечного оборудования данных. Издательство госкомитета по стандартам. 1993.

9. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб.: Питер, 2000. – 668 с.

10. Дж. Уолрэнд. Телекоммуникационные и компьютерные сети. Вводный курс. – М.: Постмаркет, 2001.

11. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – СПб.: Питер, 2002.

12. Столингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003.

13. http://www.ietf.og/html/charters/mpls-charter.html.

ГЛАВА 11. ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

11.1. Стандартизация технологий локальных сетей

В начале 70-х годов XX века технологический прорыв в области производства больших интегральных схем (БИС) привел к созданию мини-компьютеров, широкое применение которых в различных производственных процессах вызвало необходимость соединения компьютеров друг с другом, в результате чего появились первые локальные сети [1].

В середине 80-х годов утвердились стандартные технологии объединения компьютеров в локальную сеть: Ethernet, Arcnet, Token Ring, FDDI. В 1980 году в институте IEEE был организован комитет 802 по стандартизации локальных сетей. Созданное комитетом семейство стандартов IEEE 802.x стало основой комплекса международных стандартов ISO 8802-15.

Стандарты семейства IEEE 802.x охватывают только физический и канальный уровни модели OSI, так как они в наибольшей степени отражают специфику локальных сетей. Старшие уровни, начиная с сетевого, у локальных и глобальных сетей имеют много общего.

На рис. 11.1 представлена структура стандартов IEEE 802.x [1].

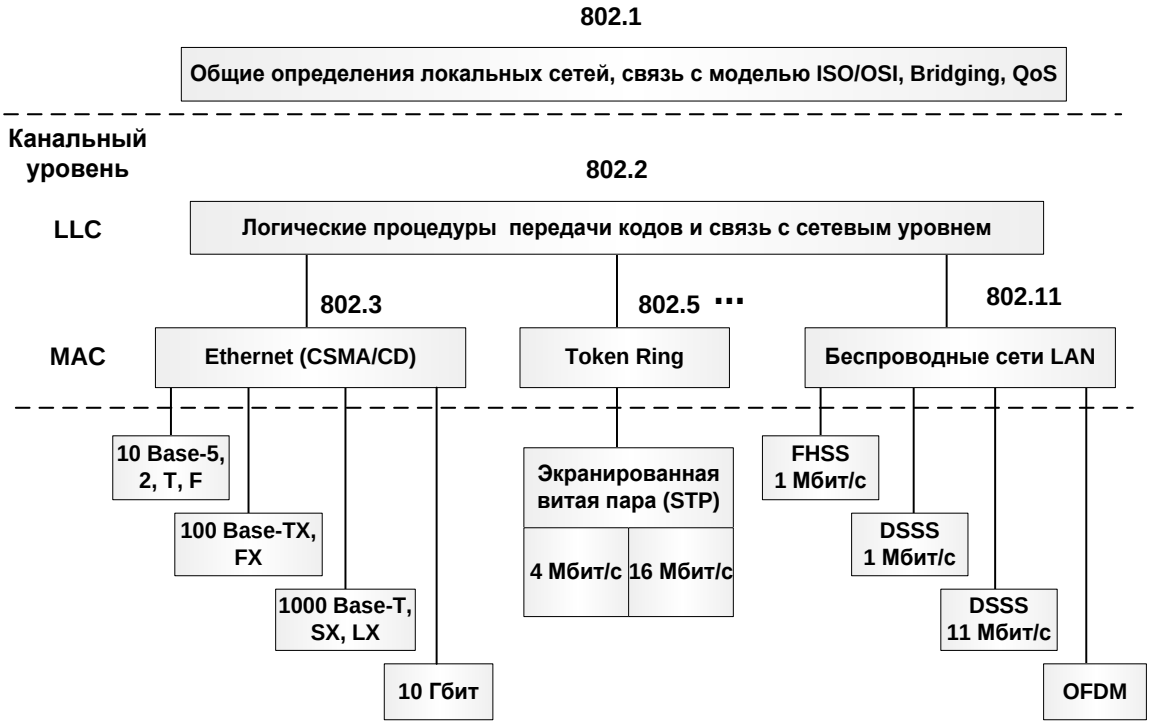


Рис. 11.1. Структура стандартов IEEE 802.x

Стандарты IEEE 802 описывают функции, которые можно отнести к функциям физического и канального уровней модели ВОС. За каждый конкретный стандарт отвечают определенные рабочие группы IEEE. За общую группу стандартов отвечает рабочая группа 802.1. Эти стандарты описывают наиболее высокоуровневые функции локальных сетей. Наиболее важными стандартами этой группы являются стандарты, описывающие взаимодействие различных технологий, а также стандарты по построению более сложных сетей на основе базовых топологий. Эта группа стандартов имеет общее название стандартов межсетевого взаимодействия. За технологию Ethernet отвечает

рабочая группа 802.3, группа 802.4 занимается технологией ArcNet, группа 802.5 – технологией Token Ring, группа 802.11 – технологией беспроводных локальных сетей.

Основу стандарта 802.3 разработала в 1975 году фирма Xerox, а в 1980 году фирмы DEC, Intel и Xerox (сокращенно – DIX) совместно разработали и опубликовали стандарт Ethernet версии II для сети, построенной на основе коаксиального кабеля. Эту последнюю версию называют стандартом Ethernet DIX, на базе которого был разработан стандарт IEEE 802.3.

Сегодня комитет 802 включает ряд подкомитетов (рабочих групп), перечисленных в таблице 11.1.

Таблица 11.1

Подкомитеты IEEE 802

Номер	Название	Назначение
802.1	Higher Layer LAN Protocols Working Group	Общие вопросы построения LAN: структура, архитектура, управление и т.д.
802.2	Logical Link Control Working Group	Управление логической передачей данных (*)
802.3	Ethernet Working Group	Разработка стандартов для сетей на основе технологии доступа CSMA/CD
802.4	Token Bus Working Group	Разработка стандартов для шинных топологий с передачей маркера (*)
802.5	Token Ring Working Group	Разработка стандартов для кольцевых топологий с передачей маркера
802.6	Metropolitan Area Network Working Group	Разработка стандартов для городских сетей (*)
802.7	Broadband Technical Advisory Group	Техническая консультационная группа по широкополосной передаче (*)
802.8	Fiber Optic Technical Advisory Group	Техническая консультационная группа по волоконно-оптическим сетям
802.9	Isochronous LAN Working Group	Разработка стандартов для изохронных LAN (в т. ч. для интегрированной передачи голоса и данных)
802.10	Security Working Group	Разработка совместимых стандартов безопасности для всех сетей IEEE 802
802.11	Wireless LAN Working Group	Разработка стандартов для беспроводных локальных сетей
802.12	Demand Priority Access Working Group	Разработка стандартов для локальных сетей с запросом приоритета (l00VG-AnyLAN)
802.13	–	Не используется («чертова дюжина»)
802.14	Cable Modem Working Group	Передача данных по кабельным (телевизионным) сетям
802.15	Wireless Personal Area Networks Working Group	Разработка стандартов для персональных беспроводных сетей
802.16	Broadband Wireless Access Study Group	Разработка стандартов для широкополосного беспроводного доступа
802.17	Resilient Packet Ring Working Group	Разработка протоколов для сети с очень высокой скоростью пакетной передачи в оптоволоконных сетях с кольцевой топологией

(*) – рабочая группа неактивна

Стандартизацией локальных сетей занимаются и другие организации. Американский институт по стандартизации ANSI разработал стандарт FDDI, обеспечивающий скорость передачи 100 Мбит/с. Ассоциация ECMA приняла стандарты ECMA-80, 81, 82 для локальной сети типа Ethernet.

В последние годы наблюдается сближение технологий локальных и глобальных сетей. Это объясняется следующими факторами:

появились высокоскоростные территориальные каналы связи, не уступающие по качеству кабельным системам локальных сетей;

в локальных сетях вместо пассивного кабеля все шире применяется различное коммуникационное оборудование – коммутаторы, маршрутизаторы, шлюзы;

в глобальных сетях, особенно в Интернет, развиваются службы доступа к ресурсам, такие же удобные и прозрачные, как в локальных сетях;

в глобальных и локальных сетях появилась необходимость передачи мультимедиа информации.

11.2. Общие принципы построения локальных сетей

11.2.1. Топологии локальных сетей

Локальные сети (ЛС) обеспечивают коммуникационные услуги в местах расположения абонентов (офис, здание), давая возможность пользователям эффективно совместно (в режиме разделения) использовать локальные ресурсы по обработке информации и вычислениям, одновременно обеспечивая взаимосвязь локальных пользовательских терминалов, рабочих мест и устройств обработки данных. Городские сети передачи данных (ГС) используются для предоставления аналогичных услуг наряду с обеспечением коммуникационных возможностей для пользователей, распределенных на большей территории; они служат также магистральными сетями, которые связывают между собой пользовательские ЛС на расстояниях в сотни километров. Через городскую сеть доступа пользователь может выходить в региональные или глобальные сети общего пользования.

Чтобы облегчить совместное использование коммуникационной среды сетевыми станциями, необходимо реализовать соответствующую схему управления доступом к среде (УДС) для управления, координации и контроля доступа пользовательской информации в коллективные коммуникационные среды.

На рис. 11.2 показаны обычно используемые топологии ЛС, которые характеризуются следующим образом [2].

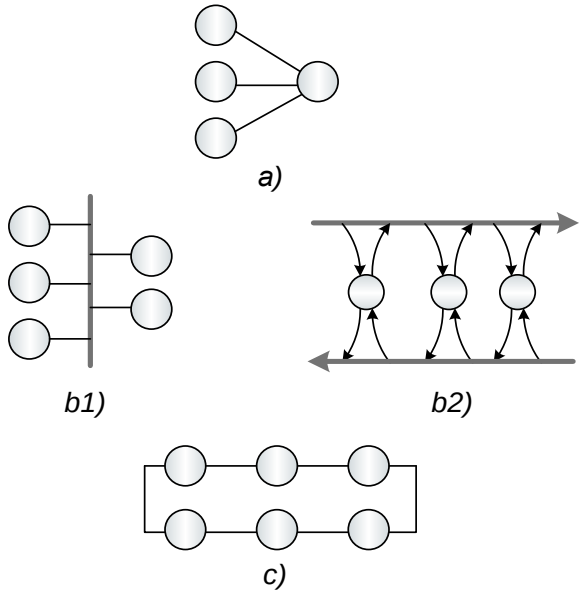


Рис. 11.2. Топологии локальных сетей: *a)* звезда, *b)* шина, *c)* кольцо

Звездообразная топология, при которой каждая станция может непосредственно осуществлять доступ к одному центральному узлу, показана на рис. 11.2 *a*. При этом центральный узел должен выполнять функции пересылки с промежуточным хранением и коммутационные функции. Широковещательная звездообразная сеть предусматривает использование центрального узла, как без буферного повторителя, который направляет все приходящие сигналы во все исходящие из него линии.

Шинная топология, при которой станции подключаются к шинному магистральному каналу, показана на рис. 11.2 *b*. При такой топологии сообщения, посылаемые каждой станцией, передаются в широковещательном режиме всем сетевым станциям. Станции подключены к шине таким образом, что отказ какой-либо станции не влияет на работу шинной сети. Кроме того, станция может «прослушивать» и принимать все сообщения, поступающие в ее интерфейс с шиной, однако она не может изъять информацию из шины или осуществить какую-либо перезапись информации, передаваемой по шине. Она может передавать по шине свои собственные сообщения, когда получает на это право в соответствии с протоколом УДС. Если используется оптоволокно, то для достижения полной связности типа «станция-станция» шинная реализация сети требует двух шин. Это объясняется однонаправленным характером канала. Как показано на рис. 11.2 *b2*, чаще всего используются две отдельные встречно направленные шины. Здесь станции имеют доступ к каждой оптоволоконной шине через соответствующий отвод чтения, за которым размещается отвод записи.

Кольцевая топология (рис. 11.2 *c*), при которой станции связаны звеньями типа «точка-точка» в топологии, как правило, замкнутой петли. При реализации сети типа физического кольца каждая станция подключается к кольцу с помощью активного интерфейса, так что передаваемые по кольцу данные проходят через регистр устойчивости кольцевого интерфейса (УКИ) и задерживаются там на некоторое время. Для повышения надежности сети такие реализации включают в себя специальные схемы, обеспечивающие быстрое отключение отказавшего УКИ. Благодаря активному интерфейсу станция имеет возможность удалять знаки или сообщения, которые она получает из среды, а также производить запись на место знаков и сообщений, передаваемых по среде, когда они проходят через интерфейс.

11.2.2. Методы распределения сообщений

При рассмотрении типичных высокоскоростных локальных сетей для основных применений можно выделить следующие топологии распределения кадров: широковещательная (логическая шина) топология и ячеистая (коммутируемая) топология.

Широковещательная топология (логическая шина).

В данном методе сообщения какой-либо станции направляются адресатам по методу широковещания, который заключается в следующем. Каждый кадр сообщения (протокольный блок данных (ПБД) уровня УДС) содержит адресную информацию. Адрес автоматически считывается из среды станциями-получателями, тем самым автоматически производится маршрутизация УДС. Для реализации широковещательного тракта используется шина, кольцо или широковещательная звездообразная топология. Соответствующее интерфейсное устройство станции (ИУС) работает как пассивный или активный повторитель УДС. Пассивный узел УДС не вмешивается в передачу данных по шине, но способен копировать сообщения, передаваемые по шинной системе. Активное ИУС может работать или в режиме повторения принимаемого кадра или в режиме неповторения, когда ИУС не повторяет информацию, получаемую из среды. В последнем случае в конфигурации логической шины ИУС устанавливается, как правило, «режим удаления», в котором принятая из среды информация удаляется. В это

время ИУС может передавать по среде свои собственные сообщения при условии, что оно получает на это разрешение от соответствующего протокола УДС.

Процедуры УДС в конфигурации логической шины включают метод, используемый для удаления кадров сообщений и ограничения на число одновременно передаваемых по среде сообщений.

Передача одного кадра сообщения в среде.

Передача одного УДС-кадра в среде разрешается в любой момент времени. Таким образом, только одна станция может начать передачу в среде в любой момент времени и никакая другая станция не может начать передачу, пока передаваемые данные не удалены из среды.

Этот метод используется в локальных сетях типа «маркерное кольцо», реализующих стандарт IEEE 802.5. В такой сети, если станция владеет маркером, она не освобождает его до тех пор, пока не получит свой собственный кадр (совершивший полный оборот по кольцу). Это упрощает протокол и обеспечивает станции возможность проанализировать свой подтвержденный кадр сообщения, прежде чем освободить маркер. Таким образом, станция может немедленно произвести повторную передачу своего кадра, если в нем была обнаружена ошибка.

Множественная одновременная передача кадров по среде логической шины.

Рассматриваются две процедуры, в первой из которых разрешается инициировать передачу одиночных кадров, а во второй – нескольких кадров.

1. *Инициация передачи одиночных кадров* допускается в любой момент времени. При использовании схемы УДС для маркерного оптоволоконного кольца, такого как FDDI, станция освобождает маркер немедленно после передачи сообщения, не ожидая полного приема своего сообщения. Таким образом, в шине может осуществляться множественная одновременная передача данных, что обеспечивает лучшее использование пространственно-частотных ресурсов шины.

В соответствии с этой схемой шинный контроллер отвечает за генерацию последовательных временных слотов в повторяющиеся циклы времени. Слот распространяется по однонаправленной оптоволоконной шине как незанятый до тех пор, пока не будет захвачен занятой станцией. Слот помечается как занятый и используется для передачи вставленного сегмента сообщения. Занятой станции разрешается передавать только один сегмент сообщения во время каждого временного цикла. Таким образом, подобные схемы УДС так планируют доступ занятой станции к среде, что один доступ следует за другим с минимально возможным интервалом времени между ними.

2. *Множественные одновременные инициации* передачи кадров включены в протокол УДС, т. е. нескольким станциям разрешается инициировать передачи кадров в один и тот же момент времени. При этом доступ к среде осуществляется в местах, которые достаточно удалены друг от друга физически, так что несколько сообщений могут одновременно распространяться на всем протяжении совместно используемой среды. Соответствующий алгоритм УДС должен обеспечить, чтобы эти одновременные передачи не вызывали каких-либо перекрытий кадров (коллизий).

Дальнейшее улучшение использования полосы пропускания и пространства среды передачи можно достигнуть путем включения в схему УДС соответствующих методов удаления кадров сообщений. Существует несколько методов удаления кадров сообщений.

Удаление отправителем. В петлевых топологиях согласно этому методу станция-отправитель отвечает за удаление своих собственных переданных кадров. Такая особенность УДС позволяет станции-отправителю непосредственно получать подтверждение от станции-получателя или непосредственно выявлять отсутствие ответа, когда станция-получатель неработоспособна.

Удаление получателем. Станция-получатель отвечает за удаление кадра из среды, если определяет, что передаваемый кадр предназначен для нее. В этом случае кадр

не является широковещательным, распространяющимся по всей длине передающей среды, а занимает сегмент среды между станцией-отправителем и станцией-получателем. Уменьшение времени задержки и повышение производительности достигается здесь за счет повторного использования пространства, особенно в тех случаях, когда значительная часть системного трафика распространяется между близко расположенными в сетевой среде станциями. В маркерно-кольцевых системах допускается применение нескольких маркеров. Когда две близко расположенные станции ведут обмен данными, другие маркеры могут использоваться другими станциями, не лежащими на занятом сегменте. То же самое имеет место и в маркерно-шинных системах с удалением маркера получателем.

Удаление управляющими (супервизорными) узлами. Использование специальных супервизорных узлов, размещенных на всем протяжении передающей среды, для удаления кадров из среды может дать определенные преимущества. Согласно одному из способов, обмен данными допускается только между станциями, расположенными между двумя супервизорными узлами. По другому способу система делится на более протяженные непересекающиеся коммуникационные сегменты и каждый кадр передается всем сетевым станциям в полностью широковещательном режиме. В зависимости от способа организации сетевого трафика можно определить временные циклы, такие что в течение каждого из этих циклов производится вызов того или иного режима функционирования.

Ячеистая (коммутируемая) топология.

В этом случае конфигурация сетевой топологии соответствует произвольному ячеистому графу. Узлы сети выполняют функции буферизации и коммутации. Каналы связи образуются как звенья «точка-точка», соединяющие сетевые узлы. Маршрутизация сообщений в сети производится с помощью специально разработанных уровневых УДС и пакетных (сетевых) алгоритмов маршрутизации.

С точки зрения управления доступом к среде канал «точка-точка» в ячеистой сети должен эффективно использоваться множеством сообщений и соединений, которые запланированы для прохождения по этому каналу. При поддержке интегрированных прикладных систем с коммутацией пакетов и коммутацией каналов определяется такой временный цикл (временной кадр), во время которого цепям этого канала выделяется несколько слотов. Оставшиеся слоты цикла выделяются для передачи пакетов, ожидающих в буферах, «питающих» данный канал.

11.2.3. Уровень управления логическим каналом

На рис. 11.3, 11.4, 11.5 показаны примеры структуры и элементов локальных сетей, архитектура протоколов и форматы ПБД для технологий Ethernet, Token Ring и FDDI. Уровень управления логическим каналом является общим для всех технологий локальных сетей.

Специфика локальных сетей нашла свое отражение в разделении уровня звена данных на два подуровня, которые часто называют просто уровнями (рис. 11.4, *а*):

управления логическим каналом (LLC - Logical Link Control);

управления доступом к среде (MAC – Media Acces Control).

Уровень MAC появился из-за существования в локальных сетях разделяемой среды передачи данных. Именно этот уровень обеспечивает (вместе с физическим уровнем PHY) корректное совместное использование общей среды, предоставляя ее в соответствии с определенным алгоритмом в распоряжение той или иной абонентской системы (АС).

После того как доступ к среде получен, ею может пользоваться более высокий уровень – уровень LLC, организующий передачу логических единиц данных, кадров информации, с различным уровнем качества транспортных услуг. Протоколы уровня

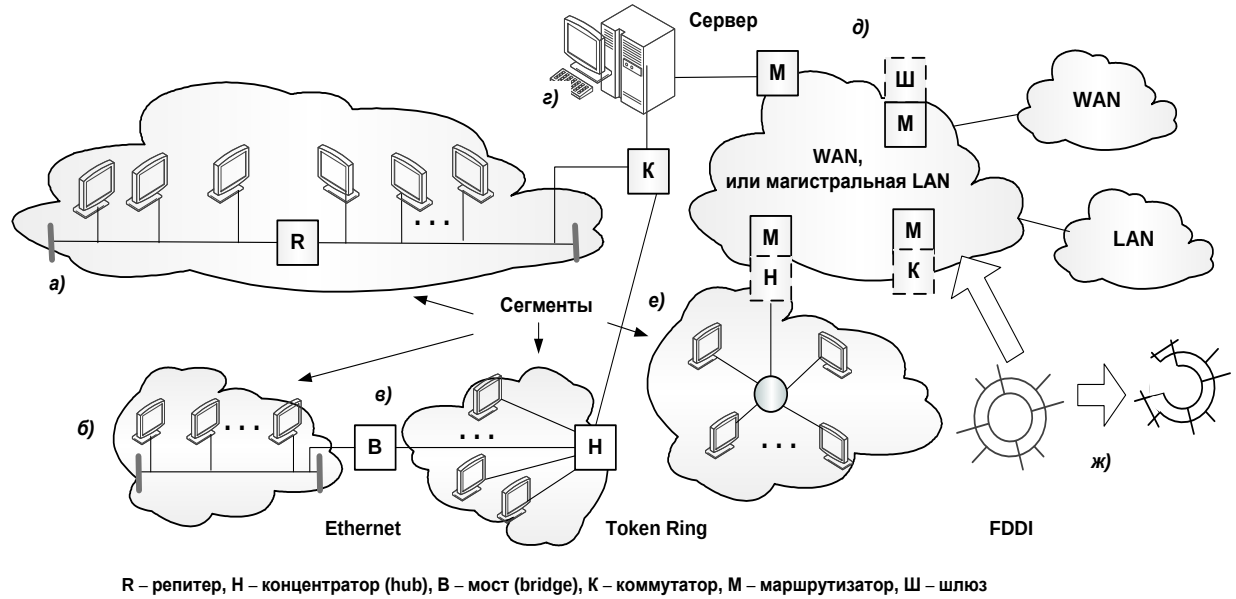


Рис. 11.3. Структура и элементы локальный сетей

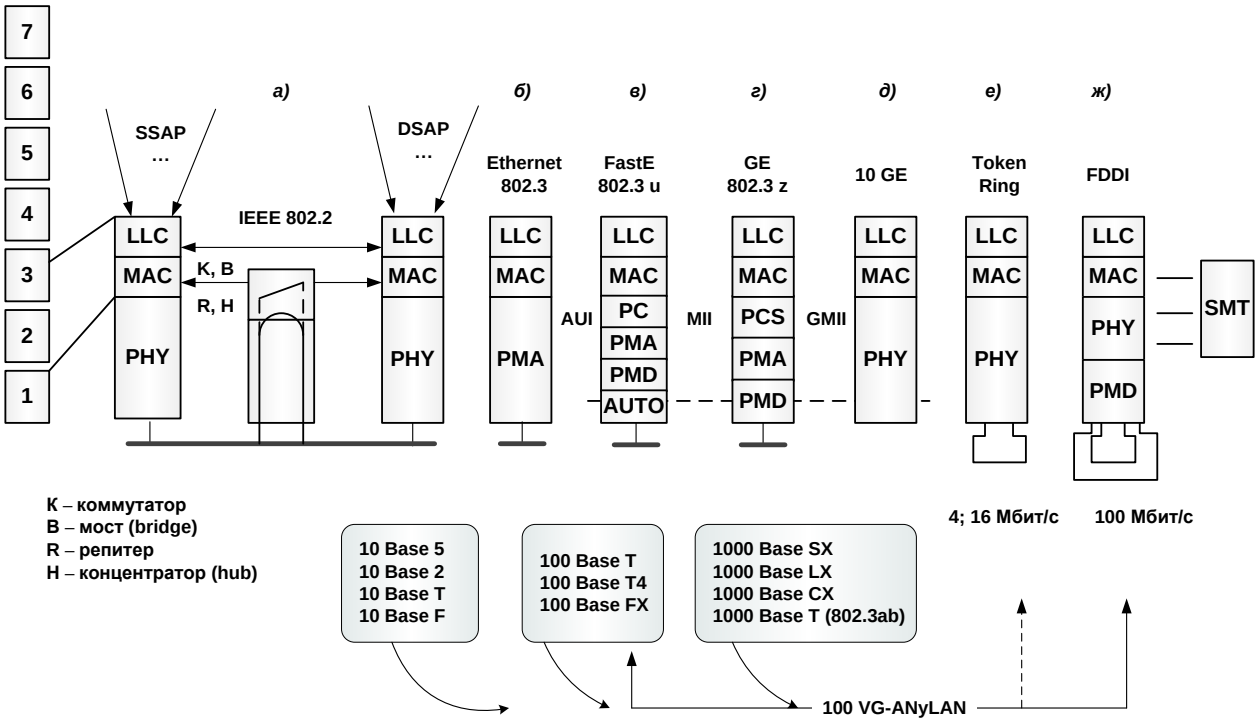


Рис. 11.4. Архитектура протоколов локальных сетей

MAC (и уровня PHY) являются различными для различных технологий построения локальных сетей.

Уровень LLC отвечает за передачу кадров данных между узлами с различной степенью надежности, а также реализует функции интерфейса с прилегающим к нему сетевым уровнем. Именно через уровень LLC сетевой протокол запрашивает у уровня звена данных нужную ему транспортную операцию с нужным качеством.

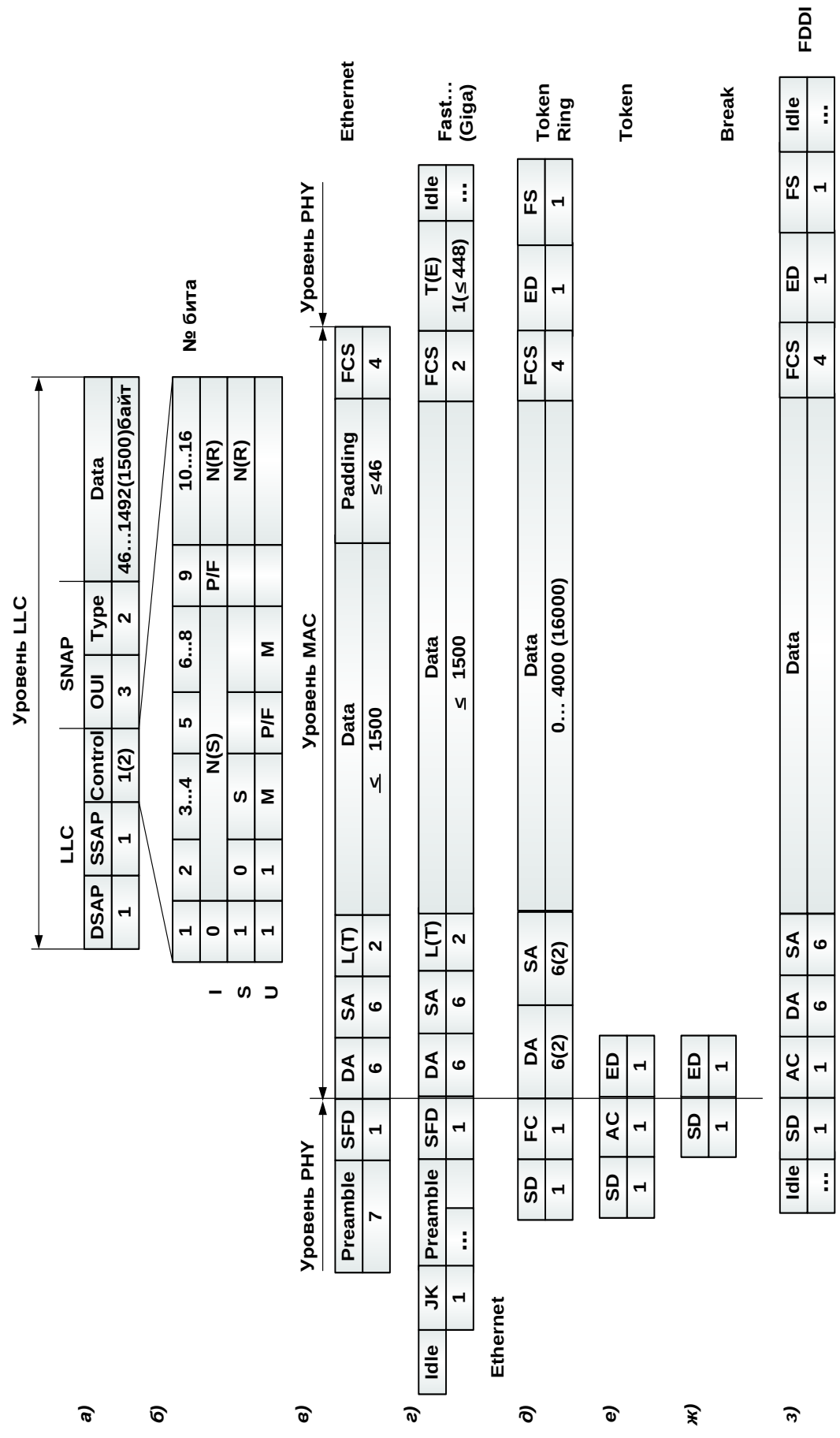


Рис. 11.5. Форматы протокольных блоков данных локальных сетей

На уровне LLC существует несколько режимов работы, отличающихся наличием или отсутствием на этом уровне процедур восстановления кадров в случае их потери или искажения, то есть отличающихся качеством транспортных услуг этого уровня.

Протокол LLC обеспечивает для технологий локальных сетей нужное качество услуг транспортной службы, передавая свои кадры либо дейтаграммным способом, либо с помощью процедур с установлением соединения и восстановлением кадров. Протоколы сетевого уровня передают через межуровневый интерфейс данные для протокола LLC – свой пакет (например, пакет IP, IPX или NetBEUI), адресную информацию об узле назначения, а также требования к качеству транспортных услуг, которое протокол LLC должен обеспечить.

Протокол LLC помещает ПБД верхнего уровня в свой кадр, который дополняется необходимыми служебными полями (рис. 11.5 *а*): DSAP (адрес точки входа службы назначения), SSAP (адрес точки входа службы источника), Control (управляющее поле), поле SNAP относится к протоколам сети Ethernet. Далее через межуровневый интерфейс протокол LLC передает свой кадр вместе с адресной информацией об узле назначения соответствующему протоколу уровня MAC, который упаковывает кадр LLC в свой кадр.

Адресные поля DSAP и SSAP занимают по 1 байту. Они позволяют указать, какая служба верхнего уровня пересылает данные с помощью этого кадра. Программному обеспечению узлов сети при получении кадров канального уровня необходимо распознать, какой протокол вложил свой пакет в поле данных поступившего кадра, чтобы передать извлеченный из кадра пакет нужному протоколу верхнего уровня для последующей обработки.

Управляющее поле Control является носителем служебных данных для реализации используемой в локальной сети версии высокоуровневого протокола управления звеном данных HDLC (*High-level Data Link Control*), являющегося стандартом ISO. Собственно стандарт HDLC представляет собой обобщение нескольких близких стандартов LAP (*Link Access Protocol*), характерных для различных технологий:

LAP-B в сетях X.25;
LAP-F в сетях Frame Relay;
LAP-D в сетях ISDN;
LAP-M в сетях абонентского доступа на основе модемов.

В соответствии со стандартом 802.2 уровень управления логическим каналом LLC предоставляет верхним уровням три типа процедур:

LLC1 – процедура без установления соединения и без подтверждения;
LLC2 – процедура с установлением соединения и подтверждением;
LLC3 – процедурабез установления соединения, но с подтверждением.

Этот набор процедур является общим для всех методов доступа к среде, определенных стандартами 802.3–802.5, а также стандартом FDDI и стандартом 802.12 на технологию 100VG-AnyLAN.

Процедура без установления соединения и без подтверждения LLC1 дает пользователю средства для передачи данных с минимумом издержек. Это дейтаграммный режим работы. Обычно этот вид процедуры используется, когда такие функции, как восстановление данных после ошибок и упорядочивание данных, выполняются протоколами вышележащих уровней, поэтому нет нужды дублировать их на уровне LLC.

Процедура с установлением соединений и подтверждением LLC2 дает пользователю возможность установить логическое соединение перед началом передачи любого блока данных и, если это требуется, выполнить процедуры восстановления после ошибок и упорядочивание потока этих блоков в рамках установленного соединения. Протокол LLC2 во многом аналогичен протоколам семейства HDLC (LAP-B, LAP-D, LAP-M) и работает в режиме скользящего окна.

В некоторых случаях (например, при использовании сетей в системах реального времени, управляющих промышленными объектами), когда временные издержки установления логического соединения перед отправкой данных неприемлемы, а подтверждение о корректности приема переданных данных необходимо, базовая процедура без установления соединения и без подтверждения не подходит. Для таких случаев предусмотрена дополнительная процедура, называемая *процедурой без установления соединения, но с подтверждением LLC3*.

По своему назначению все кадры уровня LLC (называемые в стандарте 802.2 *протокольными блоками данных*, ПБД – *Protocol Data Unit,* PDU) подразделяются на три типа (рис. 11.5 *б*):

I – информационные (Information);

S – управляющие или супервизорные (Supervisory);

U – ненумерованные (Unnumbered).

Информационные кадры предназначены для передачи информации в процедурах с установлением логического соединения LLC2 и должны обязательно содержать поле информации (Data). В процессе передачи информационных кадров осуществляется их нумерация в режиме скользящего окна путем использования полей N(S) – номер передаваемого кадра и N(R) – номер ожидаемого кадра. Последнее поле N(R) совместно с полем P/F реализует квитирование без использования служебных кадров.

Управляющие (супервизорные) кадры предназначены для передачи команд и ответов (в служебном поле S из 2-х бит) в процедурах с установлением логического соединения LLC2, в том числе запросов на повторную передачу искаженных информационных кадров, начиная с номера N(R). Последнее поле N(R) совместно с полем P/F реализует квитирование с помощью служебного супервизорного кадра в случае, если нет попутных информационных кадров, а время отправки квитанции истекает.

Ненумерованные кадры предназначены для передачи ненумерованных команд и ответов (в служебном поле M из 5 бит), выполняющих в процедурах без установления логического соединения передачу информации, идентификацию и тестирование LLC-уровня, а в процедурах с установлением логического соединения LLC2 – установление и разъединение логического соединения, а также информирование об ошибках.

В режиме LLC1 используется только один тип кадра – ненумерованный. У этого кадра поле управления имеет длину в один байт. Все подполя поля управления ненумерованных кадров принимают нулевые значения, так что значимыми остаются только первые два бита поля, используемые как признак типа кадра. Учитывая, что в протоколе Ethernet при записи реализован обратный порядок бит в байте, то запись поля управления кадра LLC1, вложенного в кадр протокола Ethernet, имеет значение 0x03 (здесь префикс 0x обозначает шестнадцатеричное представление).

В режиме LLC2 используются все три типа кадров. В этом режиме кадры делятся на команды и ответы на эти команды. Бит P/F (*Poll/Final*) имеет следующее значение: в командах он называется битом Poll и требует, чтобы на команду был дан ответ, а в ответах он называется битом Final и говорит о том, что ответ состоит из одного кадра.

Ненумерованные кадры используются на начальной стадии взаимодействия двух узлов, а именно стадии установления соединения по протоколу LLC2. Поле M ненумерованных кадров определяет несколько типов команд, которыми пользуются два узла на этапе установления соединения. Ниже приведены примеры некоторых команд.

SNRM – установить нормальный режим ответа (*Set Normal Response Mode, код 00001*). Одна из самых «древних» команд установки несбалансированного (нормального) режима, при котором одна сторона является ведущей (master), а другая ведомой (slave). Ведомая станция начинает передачу кадров после разрешения ведущей станции и после передачи последнего кадра посылает уведомление.

SARM – установить асинхронный режим ответа (*Set Asynchronous Response Mode, код 11001*). Так же как *SNRM* устанавливает несбалансированный (асимметричный) режим, при котором одна сторона является ведущей, а другая ведомой (эта команда относится к полному набору команд протокола HDLC). В отличие от предыдущего случая передача информационных кадров может производиться и без разрешения ведущей станции (асинхронно), но при этом возникает опасность одновременной передачи команды и ответа. В подобной ситуации кадры отвергаются и передаются повторно, причем первой передается команда.

SABM – установить сбалансированный асинхронный режим (Set Asynchronous Balanced Mode, код 11101). Эта команда является запросом на установление симметричного соединения, в котором обе станции могут быть ведущими и ведомыми одновременно, т. е. одновременная передача команд и ответов является допустимой.

SNRME, SARME, SABME – установить расширенный (буква E в конце – Enchased) нормальный или асинхронный режим ответа или сбалансированный асинхронный режим. Эти команды относятся к полному набору команд протокола HDLC. Расширенный режим означает использование двухбайтных полей управления для кадров остальных двух типов (с 7-битовым порядковым номером вместо 3-битового).

UA – ненумерованное подтверждение (Unnumbered Acknowledgement, код 00110). Служит для подтверждения установления или разрыва соединения.

UI – управляющий кадр (Unnumbered Information). Служит для передачи дополнительной служебной информации.

DISC – сброс соединения (Disconnect, код 00010). Запрос разрыва соединения.

DM – отклик на кадр *DISC (код 11000)*, указывающий на разрыв соединения.

CDRM и *FRMR – отказ от команды (код 000010) и отказ от кадра (код 10001).* Используются для сообщения об ошибочной ситуации (как правило, по причине неверного формата), которая не может быть устранена повторением кадров.

После установления соединения данные и положительные квитанции начинают передаваться в информационных кадрах. Логический канал протокола LLC2 является дуплексным, так что данные могут передаваться в обоих направлениях. Если поток дуплексный, то положительные квитанции на кадры также доставляются в информационных кадрах. Если же потока кадров в обратном направлении нет или же нужно передать отрицательную квитанцию, то используются супервизорные кадры.

В информационных кадрах имеется поле N(S) для указания номера отправленного кадра, а также поле N(R) для указания номера кадра, который приемник ожидает получить от передатчика следующим. При работе протокола LLC2 используется скользящее окно размером в 127 кадров, а для их нумерации циклически используется 128 чисел, от 0 до 127.

Приемник всегда помнит номер последнего кадра, принятого от передатчика, и поддерживает переменную с указанным номером кадра, который он ожидает принять от передатчика следующим. Обозначим его через V(R). Именно это значение передается в поле N(R) кадра, посылаемого передатчику. Если в ответ на этот кадр приемник принимает кадр, в котором номер посланного кадра N(S) совпадает с номером ожидаемого кадра V(R), то такой кадр считается корректным (если, конечно, корректна его контрольная сумма). Если приемник принимает кадр с номером N(S), не равным V(R), то этот кадр отбрасывается и посылается отрицательная квитанция *Отказ* (REJ) с номером V(R). При приеме отрицательной квитанции передатчик обязан повторить передачу кадра с номером V(R), а также всех кадров с большими номерами, которые он уже успел отослать, пользуясь механизмом окна в 127 кадров.

В состав супервизорных кадров входят следующие кадры, отличающиеся заполнением двух бит поля S:

00 – *приемник готов (Receiver Ready,* RR*);*

01 – *отказ (Reject,* REJ*);*

10 – *приемник не готов (Receiver Not Ready,* RNR*);*

11 – *выборочный отказ (Selective Reject,* SREJ*).*

Команда RR с номером N(R) часто используется как положительная квитанция, когда поток данных от приемника к передатчику отсутствует, а команда RNR – для замедления потока кадров, поступающих на приемник (но используется тоже как положительная квитанция для ранее принятых кадров).

Это может быть необходимо, если приемник не успевает обработать поток кадров, присылаемых ему с большой скоростью за счет механизма окна. Получение кадра RNR требует от передатчика полной приостановки передачи, до получения кадра RR. С помощью этих кадров осуществляется управление потоком данных, что особенно важно для коммутируемых сетей, в которых нет разделяемой среды, автоматически тормозящей работу передатчика за счет того, что новый кадр нельзя передать, пока приемник не закончил прием предыдущего.

Команда REJ является отрицательным подтверждением, указывающим на обнаружение ошибки в принятом кадре, ожидаемый номер которого высылается в поле N(R). Передатчик должен повторно переслать все кадры, начиная с N(R), что соответствует реализации процедуры решающей обратной связи с последовательной передачей (РОС-ПП).

Команда SREJ представляет собой запрос на повторную передачу только указанного кадра N(R), что соответствует реализации процедуры решающей обратной связи с адресным переспросом (РОС-АП). Однако из-за сложности реализации данной процедуры выборочного переспроса 4-й вариант супервизорного кадра в большинстве сетевых технологий не используется.

Далее рассматривается группа технологий локальных сетей, которые найдут применение и в будущем (рис. 11.6).

Эти технологи хорошо известны, широко применяются сегодня и будут самыми распространенными в будущих ИКС, являясь домашними сетями для индивидуальных пользователей и офисными сетями.

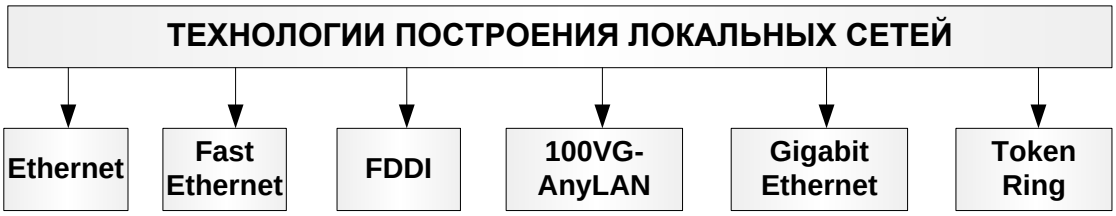


Рис. 11.6. Технологии построения локальных сетей

11.3. Архитектура и технологии построения сетей Ethernet

Типовая структура и элементы сети Ethernet, архитектура протоколов и форматы ПБД показаны на рис. 11.3 *а, б, в, г,* рис. 11.4 *б, в, г, д* и рис. 11.5 *а, б, в, г* в сравнении и в сочетании с аналогичными характеристиками других технологий построения локальных сетей (Token Ring и FDDI).

Ethernet – это самый распространенный на сегодняшний день стандарт локальных сетей. Когда говорят Ethernet, то под этим обычно понимают любой из вариантов этой технологии. В более узком смысле Ethernet – это сетевой стандарт, основанный на экспериментальной сети Ethernet Network, которую фирма Xerox разработала и реализовала в 1975 году. Метод доступа был опробован еще раньше. Во второй половине 60-х годов в радиосети Гавайского университета использовались различные

варианты случайного доступа к общему радиоканалу, получившие общее название Aloha (еще раз напомним, что «Ethernet» дословно переводится, как «(радио-эфирная сеть»). В 1980 году фирмы DEC, Intel и Xerox совместно разработали и опубликовали стандарт Ethernet версии II для сети, построенной на основе коаксиального кабеля, который стал последней версией фирменного стандарта Ethernet. Поэтому фирменную версию стандарта Ethernet называют стандартом Ethernet DIX или Ethernet II.

На основе стандарта Ethernet DIX был разработан стандарт IEEE 802.3, который во многом совпадает со своим предшественником, но некоторые различия все же имеются. В то время как в стандарте IEEE 802.3 различаются уровни MAC и LLC, в оригинальном Ethernet оба эти уровня объединены в единый канальный уровень. В Ethernet DIX определяется протокол тестирования конфигурации (Ethernet Configuration Test Protocol), который отсутствует в IEEE 802.3. Несколько отличается и формат кадра (вместо поля длины L используется поле типа протокола T, выполняющее функции, аналогичные полям DSAP и SSAP уровня LLC (см. рис. 11.5 *в*), хотя минимальные и максимальные размеры кадров в этих стандартах совпадают.

Еще один формат кадра появился в результате усилий компании Novell по ускорению работы своего стека протоколов в сетях Ethernet. В значительной степени он совпадает с форматом кадра Ethernet DIX (тоже не выделяется уровень LLC), но вместо поля T используется поле L, поскольку никаких типов протокола верхних уровней, кроме IPX сетевого уровня в операционной системе Net Ware, не используется.

Для приведения предыдущих форматов кадров к некоторому обобщенному стандарту и придания кадру необходимой гибкости (для учета добавления новых полей или изменения назначения старых полей в будущем) комитет 802.2 разработал четвертый формат кадра Ethernet SNAP (*Sub Network Access Protocol*), отличающийся наличием дополнительных служебных полей на уровне LLC: OUI (*Organizationally Unique Identifier*) – уникальный идентификатор организации, которая контролирует коды протоколов в следующем поле *Type* (соответствует полю T – тип протокола – в кадре Ethernet DIX).

В 1995 году был принят стандарт Fast Ethernet, который во многом не является самостоятельным стандартом, о чем говорит и тот факт, что его описание просто является дополнительным разделом к основному стандарту 802.3 – разделом 802.3u. Аналогично, принятый в 1998 году стандарт Gigabit Ethernet описан в разделе 802.3z основного документа. А в июне 2002 года комитетом IEEE 802 был принят новый стандарт 10GE (10 Gigabit Ethernet), который уже является технологией построения не только локальных, но и глобальных сетей (на основе коммутируемых дуплексных волоконно-оптических каналов).

Рассмотрим варианты технологии Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet более подробно.

11.3.1. Ethernet

В простейшем случае элементами сети Ethernet являются АС (компьютеры) с сетевыми адаптерами, реализующими протоколы Ethernet, и коаксиальный кабель с терминаторами (сопротивлениями 50 Ом) на концах, к которому подключаются все адаптеры «параллельно», прокалывая оплетку (толстый коаксиал) или через Т-образный коаксиальный тройник (тонкий коаксиал). Хотя пространственно такая сеть имеет вид «последовательного» расположения компьютеров вдоль коаксиального кабеля (см. рис. 11.3 *б*).

Сеть может «удлиняться» с помощью репитеров, если при максимальном расстоянии между АС затухание в кабеле слишком велико. Подобный способ реализации «общей шины» является наиболее простым, но по длине кабеля не всегда самым экономичным. «Общая шина» вместе с репитерами может быть уложена внутрь концентратора (хаба).

При этом пространственно сеть имеет радиальную структуру, а при использовании нескольких концентраторов – древовидную. В последнем случае можно добиться минимально возможной суммарной длины кабеля при заданном расположении АС. При наличии концентратора обычно используется не коаксиальный кабель, а витая пара, позволяющая разделить тракты приема и передачи от отдельных АС и упростить развязку между входами и выходами усилителей (репитеров) внутри концентраторов.

Для расширения сети или для уменьшения нагрузки на общую физическую среду сеть Ethernet может разделяться на отдельные сегменты (домены коллизий) мостами и коммутаторами. Наряду с одноранговыми сетями, в которых все АС равны, могут строится также сети с сервером, который может играть роль администратора сети, а также выполнять функции маршрутизатора, обеспечивающего подключение локальной сети через модем или выделенный цифровой канал к глобальной сети и к удаленным локальным сетям (см. пример на рис. 11.3 *г*).

В зависимости от типа физической среды стандарт IEEE 802.3 имеет следующие варианты реализации *физического уровня* PMA (*Physical Media Access*):

10 Base-5 – коаксиальный кабель диаметром 0,5 дюйма, называемый «толстым» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента – 500 метров (без повторителей);

10 Base-2 – коаксиальный кабель диаметром 0,25 дюйма, называемый «тонким» коаксиалом. Имеет волновое сопротивление 50 Ом. Максимальная длина сегмента – 185 метров (без повторителей);

10 Base-T – кабель на основе неэкранированной витой пары UTP (*Unshielded Twisted Pair*). Образует звездообразную топологию на основе концентратора. Расстояние между концентратором и конечным узлом – не более 100 м;

10 Base-F – волоконно-оптический кабель. Топология аналогична топологии стандарта 10Base-T. Имеется несколько вариантов этой спецификации – FOIRL (расстояние до 1 000 м), 10Base-FL (расстояние до 2 000 м), 10Base-FB (расстояние до 2 000 м).

Число 10 в указанных выше названиях обозначает битовую скорость передачи данных этих стандартов – 10 Мбит/с, а слово Base – метод передачи на одной базовой частоте 10 МГц (в отличие от методов, использующих несколько несущих частот, которые называются Broadband – широкополосными). Последний символ в названии стандарта физического уровня обозначает тип кабеля.

Стандарт Ethernet допускает физическое разделение устройств, реализующих доступ к физической среде и устройств реализующих протоколы MAC-уровня и выше. Для соединения данных устройств используется интерфейс AUI и разъем DB-15.

Для передачи двоичной информации по кабелю используется манчестерский код (с перепадами напряжения при передаче по витой паре ± 0,85 В). Кадр данных всегда сопровождается преамбулой (*Preamble*), которая включает 7 байт, состоящих из значений 10101010, и 1 байт, равный 10101011, имеющий значение начального ограничителя кадра. Последний байт иногда изображают отдельно от преамбулы и обозначают SFD (*Start of Frame Delimiter*). Преамбула нужна для вхождения приемника в побитовый и побайтовый синхронизм с передатчиком.

Указанные поля кадра обрабатываются на физическом уровне, однако, учитывая их жесткую привязку к кадру MAC-уровня, их часто рассматривают в составе единого кадра.

Основными служебными полями кадраMAC-уровня (см. рис. 11.5 *в*) являются: адрес источника SA (*Source Address*), адрес назначения DA (*Destination Address*), длина информационного поля L (*Length*) и проверочная последовательность FCS (*Frame Check Sequence*). Если объем информации, переносимой одним кадром в информационном поле, меньше 46 байт, то в состав кадра включается поле заполнения (*Pad* или *Padding*), имеющее размер, дополняющий объем информации до 46 байт, что необходимо

для нормальной работы протокола множественного доступа на основе описаного ниже метода CSMA/CD.

Адреса *SA* и *DA* могут быть длиной 2 или 6 байт. На практике всегда используются адреса из 6 байт. Первый бит старшего байта адреса назначения является признаком того, является адрес индивидуальным или групповым. Если он равен 0, то адрес является индивидуальным (*unicast*), а если 1, то это групповой адрес (*multicast*). Групповой адрес может предназначаться всем узлам сети или же определенной группе узлов сети. Если адрес состоит из всех единиц, то он предназначается всем узлам сети и называется широковещательным адресом (*broadcast*).

В остальных случаях групповой адрес связан только с теми узлами, которые сконфигурированы (например, вручную) как члены группы, номер которой указан в групповом адресе. Второй бит старшего байта адреса определяет способ назначения адреса – централизованный или локальный. Если этот бит равен 0 (что бывает почти всегда в стандартной аппаратуре Ethernet), то адрес назначен централизованно, с помощью комитета IEEE. Комитет IEEE распределяет между производителями оборудованиятак называемые организационно уникальные идентификаторы OUI. Этот идентификатор помещается в 3-х старших байтах адреса. За уникальность младших 3-х байт адреса отвечает производитель оборудования. Двадцать четыре бита, отводимые производителю для адресации интерфейсов его продукции, позволяют выпустить 16 миллионов интерфейсов под одним идентификатором организации. Уникальность централизованно распределяемых адресов распространяется на все основные технологии локальных сетей – Ethernet, Token Ring, FDDI и др.

Стандарты Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet используют один и тот же метод разделения среды передачи данных – метод CSMA/CD (*carrier sense multiply acces swithcollision detection*), даже если вместо разделяемой среды в виде коаксиального кабеля или концентратора, подключаемого витой парой, используется коммутатор с дуплексным подключением, исключающим конфликты (см. рис. 11.5 *г*). По-русски данный метод называют КДОН/ОК (коллективный доступ с опознаванием несущей и обнаружением конфликтов) или МДКН/ОК (множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов).

Этот метод применяется исключительно в сетях с логической общей шиной (к которым относятся и радиосети, породившие этот метод). Все АС (станции, компьютеры, а также коммуникационные устройства или обобщенно «узлы») такой сети имеют непосредственный доступ к общей шине, поэтому она может быть использована для передачи данных любым из них.

Одновременно все компьютеры сети имеют возможность немедленно (с учетом задержки распространения сигнала по физической среде) получить данные, которые любой из компьютеров начал передавать на общую шину (см. рис. 11.7). Простота схемы подключения – это один из факторов, определивших успех стандарта Ethernet.

Чтобы иметь право передавать кадр, АС должна убедиться, что разделяемая среда свободна. Это достигается прослушиванием основной гармоники сигнала, которая также называется несущей частотой (*carrier sense,* CS). Признаком незанятости среды является отсутствие на ней несущей частоты, которая при манчестерском способе кодирования равна 5–10 МГц, в зависимости от последовательности единиц и нулей, передаваемых в данный момент.

Если среда свободна, то узел имеет право начать передачу кадра. Этот кадр изображен на рис. 11.7 первым. Узел 1 обнаружил, что среда свободна, и начал передавать свой кадр.

Все станции, подключенные к кабелю, могут распознать факт передачи кадра, и та станция, которая узнает собственный адрес в заголовках кадра, записывает его содержимое в свой внутренний буфер, обрабатывает полученные данные, передает их

вверх по своему стеку, а затем посылает по кабелю кадр-ответ. Адрес станции источника содержится в исходном кадре, поэтому станция-получатель знает, кому нужно послать ответ.

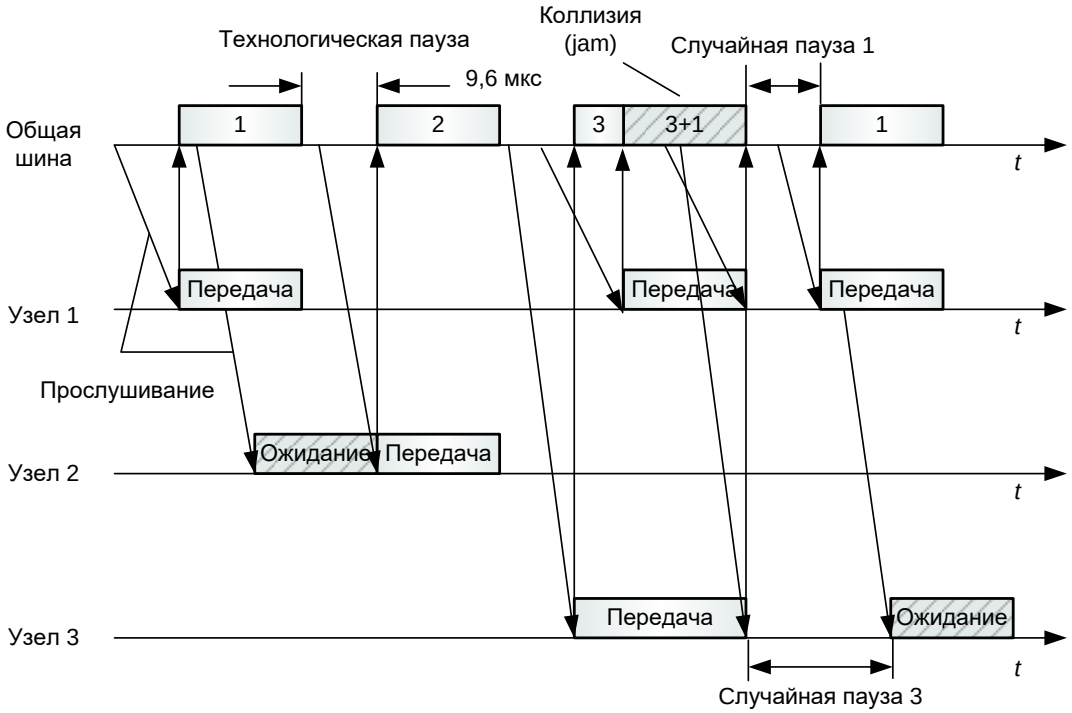


Рис. 11.7. Метод случайного доступа CSMA/CD

Узел 2 во время передачи кадра узлом 1 также пытался начать передачу своего кадра, однако обнаружил, что среда занята – на ней присутствует несущая частота, – поэтому узел 2 вынужден ждать, пока узел 1 не прекратит передачу кадра.

После окончания передачи кадра все узлы сети обязаны выдержать *технологическую паузу* (IPG – *Inter Packet Gap*) в 9,6 мкс. Эта пауза, называемая также *межкадровым интервалом*, нужна для приведения сетевых адаптеров в исходное состояние, а также для предотвращения монопольного захвата среды одной станцией. После окончания технологической паузы узлы имеют право начать передачу своего кадра, так как среда свободна. Из-за задержек распространения сигнала по кабелю не все узлы строго одновременно фиксируют факт окончания передачи кадра узлом 1. В приведенном примере узел 2 дождался окончания передачи кадра узлом 1, сделал паузу в 9,6 мкс и начал передачу своего кадра.

При описанном подходе возможна ситуация, когда две станции одновременно пытаются передать кадр данных по общей среде. Механизм прослушивания среды и пауза между кадрами не гарантируют от возникновения такой ситуации, когда две или более станции одновременно решают, что среда свободна, и начинают передавать свои кадры. Говорят, что при этом происходит *коллизия* (*collision*), так как содержимое обоих кадров сталкивается в общем кабеле и происходит искажение информации – методы кодирования, используемые в Ethernet, не позволяют выделять сигналы каждой станции из общего сигнала.

Коллизия – это нормальная ситуация в работе сетей Ethernet. Для возникновения коллизии не обязательно, чтобы несколько станций начали передачу абсолютно одновременно, такая ситуация маловероятна. Гораздо вероятней, что коллизия возникает из-за того, что один узел начинает передачу раньше другого, но до второго узла сигналы первого просто не успевают дойти к тому времени, когда второй узел решает начать передачу своего кадра. То есть коллизии – это следствие распределенного характера сети.

Четкое распознавание коллизий всеми станциями сети является необходимым условием корректной работы сети Ethernet. Для надежного распознавания коллизий должно выполняться следующее соотношение:

$$T_{\min} \geq \text{PDV}, \qquad (11.1)$$

где $T_{\min}$ – время передачи кадра минимальной длины, а PDV (*Path Delay Value*) – время, за которое сигнал коллизии успевает распространитьсядо самого дальнего узла сети. Так как в худшем случае сигнал должен пройти дважды между наиболее удаленными друг от друга станциями сети (в одну сторону проходит неискаженный сигнал, а на обратном пути распространяется уже искаженный коллизией сигнал), то это время называется временем двойного оборота.

Все параметры протокола Ethernet подобраны таким образом, чтобы при нормальной работе узлов сети условие (11.1) всегда выполнялось и чтобы коллизии всегда четко распознавались.

В стандарте Ethernet принято, что минимальная длина поля данных кадра составляет $W_{\text{К.И.min}} = 46$ байт, что вместе со всеми служебными полями $W_{\text{К.С}} = 7+ 1+ 6+ 6+ 2+ 4 = 26$ байт дает минимальную длину кадра $W_{\text{К.min}} = 46 + 26 = 72$ байт или $W_{\text{К.min}} = 576$ бит). С учетом этого, а также с учетом затухания в кабеле и задержек в репитерах в коаксиальных реализациях Ethernet разработчики ограничили максимальное количество сегментов в сети пятью с длиной каждого не более 500 м. Это определило общую длину сети 2 500 метрами.

С увеличением скорости передачи кадров, что имеет место в новых стандартах, базирующихся на том же методе доступа CSMA/CD, например FastEthernet, максимальное расстояние между станциями сети уменьшается пропорционально увеличению скорости передачи. В стандарте FastEthernet оно составляет около 210 м, а в стандарте GigabitEthernet оно было бы ограничено 25 м, если бы разработчики стандарта не предприняли некоторых мер по увеличению минимального размера кадра.

Чтобы корректно обработать коллизию, все станции одновременно наблюдают за возникающими в кабеле сигналами. Если передаваемые и наблюдаемые сигналы отличаются, то фиксируется обнаружение коллизии (*collision detection,* CD). Для увеличения вероятности скорейшего обнаружения коллизии всеми станциями сети станция, которая обнаружила коллизию, прерывает передачу своего кадра (в произвольном месте, возможно, и не на границе байта) и *усиливает ситуацию коллизии* посылкой в сеть специальной последовательности из 32 бит, называемой *jam-последовательностью*.

После этого обнаружившая коллизию передающая станция обязана прекратить передачу и сделать паузу в течение короткого случайного интервала времени. Затем она может снова предпринять попытку захвата среды и передачи кадра. Случайная пауза $T_{\text{пауза}}$ выбирается по следующему правилу (иногда именуемому алгоритмом *усеченной бинарной экспоненциальной задержки – truncated binary exponential back off*):

$$T_{\text{пауза}} = LT_{\text{отср}}, \qquad (11.2)$$

где интервал отсрочки $T_{\text{отср}}$ равен 512 битовым интервалам, т. е. длительности передачи кадра минимальной длины $W_{\text{К.min}} = 576 – 8 \times 8 = 512$ без учета преамбулы (в технологии Ethernet принято все интервалы измерять в битовых интервалах; битовый интервал обозначается как *bt* и соответствует времени между появлением двух последовательных бит данных на кабеле; для скорости 10 Мбит/с величина битового интервала равна 0,1 мкс или 100 нс); L представляет собой целое число, выбираемое с равной вероятностью из диапазона $[0, 2^N]$, где N – номер повторной попытки передачи данного кадра ($N = 1, 2, ..., 10$).

После 10-й попытки интервал, из которого выбирается пауза, не увеличивается. Таким образом, случайная пауза может принимать значения от 0 до 52,4 мс.

Если 16 последовательных попыток передачи кадра вызывают коллизию, то передатчик должен прекратить попытки и отбросить этот кадр.

Если в сети передача кадров производится только одной АС, то коллизий не происходит и время передачи одного кадра можно определить по следующей формуле:

$$T_{К.ср} = T_{б.ср} + T_К + T_{т.п.}, \quad (11.3)$$

где $T_{т.п.} = 9{,}6$ мкс – затраты времени на технологическую паузу (межкадровый интервал), а остальные переменные описаны ниже.

Обычно скорость распространения электромагнитного поля в кабеле составляет около 60 % от скорости в вакууме 3×10^5 км/с. Следовательно при максимальной дальности 2,5 км задержка на физическом уровне составит $T_{б.ср} \approx 13{,}9$ мкс.

При максимальном количестве служебных полей в кадре Ethernet SNAP $W_{К.С.} = 7+ 1+ 6+ 6+ 2+ 1+ 1+ 2+ 3+ 2+ 4 = 35$ байт и минимальном размере информационного поля $W_{К.И.} = 46$ байт минимальное время передачи кадра из $W_К = 35 + 46 = 91$ байт = 728 бит со скоростью $V_б$=10 Мбит/с составит $T_К = 72{,}8$ мкс. Тогда минимальное время передачи кадра с учетом дополнительных задержек будет равно $T_{К.ср} = 13{,}9 + 72{,}8 + 9{,}6 = 96{,}3$ мкс.

«Чистое» время $T_{К.И}$ передачи информации объемом $W_{К.И} = 46$ байт = 368 бит составляет $T_{К.И} = 36{,}8$ мкс. При непрерывной последовательной передаче кадров величина $T_{б.ср}$ будет представлять собой фиксированный сдвиг, не влияющий на эффективность использования ресурса пропускной способности среды передачи, которая в данном случае будет иметь величину:

$$E_К = T_{К.И} / (T_{К.ср} - T_{б.ср}) \approx 0{,}447. \quad (11.4)$$

Эффективность (11.4) является довольно низкой даже без учета коллизий. Если же использовать самые длинные кадры с $W_{К.И} = 1500$ байт, то получим $W_К = 35 + 1500 = 1535$ байт = 12280 бит, $T_К = 1{,}228$ мс, $T_{К.ср} \approx 1{,}252$ мс, $T_{К.И} = 1{,}2$ мс, $E_К = 0{,}969$. Естественно, в данном случае эффективность оказывается близкой к 1, но задержка значительно возрастает.

Оценим, как влияет на характеристики своевременности и эффективности использования ресурсов одновременная передача кадров от нескольких АС в сети, приводящая к коллизиям.

Заметим, что в явном виде сетевой уровень с маршрутизацией и узлами коммутации в односегментных сетях Ethernet отсутствует, но косвенно роль узла коммутации играет вся сеть, представляющая собой одноканальную систему массового обслуживания с ожиданием и случайным выбором очередной обслуживаемой заявки из очереди, распределенной по всем АС.

Тогда среднее время передачи кадра $T_{К.ср}$ на уровне звена данных локальной сети можно рассчитать по аналогии со средним временем передачи пакетов на сетевом уровне путем сложения времени ожидания $T_{К.ож}$ и обслуживания $T_{К.об}$.

Время обслуживания заявки $T_{К.об}$ можно считать равным времени передачи кадра (11.3) без мешающего влияния других АС.

Точный расчет величины времени ожидания $T_{К.ож}$ является довольно сложной задачей, так как требует учета взаимосвязи случайных процессов появления новых заявок у всех АС сети и случайных процессов первой и повторных попыток (из-за коллизий) передать старые заявки. Для приближенной оценки величины $T_{К.ож}$ или даже сразу $T_{К.ср}$ можно воспользоваться одной из следующих упрощенных моделей.

Первая модель предполагает бесконечное количество АС в сети $N\to\infty$, генерирующих простейший поток заявок с конечной суммарной интенсивностью Λ, увеличивающейся за счет повторных передач до величины Λ'. В данном случае расчет величины $T_{К.ср}$ можно выполнить путем решения следующей системы нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} P_{ок} = \exp(-\Lambda' T_{К.об}); \\ \Lambda' = \Lambda / P_{ок}; \\ T_{К.ср} = T_{К.об} / P_{ок}, \end{cases} \quad (11.5)$$

где $P_{ок}$ – вероятность успешной однократной передачи кадра.

Вторая модель предполагает конечное количество АС в сети N, постоянно имеющих заявки на обслуживание, т. е. работающих с максимально возможной интенсивностью, соответствующей фактически пропускной способности сети. В данном случае величина $T_{К.ср}$ соответствует среднему периоду повторения успешных передач при случайном выборе одной из АС, имеющих заявки на обслуживание и равна:

$$T_{К.ср} = N(T_{К.об} + \alpha_N \times T_{отср}), \quad (11.6)$$

где коэффициент α_N представляет собой среднее количество интервалов отсрочки $T_{отср}$ (см. пояснения к (11.2)), которое тратится на разрешение конфликтов после коллизий по правилу (11.2).

Если $N = 1$, то $\alpha_N = 0$. Если $N = 2$, то $\alpha_N = 1$. При дальнейшем росте N и «идеально корректном поведении» всех АС величина α_N стремится к значению $e - 1 = 1{,}718$. Однако «идеально корректное поведение» требует точного знания количества активных соперников N, которому должно равняться оптимальное значение L в формуле (11.2). Однако точно оценить количество N используемый в сети Ethernet алгоритм разрешения конфликтов не позволяет. Поэтому на практике некоторое «некорректное поведение» соперников приводит к увеличению коэффициента α_N до величины $\alpha_N \approx 2{,}5$.

Первая модель является более точной при низкой нагрузке в сети, при которой сеть Ethernet является наиболее эффективной, а также более чувствительной к перегрузкам при большой нагрузке. В пределе при $L \to 0$, согласно 1-й модели и при $N = 1$ согласно 2-й модели результаты сходятся к рассмотренному выше случаю отсутствия коллизий (11.3), (11.4).

При большой (и неизвестной) нагрузке удобнее использовать вторую модель. Тем более что количество активных АС N для конкретной сети фактически всегда известно. К тому же модель позволяет оценить предельную нагрузку (интенсивность заявок), а не задавать ее.

Например, если в сети работают $N = 10$ АС и постоянно пытаются передавать самые короткие кадры с $W_К = 91$ байт = 728 бит, то при $T_{К.об} = 96{,}3$ мкс, $T_{отср} = 51{,}2$ мкс и $\alpha_N = 2{,}5$ по формуле (11.6) получим $T_{К.ср} \approx 2{,}24$ мс. Учитывая, что за время $T_{К.ср}$ все АС в среднем по одному разу успевают передать свои кадры, то максимальная допустимая интенсивность заявок (кадров) составляет величину

$$\Lambda = N / T_{К.ср} = 4\,464{,}3 \text{ кадров/с}. \quad (11.7)$$

Реализованная нагрузка или максимальная суммарная информационная скорость в сети при этом составляет величину

$$V_{К.инф} = W_{К.И.}\Lambda \approx 1{,}643 \text{ Мбит/с}. \quad (11.8)$$

Эффективность использования пропускной способности среды передачи с *точки зрения отдельной АС* составляет в данном случае величину $E_К = 36{,}8 \text{ мкс} / 2{,}24 \times 10^3 \text{ мкс} \approx 0{,}016$. Очень маленькое значение эффективности в данном случае подчеркивает факт значительного мешающего влияния «соседних» АС на передачу кадров отдельной АС, рассматривающей общую среду передачи «своей собственностью». В то же время с точки зрения сети, обслуживающей все АС, эффективность использования среды передачи составляет величину в N раз большую, т. е. в данном случае $E_К (N = 10) = 0{,}16$. Однако и эта суммарная эффективность оказалась довольно низкой из-за большой доли служебных сообщений, повторов и пауз.

Если же все $N = 10$ АС передают самые длинные кадры с $W_К = 1\,535$ байт = 12 280 бит, то с учетом $T_{К.об} \approx 1{,}252$ мс и прежних значениях $T_{отср}$ и α_N

по формуле (11.6) получим $T_{К.ср} \approx 13{,}8$ мс. Максимальная допустимая интенсивность заявок согласно (11.7) при этом составляет $\Lambda = 724{,}6$ кадров/с, а суммарная информационная скорость $V_{К.инф} \approx 8{,}695$ Мбит/с.

Эффективность использования пропускной способности среды передачи с *точки зрения отдельной АС* составляет в данном случае величину $E_К = 1{,}2 / 13{,}8$ мс $= 0{,}087$, а с точки зрения сети, обслуживающей все АС, эффективность использования среды передачи составляет величину $E_К (N = 10) = 0{,}87$, что является достаточно большим значением. Однако ценой этого является «искусственно сдерживаемая» нагрузка и довольно большое время передачи отдельных кадров. Расчеты по первой модели показывают, что эффективность сети Ethernet при большой нагрузке, как правило, не превышает 0,5–0,6 и сопровождается стремительным возрастанием времени передачи кадров.

11.3.2. Fast Ethernet

Классический 10-мегабитный Ethernet устраивал большинство пользователей на протяжении около 15 лет. Однако в начале 90-х годов начала ощущаться его недостаточная пропускная способность. Назрела необходимость в разработке «нового» Ethernet, то есть технологии, которая была бы такой же эффективной по соотношению цена/качество при производительности 100 Мбит/с. В результате поисков и исследований специалисты разделились на два лагеря (Fast Ethernet Alliance и коалицию HP, AT&T и IBM), что в конце концов привело к появлению двух новых технологий – Fast Ethernet и l00VG-AnyLAN, отличающихся степенью преемственности с классическим Ethernet.

В центре дискуссий была проблема сохранения случайного метода доступа CSMA/CD. Предложение Fast Ethernet Alliance сохраняло этот метод и тем самым обеспечивало преемственность и согласованность сетей 10 Мбит/с и 100 Мбит/с. Коалиция HP, AT&T и IBM (которая имела поддержку значительно меньшего числа производителей) предложила совершенно новый метод доступа, названный Demand Priority – приоритетный доступ по требованию. Он существенно менял картину поведения узлов в сети, поэтому не смог вписаться в технологию Ethernet и стандарт 802.3, и для его стандартизации был организован новый комитет IEEE 802.12.

Осенью 1995 года обе технологии стали стандартами IEEE. Комитет IEEE 802.3 принял спецификацию Fast Ethernet в качестве стандарта 802.3u, который не является самостоятельным стандартом, а представляет собой дополнение к существующему стандарту 802.3 в виде глав с 21 по 30. Комитет 802.12 принял технологию l00VG-AnyLAN, которая использует новый метод доступа Demand Priority и поддерживает кадры двух форматов – Ethernet и Token Ring.

Все отличия технологии Fast Ethernet от Ethernet сосредоточены на физическом уровне (см. рис. 11.4 *б, в*). Уровни MAC и LLC в Fast Ethernet остались абсолютно теми же, и их описывают прежние главы стандартов 802.3 и 802.2. Поэтому далее сосредоточим внимание только на особенностях физического уровня.

Физический уровень технологии Fast Ethernet является более сложным, поскольку обеспечить скорость передачи 100 Мбит/с, очевидно, сложнее, чем 10 Мбит /с.

Коаксиальный кабель, давший миру первую сеть Ethernet, в число разрешенных сред передачи для новой технологии Fast Ethernet не попал. Это общая тенденция многих новых технологий, поскольку на небольших расстояниях витая пара категории 5 позволяет передавать данные с той же скоростью, что и коаксиальный кабель, но сеть получается более дешевойи удобной в эксплуатации. На больших расстояниях оптическое волокно обладает гораздо более широкой полосой пропускания, чем коаксиал, а стоимость сети получается ненамного выше, особенно если учесть высокие затраты на поиск и устранение неисправностей в крупной кабельной коаксиальной системе.

Отказ от коаксиального кабеля привел к тому, что сети Fast Ethernet всегда имеют иерархическую древовидную структуру, построенную на концентраторах, как и сети 10 Base-T / 10 Base-F. Основным отличием конфигураций сетей Fast Ethernet является сокращение диаметра сети примерно до 200 м, что объясняется уменьшением времени передачи кадра минимальной длины в 10 раз за счет увеличения скорости передачи в 10 раз.

Тем не менее, это обстоятельство не очень препятствует построению крупных сетей на технологии Fast Ethernet. Дело в том, что середина 90-х годов отмечена не только широким распространением недорогих высокоскоростных технологий, но и бурным развитием локальных сетей на основе коммутаторов. При использовании коммутаторов протокол Fast Ethernet может работать в полнодуплексном режиме, в котором нет ограничений на общую длину сети, а остаются только ограничения на длину физических сегментов, соединяющих соседние устройства (адаптер – коммутатор или коммутатор – коммутатор). Поэтому при создании магистралей локальных сетей большой протяженности технология Fast Ethernet также активно применяется, но только в полнодуплексном варианте на основе коммутаторов.

По сравнению с вариантами физической реализации Ethernet в Fast Ethernet отличия каждого варианта от других глубже – меняется как количество проводников, так и методы кодирования. А так как варианты физического уровня Fast Ethernet создавались одновременно, а не эволюционно, как для сетей Ethernet, то имелась возможность детально определить подуровни физического уровня, зависящие и независящие от физической среды.

В итоге на физическом уровне были выделены *три элемента* (см. рис. 11.4 *в*):

подуровень согласования (*reconciliation sublayer*) (на рис. 11.4 *в* не показан);

независимый от среды интерфейс (*Media Independent Interface,* MII);

устройство физического уровня (*Physical layerdevice,* PHY).

Уровень согласования нужен для того, чтобы уровень MAC, рассчитанный на интерфейс AUI, смог работать с физическим уровнем через интерфейс MII.

Интерфейс MII поддерживает независимый от физической среды способ обмена данными между подуровнем MAC и подуровнем PHY. Этот интерфейс аналогичен по назначению интерфейсу AUI классического Ethernet за исключением того, что интерфейс AUI располагался между подуровнем физического кодирования сигнала (для любых вариантов кабеля использовался одинаковый метод физического кодирования – манчестерский код) и подуровнем физического присоединения к среде, а интерфейс MII располагается между подуровнем MAC и подуровнями кодирования сигнала, которых в стандарте Fast Ethernet три – FX, TX и T4 (см. ниже).

Устройство физического уровня (PHY) состоит, в свою очередь, из нескольких *подуровней* (см. рис. 11.4 *в*):

подуровня логического кодирования данных (PC – *PhysicalCoding*), преобразующего поступающие от уровня MAC байты в символы кода 4B/5B или 8B/6T;

подуровня физического присоединения (PMA – *Physical Medium Attachment*);

подуровня зависимости от физической среды (PMD – *Physical Medium Dependent*), который совместно с предыдущим подуровнем обеспечивает формирование соответствующих данной среде сигналов;

подуровня автопереговоров (*Auto*), который позволяет двум взаимодействующим портам автоматически выбрать наиболее эффективный режим работы, например, полудуплексный или полнодуплексный (этот подуровень является факультативным).

Обычно процедура автопереговоров происходит также при подсоединении сетевого адаптера, который может работать на скоростях 10 и 100 бит/с, к концентратору или коммутатору.

Официальный стандарт 802.3u установил для разных сред передачи три различных спецификации физического уровня Fast Ethernet (см. рис. 11.4 *в*):

100 Base-TX – для двух пар кабеля (прием/передача) UTP категории 5 или STP (Shielded Twisted Pair – экранированная витая пара) Type 1 (используемые коды – 4B/5B и MLT-3);

100 Base-T4 – для четырех пар кабеля UTP категории 3, 4 или 5 (используемый код – 8B/6T);

100 Base-FX – для двух волокон (прием/передача) многомодового оптического кабеля (используемые коды – 4B/5B и NRZI).

Для работы по витой паре определено 5 различных режимов работы, которые могут поддерживать устройства 100 Base-TX или 100 Base-T4, выбирая один из них при автопереговорах в следующем порядке возрастания приоритета:

100 Base-T – 2 пары категории 3;

100 Base-Tfull-duplex – 2 пары UTP категории 3;

100 Base-TX – 2 пары UTP категории 5 или STP – экранированная витая пара) категории 1A;

100 Base-T4 – 4 пары UTP категории 3;

100 Base-TXfull-duplex – 2 пары UTP категории 5 или STP категории 1A.

Спецификация 100 Base-T4 была разработана для того, чтобы можно было использовать имеющуюся проводку на витой паре категории 3. Эта спецификация позволяет повысить общую пропускную способность за счет одновременной передачи потоков бит по всем 4 парам кабеля.

Вместо кодирования 4B/5B в этом методе используется кодирование 8B/6T, которое обладает более узким спектром сигнала и при скорости 33 Мбит/с укладывается в полосу 16 МГц витой пары категории 3 (при кодировании 4B/5B спектр сигнала в эту полосу не укладывается). Каждые 8 бит информации уровня MAC кодируются 6-ю троичными цифрами (*ternarysymbols*). Каждая троичная цифра имеет длительность 40 нс. Группа из 6-ти троичных цифр затем передается на одну из трех передающих витых пар, независимо и последовательно.

Четвертая пара используется для прослушивания несущей частоты в целях обнаружения коллизии. Скорость передачи данных по каждой из трех передающих пар равна 33,3 Мбит/с, поэтому общая скорость протокола 100 Base-T4 составляет 100 Мбит/с. В то же время из-за принятого способа кодирования скорость изменения сигнала на каждой паре равна всего 25 Мбод, что и позволяет использовать витую пару категории 3.

Межкадровый интервал (IPG) в сети Fast Ethernet равен 0,96 мкс, а битовый интервал равен 10 нс. Все временные параметры алгоритма доступа (интервал отсрочки, время передачи кадра минимальной длины и т. п.), измеренные в битовых интервалах, остались прежними. Соответственно, формат кадров технологии Fast Ethernet почти не отличается от формата кадров технологий 10-ти мегабитного Ethernet.

Отличие проявляется в использовании перед началом кадра комбинации символов Start Delimiter (пара символов J (11000) и K (10001) кода 4B/5B (применяемого в 100 Base-FX/TX), а после завершения кадра символа T (End Delimiter) (см. рис. 11.5 *г*). Данные служебные поля нужны для отделения кадра от постоянной заполняющей последовательности символов *Idle* (не используемой в сети Ethernet 10 Мбит/с, в которой общая среда должна в паузах «молчать»).

Функциональные характеристики сети Fast Ethernet можно оценить таким же образом, каким выше оценивались характеристики сети Ethernet. Очевидно, что увеличение кадра на 2 байта (JK и T) незначительно снижает эффективность использования физической среды передачи, а своевременность улучшается пропорционально увеличению скорости в 10 раз, но уменьшается размер и состав сети

в режиме CSMA/CD. Однако при построении сети на основе коммутаторов ограничения по дальности определяются только затуханием сигнала ниже уровня, при котором начинает сказываться ухудшение достоверности (не оцениваемое обычно при анализе локальных сетей).

11.3.3. Gigabit Ethernet

Довольно быстро после появления на рынке продуктов Fast Ethernet стала ощущаться недостаточность скорости 100 Мбит/с. Во многих случаях серверы, подключенные по 100-мегабитному каналу, перегружали магистрали сетей, работающие также на скорости 100 Мбит/с – магистрали FDDI и Fast Ethernet. Ощущалась потребность в следующем уровне иерархии скоростей. В 1995 году более высокий уровень скорости могли предоставить только коммутаторы ATM, а при отсутствии в то время модификации этой технологии для локальных сетей (хотя спецификация LAN Emulation – LANE была принята в 1995 году, практическая ее реализация задержалась) внедрять их в локальную сеть почти никто не решался – технология ATM отличалась очень высоким уровнем стоимости.

Поэтому через несколько месяцев после окончательного принятия стандарта Fast Ethernet летом 1996 года было объявлено о создании группы 802.3z для разработки протокола, максимально подобного Ethernet, но с битовой скоростью 1000 Мбит/с. Как и в случае Fast Ethernet, сообщение было воспринято сторонниками Ethernet с большим энтузиазмом.

Основной причиной энтузиазма была перспектива такого же плавного перевода сетевых магистралей на Gigabit Ethernet, подобно тому, как были переведены на Fast Ethernet перегруженные сегменты Ethernet, расположенные на нижних уровнях иерархии сети. К тому же опыт передачи данных на гигабитных скоростях уже имелся, как в территориальных сетях (технология SDH), так и в локальных – технология Fiber Channel, которая используется в основном для подключения высокоскоростной периферии к большим компьютерам и передает данные по волоконно-оптическому кабелю со скоростью, близкой к гигабитной, посредством избыточного кода 8B/10B.

В образованный для согласования усилий в этой области Gigabit Ethernet Alliance с самого начала вошли такие флагманы отрасли, как Bay Networks, Cisco Systems и 3 Com. В качестве первого варианта физического уровня был принят уровень технологии Fiber Channel, с ее кодом 8B/10B (как и в случае Fast Ethernet, когда для ускорения работ был принят отработанный физический уровень FDDI).

Первая версия стандарта была рассмотрена в январе 1997 года, а окончательно стандарт 802.3z был принят 29 июня 1998 года на заседании комитета IEEE 802.3. Работы по реализации Gigabit Ethernet на витой паре категории 5 были переданы специальному комитету 802.3ab.

Основная идея разработчиков стандарта Gigabit Ethernet состояла в максимальном сохранении идей классической технологии Ethernet при достижении битовой скорости в 1000 Мбит/с, даже в ущерб актуальным в последнее время функциям предоставления услуг с гарантируемым качеством (по скорости и своевременности), функциям использования обходных путей и функциям автоматического тестирования оборудования (за исключением тестирования связи порт-порт, как это делается для Ethernet 10 Base-T, 10 Base-F и Fast Ethernet).

Заметного ущерба качеству услуг, правда, не ожидалось, поскольку при небольшом коэффициенте загрузки магистрали 1 000 Мбит/с очереди в коммутаторах Gigabit Ethernet небольшие, а время буферизации и коммутации на такой скорости составляет единицы-доли микросекунд.

Если все же магистраль загрузится на достаточную величину, то приоритет чувствительному к задержкам или требовательному к средней скорости трафику можно

предоставить с помощью приоритетов в коммутаторах – соответствующие стандарты для коммутаторов существуют.

Избыточные связи и тестирование оборудования не будут поддерживаться технологией Gigabit Ethernet из-за того, что с этими задачами хорошо справляются протоколы более высоких уровней, например *Spanning Tree* (для разветвленной древовидной сети на коммутаторах), протоколы маршрутизации и т. п. Поэтому разработчики технологии решили, что нижний уровень просто должен быстро передавать данные, а более сложные и более редко встречающиеся задачи должны передаваться верхним уровням.

Технология Gigabit Ethernet имеет ряд общих свойств с технологиями Ethernet и Fast Ethernet, а именно:

сохраняются все форматы кадров Ethernet;

по-прежнему существует полудуплексная версия протокола, поддерживающая метод доступа CSMA/CD, и полнодуплексная версия, работающая с коммутаторами. Поддерживаются все основные виды кабелей, используемых в Ethernet и Fast Ethernet: волоконно-оптический, витая пара (категории 5) и даже коаксиал.

По поводу сохранения полудуплексной версии протокола сомнения были еще у разработчиков Fast Ethernet, так как сложно заставить работать алгоритм CSMA/CD на высоких скоростях. Однако метод доступа остался неизменным в технологии Fast Ethernet, и его решили оставить в новой технологии Gigabit Ethernet. Сохранение недорогого решения для разделяемых сред позволяет применять Gigabit Ethernet в небольших рабочих группах, имеющих быстрые серверы и рабочие станции.

Однако для сохранения приведенных выше свойств разработчикам технологии Gigabit Ethernet пришлось внести изменения не только в физический уровень, как это было в случае Fast Ethernet, но и в уровень MAC. При этом были решены следующие задачи.

Первая задача – обеспечение приемлемого диаметра сети для полудуплексного режима работы. В связи с ограничениями, накладываемыми методом CSMA/CD на длину кабеля, версия Gigabit Ethernet для разделяемой среды допускала бы длину сегмента всего в 25 метров. Для расширения максимального диаметра сети Gigabit Ethernet в полудуплексном режиме до 200 м разработчики технологии предложили увеличить минимальный размер кадра (без учета преамбулы) с 64 до 512 байт или до 4 096 байт, что делает допустимым диаметр сети около 200 м при использовании одного повторителя. Для увеличения длины кадра до требуемой в новой технологии величины сетевой адаптер должен дополнить кадр данных до длины 448 байт так называемым *расширением* (*extension*), представляющим собой поле, заполненное запрещенными символами кода 8B/10B, которые невозможно принять за коды данных.

Для сокращения накладных расходов при использовании слишком длинных кадров для передачи коротких квитанций разработчики стандарта разрешили конечным узлам передавать несколько кадров подряд, без передачи среды другим станциям. Такой режим получил название *Burst Mode* – монопольный пакетный режим. Станция может передать подряд несколько кадров с общей длиной не более 65 536 бит или 8 192 байт. Если станции нужно передать несколько небольших кадров, то она может не дополнять их до размера в 512 байт, а передавать подряд до исчерпания предела в 8 192 байт (в этот предел входят все байты кадра, в том числе преамбула, заголовок, данные и контрольная сумма). Предел 8 192 байт называется *Burst Length*. Если станция начала передавать кадр и предел Burst Length был достигнут в середине кадра, то кадр передается до конца.

Вторая задача – достижение битовой скорости 1 000 Мбит/с на основных типах кабелей. Даже для оптоволокна достижение такой скорости представляет некоторые проблемы, так как технология Fiber Channel, физический уровень которой был взят за основу для оптоволоконной версии Gigabit Ethernet, обеспечивает скорость передачи

данных всего в 800 Мбит/с (битовая скорость на линии равна в этом случае примерно 1000 Мбит/с, но при методе кодирования 8B/10B полезная битовая скорость на 25 % меньше скорости импульсов на линии).

Стандарт 802.3z установил для оптической и коаксиальной среды передачи следующие спецификации физического уровня Gigabit Ethernet.

1000 Base-SX – для многомодового оптоволокна на длине волны 850 нм (S означает *Short Wavelength* – короткая волна) с максимальной длиной сегмента в дуплексном режиме для кабеля 62,5/125 – 220 м, а для кабеля 50/125 – 500 м (в полудуплексном режиме – до 100 м).

1000 Base-LX – для одномодового оптоволокна на длине волны 1 300 нм (L означает *Long Wavelength* – длинная волна) с максимальной длиной сегмента в дуплексном режиме 5 000 м (для многомодового кабеля – 550 м).

1000 Base-CX – для двойного коаксиала (твинаксиального кабеля – *Twinax*) с волновым сопротивлением 150 Ом (2×75 Ом). Данные посылаются одновременно по паре проводников, каждый из которых окружен экранирующей оплеткой. При этом получается режим полудуплексной передачи. Для обеспечения полнодуплексной передачи необходимы еще две пары коаксиальных проводников. Используется также специальный кабель, который содержит четыре коаксиальных проводника – так называемый *Quad-кабель*. Он внешне напоминает кабель категории 5 и имеет близкий к нему внешний диаметр и гибкость. Максимальная длина твинаксиального сегмента составляет всего 25 метров, поэтому это решение подходит для оборудования, расположенного в одной комнате.

Третья задача – поддержка кабеля на витой паре. Такая задача на первый взгляд кажется неразрешимой – ведь даже для 100-мегабитных протоколов пришлось использовать достаточно сложные методы кодирования, чтобы уложить спектр сигнала в полосу пропускания кабеля. Однако успехи специалистов по кодированию, проявившиеся в последнее время в новых стандартах модемов, показали, что задача имеет шансы на решение. Чтобы не тормозить принятие основной версии стандарта Gigabit Ethernet, использующего оптоволокно и коаксиал, был создан *отдельный комитет 802.3ab*, который разработал следующие предложения для стандарта Gigabit Ethernet на витой паре категории 5.

Для передачи данных по кабелю с полосой пропускания 100 МГц со скоростью 1 000 Мбит/с было решено организовать параллельную передачу одновременно по четырем парам кабеля (так же, как и в технологии 100 VG-AnyLAN и 100 Base-T4). Это сразу уменьшило скорость передачи данных по каждой паре до 250 Мбит/с.

Для кодирования данных был применен код PAM5, использующий 5 уровней потенциала: – 2, –1, 0, +1, +2. Поэтому за один такт по одной паре передается 2,322 бит информации. Следовательно, тактовую частоту вместо 250 МГц можно снизить до 125 МГц. При этом если использовать не все коды, а передавать 8 бит за такт (по 4 парам), то выдерживается требуемая скорость передачи в 1000 Мбит/с и еще остается запас неиспользуемых кодов, так как код PAM5 содержит $5^4 = 625$ комбинаций, а если передавать за один такт по всем четырем парам 8 бит данных, то для этого требуется всего $2^8 = 256$ комбинаций. Оставшиеся комбинации приемник может использовать для контроля принимаемой информации и выделения правильных комбинаций на фоне шума. Код PAM5 на тактовой частоте 125 МГц укладывается в полосу 100 МГц кабеля категории 5.

Для распознавания коллизий и организации полнодуплексного режима разработчики спецификации 802.3ab применили технику, используемую при организации дуплексного режима на одной паре проводов в современных модемах и аппаратуре передачи данных абонентских окончаний ISDN. Вместо передачи по разным парам проводов или разнесения сигналов двух одновременно работающих навстречу передатчиков

по диапазону частот оба передатчика работают навстречу друг другу по каждой из 4-х пар в одном и том же диапазоне частот, так как используют один и тот же потенциальный код PAM5. Схема гибридной развязки позволяет приемнику и передатчику одного и того же узла использовать одновременно витую пару и для приема и для передачи (так же, как и в трансиверах коаксиального Ethernet).

Для отделения принимаемого сигнала от своего собственного приемник вычитает из результирующего сигнала известный ему свой сигнал. Естественно, что это не простая операция и для ее выполнения используются специальные цифровые сигнальные процессоры – DSP (*Digital Signal Processor*). Такая техника уже прошла проверку практикой, но в модемах и сетях ISDN она применяется на более низких скоростях.

Функциональные характеристики сети Gigabit Ethernet можно оценить таким же образом, каким выше оценивались характеристики сети Ethernet. Очевидно, что искусственное увеличение кадра минимальной длины до 512 байт при длине поля данных 46 байт приводит к эффективности использования физической среды передачи не выше 0,09, что заметно ниже 0,447. Однако использование более длинных кадров и режима Burst Mode позволяет сохранить прежнюю эффективность, правда, за счет увеличения относительной задержки. Однако, как уже отмечалось, на скорости 1 000 Мбит/с в абсолютных единицах времени некоторый прирост относительных задержек, как правило, практически неощутим.

11.4. Архитектура и технологии построения сетей Token Ring

Типовая структура сети Token Ring, архитектура протоколов и форматы ПБД показаны на рис. 11.3 *е*, рис. 11.4 *е* и рис. 11.5 *д, е, ж* в сравнении и в сочетании с аналогичными характеристиками других технологий построения LAN (Ethernet и FDDI).

Сети Token Ring, так же как и сети Ethernet, характеризует разделяемая среда передачи данных, которая в данном случае состоит из отрезков кабеля, соединяющих все АС сети последовательно в кольцо. Хотя пространственно АС (компьютеры) могут размещаться как угодно, а кольцо может быть образовано внутри концентратора, к которому радиально подключаются все АС.

Кольцо рассматривается как общий разделяемый ресурс, и для доступа к нему требуется не случайный алгоритм, как в сетях Ethernet, а детерминированный, основанный на передаче станциям права на использование кольца в определенном порядке. Это право передается с помощью кадра специального формата, называемого *маркером* или токеном (*token*).

Технология Token Ring был разработана компанией IBM в 1984 году, а затем передана в качестве проекта стандарта в комитет IEEE 802, который на ее основе принял в 1985 году стандарт 802.5. Компания IBM использует технологию Token Ring в качестве своей основной сетевой технологии для построения локальных сетей на основе компьютеров различных классов – мэйнфреймов, мини-компьютеров и персональных компьютеров.

Сети Token Ring работают с двумя битовыми скоростями – 4 и 16 Мбит/с. Смешение станций, работающих на различных скоростях, в одном кольце не допускается. Сети Token Ring, работающие со скоростью 16 Мбит/с, имеют некоторые усовершенствования в алгоритме доступа по сравнению со стандартом 4 Мбит/с.

Технология Token Ring является более сложной технологией, чем Ethernet. Она обладает свойствами отказоустойчивости. В сети Token Ring определены процедуры контроля работы сети, которые используют обратную связь кольцеобразной структуры – посланный кадр всегда возвращается в станцию – отправитель. В некоторых случаях обнаруженные ошибки в работе сети устраняются автоматически, например, может быть восстановлен потерянный маркер. В других случаях ошибки только фиксируются, а их устранение выполняется вручную обслуживающим персоналом.

Для контроля сети одна из станций выполняет функции так называемого *активного монитора*. Активный монитор выбирается во время инициализации кольца как станция с *максимальным значением* MAC – адреса. Если активный монитор выходит из строя, процедура инициализации кольца повторяется и выбирается новый активный монитор. Чтобы сеть могла обнаружить отказ активного монитора, последний в работоспособном состоянии каждые 3 секунды генерирует специальный кадр своего присутствия. Если этот кадр не появляется в сети более 7 секунд, то остальные станции сети начинают процедуру выборов нового активного монитора.

В сетях с маркерным методом доступа (а к ним, кроме сетей Token Ring, относятся сети FDDI, а также сети, близкие к стандарту 802.4, ArcNet и сети производственного назначения MAP) право на доступ к среде передается циклически от станции к станции по логическому кольцу. Любая станция всегда непосредственно получает данные только от одной станции – той, которая является предыдущей в кольце. Такая станция называется ближайшим активным соседом, расположенным выше по потоку (данных) NAUN (*Nearest Active Upstream Neighbor*). Передачу же данных станция всегда осуществляет своему ближайшему соседу вниз по потоку данных.

Получив маркер, станция анализирует его и при отсутствии у нее данных для передачи обеспечивает его продвижение к следующей станции. Станция, которая имеет данные для передачи, при получении маркера изымает его из кольца, что дает ей право доступа к физической среде и передачи своих данных. Затем эта станция выдает в кольцо кадр данных установленного формата последовательно по битам. Кадр снабжен адресом назначения и адресом источника.

Переданные данные проходят по кольцу всегда в одном направлении от одной станции к другой. Все станции кольца ретранслируют кадр побитно, как повторители. Если кадр проходит через станцию назначения, то, распознав свой адрес, эта станция копирует кадр в свой внутренний буфер и вставляет в кадр признак подтверждения приема. Станция, выдавшая кадр данных в кольцо, при обратном его получении с подтверждением приема изымает этот кадр из кольца и передает в сеть новый маркер для обеспечения возможности другим станциям сети передавать данные. Такой алгоритм доступа применяется в сетях Token Ring со скоростью работы 4 Мбит/с, описанных в стандарте 802.5.

На рис. 11.8 описанный алгоритм доступа к среде иллюстрируется временной диаграммой.

Здесь показана передача кадра А в кольце, состоящем из 6 станций, от станции 1 к станции 3. После прохождения станции назначения 3 в кадре А устанавливаются два признака – признак распознавания адреса и признак копирования кадра в буфер (что на рисунке отмечено звездочкой внутри кадра). После возвращения кадра в станцию 1 отправитель распознает свой кадр по адресу источника и удаляет кадр из кольца. Установленные станцией 3 признаки говорят станции-отправителю о том, что кадр дошел до адресата и был успешно скопирован им в свой буфер.

Время владения разделяемой средой в сети Token Ring ограничивается временем удержания маркера (token holding time), после истечения которого станция обязана прекратить передачу собственных данных (текущий кадр разрешается завершить) и передать маркер далее по кольцу. Станция может успеть передать за время удержания маркера один или несколько кадров в зависимости от размера кадров и величины времени удержания маркера. Обычно время удержания маркера по умолчанию равно 10 мс, а максимальный размер кадра в стандарте 802.5 не определен. Для сетей 4 Мбит/с он обычно равен 4 кбайт, а для сетей 16 Мбит/с – 16 кбайт (см. рис. 11.5 *д*). Это связано с тем, что за время удержания маркера станция должна успеть передать хотя бы один кадр.

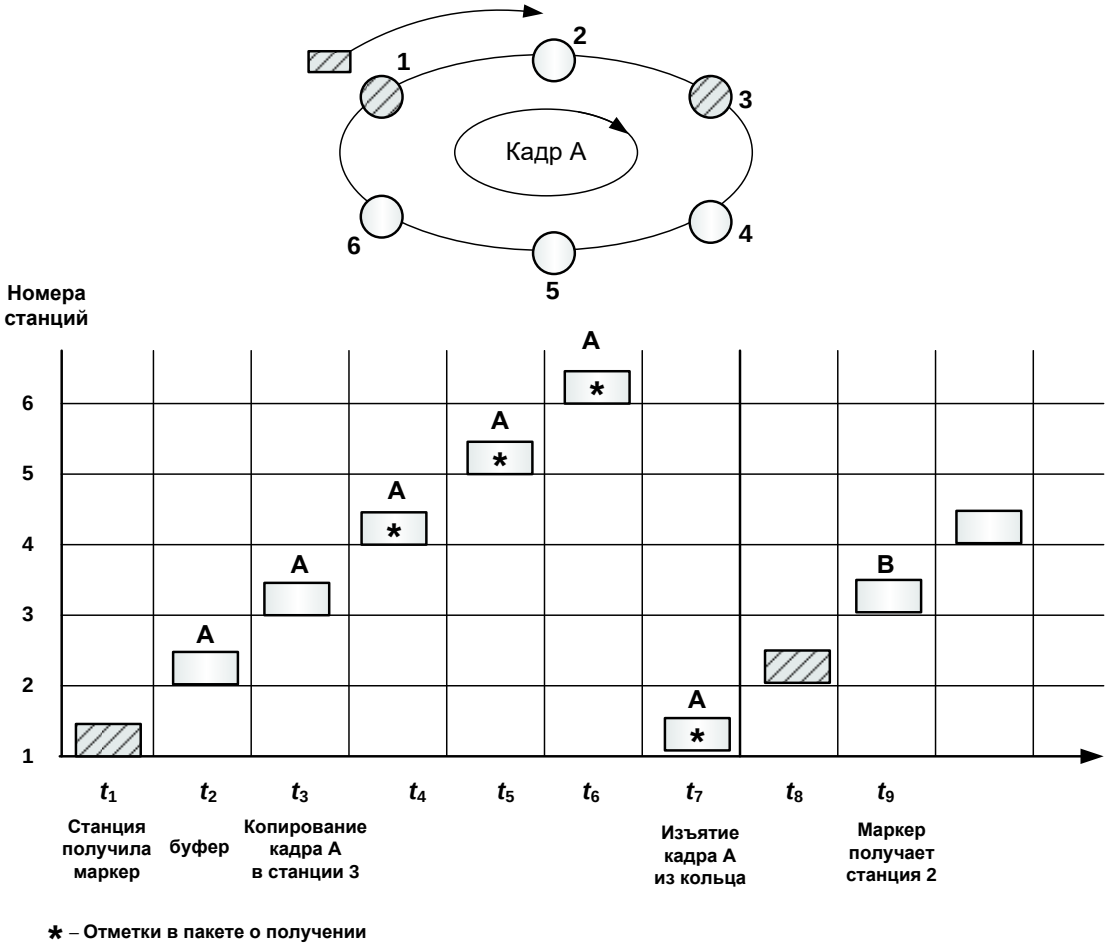


Рис. 11.8. Метод маркерного доступа

В сетях Token Ring 16 Мбит/с используется отличающийся от сетей 4 Мбит/с алгоритм доступа к кольцу, называемый *алгоритмом раннего освобождения маркера* (*Early Token Release*). В соответствии с ним станция передает маркер доступа следующей станции сразу же после окончания передачи последнего бита кадра, не дожидаясь возвращения по кольцу этого кадра с битом подтверждения приема. В этом случае пропускная способность кольца используется более эффективно, так как по кольцу одновременно продвигаются кадры нескольких станций. Тем не менее, *свои кадры* в каждый момент времени может генерировать *только одна станция* – та, которая в данный момент владеет маркером доступа. Остальные станции в это время только повторяют чужие кадры, так что принцип разделения кольца во времени сохраняется, ускоряется только процедура передачи владения кольцом.

Для различных видов сообщений передаваемым кадрам могут назначаться различные приоритеты: от 0 (низший) до 7 (высший). Решение о приоритете конкретного кадра принимает передающая станция (протокол Token Ring получает этот параметр через межуровневые интерфейсы от протоколов верхнего уровня, например прикладного). Маркер также всегда имеет некоторый уровень текущего приоритета. Станция имеет право захватить переданный ей маркер только в том случае, если приоритет кадра, который она хочет передать, выше (или равен) приоритету маркера. В противном случае станция обязана передать маркер следующей по кольцу станции.

За наличие в сети маркера, причем единственной его копии, отвечает активный монитор. Если активный монитор не получает маркер в течение длительного времени (обычно 2,6 *с*), то он порождает новый маркер.

В Token Ring существуют *три типа кадров* (см. рис. 11.5 *д, е, ж*):

кадр маркера (*Token*);
кадр данных (*Token Ring*);
кадр прерывания (*Break*).

Кадр маркера состоит из трех однобайтовых полей (см. рис. 11.5 *е*):

SD – *начальный ограничитель* (*Start Delimiter*), который представляет собой уникальную последовательность символов манчестерского кода *JK*0*JK*000. Поскольку каждый символ манчестерского кода представляет собой сочетание 2-х разнополярных уровней напряжения на длительности одного бита, то кроме разрешенных информационных сочетаний (в виде перепадов снизу вверх и сверху вниз) для передачи «0» и «1» существует два «запрещенных» сочетания: два положительных уровня и два отрицательных: символ «*J*» имеет ту же полярность, что и последний сигнальный элемент предыдущего символа, а символ «*K*» имеет противоположную полярность. Чтобы избежать накопления постоянной составляющей данные символы всегда передаются в паре «*JK*».

AC – *управление доступом* (*Access Control*), состоит из четырех подполей: PPP – 3 бита приоритета, T – бит маркера, M – бит монитора, RRR – 3 резервных бита. Бит T, установленный в 1, указывает на то, что данный кадр является маркером доступа. Бит монитора M устанавливается в 1 активным монитором и в 0 любой другой станцией, передающей маркер или кадр. Несмотря на наличие приоритетов, обычно ими приложения не пользуются, так как приоритеты кадров поддерживаются не во всех технологиях, например в сетях Ethernet их нет, поэтому приложение будет вести себя по-разному, в зависимости от технологии нижнего уровня, что нежелательно. В современных сетях приоритетность обработки данных обычно обеспечивается коммутаторами или маршрутизаторами независимо от используемых протоколов уровня звена данных.

ED – *конечный ограничитель* (*End Delimiter*), содержит уникальную последовательность символов манчестерского кода JK1JK1, а также два однобитовых признака: I и E. Признак I (*Intermediate*) показывает, является ли кадр последним в серии кадров или промежуточным. Признак E (*Error*) – это признак ошибки. Он устанавливается в 0 станцией-отправителем, и любая станция кольца, через которую проходит кадр, должна установить этот признак в 1, если она обнаружит ошибку по проверочной последовательности или другую некорректность кадра.

Кадр данных состоит из следующих полей (см. рис. 11.5 *д*):

SD – *начальный ограничитель* (такой же, как в кадре маркера);
FC – *управление кадром* (*Frame Control*);
DA – *адрес назначения* (соответствует 802.3);
SA – *адрес источника* (соответствует 802.3);
Data – *поле данных* (размер не определен, варианты см. выше);
FCS – *проверочная последовательность* (соответствует 802.3);
ED – *конечный ограничитель* (такой же, как в кадре маркера);
FS – статус кадра (*Frame Status*).

Рассмотрим специфические для кадра данных поля FC и FS.

Поле FC определяет тип кадра данных. Стандарт Token Ring определяет 6 типов *управляющих кадров данных* (MAC-уровня) и один тип *информационного кадра данных* (LLC-уровня). Принадлежность к той или иной группе кадров определяется первыми двумя битами поля FC (00 – управляющий кадр, 01 – информационный кадр). Из остальных 6 бит фактически используются только три: в информационных кадрах – для задания приоритета (см. выше замечание о приоритетах кадра маркера в поле AC), а в управляющих кадрах – для указания одного из шести типов кадра MAC-уровня, имеющих следующие условные обозначения:

DAT – тест дублирования адреса (*Duplicate Address Test*) (используется, чтобы удостовериться в уникальности адреса впервые присоединяемой к кольцу станции);

AMP – признак существования активного монитора (*Active Monitor Present*) (используется активным монитором, чтобы сообщать периодически другим станциям о своей работоспособности);

SMP – признак существования резервного монитора (*Standby Monitor Present*) (отправляется любой станцией, не являющейся активным монитором);

CT – маркер заявки (*Claim Token*) (отправляется резервным монитором, если подозревает, что активный монитор отказал, а затем резервные мониторы договариваются между собой, какой из них станет новым активным монитором);

BCN – предупреждающий сигнал (*Beacon*) (посылается любой станцией, обнаружившей серьезные сетевые проблемы, такие как обрыв кабеля, выход станции из строя и др.);

PRG – кадр очистки (*Purge*) (используется новым активным монитором для того, чтобы перевести все станции в исходное состояние и очистить кольцо от всех ранее посланных кадров).

Поле FS содержит 4 резервных бита и 2 подполя: бит распознавания адреса A и бит копирования кадра C. Так как это поле не сопровождается проверочной последовательностью FCS, то используемые биты для надежности дублируются: поле статуса FS имеет вид ACxxACxx. Если бит распознавания адреса не установлен во время получения кадра, это означает, что станция назначения больше не присутствует в сети (возможно, вследствие неполадок, а возможно, станция находится в другом кольце, связанном с данным с помощью моста). Если оба бита опознавания адреса и копирования кадра установлены и бит обнаружения ошибки также установлен, то исходная станция знает, что ошибка случилась после того, как этот кадр был корректно получен.

Кадр прерывания состоит из двух описанных выше полей SD и ED (см. рис. 11.5 *ж*). Данный кадр может появиться в любом месте потока битов и сигнализирует о том, что текущая передача информационного кадра или маркера отменяется.

Рассмотрим *физический уровень технологии Token Ring*

Стандарт Token Ring фирмы IBM изначально предусматривал построение связей в сети с помощью концентраторов, называемых MAU (*Multistation Access Unit*) или MSAU (*Multi-Station Access Unit*), то есть устройствами многостанционного доступа. Всего сеть Token Ring может включать до 260 узлов.

Концентратор Token Ring может быть активным или пассивным.

Пассивный концентратор просто соединяет порты внутренними связями так, чтобы станции, подключаемые к этим портам, образовали кольцо. Ни усиление сигналов, ни их ресинхронизацию пассивный MSAU не выполняет (это делают сетевые адаптеры и активный монитор). Такое устройство можно считать простым кроссовым блоком за одним исключением – MSAU обеспечивает обход какого-либо порта, когда присоединенный к этому порту компьютер выключают.

Активный концентратор выполняет функции регенерации сигналов и поэтому иногда называется повторителем, как в стандарте Ethernet.

Технология Token Ring позволяет использовать для соединения конечных станций и концентраторов различные *типы кабеля*: STP Type I (при длине ответвительных кабелей до 100 метров), UTP Type 3 (при длине ответвительных кабелей до 45 метров и уменьшении количества станций до 72), UTP Type 6, а также волоконно-оптический кабель.

Расстояние между пассивными MSAU может достигать 100 м при использовании кабеля STP Type 1 и 45 м при использовании кабеля UTP Type 3. Между активными MSAU максимальное расстояние увеличивается соответственно до 730 м или 365 м в зависимости от типа кабеля.

Максимальная длина кольца Token Ring составляет 4 000 м. Ограничения на максимальную длину кольца и количество станций в кольце в технологии Token Ring не являются такими жесткими, как в технологии Ethernet. Здесь эти ограничения во многом связаны со временем оборота маркера по кольцу (но не только – есть и другие соображения, диктующие выбор ограничений). Так, если кольцо состоит из $N = 260$ станций, то при времени удержания маркера в $T_{уд} = 10$ мс маркер вернется в активный монитор в худшем случае через $T_{марк} = N\,T_{уд} = 2{,}6$ с, а это время как раз составляет тайм-аут контроля оборота маркера. В принципе, все значения тайм-аутов в сетевых адаптерах узлов сети Token Ring можно настраивать, поэтому можно построить сеть Token Ring с большим количеством станций и с большей длиной кольца.

Анализ функциональных характеристик задержки и производительности сети Token Ring можно выполнить с помощью модели одноканальной системы массового обслуживания с отказами (или с ожиданием в распределенной очереди), подобной модели, описанной выше для сети Ethernet. Принципиальным отличием в расчетах является учет задержки передачи маркера $T_{марк}$, эквивалентный по смыслу задержке разрешения конфликтов в сети Ethernet $\alpha_N\,T_{отср}$ (11.6).

Существует большое количество аппаратуры для сетей Token Ring, которая улучшает некоторые стандартные характеристики этих сетей: максимальную длину сети, расстояние между концентраторами, надежность (путем использования двойных колец). Сеть может строиться на основе нескольких колец, разделенных мостами, маршрутизирующими кадры по принципу «от источника», для чего в кадр Token Ring добавляется специальное поле с маршрутом прохождения колец. В частности, компания IBM предложила новый вариант технологии Token Ring, названный HSTR (High-Speed Token Ring), поддерживающий битовые скорости в 100 и 155 Мбит/с.

11.5. Архитектура и технологии построения сетей FDDI

Типовая структура сети FDDI, архитектура протоколов и форматы ПБД показаны на рис. 11.3 *ж*, рис. 11.4 *ж* и рис. 11.5 *з* в сравнении и в сочетании с аналогичными характеристиками других технологий построения LAN (Ethernet и Token Ring).

Технология FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*) – оптоволоконный интерфейс распределенных данных – это первая технология локальных сетей, в которой средой передачи данных являлся волоконно-оптический кабель. Работы по созданию технологий и устройств для использования волоконно-оптических каналов в локальных сетях начались в 80-е годы 20 века, вскоре после начала промышленной эксплуатации подобных каналов в территориальных сетях. Проблемная группа X3T9.5 института ANSI разработала в период с 1986 по 1988 гг. начальные версии стандарта FDDI, который обеспечивает передачу кадров со скоростью 100 Мбит/с по двойному волоконно-оптическому кольцу длиной до 100 км.

Технология FDDI во многом основывается на технологии Token Ring, развивая и совершенствуя ее основные идеи. Разработчики технологии FDDI ставили перед собой в качестве наиболее приоритетных следующие цели:

повысить битовую скорость передачи данных до 100 Мбит/с;

повысить отказоустойчивость сети за счет стандартных процедур восстановления ее после отказов различного рода – повреждения кабеля, некорректной работы узла, концентратора, возникновения высокого уровня помех и т. п.;

максимально эффективно использовать потенциальную пропускную способность сети как для асинхронного, так и для синхронного (чувствительного к задержкам) трафиков.

Сеть FDDI строится на основе двух оптоволоконных колец, которые образуют основной и резервный пути передачи данных между узлами сети. Наличие двух колец – это основной способ повышения отказоустойчивости в сети FDDI, и узлы, которые хотят

воспользоваться этим повышенным потенциалом надежности, должны быть подключены к обоим кольцам.

В нормальном режиме работы сети данные проходят через все узлы и все участки кабеля только *первичного* (*Primary*) кольца, этот режим назван режимом *Thru* – «сквозным» или «транзитным». *Вторичное* кольцо (*Secondary*) в этом режиме не используется.

В случае какого-либо вида отказа, когда часть первичного кольца не может передавать данные (например, обрыв кабеля или отказ узла), первичное кольцо объединяется со вторичным, вновь образуя единое кольцо (см. рис. 11.3 *ж*). Этот режим работы сети называется *Wrap*, то есть «свертывание» или «сворачивание» колец. Операция свертывания производится средствами концентраторов и/или сетевых адаптеров FDDI. Для упрощения этой процедуры данные по первичному кольцу всегда передаются в одном направлении (на диаграммах это направление изображается против часовой стрелки), а по вторичному – в обратном (изображается по часовой стрелке). Поэтому при образовании общего кольца из двух колец передатчики станций по-прежнему остаются подключенными к приемникам соседних станций, что позволяет правильно передавать и принимать информацию соседними станциями.

В стандартах FDDI много внимания отводится различным процедурам, которые позволяют определить наличие отказа в сети, а затем произвести необходимую реконфигурацию. Сеть FDDI может полностью восстанавливать свою работоспособность в случае единичных отказов ее элементов. При множественных отказах сеть распадается на несколько не связанных сетей. Технология FDDI дополняет механизмы обнаружения отказов технологии Token Ring механизмами реконфигурации пути передачи данных в сети, основанными на наличии резервных связей, обеспечиваемых вторым кольцом.

Кольца в сетях FDDI рассматриваются как общая разделяемая среда передачи данных, поэтому для нее определен специальный метод доступа. Этот метод очень близок к методу доступа сетей Token Ring и также называется методом маркерного (или токенного) кольца – tokenring.

Отличия метода доступа заключаются в том, что время удержания маркера в сети FDDI не *является постоянной величиной*, как в сети Token Ring. Это время зависит от загрузки кольца – при небольшой загрузке оно увеличивается, а при больших перегрузках может уменьшаться до нуля. Эти изменения в методе доступа касаются *только асинхронного трафика*, который не критичен к небольшим задержкам передачи кадров. Для синхронного трафика время удержания маркера по-прежнему остается фиксированной величиной. *Механизм приоритетов* кадров, аналогичный принятому в технологии Token Ring, в технологии FDDI *отсутствует*. Разработчики технологии решили, что деление трафика на 8 уровней приоритетов избыточно и достаточно разделить трафик на два класса – асинхронный и синхронный, последний из которых обслуживается всегда, даже при перегрузках кольца.

В остальном пересылка кадров между станциями кольца на уровне MAC полностью соответствует технологии Token Ring. Станции FDDI применяют алгоритм раннего освобождения маркера, как и сети Token Ring со скоростью 16 Мбит/с.

Адреса уровня MAC имеют стандартный для технологий IEEE 802 формат. *Формат кадра* FDDI близок к формату кадра Token Ring, *основные отличия заключаются в отсутствии субполей приоритетов*. Признаки распознавания адреса, копирования кадра и ошибки позволяют сохранить имеющиеся в сетях Token Ring процедуры обработки кадров станцией-отправителем, промежуточными станциями и станцией-получателем.

На рис. 11.4 *ж* приведено соответствие структуры протоколов технологии FDDI семиуровневой модели OSI. FDDI определяет протокол физического уровня и протокол подуровня доступа к среде (MAC) канального уровня. Как и во многих других

технологиях локальных сетей, в технологии FDDI используется протокол подуровня управления каналом данных LLC, определенный в стандарте IEEE 802.2. Таким образом, несмотря на то, что технология FDDI была разработана и стандартизована институтом ANSI, а не комитетом IEEE, она полностью вписывается в структуру стандартов 802.

Физический уровень разделен на два подуровня – независимый от среды подуровень PHY (Physical) и зависящий от среды подуровень PMD (Physical Media Dependent).

Отличительной особенностью технологии FDDI является уровень управления станцией – Station Management (SMT). Именно уровень SMT выполняет все функции по управлению и мониторингу всех остальных уровней стека протоколов FDDI. В управлении кольцом принимает участие каждый узел сети FDDI. Поэтому все узлы обмениваются специальными кадрами SMT для управления сетью.

Отказоустойчивость сетей FDDI обеспечивается протоколами и других уровней: с помощью физического уровня устраняются отказы сети по физическим причинам, например из-за обрыва кабеля, а с помощью уровня MAC – логические отказы сети, например потеря нужного внутреннего пути передачи маркера и кадров данных между портами концентратора.

*Особенности метода доступа FDDI***.** Для передачи синхронных кадров станция всегда имеет право захватить маркер при его поступлении. При этом время удержания маркера имеет заранее заданную фиксированную величину.

Если же станции кольца FDDI нужно передать асинхронный кадр (тип кадра определяется протоколами верхних уровней), то для выяснения возможности захвата маркера при его очередном поступлении станция должна измерить интервал времени, который прошел с момента предыдущего прихода маркера. Этот интервал называется временем оборота маркера (*Token Rotation Time,* TRT). Интервал TRT сравнивается с другой величиной – максимально допустимым временем оборота маркера по кольцу T_{Opr}. Если в технологии Token Ring максимально допустимое время оборота маркера является фиксированной величиной (2,6 с из расчета 260 станций в кольце), то в технологии FDDI станции договариваются о величине T_{Opr} во время инициализации кольца. Каждая станция может предложить свое значение T_{Opr}, в результате для кольца устанавливается минимальное из предложенных станциями времен. Это позволяет учитывать потребности приложений, работающих на станциях. Обычно синхронным приложениям (приложениям реального времени) нужно чаще передавать данные в сеть небольшими порциями, а асинхронным приложениям лучше получать доступ к сети реже, но большими порциями. Предпочтение отдается станциям, передающим синхронный трафик.

Таким образом, при очередном поступлении маркера для передачи асинхронного кадра сравнивается фактическое время оборота маркера TRT с максимально возможным T_{Opr}. Если кольцо не перегружено, то маркер приходит раньше, чем истекает интервал T_{Opr}, то есть TRT < T_{Opr}. В этом случае станции разрешается захватить маркер и передать свой кадр (или кадры) в кольцо. Время удержания маркера THT равно разности T_{Opr} – TRT, и в течение этого времени станция передает в кольцо столько асинхронных кадров, сколько успеет.

Если же кольцо перегружено и маркер опоздал, то интервал TRT будет больше T_{Opr}. В этом случае станция не имеет права захватить маркер для асинхронного кадра. Если все станции в сети хотят передавать только асинхронные кадры, а маркер сделал оборот по кольцу слишком медленно, то все станции пропускают маркер в режиме повторения, маркер быстро делает очередной оборот и на следующем цикле работы станции уже имеют право захватить маркер и передать свои кадры.

Метод доступа FDDI для асинхронного трафика является адаптивным и хорошо регулирует временные перегрузки сети.

Отказоустойчивость технологии FDDI. Для обеспечения отказоустойчивости в стандарте FDDI предусмотрено создание двух оптоволоконных колец – первичного и вторичного. В стандарте FDDI допускаются два вида подсоединения станций к сети. Одновременное подключение к первичному и вторичному кольцам называется двойным подключением – *Dual Attachment,* DA. Подключение только к первичному кольцу называется одиночным подключением – *Single Attachment,* SA.

В стандарте FDDI предусмотрено наличие в сети конечных узлов - станций (Station), а также концентраторов (Concentrator). Для станций и концентраторов допустим любой вид подключения к сети – как одиночный, так и двойной. Соответственно такие устройства имеют соответствующие названия: SAS *(Single Attachment Station),* DAS *(Dual Attachment Station),* SAC *(Single Attachment Concentrator) и* DAC *(Dual Attachment Concentrator).*

Обычно концентраторы имеют двойное подключение, а станции – одинарное, как это показано на рис. 11.9, хотя это и не обязательно.

Чтобы устройства легче было правильно присоединять к сети, их разъемы маркируются. Разъемы типа A и B должны быть у устройствс двойным подключением, разъем M (*Master*) имеется у концентратора для одиночного подключения станции, у которой ответный разъем должен иметь тип S (*Slave*).

В случае однократного обрыва кабеля между устройствами с двойным подключением сеть FDDI сможет продолжить нормальную работу за счет автоматической реконфигурации внутренних путей передачи кадров между портами концентратора (см. «обрыв кабеля» на рис. 11.9). Двукратный обрыв кабеля приведет к образованию двух изолированных сетей FDDI. При обрыве кабеля, идущего к станции с одиночным подключением, она становится отрезанной от сети, а кольцо продолжает работать за счет реконфигурации внутреннего пути в концентраторе – порт M, к которому была подключена данная станция, будет исключен из общего пути.

Станции DAS или концентраторы DAC можно подключать к двум портам M одного или двух концентраторов, создавая древовидную структуру с основными и резервными связями. По умолчанию порт B поддерживает основную связь, а порт A – резервную. Такая конфигурация называется подключением Dual Homing

Отказоустойчивость поддерживается за счет постоянного слежения уровня SMT концентраторов и станций за временными интервалами циркуляции маркера и кадров, а также за наличием физического соединения между соседними портами в сети. В сети FDDI нет выделенного активного монитора – все станции и концентраторы равноправны, и при обнаружении отклонений от нормы они начинают процесс повторной инициализации сети, а затем и ее реконфигурации.

Физический уровень технологии FDDI. В технологии FDDI для передачи световых сигналов по оптическим волокнам реализовано логическое кодирование 4B/5B в сочетании с физическим кодированием NRZI. Эта схема приводит к передаче по линии связи сигналов с тактовой частотой 125 МГц.

Так как из 32-х комбинаций 5-битных символов для кодирования исходных 4-битных символов нужно только 16 комбинаций, то из оставшихся 16 выбрано несколько кодов, которые используются как служебные. К наиболее важным служебным символам относится символ *Idle* – простой, который постоянно передается между портами в течение пауз между передачей кадров данных. За счет этого станции и концентраторы сети FDDI имеют постоянную информацию о состоянии физических соединений своих портов. В случае отсутствия потока символов *Idle* фиксируется отказ физической связи и производится реконфигурация внутреннего пути концентратора или станции, если это возможно.

При первоначальном соединении кабелем двух узлов их порты сначала выполняют процедуру установления физического соединения. В этой процедуре используются

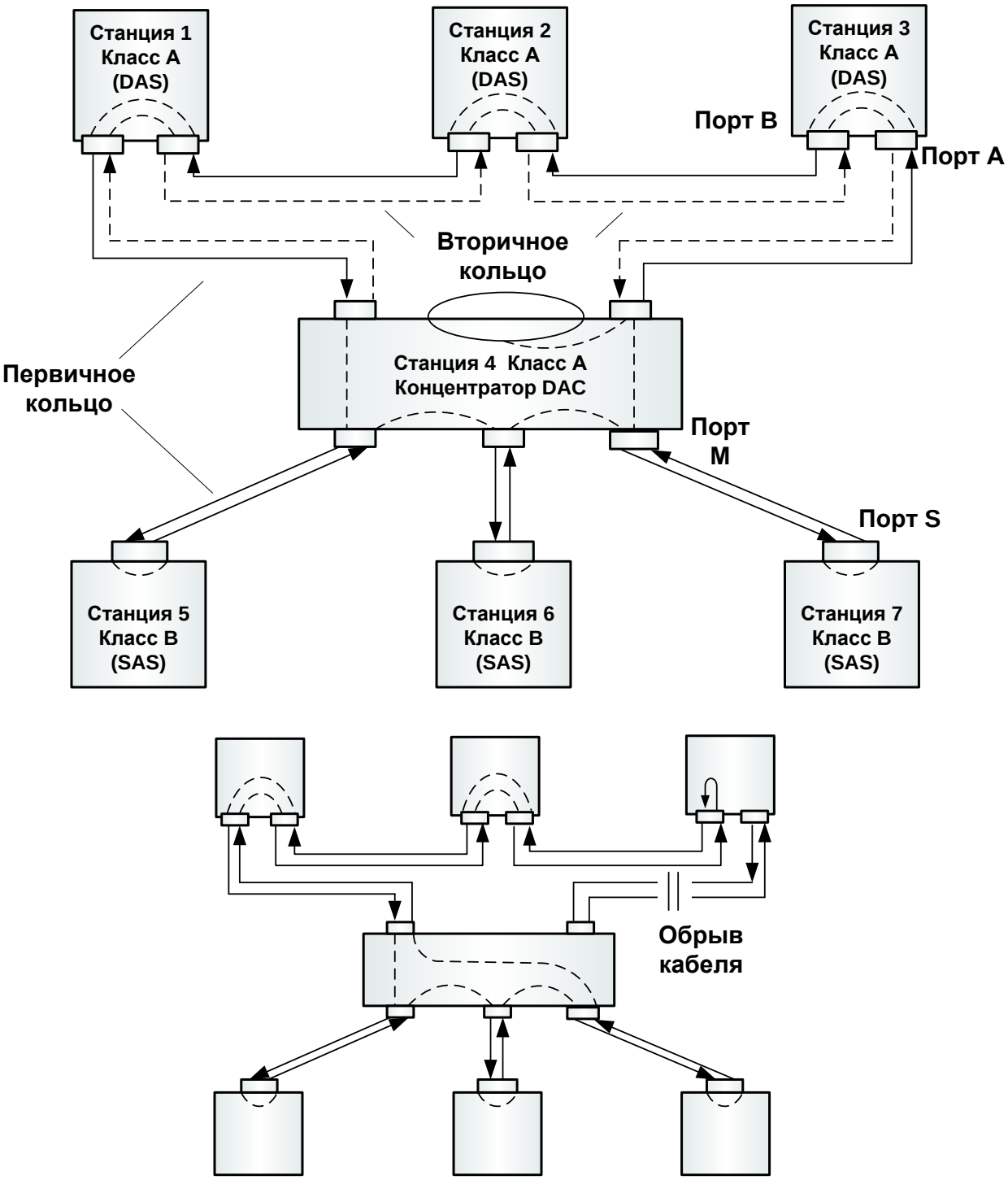


Рис. 11.9. Подключение узлов к кольцам FDDI с демонстрацией реконфигурации сети FDDI при обрыве кабеля

последовательности служебных символов кода 4B/5B, с помощью которых создается некоторый язык команд физического уровня. Эти команды позволяют портам выяснить друг у друга типы портов (A, B, M или S) и решить, корректно ли данное соединение (например, соединение S–S является некорректным и т. п.). Если соединение корректно, то далее выполняется тест качества канала при передаче символов кодов 4B/5B, а затем проверяется работоспособность уровня MAC соединенных устройств путем передачи нескольких кадров MAC. Если все тесты прошли успешно, то физическое соединение контролирует протокол управления станцией SMT.

Физический уровень разделен на два подуровня: независимый от среды подуровень PHY (*Physical*) и зависящий от среды подуровень PMD (*Physical Media Dependent*).

Технология FDDI в настоящее время поддерживает два подуровня PMD: для волоконно-оптического кабеля и для неэкранированной витой пары категории 5. Последний стандарт появился позже оптического и носит название TP-PMD.

Оптоволоконный подуровень PMD обеспечивает необходимые средства для передачи данных от одной станции к другой по оптическому волокну. Его спецификация определяет:

использование в качестве основной физической среды многомодового волоконно-оптического кабеля 62,5/125 мкм;

требования к мощности оптических сигналов и максимальному затуханию между узлами сети. Для стандартного многомодового кабеля эти требования приводят к предельному расстоянию между узлами в 2 км, а для одномодового кабеля расстояние увеличивается до 10–40 км в зависимости от качества кабеля;

требования к оптическим обходным переключателям (optical by pass switches) и оптическим приемопередатчикам;

параметры оптических разъемов MIC (*Media Interface Connector*), их маркировку;

использование для передачи света с длиной волны в 1300 нм;

представление сигналов в оптических волокнах в соответствии с методом NRZI.

Подуровень TP-PMD определяет возможность передачи данных между станциями по витой паре в соответствии с методом физического кодирования MLT-3, использующего два уровня потенциала: +V и –V для представления данных в кабеле. Для получения равномерного по мощности спектра сигнала данные перед физическим кодированием проходят через скремблер. Максимальное расстояние между узлами в соответствии со стандартом TP-PMD равно 100 м.

Максимальная общая длина кольца FDDI составляет 100 километров, максимальное число станций с двойным подключением в кольце – 500.

Сравнение FDDI с технологиями Ethernet и Token Ring. В таблице 11.2 представлены результаты сравнения технологии FDDI с технологиями Ethernet и Token Ring.

Технология FDDI разрабатывалась для применения в ответственных участках сетей – на магистральных соединениях между крупными сетями, например сетями зданий, а также для подключения к сети высокопроизводительных серверов. Поэтому главным для разработчиков было обеспечить высокую скорость передачи данных, отказоустойчивость на уровне протокола и большие расстояния между узлами сети. Все эти цели были достигнуты.

В результате технология FDDI получилась качественной, но *весьма дорогой*. Даже появление более дешевого варианта для витой пары не намного снизило стоимость подключения одного узла к сети FDDI. Поэтому практика показала, что основной областью применения технологии FDDI стали магистрали сетей, состоящих из нескольких зданий, а также сети масштаба крупного города, то есть класса MAN. Для подключения клиентских компьютеров и даже небольших серверов технология оказалась слишком дорогой. И пока заметное снижение стоимости не наблюдается.

В результате сетевые специалисты с начала 90-х годов стали искать пути создания сравнительно недорогих и в то же время высокоскоростных технологий, которые бы так же успешно работали на всех этажах корпоративной сети, как это делали в 80-е годы технологии Ethernet и Token Ring. Это привело к появлению описанных выше технологий Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, а также 100 VG-AnyLAN.

Однако и технология FDDI продолжает развиваться. Стремление обеспечить всестороннюю поддержку приложений реального времени стимулировало разработку стандарта FDDI-II, который реализует режимы как пакетной коммутации, так и коммутации каналов (гибридный режим). В соответствии с этим в стек протоколов

(между уровнями MAC и PHY) был включен протокол управления гибридным кольцом HRC (Hybrid Ring Control).

Таблица 11.2

Характеристики технологий FDDI, Ethernet, Token Ring

Характеристика	FDDI	Ethernet	Token Ring
Битовая скорость	100 Мбит/с	10 Мбит/с	16 Мбит/с
Топология	Двойное кольцо деревьев	Шина/звезда	Звезда/кольцо
Метод доступа	Доля от времени оборота маркера	CSMA/CD	Приоритетная система резервирования
Среда передачи данных	Оптоволокно, неэкранированная витая пара категории 5	Толстый коаксиал, тонкий коаксиал, витая пара категории 3	Экранированная и неэкранированная витая пара, оптоволокно
Максимальная длина сети (без мостов)	200 км (100 км на кольцо)	2500 м	4000 м
Максимальное расстояние между узлами	2 км (не более 11дБ потерь между узлами)	2500 м	100 м
Максимальное количество узлов	500 (1000 соединений)	1024	260 для экранированной витой пары, 72 для неэкранированной витой пары
Тактирование и восстановление после отказов	Распределенная реализация тактирования и восстановления после отказов	Не определены	Активный монитор

FDDI-II обеспечивает поддержку *изохронной* службы наравне с *асинхронной* и *синхронной* службами основного стандарта FDDI. Инициализация гибридного режима работы и управление им осуществляется главной станцией CM (cycle master) на основе внутренней или внешней синхронизации. Передача данных основывается на циклической структуре, которая генерируется CM каждые 125 мкс. При этом формируется специальный кадр данных, называемый циклом. При скорости 100 Мбит/с можно передавать 1 562 байта каждые 125 мкс. Два байта являются межцикловыми промежутками, а остальные 1560 распределяются между 16 широкополосными каналами WBC (Wide Band Channel) с полосой 6,144 Мбит/с. Этого канала достаточно для поддержки одной телевизионной трансляции или 96 телефонных разговоров.

Чтобы объединить несколько сетей FDDI-I и FDDI-II требуется высокоскоростная магистральная сеть. С этой целью рабочая группа ANSI X3T9.5 ведет разработку следующего поколения высокоскоростных сетей FFOL (FDDI Follow-On LAN), которые должны будут поддерживать скорости передачи от 600 Мбит/с до 1,2 Гбит/с.

Литература

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4–е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 994 с.

2. И. Рубин, Дж. Э. Бейкер. Управление доступом к среде в высокоскоростных и городских сетях связи // ТИИЭР. Т. 78. № 1. 1990.

3. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. СПб.: – Питер. 1999.

ГЛАВА 12. ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

12.1. Развитие транспортных технологий

Структура традиционных сетей электросвязи представлена на рис. 4.41 (глава 4), где вторичные сети берут из первичных сетей типовые каналы и, используя их, предоставляют пользователю определенную услугу. К основным технологиям первичных сетей относились технологии плезиохронной и синхронной цифровых иерархий (ПЦИ и СЦИ), а также развивающиеся оптические технологии.

В соответствии с концепцией Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ) современные инфокоммуникационные сети также содержат два структурных уровня: транспортный, соответствующий уровню первичных сетей, и уровень доступа, соответствующий уровню вторичных сетей в традиционных сетях электросвязи [1]. Уже из названия видно, что функции структурных уровней современных сетей существенно отличаются от традиционных.

В последние 15-20 лет транспортные сети постепенно мигрировали от технологий традиционных сетей связи с коммутацией каналов (КК) к транспортным сетям с коммутацией пакетов (рис. 12.1) [2].

Так как первичная сеть представлялась как сеть каналов связи, предоставляемых вторичной сети, то на первом этапе (рис. 12.1) сеть связи рассматривалась как система управления каналами. Такое представление сказалось на технологиях систем WDM, где существует несколько полос передачи, и в системах оптической коммутации, которые позволяют переключать оптические сигналы с одной длины волны WDM на другую.

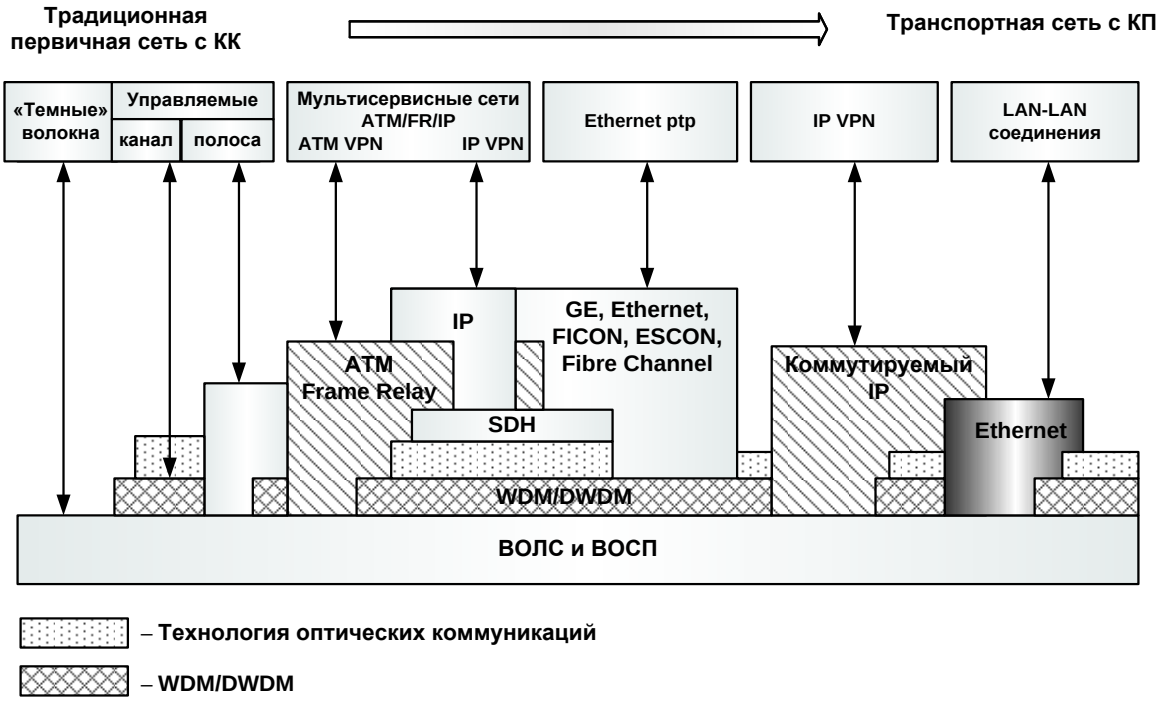


Рис. 12.1 Развитие транспортных сетей

Концепции мультисервисных сетей дали толчок развитию транспортных технологий ATM и Frame Relay. При этом в транспортной инфраструктуре все менее стало использоваться понятие физического канала. Возникло понятие виртуального канала, удобного для исследования пакетного трафика между двумя точками сети. Далее появились виртуальные частные сети (VPN), рассматриваемые как выделенная и закрепленная за пользователем совокупность виртуальных каналов (ATM VPN). Развитие технологий Ethernet сделало возможным их использование не только

в локальных (LAN), но и городских сетях MAN. Такая технология получила название «виртуальная труба», представляющая собой эквивалент канала, полностью ориентированного на передачу пакетного трафика [2].

Развитие технологии виртуальных сетей в Интернет (сетях IP) стало следующим этапом развития транспортных сетей по направлению к полностью пакетной коммутации. По аналогии с ATM VPN в технологии IP VPN совокупность «виртуальных труб» закреплялась за отдельным пользователем. Понятие традиционного канала сети практически перестало существовать.

Вместе с тем, старая идеология оказалась довольно живучей и некоторые операторы, используя современное оборудование, применяют традиционную идеологию к виртуальным сетям и каналам. Они выделяют пользователям виртуальные каналы и сети, зафиксировав допустимую скорость передачи. В этом случае построенная на виртуальных каналах сеть представляет собой сеть с коммутацией виртуальных каналов фиксированной пропускной способности, то есть полный аналог традиционной сети с КК.

Некоторые авторы, призывая «назад в будущее», твердо уверены в том, что метод КК вернется, когда оптическая коммутация станет преобладающей на сетях связи [3].

Современная концепция уровневой архитектуры транспортной сети на основе IP представлена на рис. 12.2 [2]. Сеть разделена на несколько уровней согласно модели взаимодействия открытых систем (ВОС)

Физический уровень представлен волоконно-оптическими системами передачи (ВОСП) на основе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Выше размещается оборудование оптического мультиплексирования (WDM/DWDM), а над ним находится система оптической коммутации, где оптический сигнал коммутируется и в дальнейшем распространяется по другому волокну или в другом диапазоне волн.

Представляется, что основной технологией физического уровня должны быть ВОСП, так как современные требования по передаче пакетного трафика ориентированы на десятки и сотни Гбит/с.

На канальном уровне сетей применяются различные технологии, которые позволяют загрузить данные IP-протокола в ВОСП на физическом уровне. Как показано на рис. 12.2, в качестве таких технологий могут использоваться технологии NGSDH (SDH нового поколения), сети Ethernet и Gigabit Ethernet (GE), уже развернутые сети ATM и Frame Relay, а также стек технологий систем хранения информации (SAN), куда входят технологии Fiber Channel, FICON, ESCON. Допускается и вариант прямой загрузки дейтаграмм IP в ВОСП, что представлено на рисунке как вертикальный разрез технологией IP всей многоуровневой структуры. Такой вариант используется редко, но теоретически он вполне возможен.

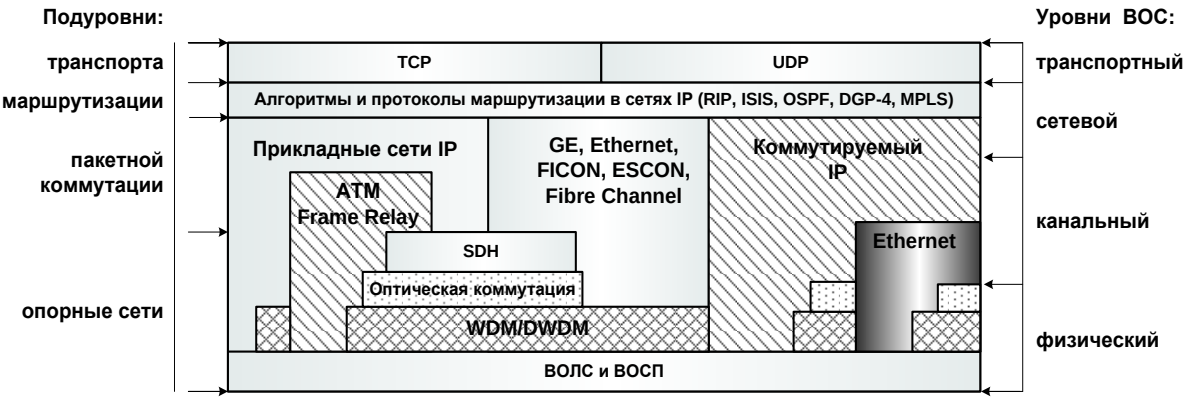


Рис. 12.2. Современная концепция транспортной сети

Сетевой уровень включает в себя два подуровня. На нижнем подуровне данные от различных систем канального уровня преобразуются в дейтаграммы единого формата IP, верхний подуровень объединяет различные решения в части организации маршрутизации полученных дейтаграмм.

Последним в модели является транспортный уровень, где дейтаграммы IP собираются в кадры TCP или UDP, которые и передаются по транспортной сети.

Анализируя эту структуру, автор [2] пришел к следующему выводу: четкого деления технических решений по уровням ВОС для транспортной сети не существует. Некоторые технологии выполняют функции одновременно нескольких уровней, другие – только отдельных уровней или даже подуровней.

Все это делает спорной эффективность применения модели ВОС к описанию технологий транспортной сети. Слева на рис. 12.2 предлагается другая классификация уровней. Решения на физическом и канальных уровнях рассматриваются как подуровень опорных сетей, включающий в себя технологии ВОЛС, WDM, NGSDH, оптической коммутации и магистрального Ethernet. Выше этого подуровня вводится подуровень пакетной коммутации, над которым размещается подуровень маршрутизации. Над ним размещается подуровень транспортной сети, который уже полностью соответствует транспортному уровню модели ВОС.

Трудно не согласиться с выводом автора [2] об отсутствии четкого деления применяемых технологий по уровням ВОС, но окончательное решение по новой классификации уровней следует видимо принимать после получения достаточного опыта внедрения и эксплуатации современных транспортных сетей.

Транспортные технологии используются для построения не только транспортных сетей, но и разнообразных сетей абонентского доступа (САД).

Транспортные сети в данной книге соответствуют смыслу транспортных сетей в Глобальной информационной инфраструктуре, т. е. они обеспечивают передачу и коммутацию потоков информации между территориально распределенными САД. Для построения таких сетей используют не только транспортные технологии типа PDH (ПЦИ) или SDH (СЦИ), но и технологии передачи и коммутации типа FR, ATM, MPLS и др. Рассматриваемые здесь транспортные технологии относятся, в основном к физическому уровню модели ВОС, за исключением, может быть, полностью оптических сетей.

В 70-х годах промышленностью разных стран были созданы технологичные, надежно функционирующие цифровые системы передачи (ЦСП), которые начали широко внедряться на первичных сетях связи. Реализация первого поколения ЦСП была осуществлена на основе разработанной техники ИКМ. Скорость основного цифрового канала во всех странах была выбрана равной 64 кбит/с.

В каждой ЦСП организуется определенное число таких стандартных каналов.

Объединение каналов и соответствующих им потоков, осуществляется с использованием процедур согласования скоростей. Объединение потоков с выравниванием скоростей получило название плезиохронного (почти синхронного). Поэтому, формируемый таким способом ряд скоростей передачи цифровых потоков, а также соответствующих им ЦСП типа ИКМ был назван плезиохронной цифровой иерархией (ПЦИ, Plesiohronous Digital Hierarchy – PDH).

Плезиохронные цифровые иерархии, созданные в различных странах имеют ряд особенностей и недостатков как при реализации отдельных линий передачи, так, особенно, и при использовании на сетях связи.

К концу 90-х годов была завершена разработка и начато внедрение на сетях связи синхронной цифровой иерархии (СЦИ, Synchonous Digital Hierarchy – SDH)

В 90-х годах начали активно внедряться и системы волнового мультиплексирования (WDM и DWDM).

Цифровые системы передачи ПЦИ и СЦИ, совместно с другим сетевым оборудованием при использовании адекватных условиям задачи топологических структур, потенциально позволяют создавать для транспортной сети, сетей доступа и обеспечивающих подсистем рациональный, гибкий, легко управляемый канальный ресурс. Далее эти технологии будут рассмотрены более подробно.

Технологии передачи и коммутации FR, ATM, MPLS, TCP/IP, применяемые в современных транспортных сетях, подробно описаны в главе 10, а технологии Ethernet, Gigabit Ethernet – в главе 11.

12.2. Плезиохронная цифровая иерархия

Цифровые системы передачи ПЦИ строятся с использованием унифицированной каналообразующей аппаратуры, которая применяется на различных типах линий. Цифровые представления аналоговых сигналов осуществляются в настоящее время с использованием индивидуальных кодеков. Наиболее универсальным индивидуальным кодеком является ИКМ кодек (Pulse Code Modulation – PCD). Сигнал ограничивается полосой частот 0,3-3,4 кГц; осуществляется его дискретизации с интервалом 125 мс, отсчеты сигнала квантуются по уровню, значения которых определяются на основе логарифмического закона, 8 бит используется для кодирования каждого отсчета. Группообразование в каналообразующей аппаратуре ПЦИ осуществляется на основе посимвольного мультиплексирования составляющих потоков. Таким образом, например, реализуются: ИКМ-30, ИКМ-120, ИКМ-480, ИКМ-1920. Цифры обозначают число основных цифровых каналов, а их отношение на каждом шаге, равное в данном случае 4, определяет коэффициенты мультиплексирования.

В настоящее время в мире применяется европейская, американская и японская иерархии ПЦИ, использующие, как уже отмечалось, ОЦК со скоростью 64 кбит/с [4] (рис. 12.3).

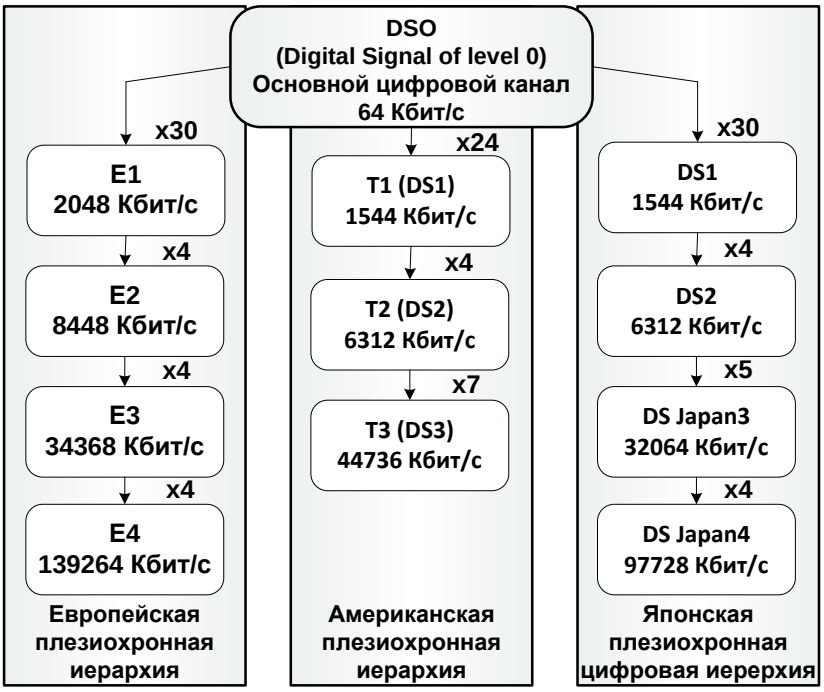


Рис. 12.3. Плезиохронные цифровые иерархии

Европейская ПЦИ.

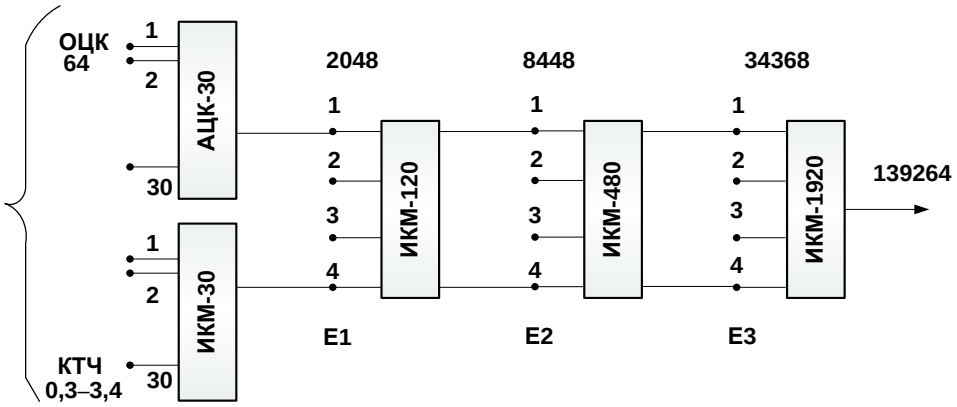
Первичная система передачи. Сигнал E1 со скоростью 2 048 кбит/с (округленно 2 Мбит/с) образуется синхронным объединением 32 канальных интервалов (30 оперативных, 2 служебных), периодически повторяющихся в виде цикла в 125 мс.

Вторичная система передачи. Сигнал E2 со скоростью 8 448 кбит/с (округленно 8 Мбит/с), который образуется асинхронным объединением четырех цифровых сигналов E1 = 2 Мбит/с.

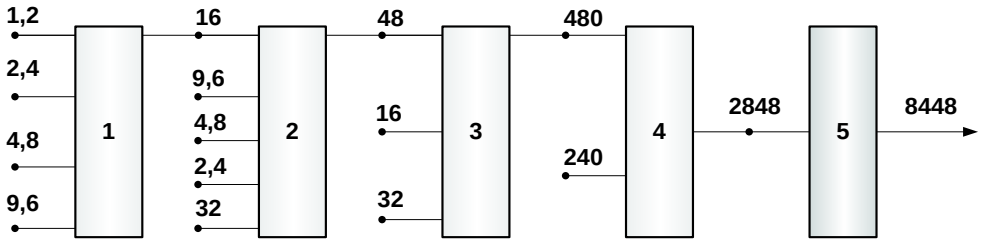
Третичная система передачи. Сигнал E3 со скоростью 34 368 кбит/с (округленно 34 Мбит/с), который формируется асинхронным объединением четырех сигналов E2 = 8 Мбит/с.

Четверичная система передачи. Сигнал E4 со скоростью 139 264 кбит/с (округленно – 140 Мбит/с), который формируется асинхронным объединением четырех сигналов E3 = 34 Мбит/с.

На рис. 12.4 показана общая структура цифровых систем передачи ПЦИ, используемая в России.



***а)* Цифровые системы передачи данных**



***б)* Полевые (мобильные) системы передачи данных**

Рис. 12.4. Общая структура цифровых систем передачи PDH

Американская и японская ПЦИ.

Первичная система передачи. Сигнал DS1 (Digital Signal of Level 1) или T1, со скоростью 1544 кбит/с (округленно 1,5 Мбит/с), который образуется асинхронным объединением 24 ОЦК со скоростью 64 кбит/с.

Вторичная система передачи. Сигнал DS2 или T2 со скоростью 6312 кбит/с (округленно 6 Мбит/с), образуется асинхронным объединением семи цифровых каналов DS1 со скоростью 1,5 Мбит/с.

Третичная система передачи. Сигнал DS3 или T3 со скоростью 44736 кбит/с (округленно – 45 Мбит/с), который образуется асинхронным объединением семи цифровых каналов DS2 со скоростью 6 Мбит/с.

Третичной цифровой системе японской иерархии соответствует сигнал DSJ3 (Digital Signal Japan of Level 3) со скоростью 32 064 кбит/с (округленно – 32 Мбит/с), который образуется асинхронным объединением пяти цифровых каналов со скоростью 6 Мбит/с.

Четверичной цифровой системе соответствует цифровой поток 97 728 кбит/с (округленно – 98 Мбит/с), который образуется объединением трех цифровых потоков по 32 Мбит/с. Данный уровень имеется только в японской иерархии.

На основе соответствующих систем передачи могут быть обозначены отдельные линии передачи, тактовая синхронизация которых осуществляется путем выделения на промежуточных и оконечных станциях тактовой частоты из линейного сигнала. Цикловая синхронизация отделяет циклы и сверхциклы передачи. Проскальзывания неуправляемые. Сигналы первой ступени во всех ЦСП синхронны. Поэтому с использованием ЦСП ПЦИ может быть построена цифровая первичная сеть связи с доставкой от первичного эталона частоты на сетевые узлы сигналов тактовой частоты. Например, 2 048 кбит/с для образования европейской иерархии. Выбор Е1, из которой выделяется и используется на данном узле тактовая частота в системе тактовой синхронизации, зависит от типа линий, развернутых на ветвях сети, и принятого критерия в алгоритме определения статуса узла синхронизации. Проскальзывания на сети становятся управляемыми. На данной сети могут коммутироваться первичные потоки различных линий.

ЦСП, основанные на согласовании «скоростей», оказались негибкими. При вводе и выводе из общего асинхронного потока его компонент приходится полностью «расшивать», а затем «сшивать» поток, выполнять большое число операций мультиплексирования и демультиплексирования.

На рис. 12.5 показана схема вывода и ввода потока 2 Мбит/с из четвертичного потока 140 Мбит/с.

При нарушении синхронизации группового сигнала плезиохронной цифровой иерархии восстановление синхронных первичных цифровых потоков происходит многоступенчатым путем, что занимает существенное время.

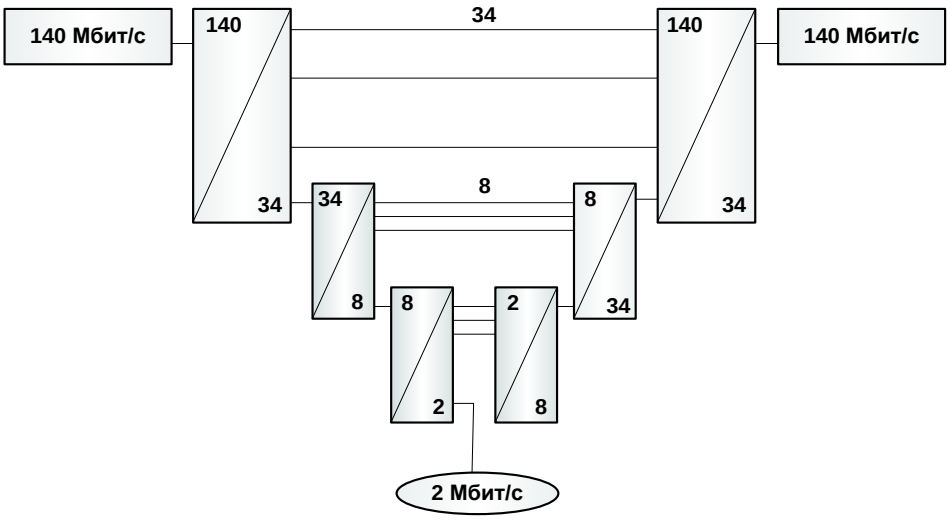


Рис. 12.5. Схема вывода и ввода потока 2 Мбит/с
из четвертичного потока 140 Мбит/с

Линия передачи на базе ЦСП ПЦИ включает два оконечных пункта (ОП) и промежуточные регенерационные пункты двух типов – обслуживаемые (ОРП), размещаемые в сетевых узлах (СУ), и необслуживаемые (НРП), расположенные в полевых условиях [4]. В сетевом узле выделения (СУВ), где ответвляется часть трафика, операции

по маршрутизации производятся вручную. Контроль качества передачи в нем осуществляется только по групповому цифровому сигналу.

Производится определенная модификация оборудования ПЦИ, которая связана с обеспечением более надежного функционирования этих систем. Наибольшее применение находят первичные системы передачи, снабжаемые аппаратурой так называемого гибкого мультиплексирования. Эта аппаратура обеспечивает кроссовую коммутацию ОЦК; выделение и ввод совокупности каналов 64 кбит/с в любом наборе; пользовательские интерфейсы двухпроводных окончаний для телефона до базовых станций доступа в цифровую сеть с интеграцией услуг. Цифровые первичные СП ПЦИ с гибкими мультиплексорами относятся к оборудованию перспективных сетей.

К основным преимуществам транспортной технологии ПЦИ, на базе которой началась широкомасштабная цифровизация сетей, относится (по сравнению с аналоговыми системами передачи) не только упрощение оборудования группирования, повышение помехоустойчивости сигнала и возможность оценки качества передачи без перерыва связи, но и более экономичное конвертирование телекоммуникационных и информационных технологий в инфокоммуникационные [4]. К основному достижению ПЦИ, основанной на принципах временного разделения каналов (ТДМ), можно отнести возможность транспортирования цифровых сигналов с определенной скоростью передачи практически на любые расстояния при осуществлении их регенерации в промежуточных пунктах. Бурному процессу цифровизации способствовало и появление новой среды передачи – оптического волокна (ОВ). При этом на разных континентах цифровые транспортные сети развивались на базе американской (потоки Т1, Т2, Т3 и Т4 – на основе системы ИКМ-24), европейской (потоки Е1, Е2, Е3 и Е4 – на основе системы ИКМ-30) и японской ПЦИ.

Однако в процессе этого развития быстро обнаружились ограниченные возможности ПЦИ, к основным из которых относятся:

ориентация на применение только в линейно-цепочечных сетевых структурах;

невозможность оперативного управления перераспределением трафика в сетевых узлах выделения;

отсутствие контроля качества передачи в компонентных сигналах

12.3. Синхронная цифровая иерархия

12.3.1. Структура синхронной цифровой иерархии

Современные ЦСП ПЦИ не обеспечивают возможности контроля, необходимого для выдачи данных на пункты управления связи для решения информационных и расчетных задач, обеспечивающих функционирование сети с требуемым качеством. Образование в первичной ЦСП сверхциклов позволяет в каждом из них задействовать до 200 битовых позиций для систем функционального контроля и управления на сетях. Как известно, создание системы управления явилось одной из важных причин разработки новой цифровой иерархии (СЦИ), в рамках которой требовалось рационально решать вопросы контроля и управления сетью и ее элементами с учетом более широкого использования в аппаратуре новой иерархии аппаратно-программной реализации оборудования. Естественно, что при создании новой цифровой иерархии обязательно требовалось ее совместное использование с существующими системами передачи FDM и TDM и другим оборудованием сетей связи. Существенное значение имело состояние и перспективы развития направляющих сред и возможность их использования в системах связи. Особое внимание уделялось при разработке СЦИ применению ВОСП и перспективам их развития.

Синхронная цифровая иерархия (Synchronous Digital Hierarchy) – это совокупность аппаратных и программных средств, являющихся технической основой построения и

обеспечения функционирования транспортных сетей, предназначенных для высококачественной и своевременной транспортировки и распределения информации в виде цифровых потоков, формируемых как в обычных структурах плезиохронной цифровой иерархии, так и в телекоммуникационных технологиях ATM, B-ISDN и т. п. В СЦИ все цифровые потоки транспортируются в виде информационных структур, называемых виртуальными контейнерами.

Использование термина «транспортирование» связано с тем, что в транспортной сети осуществляется передача не только цифровых потоков, но и выполняются функции контроля, маршрутизации, передачи оперативной, административной и обслуживающей информации. Используются эксплуатационные нормы для контролируемых параметров и характеристик элементов сети. Это обеспечивает высокие функциональные показатели и надежность сети связи. По своему составу и принципам функционирования транспортная сеть представляет собой совокупность пунктов ввода отдельных цифровых потоков, линий передачи с регенераторами и мультиплексорами, узлов коммутации, в которых возможно переключение трактов для ввода и вывода информационных потоков и в случае повреждения линий.

Транспортную сеть в соответствии с принятой методологией (G.803, G.809) предложено рассматривать в виде многоуровневых моделей. В структурах модели целесообразно выделить функциональные уровни: каналов, трактов и физических цепей. На уровне каналов создаются типовые электрические и оптические интерфейсы. Примерами этих каналов могут быть E1, E2, E3 или E4 для соответствующих скоростей передачи. В канальном слое поступающие сигналы преобразуются в информационные структуры, называемые контейнерами с периодом повторения 125 мс.

Контейнеры, в которых размещаются сигналы первых ступеней американской (японской) и европейской ПЦИ (DS1 – 1,5 Мбит/с и E2 – 2 Мбит/с), имеют обозначения C-11 и C-12, соответственно. Для второй ступени предусмотрен только один контейнер C-2 для сигнала 6 Мбит/с. Для размещения сигналов третьей ступени ПЦИ E3 – 34 Мбит/с или DS3 – 54 Мбит/с предусматривается контейнер C-3. Из-за плохого коэффициента использования контейнера в нем E3 обычно не размещают. Для E4 предназначен контейнер C-4.

Слой трактов обслуживает канальный слой и представляет собой сеть цифровых сетевых трактов систем передачи СЦИ.

Тракт – логическое соединение между точкой системы передачи SDH, в которой производится сборка виртуального контейнера VC (например, PDH) и точкой, в которой VC разбирается. Это последовательное соединение мультиплексорных секций, соединяющих две точки сети, между которыми осуществляется передача информации. Тракты по своим параметрам соответствуют определенным контейнерам по скорости передачи сигнала.

При транспортировке нагрузки виртуальный контейнер содержит как собственно нагрузку C так и трактовый заголовок POH, т. е. VC = C+ POH. Трактовый заголовок POH создается (ликвидируется) в пунктах, в которых формируется и расформировывается виртуальный контейнер, и контролирует сетевой тракт между этими пунктами, проходя транзитом по линейному тракту систем передачи СЦИ. В функцию POH входит контроль качества тракта и передача аварийной и эксплуатационной информации.

Слой трактов делится на слои трактов низшего и высшего порядка (рис. 12.6).

К трактам низшего порядка относятся сетевые тракты, образуемые на базе информационных структур виртуальных контейнеров VC-2, VC-12и VC-11, в которых размещаются контейнеры C-2, C-12 и C-11. Тракты высшего порядка образуются на базе информационных структур виртуальных контейнеров VC-4 и VC-3, способных разместить контейнеры C-4 и C-3. При этом как слой трактов низшего порядка, так и слой высшего

порядка имеют средства оперативного переключения, контроля и управления, оснащаются интерфейсами (стыками) сетевых узлов [6].

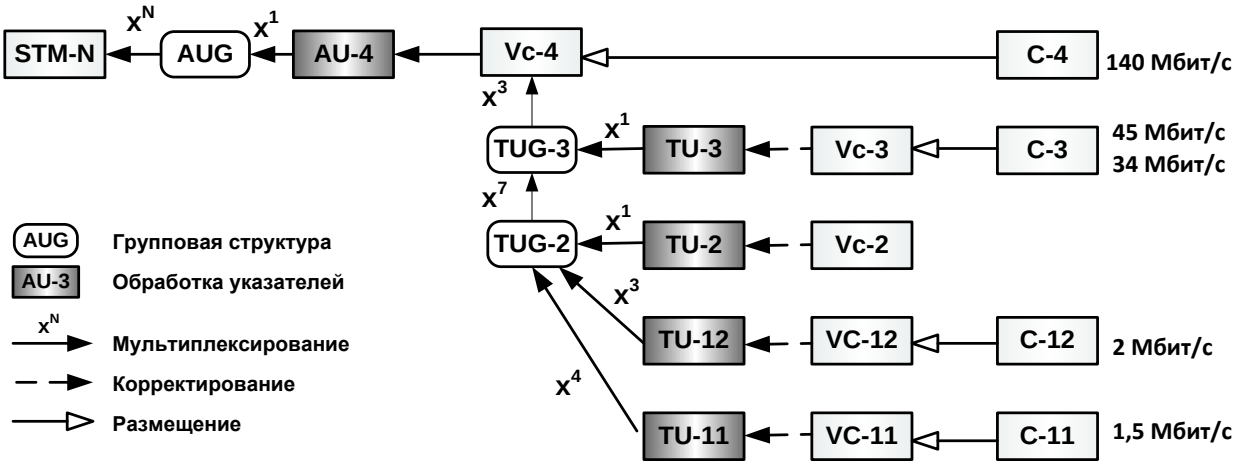


Рис. 12.6. Европейская схемапреобразований СЦИ

В слое трактов производится объединение сигналов для преобразования нескольких трактов низшего порядка и ввода их в тракты высшего порядка. При согласовании между сетевыми слоями трактов низшего и высшего порядков учитывается, что виртуальные контейнеры сетевых трактов низших порядков могут поступать с разных участков сети и на маршруте накапливать различные изменения фазы и скорости относительно виртуальных контейнеров трактов высшего уровня, в которых они должны быть размещены. Компенсация (корректирование – в терминах СЦИ) этих накоплений выполняется путем указания начала кадров виртуальных контейнеров трактов высшего уровня. Использование механизма указателей позволяет виртуальному контейнеру тракта низшего порядка «плавать» внутри кадра виртуального контейнера тракта высшего уровня.

Добавление указателей к виртуальным контейнерам обеспечивается формированием информационных структур, получивших название в СЦИ субблоки или нагрузочные модули (Tributary Unit – TU). Условно эту операцию можно записать:

TU = VC + TU-указатель;

TU-указатель (указатель субблока) показывает смещение позиций виртуальных трактов низшего порядка относительно начала кадра виртуального контейнера более высокого порядка, в котором они должны быть размещены. Для выполнения операции согласования между сетевыми слоями трактов низшего и высшего порядков в слое трактов формируются субблоки: TU-12, TU-2 и TU-3, содержащие нагрузки виртуальных контейнеров VC-11, VC-12, TU-2 и VC-3 соответственно, а также их TU-указатели.

Сформированные субблоки побайтно объединяются (мультиплексируются), образуя группу субблоков (Tributary Unit Group – TUG), и размещаются на фиксированные позиции в кадре вышестоящего виртуального контейнера. При этом группа субблоков TUG-3 может содержать один субблок TU-3 или однородный набор из семи групп TUG-2, а каждая группа субблоков TUG-2 – один субблок TU-2 или однородный набор из трех TU-12 или четырех TU-11.

Слой среды передачи обслуживает сетевой слой трактов СЦИ и представляет собой сеть линейных трактов систем передачи СЦИ. Он выполняет функцию формирования линейных сигналов на основе синхронных транспортных модулей (Synchronous Transport Modul – STM) различных порядков и их транспортирования по линейным трактам сети СЦИ.

Синхронные транспортные модули переносят виртуальные контейнеры и являются форматами линейных сигналов СЦИ, которые имеют блочную циклическую структуру с периодом повторения 125 мкс. Основной модуль STM-1 транспортируется по сети со скоростью 155,52 Мбит/с (округленно 155 Мбит/с), а модули высших порядков STM-N – в N раз больше.

В настоящее время, кроме модуля первого порядка – STM-1, специфицированы модули:

четвертого порядка STM-4 со скоростью транспортирования 622,8 Мбит/с (округленно 622 Мбит/с);

шестнадцатого порядка STM-16 со скоростью транспортирования 2 488,32 Мбит/с (округленно 2,5 Гбит/с);

шестьдесят четвертого порядка STM-64 со скоростью транспортирования 9 953,28 Гбит/с (округленно 10 Гбит/с).

Для радиолиний, недостаточно мощных для транспортирования STM-1, введен субпервичный формат STM-RR линейного сигнала со скоростью передачи 51,84 Мбит/с. Однако STM-RR в настоящее время не рекомендован как уровень СЦИ и не используется на интерфейсах (стыках) сетевых узлов.

Слой среды передачи подразделяется на слои:
мультиплексных секций (MS);
регенерационных участков (RS);
физической среды.

Слой мультиплексных секций выполняет все функции, обеспечивающие формирование и транспортирование линейных сигналов между пунктами, в которых расформировываются либо переключаются STM. Между этими пунктами в составе информационной структуры STM передаются заголовки мультиплексных секций (MSOverHead – MSOH), обеспечивающие выполнение функций OAM – контроля ошибок, создания каналов управления системой автоматического переключения на резерв, передачи данных и служебной связи.

Мультиплексные секции включают совокупность участков между соседними регенераторами – слой регенераторных участков. Перечень функций, выполняемых здесь регенераторами, значительно шире, чем регенераторами в линейных трактах ПЦИ. Расширение функций связанно с переходом от процесса передачи цифровых потоков к процессу их транспортирования по линейным трактам СЦИ. С этой целью в слое регенерационных участков в начале каждого линейного тракта формируются и вводятся в информационную структуру STM заголовки регенерационных участков (RS Over Head – RSOH), которые обрабатываются на каждом генераторе и выполняют функции цикловой синхронизации, контроля ошибок, указания порядка синхронного модуля, а также создающие каналы передачи данных и служебной связи. Заголовки мультиплексных секций (MSOH) проходят через регенераторы транзитом.

Передаваемые в составе транспортных модулей заголовки MSOH и RSOH для обеспечения в слое среды передачи OAM и вспомогательных функций объединяются в общий заголовок, называемый в СЦИ «секционным» (Section Over Head – SOH):

$$MSOH + RSOH = SOH.$$

Для согласования сетевого слоя трактов верхнего порядка и слоя среды передачи предварительно формируются информационные структуры, называемые административными блоками (Administative Unit – AU). В административных блоках размещаются информационная нагрузка виртуальных контейнеров VC-4 (блок AU-4) и указатель административного блока (AU-указатель), который отмечает смещение позиций контейнеров относительно начала кадра STM:

$$AU = VC + AU\text{-указатель};$$

AU- указатель, как и указатель субблока (TU-указатель), обеспечивает корректирование колебаний фазы и скорости виртуальных контейнеров относительно обслуживающего их слоя мультиплексных секций. Позиция этого указателя фиксирована относительно кадра линейного сигнала STM. STM-N образуется побайтным объединением N-групп и заголовка SOH. Каждая группа блоков AUG занимает фиксированное положение в цикле STM-N. Количество объединенных групп отмечается в заголовке. Заголовки в STM-N образуются формированием, а не побайтным объединением заголовков низшего уровня:

$$\text{STM-N} = \text{AUG (AU-4)} \times N + \text{SOH}.$$

Самым нижним слоем среды передачи СЦИ является физическая среда распространения сигналов STM. Основной физической средой распространения в СЦИ являются одномодовые оптические волокна. Кроме того, на отдельных участках допускается использование радиорелейных линий.

Универсальность и совместимость оборудования систем передачи СЦИ различных производителей опирается на Единый всемирный стандарт. Однако к организации такого стыка, как показывает практика, нужно подходить осторожно, ибо не вся существующая аппаратура может взаимодействовать по всем интерфейсам. SDH удачно сочетается с сетями плезиохронной цифровой иерархии (PDH) и позволяет существенно улучшить управляемость и эффективность этих сетей.

В таблице 12.1 приведены рекомендации МСЭ-Т по всем аспектам построения СЦИ (SDH) [7].

Таблица 12.1

Основные рекомендации МСЭ-Т по различным аспектам SDH

Тематика рекомендаций	Номера рекомендаций МСЭ-Т
Архитектурные аспекты	G.803, G.805
Безопасность	G.664
Ввод в эксплуатацию, эксплуатация, испытания	M.2101, M.2102, O.172, O.181
Компоненты и подсистемы	G.661, G.662, G.663, G.671
Нормирование	G.825, G.826, G.827, G.827.1, G.828, G.829
Параметры физического уровня	G.691, G.692, G.693, G.703, G.957
Резервирование	G.841, G.842
Синхронизация	G.813
Структура и мэппинг (mapping)	G.707/Y.1322, G.708, G.832, G.861
Термины и сокращения	G.780
Управление и мониторинг	G.774, G.774.1, G.774.2, G.774.3, G.774.4, G.774.5, G.774.6, G.774.7, G.774.8, G.774.9, G.774.10, G.784, G.831
Функциональные характеристики	G.783, G.784

12.3.2. Эволюция аппаратуры SDH

Эволюция аппаратуры SDH шла несколькими разными путями [7].

Первый путь – увеличение скорости агрегатного сигнала и реализация всех более

высоких иерархических уровней. Считается, что этот путь уже пройден и остановился на границе около 40 Гбит/с.

Второй путь – повышение эффективности передачи линейных сигналов SDH по оптическому кабелю, т. е. увеличение пропускной способности системы передачи и увеличение длины кабельного участка. Современная аппаратура SDH оснащена оптическими усилителями и встроенными устройствами спектрального уплотнения (WDM), что позволяет увеличить длину перекрываемого участка до 200 км и больше при эквивалентной скорости передачи по кабелю n×10 или n×40 Гбит/с, где множитель n может достичь нескольких десятков и даже сотен единиц.

Третий путь – расширение номенклатуры интерфейсов компонентных сигналов. Наряду с обычным набором интерфейсов сигналов PDH (E1, E3, E4) и STM-N появляются интерфейсы Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Frame Relay; интерфейсы видеосигналов, сигналов типа xDSL, а также сформированных в соответствии с протоколами ATM и IP и др.

Четвертый путь – универсализация аппаратуры, которая путем программирования и комплектации соответствующими сменными блоками может выполнять функции любого члена семейства SDH.

Пятый путь – миниатюризация аппаратуры. Появляются малогабаритные изделия с упрощенной комплектацией, предназначенные для работы в небольших сетях, сетях доступа и даже в качестве терминала пользователя.

Аппаратура SDH в общем случае представляет собой семейство, состоящее из оконечного (терминального) мультиплексора (Terminal Multiplexer – TM), мультиплексора ввода-вывода (Addand Drop Multiplexer – ADM) и регенератора (Regenerator – R). Важным компонентом является аппаратура кроссовой коммутации, представляющая собой семейство кроссовых переключателей или кросс-коннекторов (Cross connector – XC) различной мощности. В таблице 12.1 приведен перечень основных рекомендаций МСЭ-Т по различным аспектам SDH, из которого следует, что аппаратура SDH достаточно глубоко стандартизована в международном масштабе, поэтому у разных производителей она практически не имеет различий, если принадлежит одному поколению.

12.3.3. Возможности технологии СЦИ

Сеть на базе СЦИ может быть реализована на основе любой сетевой структуры. В ее состав в общем случае входят оконечные и транзитные пункты доступа транспортной сети, размещаемые в сетевых узлах (СУ), и регенерационные пункты, расположенные в СУ или необслуживаемых регенерационных пунктах (НРП). Сеть СЦИ в отличие от ПЦИ содержит три топологических независимых слоя (каналы, тракты и секции) и имеет две иерархии информационных структур: синхронные транспортные модули (СТМ-N), используемые для соединения в слое секций (аналог группового цифрового тракта в ПЦИ), и виртуальные контейнеры (ВК-n), используемые для соединения в слое трактов (аналог сетевых трактов ПЦИ). Маршрутизация ВК-n, осуществляется оперативно, на программном уровне, а контроль качества передачи реализуется как в СТМ-N, так и в ВК-n.

Технология ориентирована на более высокие скорости передачи, а ее ресурсы позволяют организовывать сеть управления и сеть тактовой синхронизации на новом качественном уровне.

Технология СЦИ была ориентирована на транспортирование информационных структур ПЦИ, что привело к экономичному совместному использованию оборудования ЦСП СЦИ и ПЦИ при создании единых цифровых транспортных сетей, когда типовая сетевая структура транспортной сети включала высокоскоростное кольцо СЦИ (ядро сети)

и относительно низкоскоростные выносы от него на более дешевом оборудовании ЦСП ПЦИ.

Вскоре выявилась невозможность организации централизованного контроля и управления элементами сети на периферии из-за отсутствия ресурсов ПЦИ для организации встроенного канала управления. Потребовались значительные усилия по созданию более дешевого оборудования СЦИ для транспортирования низкоскоростной информационной нагрузки.

12.4. Технология NGSDH

Необходимость транспортирования разнородного трафика (речь, данные, видео) на большие расстояния, постоянное увеличение объемов этого трафика поставили вопрос о создании нового поколения технологии SDH (Next Generation SDH, NGSDH). Отличительной особенностью оборудования NGSDH, ориентированного на транспортирование мультисервисного пакетного трафика, является использование специально для этого разработанных процедур [2, 4, 8]:

VCAT (Virtual Concatenation) – виртуальная конкатенация (сцепка, объединение), которая обеспечивает возможность объединения на логическом уровне нескольких контейнеров VC-12, VC-3 или VC-4 в один канал передачи данных: ITU-T G.707, G.783;

LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme) – схема регулировки пропускной способности линии, которая позволяет реализовать любые изменения пропускной способности без прекращения передачи данных: ITU-T G.7042;

GFP (Generic Framing Procedure) – обобщенная процедура разбиения на кадры, которая обеспечивает адаптацию асинхронного трафика данных на основе кадров переменной длины к байт-ориентированному трафику SDH с минимальными задержками и избыточностью заголовков: ITU-T G.7041.

12.4.1. Характеристика VCAT

Для передачи больших потоков данных со скоростями в десятки и сотни Мбит/с в SDH был разработан механизм конкатенации (объединения), в соответствии с которым контейнеры С-4 могут передаваться в сети SDH в виде сцепки. В результате применения процедуры конкатенации на выходе системы SDH появились не только стандартные контейнеры С-12, С-3 и С-4, но также и конкатенированные контейнеры С-4-4с, С-4-16с, С-4-64с и С-4-256с. Буква «с» здесь обозначает метод последовательной конкатенации [2, 8]. Этот метод позволил расширить скорость передачи данных от точки к точке сети SDH, формируя определенный набор «виртуальных труб» фиксированного размера.

Однако при этом существенно снижается КПД системы передачи SDH. Например, формирование коридора для передачи трафика Gigabit Ethernet методами конкатенации требует использования контейнера VC-4-16c, что соответствует скорости 2,5 Гбит/с. Таким образом, ресурс системы SDH используется только на 42 %. Если учесть, что в системах SDH используется резервирование передаваемого потока 1:1, то уже в самой идее КПД систем SDH составляет 50 %. Использование заголовков еще снижает КПД классической SDH до 42…45 %. Если теперь учесть процедуры конкатенации, то для рассматриваемого примера технологии GE получим КПД системы порядка 17,6 % [2]. Решение было найдено в принципе виртуальной конкатенации (VCAT).VCAT в отличие от непрерывной сцепки логически связывает m-индивидуальные виртуальные контейнеры типа VC-12 (m = 1…63), VC-3 (m = 1…255) и VK-4 (m = 1…255) в одно соединение ВК-n-mV, образуя логический канал группы виртуальной сцепки VCG (Virtual Concatenated Group). Каждый из контейнеров, входящих в сцепку, имеет свой тактовый заголовок, обрабатывается раздельно и может иметь отличный от других маршрут в сети SDH.

Эффективность применения VCAT для разных технологий мультисервисных сетей показана в таблице 12.2.

Таблица 12.2

Эффективность использования ресурса SDH с применением конкатенации и VCAT

Система	Применение конкатенации, %	Применение VCAT, %
Ethernet (10 Мбит/с)	VC-3–20	VC-12-5v–92
Fast Ethernet (100 Мбит/с)	VC-4–67	VC-12-47v–100
ESCON (200 Мбит/с)	VC-4-4c–33	VC-3-4c–100
Fibre Channel (1 Гбит/с)	VC-4-16c–33	VC-4-6v–89
Gigabit Ethernet (1 Гбит/с)	VC-4-16c–42	VC-4-7v–85

Использование VCAT позволяет формировать в системе NGSDH различные коридоры с разным назначением, что решает задачу объединения в единой транспортной сети пакетного трафика с трафиком традиционных сетей TDM (рис. 12.7) [2].

Но в таком виде системе NGSDH не хватает гибкости, так как отсутствует возможность изменять размер виртуального коридора без отключения канала. Этот механизм был создан и получил название LCAS.

Рис. 12.7. Модель тракта системы передачи NGSDH

12.4.2. Регулировка пропускной способности линии LCAS

LCAS в дополнение к VCAT позволяет динамически регулировать пропускную способность для виртуального канала сцепки ВК-n-mV с изменением размера группы VCG, а также может использоваться для образования различных маршрутов для каждого ВК-n, что обеспечивает защиту пакетной передачи при повреждении одного маршрута. В основе LCAS лежит использование специальной системы сигнализации, которая позволяет расширять или сужать размер виртуального коридора по командам из центра управления сетью.

В качестве примера на рис. 12.8 представлена ситуация, когда на сети уже имеется виртуальный коридор емкостью VC-4-4v (пропускная способность 600 Мбит/с) [2]. Точка подключения конечных пользователей имеет интерфейс GbE, то есть 1 Гбит/с полезной

нагрузки, следовательно, «бутылочное горло» в случае увеличения трафика пользователя будет находиться в виртуальном коридоре. При увеличении уровня трафика возникает необходимость расширения виртуального коридора. Такое расширение выполняется под управлением центра NMS системы NGSDH. Когда узел У1 запрашивает расширение виртуального коридора на 150 Мбит/с, центр NMS дает команду на мультиплексоры М3 и М4 добавить в соответствующий виртуальный коридор еще один контейнер VC-4. Оконечные мультиплексоры начинают обмен сигналами LCAS, в результате чего виртуальный коридор расширяется до уровня VC-4-5v, что соответствует 750 Мбит/с.

Таким образом, процедура VCAT была дополнена процедурой LCAS, что позволяет формировать в системе NGSDH «упругие» виртуальные коридоры, которые могут менять свой размер.

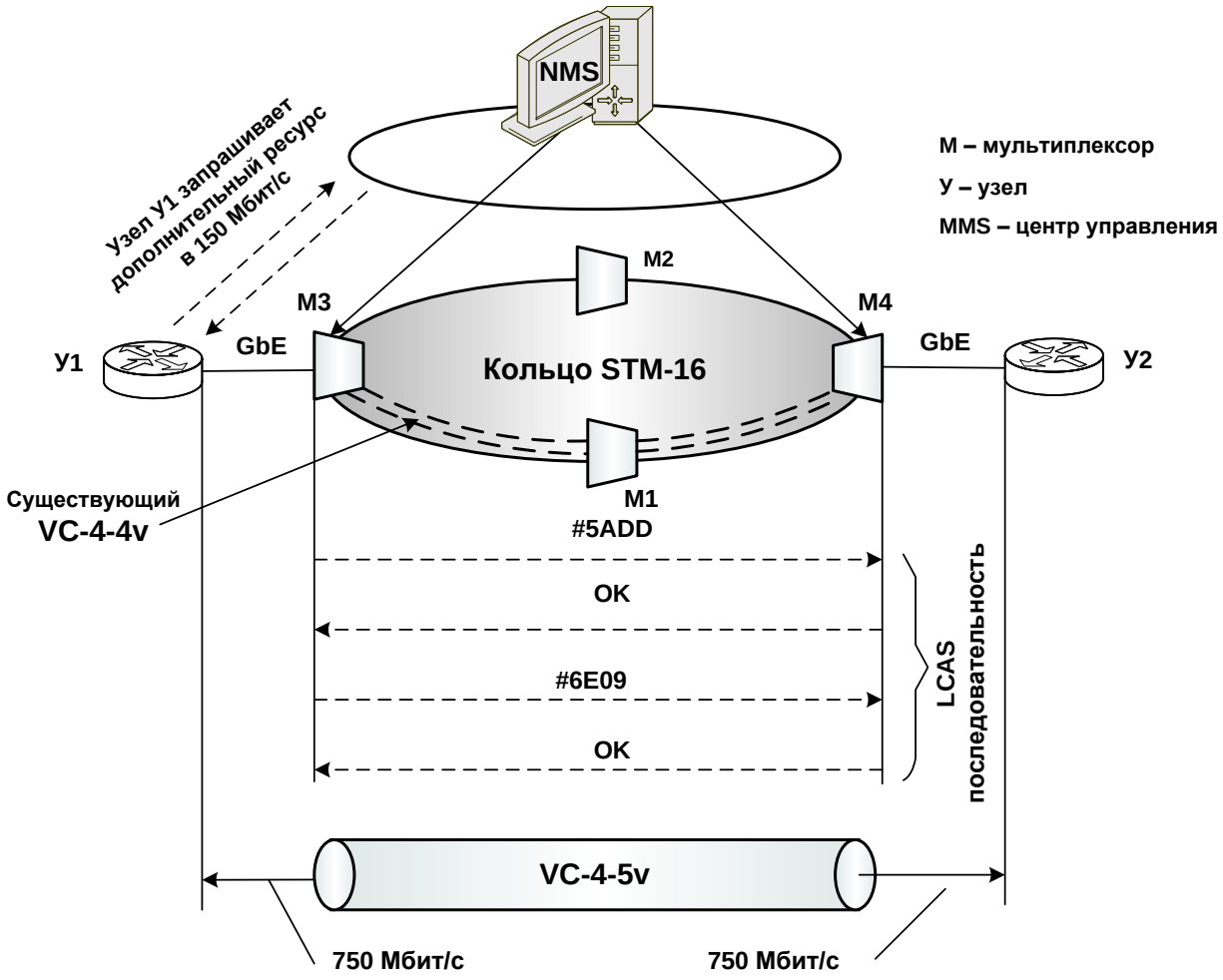


Рис. 12.8. Принцип работы LCAS

12.4.3. Процедура разбиения на кадры GFP

GFP представляет собой механизм образования циклов для транспортирования пакетного трафика (например, Ethernet) в информационных структурах SDH.

Процедура GFP была создана для замены HDLC-подобных методов инкапсуляции данных поверх SDH и одновременно для уменьшения стоимости и сложности реализации инкапсуляции в оборудовании.

Метод GFP поддерживает инкапсуляцию таких служб как 10/100/1000 Мбит/с Ethernet, IP, PPP, протоколы сетей хранения данных Friber Channel (FC), FICON, ESCON.

Будет также обеспечена поддержка широковещательных видеосигналов DVB-ASI. Метод отображает различные службы в кадр общего назначения, который затем отображается в кадр SDH. Эта кадровая структура лучше определяет и исправляет ошибки и обеспечивает большую эффективность использования полосы, чем традиционные методы инкапсуляции.

Далее решалась проблема оптимальной загрузки пакетного трафика в виртуальные коридоры с использованием технологии HDLC или ATM. Первый метод получил название PoS (Pocket Over SDH). Он был очень прост в реализации, но имел низкий КПД в использовании ресурсов системы.

Для решения задачи выравнивания пакетного трафика хорошо подходит технология ATM, в которой любые пакетные данные разделяются на блоки длиной 48 байт и передаются по сети ATM. Эта процедура называется сегментированием данных – SAR (Segmentation and Reassembly – сегментация и объединение).

В результате сегментирования в систему SDH поступает последовательность ячеек фиксированного размера, идеально подходящая для передачи по системе NGSDH.

К сожалению, техническая реализация алгоритмов SAR оказалась сравнительно сложной и дорогой, поэтому разработчики нашли компромиссное решение в виде протокола GFP, в основу которого были положены следующие принципы:

пакетный трафик передается в виде кадров GFP, рис. 12.9;

процедура формирования кадров GFP должна быть максимально простой;

заголовки кадров GFP должны иметь фиксированный размер для удобства их обработки;

GFP не должен быть связан с уровнями контроля обеспечения качества, и управления пропускной способностью системы передачи;

процедура выравнивания скоростей должна быть максимально простой.

GFP кадр содержит следующие составляющие (рис. 12.9) [8]:

основной заголовок (GFP Header);

заголовок полезной нагрузки (Pay Load Header);

область полезной нагрузки (Pay Load Area);

необязательное поле контроля ошибок полезной нагрузки FCS.

Основной заголовок содержит длину GFP кадра PLI и поле cHEC (coreHeader Error Control) для определения и коррекции ошибок и заголовка

Поле cHEC используется совместно с PLI для нахождения начала кадров (кадровая синхронизация). Сначала приемник GFP кадров находится в состоянии поиска начала кадра, сканируя бит за битом и сравнивая вычисленный cHEC для PLI с полученным из потока cHEC. Обнаружение совпадения трактуется как предполагаемая точка начала следующего GFP кадра. Если для следующего кадра вычисленый cHEC совпадает с полученным, то считается, что кадровая синхронизация установлена.

Рис. 12.9. Структура кадра GFP

На практике используется два типа адаптации клиентского сигнала: GFP-Framed (GFP-F) и GFP-Trancparent (GFP-T).

Метод GFP-F ориентирован на инкапсуляцию в один кадр GFP одного кадра клиентского сигнала (PDU).

Метод GFP-T ориентирован на сигналы, в которых используется кодирование 8B-10B (Gigabit Ethernet, протоколы SAN).

Сравнительная характеристика GFP-F и GFP-T приведена в таблице 12.3.

Таблица 12.3

Сравнительная характеристика GFP-Fи GFP-T

Режим	Описание	Применение
GFP-F	Инкапсуляция кадров данных в GFP-кадре (Layer 2). Переменная длина кадра. Минимальная избыточность заголовков.	E/FE/GbE, IP, PPP
GFP-T	Инкапсуляция кодовых символов в GFP-кадр (Layer 1). Постоянная длина кадра. Минимальные задержки.	GbE, Fiber Channel, FICON, ESCON, DVB-ASI

К положительным качествам GFP относятся:

стандартизация – GFP обеспечивает глобальную совместимость и приводит к низкой стоимости компонентов;

масштабируемость – GFP поддерживает службы передачи данных на скоростях от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с;

широкая применимость – GFP может быть использован для передачи широкого спектра сигналов поверх SDH, получил одобрение рабочей группы IEEE 802.17 RPR и IETF, а также подходит для применения в перспективных сетях классов ИКС-4, ИКС-5;

простота – GFP имеет более простую технику инкапсуляции, чем HDLC, что делает его программно-аппаратную реализацию проще и дешевле;

QoS – невысокий уровень задержек для GFP-F и минимальный для GFP-T позволяет поддерживать приложения, требовательные к качеству обслуживания.

Вместе с тем для поддержки многочисленных и разнообразных служб по сети SDH из конца в конец нужны технологии, позволяющие выделять в сети необходимую полосу и обеспечивать возможность ее динамической настройки. Этим требованиям удовлетворяют VCAT и LCAS.

Сегодня GFP рассматривается как наиболее эффективное решение в технологии NGSDH, которое вошло в модель современных систем NGSDH (рис. 12.10) [2].

Рисунок показывает множество технических решений по адаптации NGSDH к новым условиям работы в современных инфокоммуникационных сетях.

В качестве источников трафика (речи, данных в форматах IP, IPX, MPLS и др., видео, а также данных от систем хранения информации SAN) представлены технологии ESCON, Fibre Channel, FICON, DVB, Ethernet, RPR, а также арендованные каналы. Все эти технологии взаимодействуют с NG SDH на канальном уровне или уровне MAC.

Для передачи разнородных данных NGSDH должна сформировать каналы фиксированной или переменной пропускной способности.

В нижней части рисунка на физическом уровне находятся системы передачи на базе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) или ВОЛС с технологией мультиплексирования по длинам волн WDM. Здесь также могут быть использованы традиционные системы SDH или оптические системы передачи OTN.

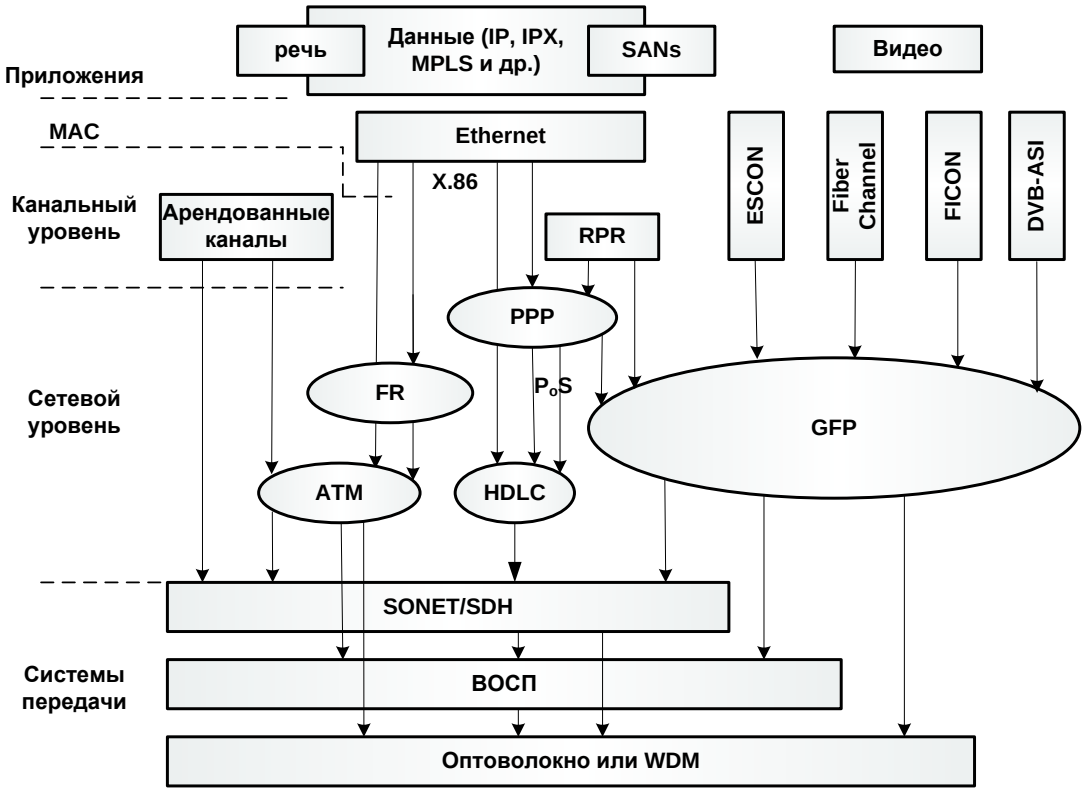


Рис. 12.10. Варианты построения транспортной сети NG SDH

На сетевом уровне показаны различные технологии, применяемые для построения NGSDH в качестве транспортного уровня инфокоммуникационных сетей:
ATM транспортный уровень;
FR ATM транспортный уровень;
PPP HDLC транспортный уровень;
GFP транспортный уровень.

На практике допустимо использование любых из этих схем, которые могут конкурировать по параметрам сложности, управляемости, но главное – по эффективности использования ресурса транспортных сетей NGSDH. По этому критерию наилучшее решение демонстрирует структура VCAT → VCAS → GFP.

12.5. Оптические технологии в транспортных сетях

12.5.1. Общие сведения о волоконной оптике

Существующая сегодня оптоволоконная технология позволяет достигать скорости передачи данных вплоть до 50 тыс. Гбит/с (50 Тбит/с) и до достижения ее физического предела пока еще далеко [9]. Сегодняшний практический предел в 100 Гбит/с обусловлен неспособностью нашей электроники преобразовывать электрические сигналы в оптические и обратно.

Оптоволоконная система передачи состоит из трех основных компонентов: источника света, носителя, по которому распространяется световой сигнал, и приемника сигнала или детектора. Световой импульс принимают за единицу, а отсутствие импульса за 0. Свет распространяется в сверхтонком стеклянном волокне. Присоединив к одному концу оптического волокна источник света, а к другому детектор, получим однонаправленную систему передачи информации. Система принимает электрические сигналы и преобразует их в световые импульсы, передающиеся по волокну. На другой стороне происходит обратное преобразование в электрические сигналы.

Физика отражения луча света, проходящего по кварцевому волокну, показана на рис. 12.11 [9].

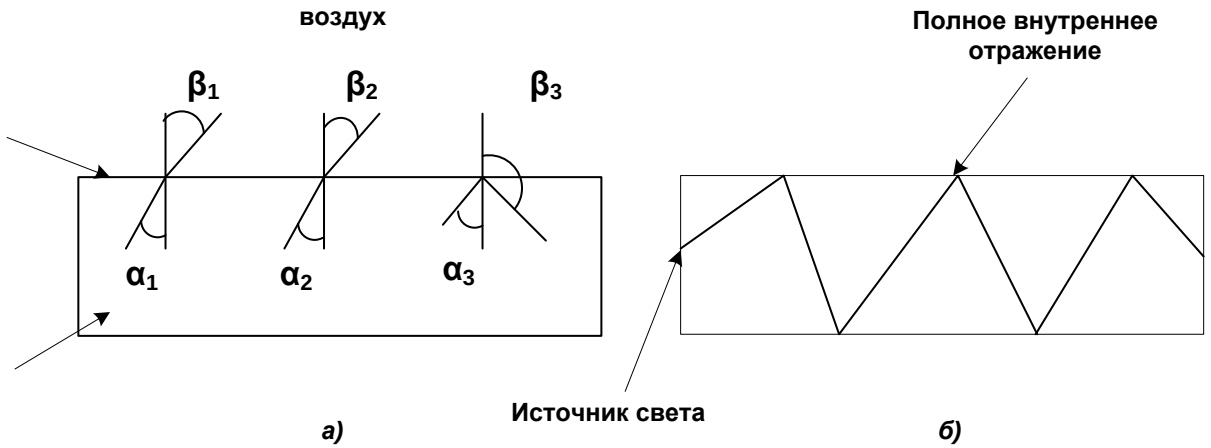


Рис. 12.11. Примеры преломления луча света, падающего под разными углами, на границе волокна и воздуха (а); луч света, пойманный полным внутренним отражением (б)

Когда луч света переходит из одной среды в другую, например, из стекла в воздух, луч отклоняется (эффект рефракции или преломления) на границе стекло-воздух, как показано на рис. 12.11, *а*. Соотношение углов падения (альфа) и отражения (бэта) зависит от свойств смежных сред, в частности, от их коэффициентов преломления. Если угол падения превосходит некоторую критическую величину, луч света отражается обратно в стекло, а в воздух ничего не проходит. На рис. 12.11, *б* луч оказывается запертым внутри волокна и может быть передан на большое расстояние почти без потерь. На этом рисунке показан один пойманный луч света, но если их будет много с разными углами падения, превышающими критический, то и множество лучей будет одновременно отражаться под различными углами. Про каждый луч говорят, что он обладает некоторой модой, а оптическое волокно, способное передавать сразу несколько лучей, называется многомодовым.

Ослабление силы света при прохождении через стекло зависит от длины волны (и от некоторых физических свойств стекла). Оно оценивается отношением мощности выходного сигнала к мощности входного в децибелах на километр длины волокна. Величина обратная ослаблению – затухание, которое, соответственно, оценивается отношением мощности входного сигнала к мощности выходного сигнала. В системах связи используются три диапазона длин волн: 0,85, 1,30 и 1,55 мкм, обладающие полосой пропускания от 25 000 до 30 000 ГГц (1 мкм или 1 микрон равен 10^{-6} метра). Световые импульсы удлиняются по мере их прохождения по волокну. Это удлинение называется световой дисперсией, величина которой зависит от длины волны. Эффект дисперсии можно предотвратить, если придавать импульсам специальную форму, а именно обратной величины от гиперболического косинуса [9]. Такие импульсы называются уединенными

волнами или солитонами и могут передаваться на тысячи километров без искажения формы.

Несколько слов об оптоволоконных кабелях.

На рис. 12.12, *а* показана отдельная оптоволоконная жила. В центре ее располагается стеклянная сердцевина, по которой распространяется свет. В многомодовом оптоволокне диаметр сердечника составляет 50 мкм (толщина человеческого волоса), а в одномодовом – от 8 до 10 мкм.

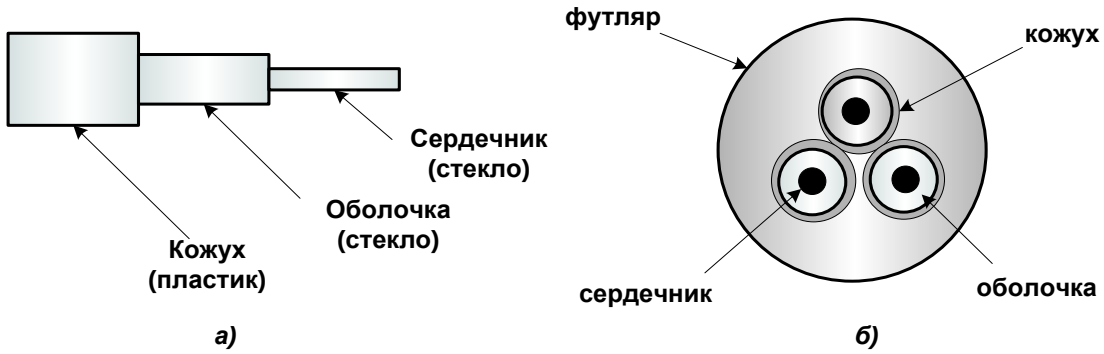


Рис. 12.12. Вид одиночного волокна сбоку (*а*);
поперечное сечение трехжильного кабеля (*б*)

Для передачи сигнала по оптоволоконному кабелю могут использоваться два источника света: светоизлучающие диоды (LED, Light Emitting Diode) и полупроводниковые лазеры. Приемный конец оптического кабеля представляет собой фотодиод, генерирующий электрический импульс, когда на него падает свет. При достаточной мощности импульса можно добиться пренебрежимо малой частоты ошибок.

Оптическое волокно обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с медным кабелем:

обеспечивает значительно более высокие скорости передачи;

существенное снижение затрат для линии дальней связи благодаря низкому коэффициенту ослабления сигнала. Повторители для оптической связи требуются лишь через каждые 50 км по сравнению с 5 км для медных проводов;

толерантность по отношению к внешним электромагнитным воздействиям;

волокно не подвержено коррозии, поскольку стекло является химически нейтральным;

волокно тонкое и легкое. Тысяча медных витых пар длиной в 1 км весят около 8 000 кг, а пара оптоволоконных кабелей всего 100 кг при гораздо большей пропускной способности.

К недостаткам оптоволоконной технологии следует отнести большую сложность в эксплуатации, меньшую механическую надежность, т. к. оптоволоконный кабель довольно хрупкий и ломается в местах сильного изгиба. Кроме того, так как оптическая передача является строго однонаправленной, для двухсторонней передачи информации требуются или два кабеля, или две полосы в одном кабеле. Наконец, оптический интерфейс стоит дороже электрического.

Тем не менее, по мнению большинства специалистов будущее цифровой связи на расстояниях более нескольких метров – за волоконной оптикой.

12.5.2. Этапы развития и внедрения оптических технологий

В [4] выделено четыре этапа развития и внедрения оптических технологий в России.

Первый этап. Оптические волокна (ОВ) с затуханием в единицы и десятки долей дБ/км при работе с первого по третье окна прозрачности (ОП) появились в России в середине 1980-х гг. Это позволило при организации городских соединительных линий исключить необслуживаемые регенерационные пункты (НРП) и их дистанционное питание, так как протяженность участка регенерации волоконно-оптической системы передачи (ВОСП) перекрывала в большинстве случаев расстояние между двумя соседними АТС в городе. Появление ОВ на сетях связи привело к процессу их глобальной цифровизации во всем мире, и первые ВОСП были созданы как цифровые системы передачи (ЦСП) на оптическом кабеле (ОК).

Проблемой для первых поколений ВОСП на внутризоновой и магистральной первичных сетях стали ограниченные возможности по широкополосности многомодовых ОВ.

Второй этап. Этот этап связан с появлением в конце 1980-х годов одномодовых ОВ с нулевой, а затем со смешанной дисперсией, параметры которых были определены в рекомендациях МСЭ-Т G.652 и G.653. В результате резко возросли скорости передачи и появилась ВОСП на базе ЦСП ПЦИ с иерархическими скоростями 565 Мбит/с (Е4х4) и 2,4 Гбит/с (Е4х16). Появление в начале 1990-х годов эрбиевых волоконно-оптических усилителей и пассивных компенсаторов дисперсии значительно увеличило предельную длину по затуханию участка регенерации ВОСП. Это позволило в большинстве случаев перекрыть расстояние между двумя соседними сетевыми узлами (СУ) и исключить НРП как при проектировании новых, так и при реконструкции существующих линий передачи.

Третий этап. В середине 1990-х годов появились ВОСП со спектральным разделением каналов (ВОСП-СР) или многоволновые (многоканальные) ВОСП на базе технологии уплотнения оптических каналов по длинам волн (Wavelength Division Multiplexing – WDM) как ответ на проблему «нехватки волокон».

Уже первые поколения ВОСП-СР продемонстрировали операторам связи новые возможности не только с точки зрения значительного увеличения пропускной способности существующих ВОСП без дополнительных капитальных затрат, но и с точки зрения более гибкой организации и развития транспортных сетей.

Сетевая структура на основе ВОСП-СР показана на рис. 12.13.

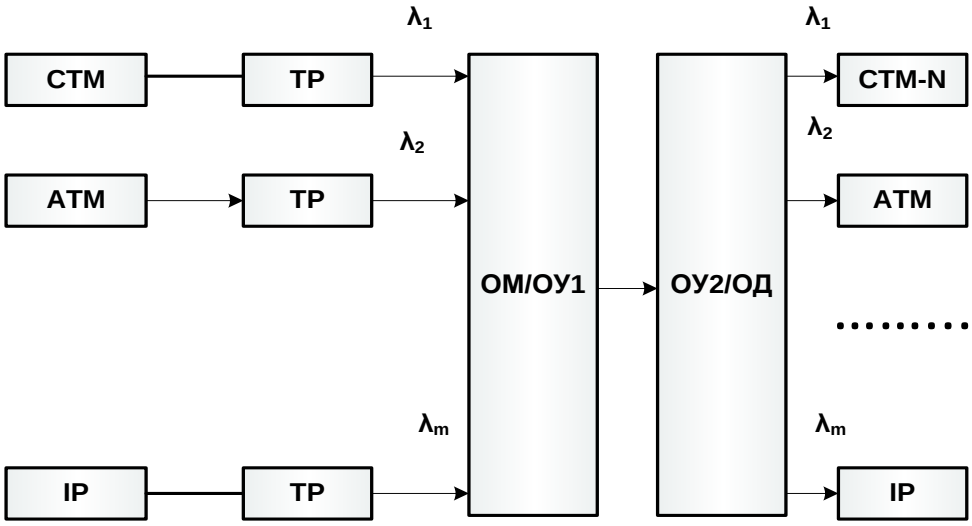


Рис. 12.13. Структура ВОСП-СР

В структуру ВОСП-СР входят: оптические мультиплексоры (ОМ) и оптические демультиплексоры (ОД); m-транспондеры (ТР) для каждого из m оптических каналов ВОСП-СР; оптические усилители мощности на передающем конце оптического тракта

(ОУ1) и оптические предусилители на приемном конце (ОУ2), а также линейные (промежуточные) усилители в оптическом тракте.

Транспондеры предназначены для преобразования оптического сигнала с целью его передачи в оптическом канале с требуемыми характеристиками. Транспондеры могут быть двух типов: с регенерацией цифрового сигнала по амплитуде и форме – ТР-2R, и с регенерацией цифрового сигнала по амплитуде, форме и трактовому (временному) положению – ТР-3R.

Для ТР-2R определяется диапазон скоростей цифрового сигнала, а ТР-3R работает на одной определенной скорости передачи.

В оборудовании ВОСП-СР могут применяться следующие технологии:
O (original band) – от 1 260 до 1 360 нм;
E (extended band) – от 1 360 до 1 460 нм;
S (short wavelength band) – от 1 460 до 1 530 нм;
C (conventional band) – от 1 530 до 1 565 нм;
L (long wave length band) – от 1 565 до 1 625 нм;
U (ultra longwave length band) – от 1 625 до 1 675 нм.

Четвертый этап. Создание и развитие сетей следующего поколения на чисто оптическом транспортном уровне или фотонных сетей – суть четвертого этапа развития и внедрения ВОСП. Повышенный интерес к фотонным сетям обусловлен следующими причинами:

постоянно увеличивающийся спрос на расширяющийся спектр широкополосных услуг требует сверхскоростных линий и систем передачи и сверхскоростного оборудования коммутации. Однако это невозможно осуществить при электронных методах обработки сигнала, поскольку быстродействие электронных коммутаторов, схем и компонентов подошло к своему пределу, составляющему десятки пикосекунд;

появление оптических технологий, на базе которых могут развиваться системы оптической коммутации, оптические усилители, селективные оптические фильтры, пассивные оптические разветвители, оптическое временное мультиплексирование/ демультиплексирование (OTDM), мультиплексирование по длине волны или спектральному разделению, пакетное переключение с многократными пересылками и т. д., позволяет постепенно перейти к полностью оптической обработке сигнала и создать среды с огромной пропускной способностью.

Сущность фотонизации заключается в том, что на физическом уровне во всех звеньях цепи передачи исключается преобразование типа фотон-электрон и электрон-фотон, благодаря чему появляется возможность на несколько порядков увеличить скорость передачи сигнала и значительно увеличить протяженность участка линии передачи между соседними промежуточными пунктами, а также существенно поднять технико-экономические показатели оборудования и его надежность в результате исключения электронно-оптических преобразователей.

Новые технологии маршрутизации по длине волны, многократное использование длин волн, пакетного переключения с многократным пересылками сигнала и др. превращают оптический транспортный узел в комплекс оборудования, состоящий из оптического кроссконнектора и оптического мультиплексора ввода-вывода. Каждая станция доступа в оптической транспортной сети OTN (Optical Transport Network) преобразует сигналы, полученные от пользователей, в соответствующий оптический формат и передает эти сигналы на транспортный узел.

Базой для создания OTN является пакет рекомендаций МСЭ-Т (G.709, 798,871–875, 959.1) по архитектуре сети, управлению и характеристикам оборудования OTN, во многом основанных на принципах построения транспортной сети СЦИ, но на чисто оптическом уровне. В концепции OTN предусмотрено три уровня иерархии:
1-й – 2,5 Гбит/с; 2-й – 10 Гбит/с; 3-й – 40 Гбит/с.

12.5.3. Компоненты волоконно-оптических систем передачи

В данном разделе будут рассмотрены основные оптоэлектронные и оптические компоненты, на базе которых строятся волоконно-оптические системы передачи (ВОСП).

Оптические разветвители.

Одним из наиболее важных устройств, относящихся к пассивным компонентам ВОЛС, является оптический разветвитель (coupler или splitter). Он представляет собой многополосное устройство, в котором излучение, подаваемое на часть входных оптических полюсов, распределяется между его остальными оптическими полюсами. Различают следующие категории оптических разветвителей: древовидный и звездообразный разветвители и ответвитель (рис. 12.14) [10].

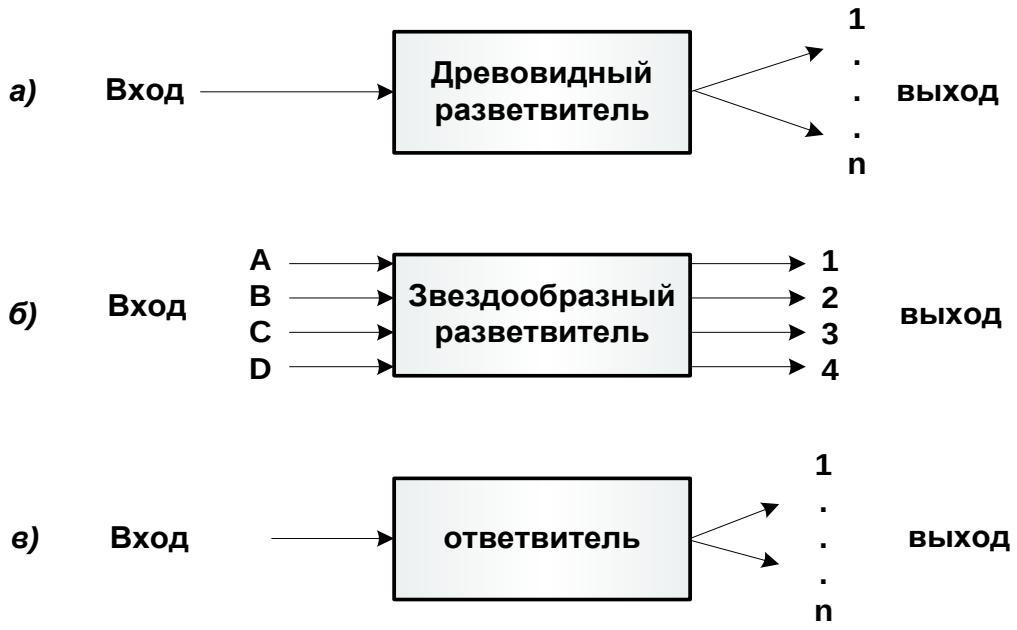


Рис. 12.14. Типы разветвителей

Древовидный разветвитель (tree coupler) осуществляет расщепление одного входного оптического сигнала на несколько выходных или выполняет обратную функцию. Большинство таких разветвителей полностью двунаправленные (рис. 12.14 *а*)

Звездообразный разветвитель (star coupler) обычно имеет одинаковое число входных и выходных полюсов. Оптический сигнал приходит на один из n выходных полюсов и в равной степени распределяется между n выходными полюсами (рис. 12.14 *б*).

Ответвитель (tap) распределяет выходную мощность необязательно в равной пропорции между выходными полюсами (рис. 12.14 *в*). Конфигурации ответвителей бывают 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 1x6, 1x8, 1x16, 1x32. Некоторая часть выходной мощности в ответвителе (менее 50 %) идет на каналы ответвления, а большая часть остается в магистральном канале.

Аттенюаторы.

Аттенюаторы также относятся к пассивным компонентам ВОЛС и используются для уменьшения мощности входного оптического сигнала, высокий уровень которого может привести к нелинейным искажениям аналогового сигнала, а при цифровой передаче – к насыщению приемного оптоэлектронного модуля. По принципу действия аттенюаторы бывают переменные и фиксированные.

Переменные аттенюаторы допускают регулировку величины затухания путем изменения величины воздушного зазора в пределах 0–20 дБ.

Фиксированные аттенюаторы имеют установленные изготовителем значения затухания 0,5, 10, 15 или 20 дБ.

Оптические распределительные и коммутационные устройства.

Когда линейный ВОК заходит внутрь здания, его, как правило, не подключают непосредственно к приемно-передающему оборудованию (оптическим трансиверам), а предварительно выполняют терминирование волокон линейного ВОК.

Терминированием называется оконцевание волокон ВОК оптическими коннекторами и последующее подключение оконцованных волокон к переходным розеткам, закрепленным на оптической распределительной панели/коробке, для обеспечения дальнейшей связи с сетевым оборудованием через оптические соединительные шнуры.

Различают три способа терминирования ВОК: непосредственное терминирование; терминирование через сварку с заранее подготовленными оконцованными с одной стороны волокнами; терминирование через сварку с волокнами станционного ВОК. Терминирование через сварку получило наибольшее распространение как менее сложное и оптимальное по времени.

После выполнения терминирования ВОК производят подключение сетевого оборудования с помощью одноволоконных, двухволоконных оптических шнуров или оконцованных с обеих сторон многоволоконных стационарных ВОК.

Разнообразные сопряжения волокон внешних и внутренних ВОК осуществляются в оптических узлах (ОУ), которые подразделяются на оптические распределительные устройства и оптические кроссовые устройства.

Оптические распределительные устройства (ОРУ) устанавливаются в тех случаях, когда не требуется сложная коммутация волокон, например, при построении волоконно-оптических магистралей локальных сетей на предприятиях или при организации удаленного узла оптической телекоммуникационной системы. При этом используется метод терминирования через сварку.

В качестве ОРУ могут выступать оптические распределительные коробки или панели, оптические распределительные шкафы.

Оптические кроссовые устройства (ОКУ) применяются при построении оптических узлов с большим количеством волокон от приходящих линейных ВОК (>100). ОКУ отличаются емкостью и подразделяются на: оптические кроссы средней плотности (с числом внешних волокон 120–150) и оптические кроссы высокой плотности (внешних волокон > 500).

Передающие оптоэлектронные модули (ПОМ) применяются в волоконно-оптических системах для преобразования электронных сигналов в оптические. Главным элементом ПОМ является источник излучения, в качестве которого используют, в основном, светодиоды (LED) и полупроводниковые лазерные диоды (LD). LED имеют широкий спектр излучения, а лазерные диоды более узкий спектр (рис. 12.15) [10]. Оба типа устройств весьма компактны и хорошо сопрягаются со стандартными электронными цепями.

Для организации передачи оптических сигналов недостаточно иметь только источник излучения. В любой конструкции ПОМ есть специальный держатель (housing), который позволяет закрепить и защитить составные элементы передатчика: источник излучения, узел электрического интерфейса и место сопряжения с волокнами. Иногда требуются дополнительные внутренние элементы для оптимального соединения волокон. Важным элементом лазерного диода является цепь тока накачки и система контроля температуры. Для сложных лазерных систем добавляют выходной мониторинг оптического сигнала. Общая схема конструкции оптического передатчика, в которой не все элементы являются обязательными, показана на рис. 12.16.

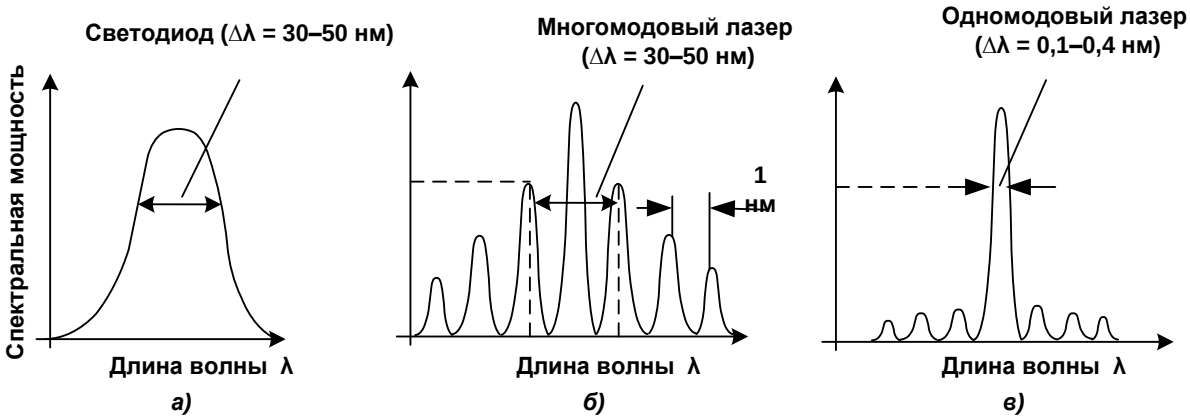


Рис. 12.15. Спектры излучения светодиодов и лазерных диодов

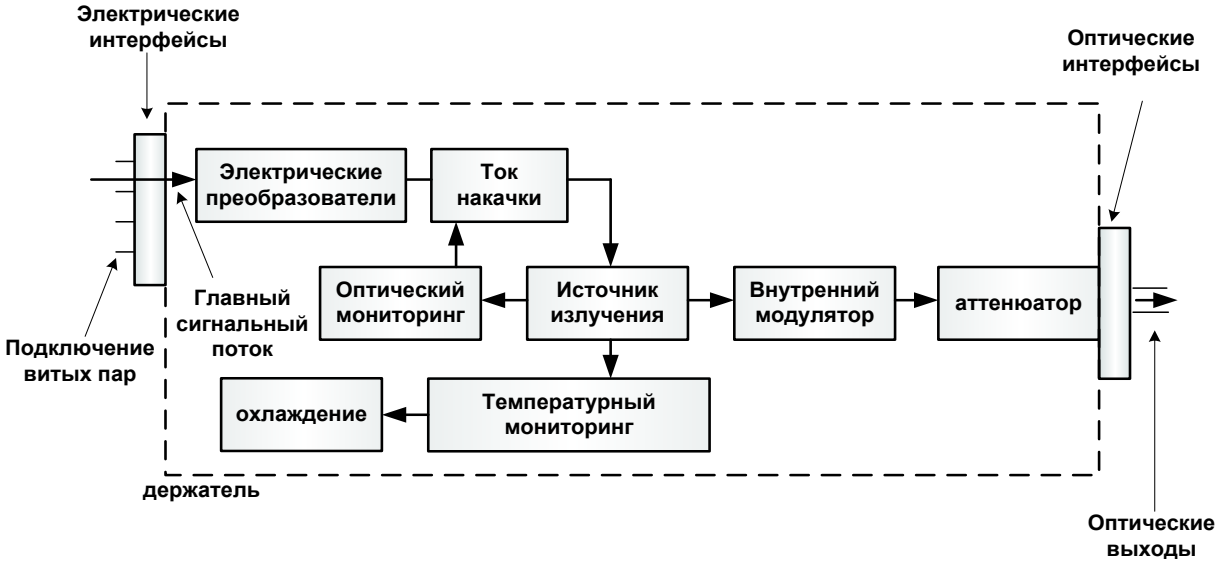


Рис. 12.16. Составляющие элементы передающего оптоэлектронного модуля

Приемные оптоэлектронные модули (ПРОМ) преобразовывают оптический сигнал, принятый из волокна, в электрический, который далее обрабатывается электронным устройством.

Основными функциональными элементами ПРОМ являются:

фотоприемник, преобразующий полученный оптический сигнал в электрическую форму;

каскад электронных усилителей, усиливающих сигнал и преобразующих его в форму, пригодную для обработки;

демодулятор, воспроизводящий первоначальную форму сигнала.

На рис. 12.17 приведены функциональные элементы аналогового и цифрового ПРОМ.

Аналоговые ПРОМ принимают аналоговые оптические сигналы и на выходе также выдают аналоговые электрические сигналы. К ним предъявляются требования высокой линейности преобразования и усиления сигнала при минимуме вносимых шумов.

При цифровой передаче не требуется очень точная ретрансляция форм импульсов. Цифровой приемник должен включать узел принятия решения (или дискриминатор), имеющий установленные пороги на принятие сигналов 0 и 1, который распознает, какой сигнал пришел. Правильное выделение сигнала может происходить при большом уровне шума.

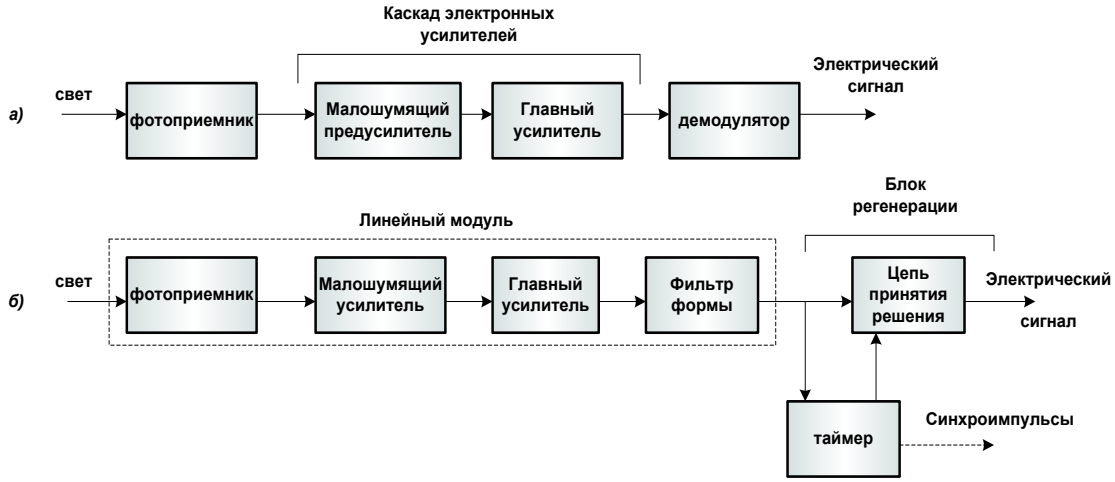


Рис.12.17. Функциональные элементы приемных оптоэлектронных модулей:
а) аналогового; *б*) цифрового

Ретрансляторы оптического сигнала подразделяются на две категории: повторители и оптические усилители.

Повторитель преобразует оптический сигнал в электрическую форму, усиливает, корректирует, а затем преобразовывает снова в оптический сигнал. Используется, в основном, в волоконно-оптических системах локальных сетей.

Оптический усилитель не осуществляет оптоэлектронного преобразования, а только производит усиление оптического сигнала; нашел наибольшее применение в оптических магистралях, поэтому здесь будет рассмотрен более подробно.

В [10] показаны пять типов оптических усилителей:

усилители Фабри-Перо, обеспечивают усиление одного канала;

усилители на волокне, использующие бриллюэновское рассеяние, обеспечивают усиление одного канала;

усилители на волокне, использующие рамановское рассеяние, обеспечивают усиление нескольких каналов одновременно;

полупроводниковые лазерные усилители, обеспечивают усиление большого числа каналов в широкой области длин волн одновременно;

усилители на примесном волокне с функциями усилителя 4-го типа;

усилители 5-го типа наиболее широко распространены и являются ключевым элементом в технологии полностью оптических сетей.

Среди них выделяют усилители, в которых используется кремниевое волокно, легированное эрбием. Такие усилители получили название EDFA. В EDFA наиболее широкая зона усиления от 1 530 до 1 560 нм достигается при оптимальной длине волн лазера накачки 980 нм.

Усилители EDFA имеют две разновидности: на кремниевой основе и на фтор-цирконатной основе. Обе разновидности способны работать во всем диапазоне выхода оптического излучения эрбия от 1 530 до 1 560 нм. Усилители на фтор-цирконатной основе имеют более ровную передаточную кривую коэффициента усиления.

Усилители EDFA значительно упрощают структуру ВОСП (рис. 12.18) по сравнению с повторителями – регенераторами, одновременно обеспечивая возможность передавать информацию на более высоких скоростях и наращивать пропускную способность.

К основным характеристикам EDFA относят: мощность насыщения, характеризующую выходную мощность усилителя, которая может достигать и даже превосходить 4 Вт); коэффициент усиления, определяемый как отношение мощностей

выходного и входного сигналов; мощность усиленного спонтанного излучения определяет уровень шума, который создает сам усилитель. Здесь уместно привести пример музыкального центра, где можно проследить аналогии по этим параметрам. Особенно важен третий (уровень шума), и желательно, чтобы он был как можно меньшим.

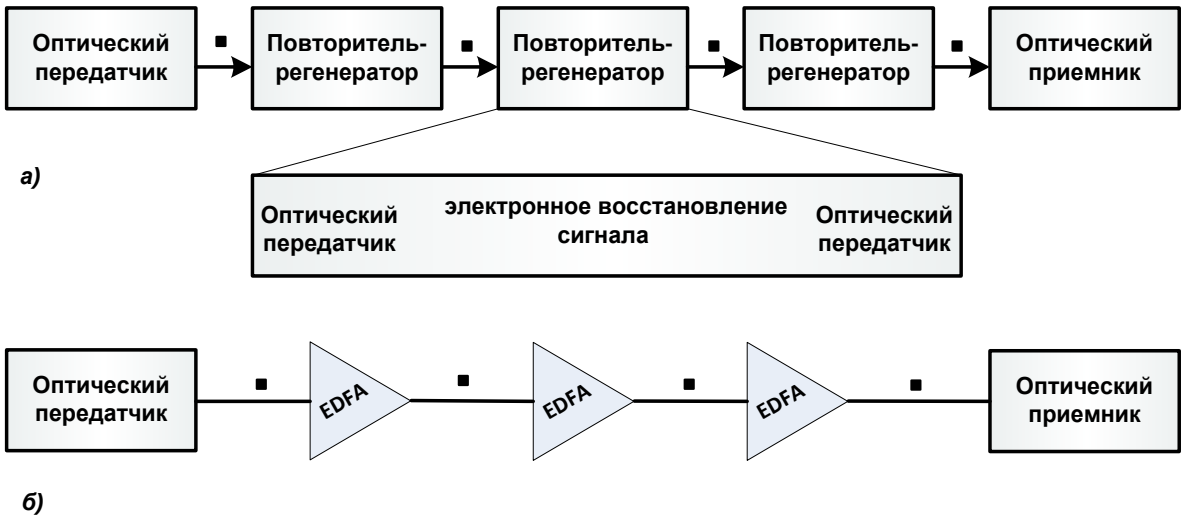


Рис. 12.18. Оптические системы связи на основе:
а) каскада регенерационных повторителей;
б) каскада оптических усилителей EDFA

Используя аналогию, можно попробовать включить музыкальный центр, не запуская никакого диска, но при этом повернуть ручку громкости до максимума. В большинстве случаев слышен некоторый шум. Этот шум создается системами усиления просто потому, что на них подается питание. Аналогично в нашем случае возникает спонтанное излучение, но поскольку усилитель рассчитан на испускание волн в определенном диапазоне, то фотоны именно этого диапазона будут с большей вероятностью испускаться в линию. Тем самым будет создаваться (в нашем случае) световой шум. Это накладывает ограничения на максимальную длину линии и количество оптических усилителей в ней.

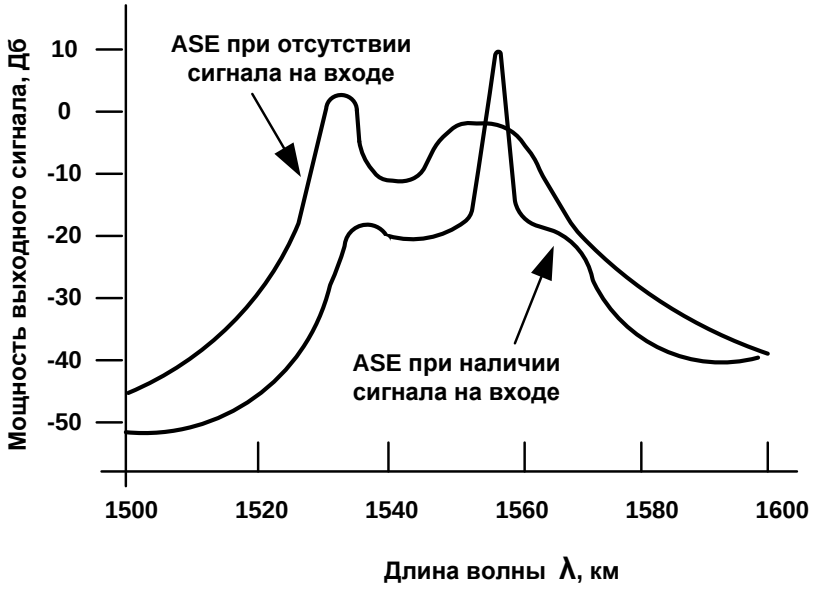


Рис. 12.19. Выходной спектр EDFA, снятый спектральным анализатором (ASE – спектральная область шума)

Коэффициент же усиления обычно подбирается такой, чтобы восстановить изначальный уровень сигнала. На рис. 12.19 приведены сравнительные спектры выходного сигнала при наличии и отсутствии сигнала на входе.

Еще одним параметром, который удобно использовать при характеристике усилителя, является шум-фактор – это соотношение параметров «сигнал/шум» на входе и выходе усилителя. В идеальном усилителе такой параметр должен быть равен единице.

Для усилителей EDFA существует три способа применения: предусилители, линейные усилители и усилители мощности. Первые устанавливаются непосредственно перед приемником. Это делается для увеличения отношения «сигнал/шум», что обеспечивает возможность использования более простых приемников и может снизить цену оборудования. Линейные усилители имеют своей целью простое усиление сигнала в протяженных линиях или в случае разветвления таких линий. Усилители мощности используются для усиления выходного сигнала непосредственно после лазера. Это связано с тем, что мощность лазера тоже ограничена и иногда легче просто поставить оптический усилитель, чем устанавливать более мощный лазер. На рис. 12.20 схематически показаны все три способа применения EDFA.

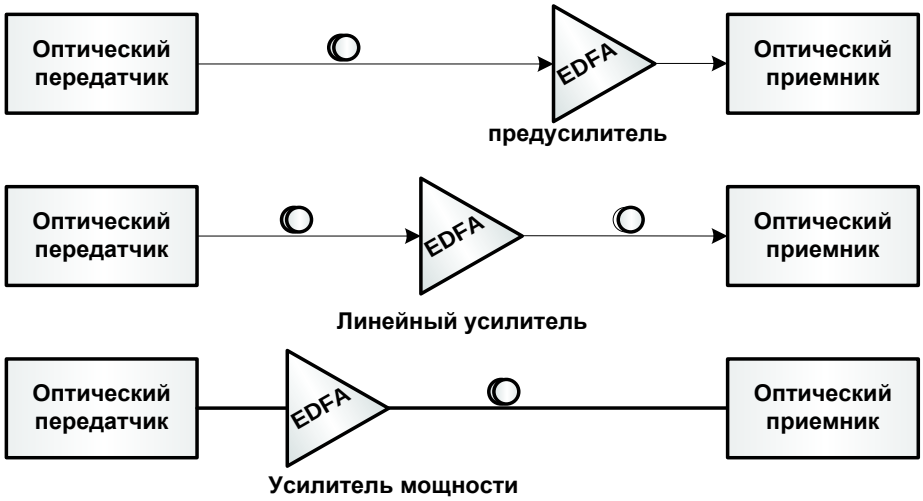


Рис. 12.20. Применение разных типов оптических усилителей

12.5.4. Технология DWDM

Технология уплотненного волнового мультиплексирования (или плотного спектрального уплотнения) DWDM предназначена для создания оптических магистралей нового поколения, работающих на мультигигабитных и терабитных скоростях. Сети DWDM работают по принципу коммутации каналов, при этом каждая световая волна представляет собой отдельный спектральный канал и несет соответственную информацию.

Традиционные технологии телекоммуникаций позволяют по одному оптическому волокну передать только один сигнал. Суть же технологии спектрального или оптического уплотнения заключается в возможности организации множества раздельных сигналов SDH по одному волокну, а, следовательно, в многократном увеличении пропускной способности линии связи.

Основы этой технологии были заложены в 1958 году, еще до появления самой волоконной оптики. Однако прошло около 20 лет, прежде чем были созданы первые компоненты мультиплексных систем. Первоначально они создавались для лабораторных исследований, и лишь в 1980 году технология спектрального уплотнения (Wavelength Division Multiplexing, WDM) была предложена для телекоммуникаций. А еще

через пять лет в исследовательском центре компании AT&T была реализована технология плотного спектрального уплотнения (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM), когда удалось в одном оптическом волокне создать 10 каналов 2 Гбит/с.

Как это происходит? Подобно тому, как видимый человеческим глазом свет состоит из различных цветов, на которые можно его разложить, а затем опять собрать, так и передаваемый по технологии DWDM световой поток, состоит из различных длин волн $\lambda_1\lambda_2 \ldots \lambda_n$ (рис. 12.21).

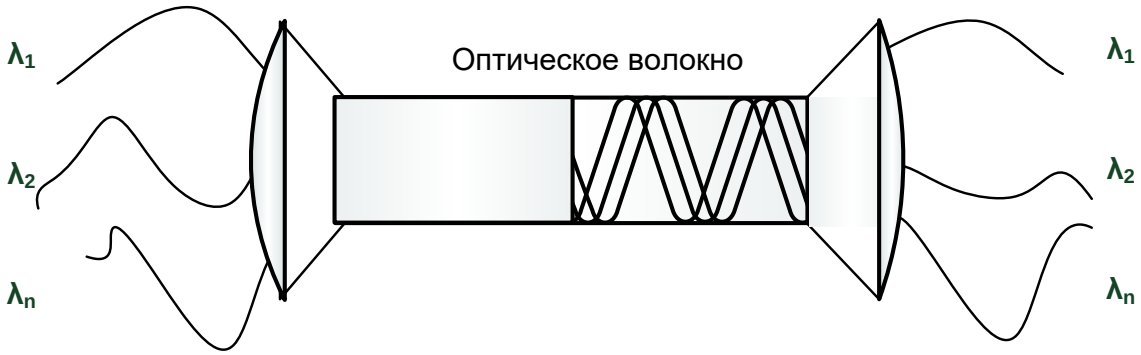


Рис. 12.21. Принцип технологии DWDM

То есть по одному волокну можно передавать более сотни стандартных каналов. Так, аппаратура, используемая при построении DWDM-сети Компании ТрансТелеКом, в максимальной конфигурации позволяет задействовать до 160 длин волн, при этом каждая волна может переносить информацию со скоростью до 10 Гбит/с (с применением протоколов технологии STM или 10 Gigabit Ethernet). В настоящее время ведутся работы по повышению скорости передачи информации на одной длине волны до 40–80 Гбит/с.

Принципиальная схема DWDM достаточно проста. Для того чтобы организовать в одном волокне несколько оптических каналов сигналы SDH «окрашивают», то есть меняют оптическую длину волны для каждого такого сигнала. «Окрашенные» сигналы смешиваются при помощи мультиплексора и передаются в оптическую линию. В конечном пункте происходит обратная операция – «окрашенные» сигналы SDH выделяются из группового сигнала и передаются потребителю.

По мере прохождения по оптическому волокну сигнал постепенно затухает. Для того чтобы его усилить, используются оптические усилители. Это позволяет передавать данные на расстояния до 4 000 км без перевода оптического сигнала в электрический (для сравнения, в SDH это расстояние не превышает 200 км) (рис. 12.22).

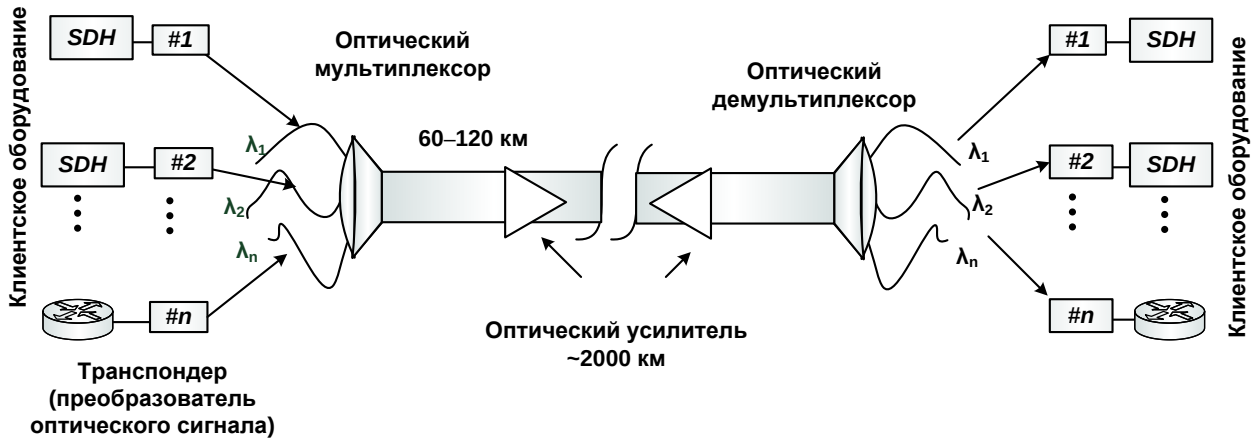


Рис. 12.22. Оптические линии связи DWDM

Преимущества DWDM очевидны. Эта технология позволяет получить наиболее масштабный и рентабельный способ расширения полосы пропускания волоконно-оптических каналов в сотни раз. Пропускную способность оптических линий на основе систем DWDM можно наращивать, постепенно добавляя по мере развития сети в уже существующее оборудование новые оптические каналы.

Мультиплексорам DWDM (в отличие от более традиционных WDM) присущи две отличительные черты:

использование только одного окна прозрачности 1 550 нм, в пределах области усиления EDFA 1 530–1 560 нм (EDFA – система оптического усиления);

малые расстояния между мультиплексными каналами – 3,2/1,6/0,8 или 0,4 нм.

Для справки скажем, что длина волны видимого света 400–800 нм. Кроме того, поскольку само название говорит о плотной (dense) передаче каналов, то количество каналов больше, чем в обычных WDM-сетях, и достигает нескольких десятков. Из-за этого возникает потребность создать устройства, которые способны добавлять канал или извлекать его, в отличие от обычных схем, когда происходит кодирование или декодирование всех каналов сразу. С такими устройствами, работающими с одним каналом из многих, связывается понятие пассивной маршрутизации по длинам волн. Также понятно, что работа с большим числом каналов требует большей точности устройств кодирования и декодирования сигнала и предъявляет более высокие требования к качеству линии. Отсюда очевидное повышение стоимости устройств – при одновременном снижении цены за передачу единицы информации из-за того, что теперь ее можно передавать в большем объеме.

Типовая схема DWDM-мультиплексора с зеркальным отражающим элементом показана на рис 12.23.

Вот как происходит работа демультиплексора с зеркалом (схема на рис. 12.23 *а*). Приходящий мультиплексный сигнал поступает на входной порт. Затем этот сигнал проходит через волновод-пластину и распределяется по множеству волноводов, представляющих собой дифракционную структуру AWG (arrayed waveguide grating). По-прежнему сигнал в каждом из волноводов остается мультиплексным, а каждый канал – представленным во всех волноводах, то есть пока что произошло лишь распараллеливание. Далее происходит отражение сигналов от зеркальной поверхности, и в итоге световые потоки вновь собираются в волноводе-пластине, где происходит их фокусировка и интерференция. Это приводит к образованию интерференционной картины с пространственно разнесенными максимумами, причем обычно расчет геометрии пластины и зеркала делают так, чтобы эти максимумы совпадали с выходными полюсами. Мультиплексирование происходит обратным путем.

Другой способ построения мультиплексора базируется не на одной, а на паре волноводов-пластин (рис. 12.23 *б*). Принцип действия такого устройства аналогичен предыдущему случаю за исключением того, что здесь для фокусировки и интерференции используется дополнительная пластина.

Самым важным параметром в технологии плотного волнового мультиплексирования, бесспорно, является расстояние между соседними каналами. Стандартизация пространственного расположения каналов нужна уже хотя бы потому, что на ее основе можно будет начинать проведение тестов на взаимную совместимость оборудования разных производителей.

Сектор по стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи ITU-T утвердил частотный план DWDM с расстоянием между соседними каналами 100 ГГц, что соответствует разнице длин волн в 0,8 нм. Казалось бы, разницу можно сделать и еще меньшей, добившись тем самым большей пропускной способности, но при этом возникают чисто технологические трудности, связанные с изготовлением лазеров, генерирующих строго монохроматический сигнал (постоянной частоты

без помех), и дифракционных решеток, которые разделяют в пространстве максимумы, соответствующие различным длинам волн. При использовании разделения 100 ГГц все каналы равномерно заполняют используемый диапазон, что удобно при настройке оборудования и его переконфигурации. Выбор интервала разделения определяется необходимой пропускной способностью, типом лазера и степенью помех на линии. Однако нужно учитывать, что при работе даже в столь узком диапазоне (1 530–1 560 нм) влияние нелинейных помех на границах этой области весьма существенно. Этим объясняется тот факт, что с увеличением числа каналов необходимо увеличивать мощность лазера, но это, в свою очередь, приводит к снижению отношения «сигнал/шум».

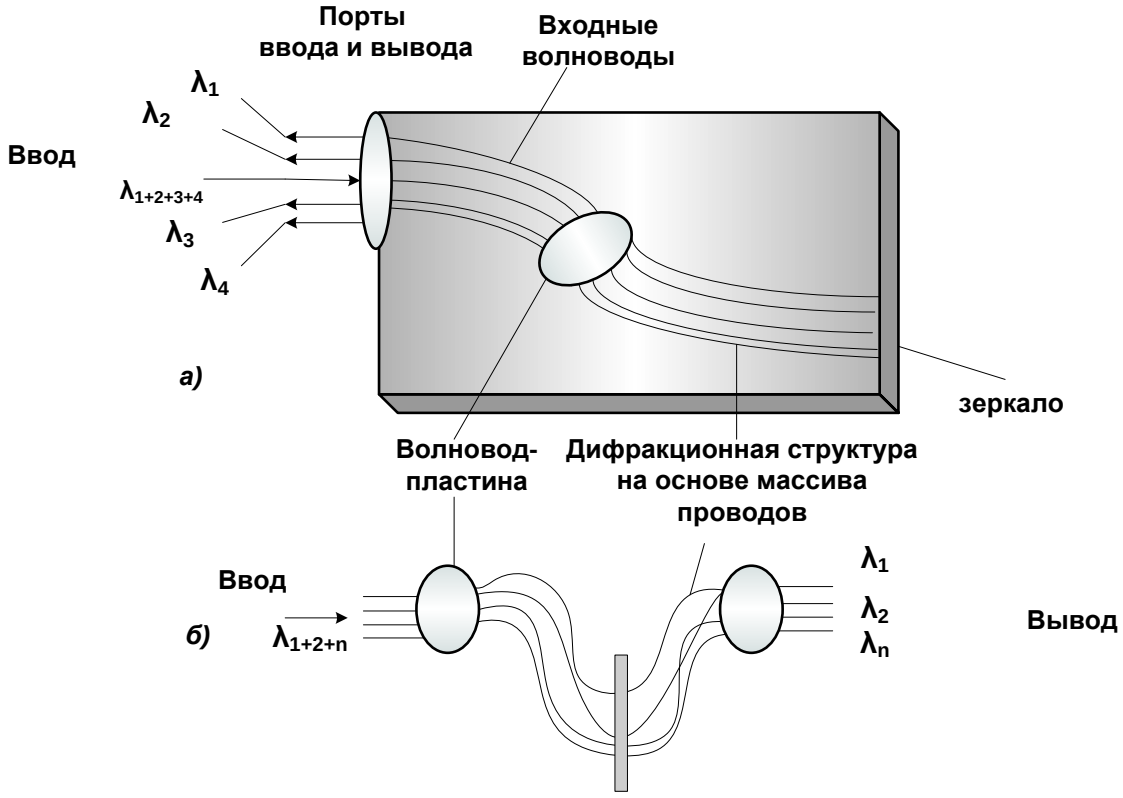


Рис. 12.23. Схемы DWDM-мультиплексоров:
а) с отражающим элементом; *б*) с двумя волноводами-пластинами

У технологии DWDM имеется предшественница – технология волнового мультиплексирования или спектрального уплотнения WDM, в которой используется четыре спектральных канала в окнах прозрачности 1310 нм и 1550 нм с разносом несущих в 800–400 ГГц.

Мультиплексирование DWDM называется «уплотненным» потому, что в нем используется существенно меньшее расстояние между длинами волн, чем в WDM. На сегодня рекомендацией G.692 сектора ITU-T определены два частотных плана (т. е. набора частот, отстоящих друг от друга на некоторую постоянную величину):

частотный план с шагом (разнесением частот между соседними каналами) 100 ГГц ($\Delta\lambda$ = 0.8 нм), в соответствии с которым для передачи информации применяется 21 волна в диапазоне от 1 528,77 (196,1 ТГц) до 1 560,61 нм (192,1 ТГц);

частотный план с шагом 50 ГГц ($\Delta\lambda$=0.4 нм), позволяющий передавать в этом же диапазоне 81 длину волны.

Некоторыми компаниями выпускается также оборудование, называемое оборудованием высокоуплотненного волнового мультиплексирования (High-DenseWDM,

HDWDM), способное работать с частотным планом с шагом 25 ГГц (пока это еще не серийная продукция) [11].

Первой областью применения технологии DWDM стало создание сверхдальних высокоскоростных магистралей, имеющих топологию двухточечной цепи. Для ее организации достаточно в конечных точках установить терминальные мультиплексоры DWDM, а в промежуточных точках – оптические усилители, если этого требует расстояние между конечными точками.

Развитием такой топологии стала цепь с промежуточными подключениями, в которой промежуточные узлы выполняют функции оптических мультиплексоров ввода-вывода (рис. 12.24) [11].

Оптические мультиплексоры ввода-вывода (Optical Add-Drop Multiplexer, OADM) могут вывести из общего оптического сигнала волну определенной длины и ввести туда сигнал этой же волны, так что спектр транзитного сигнала не изменится, а соединение будет выполнено с одним из абонентов, подключенных к промежуточному мультиплексору.

OADM поддерживает операции ввода-вывода волн сугубо оптическими средствами или с промежуточным преобразованием в электрическую форму. В первом случае OADM могут отводить лишь небольшое число волн, т. к. каждая операция вывода требует последовательного прохождения оптического сигнала через оптический фильтр, который вносит дополнительное затухание. Во втором случае выполняется электрическая регенерация сигнала и количество выводимых волн может быть любым в пределах имеющегося набора волн.

Повышение надежности и живучести сетей DWDM обеспечивается применением кольцевых топологий за счет использования резервных путей. Методы защиты трафика, применяемые в DWDM, аналогичны методам в SDH. Для защиты какого-либо соединения между его конечными точками устанавливаются два пути: основной и резервный. Мультиплексор конечной точки сравнивает два сигнала и выбирает сигнал лучшего качества.

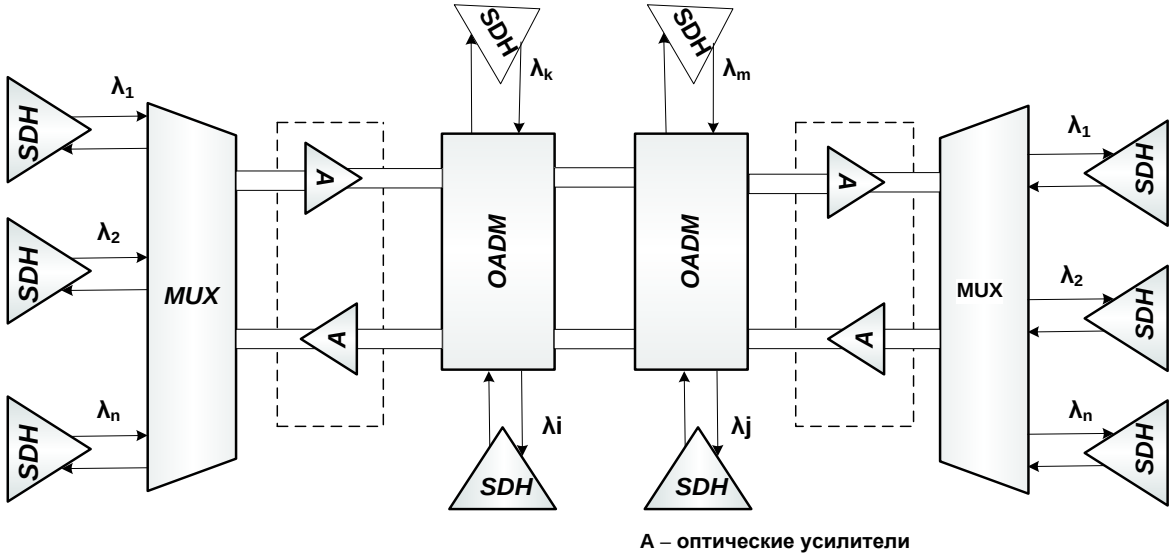


Рис. 12.24. Цепь DWDM с вводом-выводом в промежуточных узлах

Имеет хорошие перспективы и начинает применяться ячеистая топология, которая обеспечивает лучшие показатели в плане гибкости, производительности и отказоустойчивости, чем другие топологии (рис. 12.25) [11].

Однако для реализации этой топологии необходимы оптические кросс-коннекторы (Optical Cross-Connector, OXC), которые не только добавляют волны в общий транзитный

сигнал и выводят их оттуда, как это делают мультиплексоры ввода-вывода, но и поддерживают произвольную коммутацию между оптическими сигналами, передаваемыми волнами разной длины.

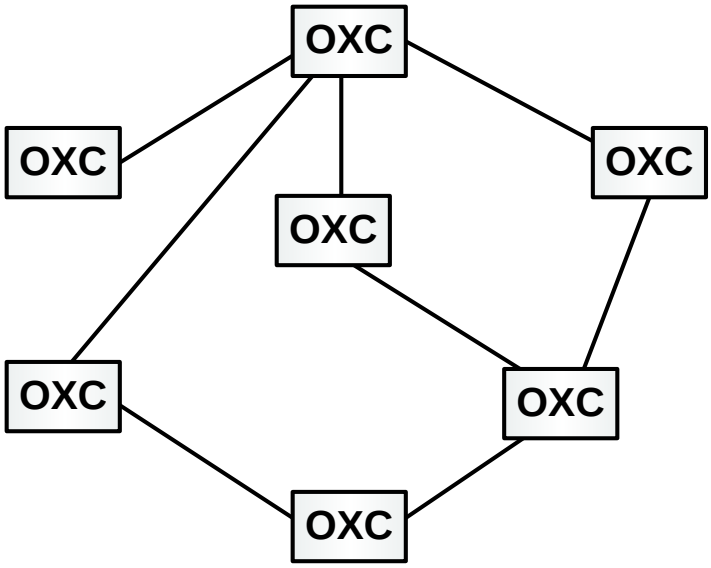


Рис. 12.25. Ячеистая топология сети DWDM

12.5.5. Технологии оптических транспортных сетей

Сети DWDM предоставляют пользователям отдельные спектральные каналы, являющиеся фактически не более чем несущей средой. Для передачи по таким каналам цифровых данных необходимо договориться о месте модуляции или кодировке двоичных данных, а также предусмотреть другие необходимые механизмы (контроль и исправление ошибок, обеспечение отказоустойчивости, оповещение пользователя о состоянии соединения и др.). Исторически мультиплексоры DWDM были также и мультиплексорами SDH, т. е. в каждом из волновых каналов для решения перечисленных задач они использовали технику SDH. Однако в процессе эксплуатации сетей SDH/DWDM стали заметны отдельные недостатки, связанные с применением технологии SDH в качестве основной технологии передачи цифровых данных по спектральным каналам DWDM [11]:

недостаточная эффективность кодов FEC, принятых в качестве стандарта SDH. Это препятствует дальнейшему повышению плотности спектральных каналов мультиплексора DWDM;

единицы коммутации сетей SDH/DWDM слишком «мелки» для магистральных сетей, работающих на скоростях 10 и 40 Гбит/с (а не за горами и 100 Гбит/с). Даже контейнеры максимального размера VC-4 (140 Мбит/с) являются недостаточно крупной единицей для мультиплексоров STM-256, которые должны коммутировать до 256 контейнеров для каждого своего порта. Поэтому желательно подбирать единицы коммутации, более соответствующие битовой скорости линий сети;

не учтены особенности трафика различного типа; разработчиками технологии SDH принимался во внимание только голосовой трафик.

На преодоление этих недостатков нацелена новая технология оптических транспортных сетей (Optical Transport Network, OTN), которая обеспечивает передачу и мультиплексирование цифровых данных по волновым каналам DWDM более эффективно, чем SDH. При этом технология OTN не заменяет технологии DWDM, а дополняет ее волновые каналы «цифровой оболочкой».

Архитектура сетей OTN описана в стандарте ITU-T G.872, а наиболее важные аспекты работы узла сети OTN описаны в стандарте G.709.

Стандартизированы три скорости OTN, выбранные так, чтобы прозрачным образом передавать кадры STM-16, STM-64 и STM-256 вместе со служебными заголовками (таблица 12.4)

Таблица 12.4

Иерархия скоростей технологии OTN

Интерфейс G.709	Битовая скорость Гбит/с	Соответствующий уровень SDH	Информационная скорость, Гбит/с
OTU 1	2,666	STM-16	2,488
OTU 2	10,709	STM-64	9,953
OTU3	43,018	STM-256	39,813

Работа над стандартизацией иерархии скоростей в ITU-T продолжается.

Стек протоколов OTN состоит из 4-х уровней, иерархия которых показана на рис. 12.26, а их применение на структурах сквозного тракта OTN – на рис. 12.27 [11].

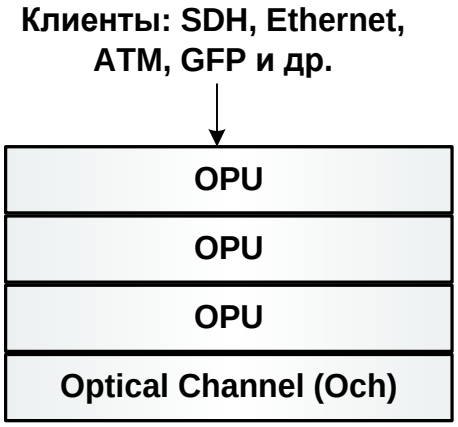


Рис. 12.26. Иерархия протоколов OTN

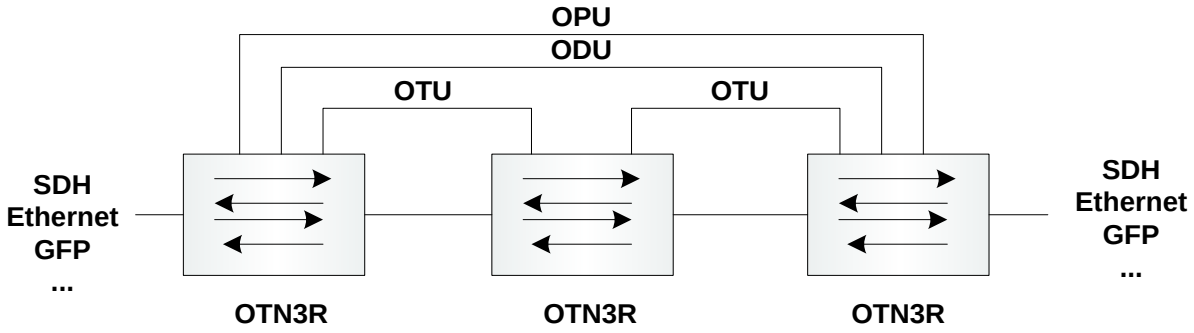


Рис. 12.27. Протоколы в тракте OTN

Протокол OPU (Optical Channel Payload Unit – блок пользовательских данных оптического канала) ответственен за доставку данных между пользователями сети. Он осуществляет инкапсуляцию пользовательских данных (например, кадры SDH или Ethernet) в блоках OPU, выравнивание скоростей передачи пользовательских данных

и блоков OPU, а на приемной стороне извлекает пользовательские данные и передает их пользователю. В зависимости от скорости передачи данных этому протоколу соответствуют блоки OPU1, OPU2 и OPU3. К пользовательским данным протокол OPU добавляет свой заголовок OPU OH (Over Head).

Протокол ODU (Optical Channel Data Unit – блок данных оптического канала) также как и OPU работает между конечными узлами сети OTN. В его функции входит мультиплексирование и демультиплексирование блоков OPU1, например, мультиплексирование четырех блоков OPU1 в один блок OPU2. Поддерживает функции мониторинга качества соединений в сети OTN. Является аналогом протокола линии SDH.

Протокол OTU (Optical Channel Transport Unit – транспортный блок оптического канала). Работает между двумя соседними узлами сети OTN, которые поддерживают функции электрической регенерации оптического сигнала, называемые также функциями 3R (retiming, reshaping и regeneration). Основное назначение – контроль и исправление ошибок с помощью кодов FEC. Этот протокол добавляет к блоку ODU свой концевик, содержащий код FEC, образуя блок OTUk. Протокол OTU соответствует протоколу секции SDH.

Кадр OTN представляет собой 4080 столбцов (байтов), размещенных в 4 строки и состоит из поля пользовательских данных (Payload) и служебных полей блоков OPU, ODU и OTU (рис.12.28). Формат кадра не зависит от скорости передачи и одинаков, например, для блоков OPU1/ODU1/OTU1 и OPU2/ODU2/OTU2.

Поле пользовательских данных располагается с 17 по 3 824 столбец и занимает все четыре строки кадра, а заголовок блока OPU занимает 15 и 16 столбцы также в 4-х строках.

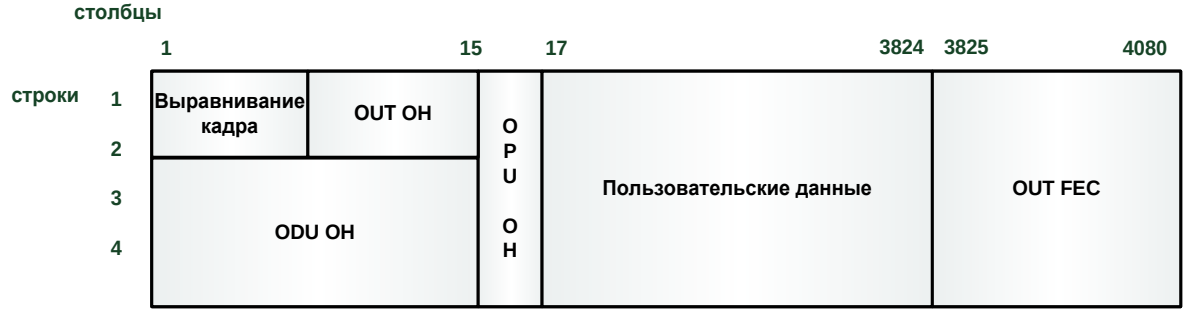


Рис. 12.28. Формат кадра OTN

Начинается кадр с поля выравнивание кадра, необходимого для распознавания начала кадра.

Блок ODU представлен только заголовком ODU OH, а блок OTU состоит из заголовка OUT OH и концевика OUT FEC, содержащего код коррекции ошибок FEC.

С механизмами выравнивания скоростей и мультиплексирования блоков можно познакомиться в [11].

Для коррекции ошибок в OTN используются коды Рида-Соломона RS (255, 239). В этом самокорректирующимся коде данные кодируются блоками по 255 байт, из которых 29 байт являются пользовательскими, а 16 байт представляют собой корректирующий код. Коды Рида-Соломона позволяют исправить до 8 ошибочных байт в блоке из 255 байт. Их применение позволяет улучшить отношение мощности сигнала к мощности шума на 5 дБ при уровне битовых ошибок в 10^{-12}. Этот эффект дает возможность увеличить расстояние между регенераторами сети на 20 км или использовать менее мощные передатчики сигнала.

12.6. Технология отказоустойчивого пакетного кольца RPR

12.6.1. Назначение RPR

В [12] автор представил технологию отказоустойчивого пакетного кольца (resilient packet ring – RPR) как новую сетевую архитектуру, определенную спецификацией IEEE 802.17 и разработанную для пакетно-ориентированных сетей регионального масштаба (Metropolitan Area Network – MAN). Эта технология сочетает простоту и надежность SDH с эффективностью пакетной передачи. Она предлагает несколько уровней QoS для поддержки различных служб и способна поддерживать до 255 узлов в кольце общей протяженностью 2 000 км.

При использовании технологии RPR реализуется два подхода.

Первый называют «RPR поверх SDH», когда SDH-платформы следующего поколения поддерживают эту технологию для передачи данных. Пользователям предоставляется Ethernet-интерфейсы, и транспорт пакетов данных осуществляется через RPR-кольцо, которое конфигурируется в сети SDH выделением группы виртуальных контейнеров. В этом подходе RPR применяется для обеспечения более эффективного (чем Ethernet поверх SDH) транспорта пакетных данных.

Второй подход – мультисервисные платформы, которые в чистом виде реализуют пакетный транспорт RPR. Однако производители оборудования расширяют их возможности функциями, которые непосредственно не описаны в стандарте 802.17. Это поддержка передачи TDM-трафика поверх RPR и поддержка не только кольцевых технологий, но и более сложных (например, сопряженного кольца). Для такого расширения уже существует термин: отказоустойчивый пакетный транспорт (Reilient Packet Transport – RPT). Оба эти подхода делают RPR хорошим решением при эволюции от TDM к преимущественно пакетным сетям.

12.6.2. Принцип работы отказоустойчивого пакетного кольца

Сеть RPR использует кольцевую структуру, состоящую из узлов пакетной коммутации, соединенных с соседними узлами в кольце одной парой оптического волокна. Сетевая топология содержит два передающих в противоположных направлениях кольца, использующих для транспорта рабочего трафика между узлами.

Каждая станция в кольце имеет уникальный 48-битный MAC-адрес в соответствии с рекомендацией IEEE 802.17. Поддерживается передача одноадресного, многоадресного и широковещательного трафика.

RPR-устройства реализуют идею транзитного пути. На каждом узле трафик, который не предназначен для данного узла, просто проходит насквозь. Транзитный путь становиться частью среды передачи и делает из RPR-кольца одну непрерывную разделяемую всеми RPR-узлами среду. Так как узлы не образуют транзитный трафик, то значительно снижаются задержки пакетов и узел может легче масштабироваться к более высоким скоростям передачи.

На подуровне управления MAC реализуются функции анализа топологии кольца и защиты, алгоритм «справедливого» разделения полосы в кольце, а также поддержка функций эксплуатации, администрирования и обслуживания.

Под анализом топологии RPR-кольца понимается изучение узлами кольца наличия в кольце других узлов, их статус, взаимное расположение, состояние оптических соединений между соседними узлами. Это позволяет добавлять или удалять узлы в кольце без каких-либо дополнительных ручных настроек. Протокол защиты RPR обеспечивает надежный механизм защитной коммутации в пределах 50 мс для всего защищаемого трафика кольца. Защита реализуется двумя способами: перенаправление (steering) или заворот (wraping) трафика.

На рис. 12.29 представлен пример путей передачи данных до и после обрыва волокна в кольце.

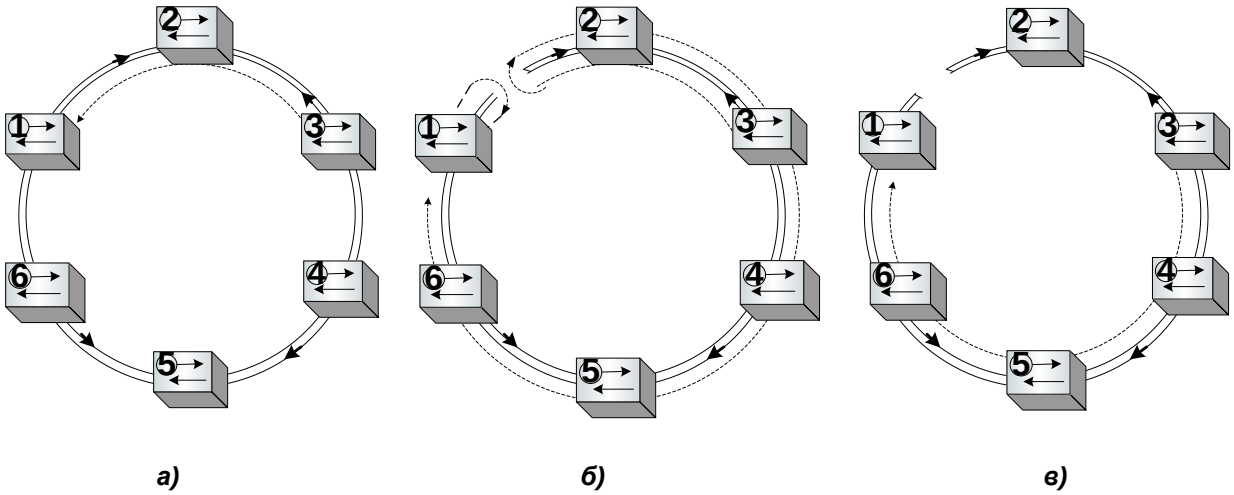


Рис.12.29. Защитное переключение в RPR

До обрыва волокна узел 3 передавал трафик к узлу 1 через узел 2 (рис.12.29 *а*). После обрыва волокна между узлами 1 и 2 узел 1 вернет трафик внешнего кольца к внутреннему, а узел 2 – трафик внутреннего кольца к внешнему. После этого трафик из узла 3 к узлу 1 будет проходить не по оптимальному пути (рис. 12.29 *б*). Но это продлится не более 50 мс, так как решение о переключении принимается локально в узлах 1 и 2, которые идентифицируют разрыв соединения. Остальные узлы на основе протокола анализа топологии обнаруживают изменения в топологии и переходят на оптимальный путь (рис. 12.29 *в*). На это потребуется от сотен мс до нескольких сек. Таким образом, в отличие от SDH-колец, которые всегда платят за защиту резервируемой (и неиспользуемой в штатном режиме) полосы, кольцо RPR после аварии уменьшает свою емкость лишь на несколько сек.

12.6.3. Управление полосой и QoS

Имеется несколько параметров, которые более, чем другие определяют характеристики доставляемой услуги: доступность услуги, задержка, вариация задержки, уровень потери пакетов. Передача данных требует низкого уровня потерь пакетов, а режимы реального времени, такие как голос – низкой задержки ее вариации.

Технология ATM предлагала множество услуг с богатыми набором QoS. Однако слишком богатый набор свойств QoS часто усложняет и делает малопонятными услуги, что неприемлемо для пользователей.

Подход, предложенный в стандарте 802.17, требует от транспортного механизма сети поддержки всего трех базовых служб:

служба класса A (обеспечивается гарантированной полосой с низкой задержкой из конца в конец и ограниченным джиттером; этот класс имеет приоритет над всеми другими);

служба класса B (обеспечивается гарантированной полосой с ограниченной задержкой и джиттером и возможностью доступа к дополнительной (не гарантируемой) полосе без гарантий по ограничению задержки и джиттера в этой полосе; класс B имеет приоритет над классом C);

служба класса C (обеспечивает доставку по мере возможностей без гарантии скорости данных и ограничений на задержку и джиттер).

Если взять наиболее популярные сегодня услуги Triple Play (голос, видео, данные), то RPR представляется здесь как наиболее предпочтительная технология для агрегации трафика в региональных сетях.

Очевидно, что служба реального времени для голоса или видео будет использовать класс A, чтобы обеспечить гарантированную полосу и наименьшую задержку сигнала. Службы данных будут использовать класс C. Некоторые поставщики услуг могут предоставлять класс B для передачи данных, если пользователи согласны за это платить.

Литература

1. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в глобальной информационной инфраструктуре. – СПб.: Наука. 2008. – 552 с.

2. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации / Под ред. Ю. Н. Чернышова. – М.: Эко-Трендз. 2008. – 400 с.

3. Гольцов А. В., Дедоборщ В. Г. Взаимозависимость темпов реконструкции сети и освоение технологий новых услуг // Электросвязь. – 2006. №11.

4. Алексеев Е. Б. Транспортная платформа NGN. Динамика развития // Технологии и средства связи. 2006. № 3. – С. 14–20.

5. Слепов А. М. Плезиохронная и синхронная цифровые иерархии // Сети. 1995. № 9.

6. Нетес А. М. Основные принципы синхронной цифровой иерархии // Сети и системы связи. 1996. № 6.

7. Меккель А. М. Оборудование SDH в сетях общего пользования // Технологии и средства связи. Каталог. 2004. – С. 42–49.

8. Горнак А. М. Новые возможности SDH // Широкополосные мультисервисные сети. 2005. – С. 26–29.

9. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – Спб.: Питер, – 2012. – 960 с.

10. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 267 с.

11. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 944 с.

12. Горнак А. М. Отказоустойчивое пакетное кольцо. Обзор технологии // Широкополосные мультисервисные сети. 2007. – С. 60–65.

ЧАСТЬ 4
СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

ГЛАВА 13. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

13.1. Концептуальные положения построения сетей абонентского доступа

В связи с качественными изменениями, происходящими в развитии современных телекоммуникационных сетей (ТКС), и, в частности, с созданием мультисервисных сетей, осуществляется внедрение новых технологий и на абонентских сетях доступа. Новые концептуальные подходы к их построению приводят к тому, что понятие «абонентская линия» уже не отражает самой сути элемента сети электросвязи между терминалом пользователя и коммутационной станцией. Поэтому появился новый, принятый уже в международных стандартах и рекомендациях, термин «Acces Network» – «сеть доступа». В отечественных концепциях ТКС чаще используется словосочетание «сеть пользовательского (абонентского) доступа» (САД), что дает более четкое представление о соответствующем фрагменте телекоммуникационной системы. На рис. 13.1 показан фрагмент телекоммуникационной сети с выделенными типовыми элементами САД [1].

Абонентская сеть в простейшем случае состоит из трех основных элементов:
абонентского (пользовательского) терминала (АТ);
абонентской (пользовательской) линии (АЛ);
узла коммутации (УК).

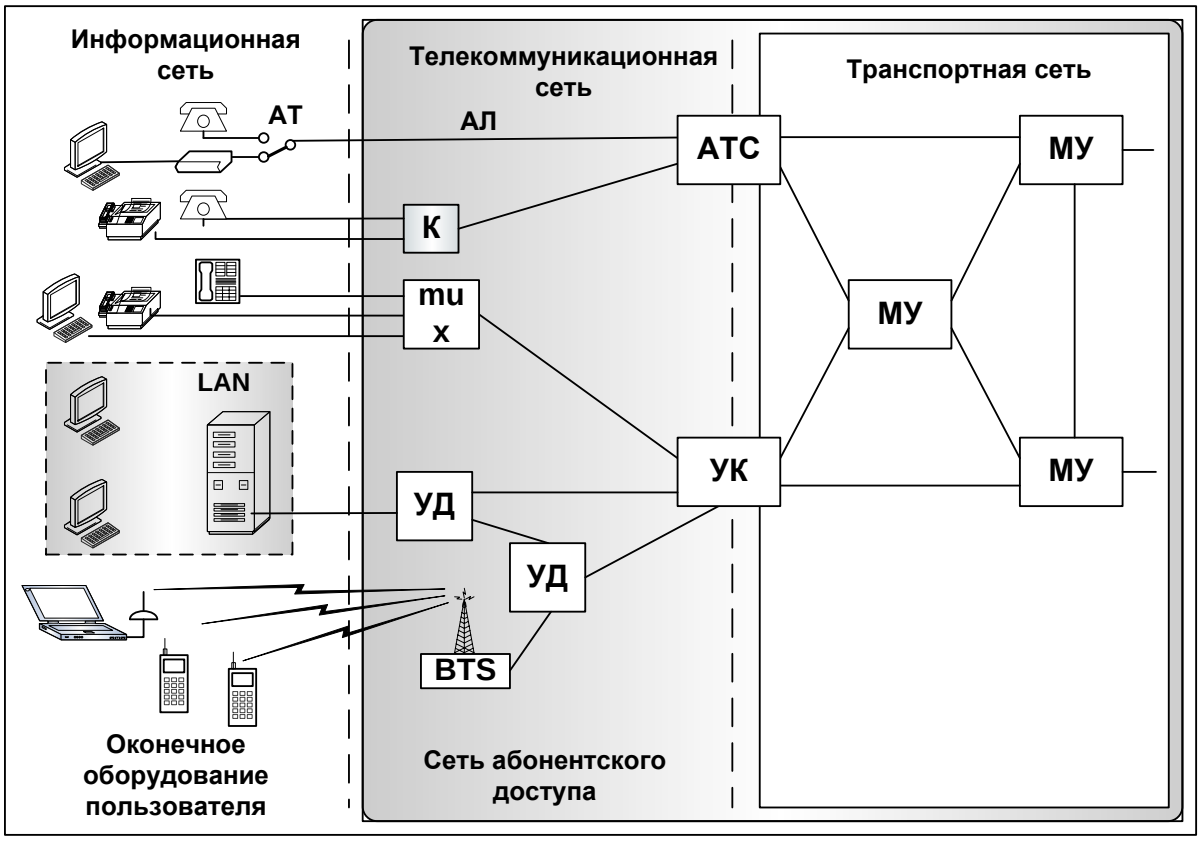


Рис. 13.1. Типовая структура и состав сетей абонентского доступа

В общем случае под сетями пользовательского (абонентского) доступа понимается совокупность линий, оконечных и промежуточных узлов, включаемых в коммутационное

оборудование транспортной сети непосредственно или через выносной модуль (концентратор, мультиплексор) [2].

Структурно САД располагается между оборудованием, находящимся непосредственно в месте расположения абонентов (пользователей), и транспортной сетью. Границей между САД и терминальным оборудованием может быть распределительная коробка или розетка, к которой подключается АТ. Граница между САД и транспортной сетью расположена в месте установки УК, в абонентские комплекты которого входят подключаемые АЛ.

На рис. 13.2 представлена модель, состоящая из двух основных элементов. Первый представляет собой совокупность подсетей АЛ, образующих сеть АЛ, а второй – непосредственно подсеть доступа (именуемую еще как базовая сеть, распределительная сеть или сеть переноса). Каждая подсеть АЛ обеспечивает подключение абонентов (пользователей) к узлу доступа (УД) или УК непосредственно или через мультиплексор.

Проблему обеспечения качественного абонентского доступа к услугам телекоммуникационной сети на участке «АТ–УД» с тем же качеством, что и непосредственно в телекоммуникационной сети, принято называть проблемой «последней мили».

В США и Западной Европе интерес к САД резко возрос в конце 80-х – начале 90-х годов, когда услуги речевой связи перестали быть единственным и основным видом услуг. Благодаря модернизации и цифровизации магистральных сетей и коммутационных станций стали предоставляться новые услуги, такие как сервис ISDN, передача данных и др. «Последняя миля» в тот момент стала «горлышком бутылки», сдерживающим стремительное их внедрение.

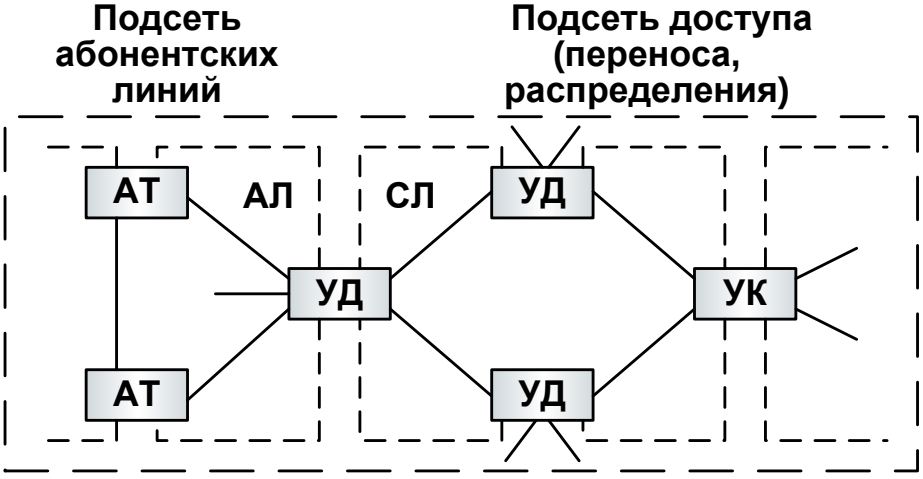


Рис. 13.2. Модель сети абонентского доступа

Это сравнение отражает тот факт, что сети абонентского доступа с малой пропускной способностью (низкой скоростью передачи информации и, соответственно, с узкой полосой пропускания – «узким горлышком бутылки») уже перестали обеспечивать растущие потребности пользователей. Поэтому во многих странах мира построение высокоскоростных, т. е. широкополосных сетей доступа стало приоритетным направлением их развития.

Различные концептуальные решения по этому направлению разрабатывались в международных организациях. Так, например, в отчете МСЭ-Т за 2001 год широкополосный доступ определяется как возможность передачи с достаточной полосой пропускания, позволяющей предоставлять услуги голосовой связи, передачи данных и видео в одном потоке данных. Более точные требования к полосе пропускания

определяются используемыми абонентом приложениями, например, такими как электронная почта, просмотр Web-страниц, загрузка аудио- и видеоклипов, игры он-лайн (infotainment – информация и развлечения), видеоконференции, интерактивное телевидение, доступ к дискуссионным группам и базам данных и т. п.

Исследователями и разработчиками международных организаций и промышленных компаний в последние годы формировались различные концептуальные положения по решению проблемы «последней мили». В настоящее время эти положения базируются на ряде технологий, физической основой для которых могут быть выбраны как проводные, так и радиосреды передачи.

Как уже отмечалось, специальные технологии абонентского доступа прежде всего нацелены на образование цифровых каналов на основе доступной физической среды, разновидности которой можно разделить на две группы.

1. Физические среды проводного доступа:
оптическое волокно;
коаксиальный медный кабель;
витая пара (тоже медный кабель).

2. Физические среды беспроводного доступа:
оптические электромагнитные волны;
радиоволны (тоже электромагнитные);
звуковые (акустические) волны (неэлектромагнитные).

Известны исследования и других физических сред передачи информации – гравитационные, химические (запахи), биологические (телепатические), но их практическое использование пока далеко от реальности.

Перспективные концепции построения САД ориентируются в основном на физические среды, позволяющие передавать высокоскоростные потоки информации, т. е. прежде всего на оптоволокно.

Основной движущей силой развития технологий абонентского доступа являются новые информационные потребности абонентов (пользователей) в услугах электросвязи. При этом с одной стороны (со стороны сети), появились службы, готовые удовлетворить эти потребности (в основном, в виде соединений с заданным качеством отдельных абонентов и в виде предоставления доступа к общим информационным ресурсам), а с другой стороны (со стороны абонентов), остались преимущественно старые физические линии доступа, не способные реализовать новые потребности. При этом можно выделить три направления удовлетворения новых информационных потребностей пользователей за счет развития технологий абонентского доступа:

увеличение скорости передачи и предоставление новых услуг тем абонентам, которые уже имели доступ к сети, и в тех точках доступа, которые уже существовали ранее;

подключение новых абонентов в тех местах, где не было раньше точек подключения, с предоставлением полного набора современных услуг;

подключение подвижных абонентов и предоставление им услуг, соизмеримых по качеству с услугами, предоставляемыми фиксированным абонентам.

Если первые два направления не исключают «персональную мобильность абонентов», перемещающихся между фиксированными точками доступа (подключения), то третье направление призвано обеспечить «мобильность терминалов». В целом же от сети абонентского доступа требуется обеспечить персональный доступ к любым информационным и телекоммуникационным услугам любым абонентам, независимо от их местонахождения, т. е. обеспечить персональную глобальную связь по принципу «всегда и везде».

13.2. Пути решения проблемы «последней мили»

Под «последней милей» подразумевается расстояние от точки присутствия (POP) оператора связи до помещений клиентов. Ее проблема объясняется следующими факторами.

Современным пользователям необходим высокоскоростной доступ, способный передавать данные, голос, видео, что требует скоростей в несколько Мбит/с, а для телевизионных программ – десятков Мбит/с.

В наших городах и сельской местности большинство домов соединены с POP оператора связи абонентскими окончаниями телефонной сети, которые не были рассчитаны на передачу такого трафика.

Таким образом, требуется кардинальная перестройка кабельной инфраструктуры доступа, что потребует много времени из-за огромного количества домов и зданий, географически рассеянных на просторах России.

В настоящее время наметились четыре наиболее характерных пути решения проблемы «последней мили».

1. *Строительство ВОЛС на абонентском участке*

Строительство волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) на участке «последней мили» имеет ряд очевидных достоинств и соответствует перспективным концепциям. Ценовые показатели тоже относительно благоприятны – стоимость оптического кабеля (ОК) неуклонно снижается, причем оптические АЛ служат достаточно долго и не требуют особого внимания. Однако для прокладки кабеля необходимы трудовые и временные затраты специально подготовленных специалистов, а также недешевое оконечное оборудование приема – передачи и мультиплексирования, что увеличивает стоимость АЛ. В качестве примера концепций построения САД на базе оптоволокна можно привести следующие концепции, разработанные в середине 90-х годов.

Концепция IFOS (Integrated Fiber-Optic Subshribersystem) – интегрированная оптоволоконная система абонентского доступа. Согласно данной концепции внедрение оптического кабеля (ОК) в САД должно пройти три основных фазы. На первой фазе ОК будет преимущественно использоваться для представления большого количества узкополосных цифровых каналов типа ОЦК-64 кбит/с и первичных трактов цифровых систем передачи (T1/E1). На этой фазе предполагается широкое применение ОК для доступа к узкополосной ЦСИО. На второй фазе добавятся широкополосные каналы, передающие информацию в одном направлении (распределение программ кабельного телевидения, высококачественного звукового вещания, а теперь сюда можно добавить и считывание информации из сети Интернет). Третья фаза подразумевает возможность предоставления дуплексных широкополосных каналов, используемых, например, для организации стыков пользователь - сеть в широкополосной ЦСИО и, в конечном итоге, вплоть до мультимедийных конференций.

Специалисты, разработавшие концепцию IFOS, считают, что переход к полностью оптическим абонентским сетям завершится в 2015 году.

С отмеченными выше тремя фазами реализации концепции IFOS созвучны следующие три самостоятельные концепции (см. рис. 13.3):

Концепция TPON (Telephonyover a Passive Optical Network) – телефония на базе пассивных оптических сетей. Данная концепция предполагает использование широкополосных каналов доступа для большего числа пользователей, нуждающихся в относительно низкоскоростных (узкополосных) каналах (в частности, телефонных). Под пассивными оптическими сетями понимают сети, включающие только одноинтервальные волоконно-оптические линии без регенераторов (т. е. без активных усилительных устройств).

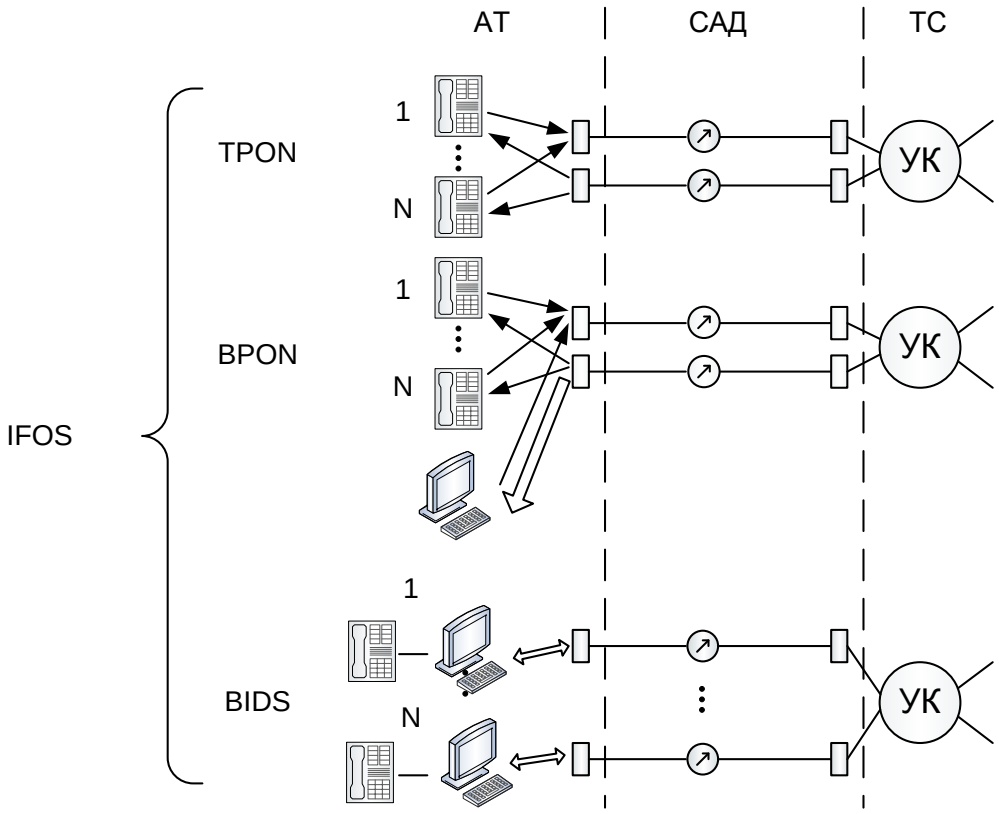


Рис. 13.3. Концепция построения САД на базе оптоволокна

Концепция BPON (Broadbandover a Passive Optical Network) – широкополосные сети на базе пассивных оптических сетей. Данная концепция является развитием предыдущей. Реализация концепции BPON предполагается тогда, когда возникает спрос на широкополосные (например, мультимедийные) услуги. Один из сценариев предоставления широкополосных каналов заключается в использовании дополнительных длин волн для приема дополнительных широкополосных сигналов (что уже реализовано в технологии DWDM).

Концепция BIDS (Broadband Integrated Distributed Star) – широкополосная интегрированная «звездообразная» (радиальная) сеть доступа. Данная концепция ориентирована на предоставление широкополосных каналов. Слово «Star» (звезда) в названии концепции подчеркивает тот факт, что к каждому сетевому окончанию подводится индивидуальное волокно. Данная, в целом, прогрессивная концепция доведения оптоволокна до каждого абонента изначально относилась к вариантам организации доступа к широкополосной ЦСИС. Телевизионный и другие широкополосные сигналы, получаемые со стороны стационарного оборудования, предполагались аналоговыми и объединялись с речевой информацией, преобразованной в цифровой вид, только для передачи по единой направляющей системе. В настоящее время с появлением стандартов цифрового радио и телевизионного вещания подобные взгляды уже выглядят устаревшими.

2. *Строительство (прокладка) медно-кабельных абонентских линий*

Это традиционное решение имеет ряд положительных сторон: простое проектирование, наличие опытного персонала по строительству и эксплуатации, приемлемая стоимость. Основные недостатки – дорогое обслуживание и ограниченная по сравнению с ВОЛС пропускная способность при тех же трудовых и временных затратах на строительные работы. В последнее время отмечается еще один

«специфический» недостаток – привлекательность медных кабелей для сборщиков металлолома.

3. *Уплотнение существующих (медно-кабельных) абонентских линий*

Идея уплотнения АЛ родилась давно. Аналоговое оборудование высокочастотного уплотнения широко используется в телекоммуникационных сетях до сих пор. Однако своим подлинным развитием данное решение обязано появлению цифровых абонентских линий ЦАЛ (DSL – Digital Subscriber Loop или Line). Технологии xDSL (где «x» является обобщенным символом различных аббревиатур, соответствующих различным вариантам DSL) позволили организовать высокоскоростную цифровую передачу по существующим АЛ.

Технологии DSL открыли новые возможности для предоставления коммуникационных услуг, т. к. полоса пропускания абонентского шлейфа теперь не ограничивается 4 кГц, как это было в традиционной аналоговой телефонии. Расширить полосу пропускания оказалось возможным с помощью специальных линейных кодов и техники цифровых сигнальных процессоров. Технологии DSL используют различные схемы линейного кодирования: CAP, 2B1Q, PAM и др. Линейное кодирование – это алгоритм преобразования сигнала, предназначенный для надежной помехоустойчивости передачи данных по медному проводу. Например, новая технология линейного кодирования Trellis Coded – PAM (TC-PAM), лежащая в основе нового перспективного стандарта SHDSL, уменьшает мощность сигнала, увеличивает дальность передачи и позволяет кодировать больше данных внутри частотного спектра [3]. Допустимая длина ЦАЛ, как правило, составляет не более 5–6 км (в случае диаметра жилы кабеля 0,4–0,5 мм). Используя регенераторы, можно увеличить допустимую длину ЦАЛ. «Допустимой» обычно считается длина ЦАЛ, при которой вероятность ошибки на бит не превышает 10^{-7}. Существуют и более строгие международные и российские ведомственные нормативы, разработанные для цифровых первичных сетей, которые часто используют для оценки пригодности ЦАЛ.

Для организации многоканальной передачи информации по ЦАЛ с середины 90-х годов выпускаются специальные DSL-мультиплексоры DSLSM (Digital Subscriber Loop Access Multiplexer) или ЦСПАЛ (цифровые системы передачи для абонентских линий). Оборудование ЦСПАЛ применяется обычно для расширения существующей абонентской распределительной сети, «распаривания» абонентов при модернизации АТС, телефонизации коммунальных квартир и т. п.

Для повышения эффективности использования существующих абонентских телефонных линий в виде каналов тональной частоты (ТЧ) или физических линий широко используются различные тональные (в полосе канала ТЧ) и надтональные (использующие частоты выше 3,4 кГц) модемы. Наиболее широко используемыми на обычных телефонных линиях являются компьютерные модемы, поддерживающие двусторонние скорости передачи от 14,4 кбит/с (протокол V.32) до 28,8/33,6 кбит/с (протоколы V.34/V.34bis) и одностороннюю скорость 56 кбит/с в направлении сеть (Интернет)–абонент (протоколы x2: K56flex, V.90 и V.92) при обратной скорости абонент–сеть до 33,6 кбит/с (до 42 кбит/с – протокол V.92).

Дополнительным резервом построения САД на базе существующих проводных «абонентских линий» являются:

проводная разводка радиоточек;

линии электропередач (например, известны технологии X.10 и DPL – Digital Power Line, последняя позволяет передавать данные по электропроводке со скоростью до 1 Мбит/с, и др.);

сети кабельного телевидения (во многих городах уже используются для доступа в Интернет).

4. *Использование технологий беспроводного абонентского доступа*

В последнее время значительно возрос интерес к технологиям беспроводного абонентского доступа, именуемым WLL-технологиями (Wireless Local Loop). Более распространенные технологии радиодоступа (в отличие от технологий оптического беспроводного доступа) сокращенно называют RLL (Radio Local Loop).

WLL-технологии имеют бесспорное преимущество перед проводными в случае отсутствия кабельной инфраструктуры в труднодоступных и малонаселенных районах. Главные недостатки WLL – ограниченная пропускная способность и относительно высокая стоимость в расчете на одного абонента, а также традиционные для радиосвязи (да и оптической связи) проблемы «открытости» к внешним воздействиям. Однако принципиальная возможность быстрого развертывания, приема радиосигнала в любом месте (в пределах определенных зон покрытия), не привязываясь к «розетке», а также возможность связи в движении, вызывают все больший интерес к беспроводным технологиям, стимулируя их развитие и снижение стоимости.

В настоящее время существует огромное множество WLL-технологий, которые можно условно разделить на две большие группы – технологии фиксированной и подвижной связи, используемые, соответственно, для доступа фиксированных и подвижных абонентов. Традиционно аббревиатуру WLL используют в узком смысле для обозначения первой группы технологий – фиксированного беспроводного абонентского доступа. Технологии же подвижной или иначе «мобильной связи» обычно рассматривают как самостоятельную группу технологий, среди которых принято различать технологии сотовой, транкинговой, пейджинговой и спутниковой связи.

Очевидно, подвижную связь всегда можно использовать, как фиксированную. Обратное же не всегда возможно. С другой стороны, фиксированная связь позволяет обеспечить предоставление широкополосных услуг с качеством, соизмеримым с качеством услуг, предоставляемых проводными технологиями, что пока не может себе позволить подвижная связь.

13.3. Прогноз трафика сетей абонентского доступа

В главе 3 рассмотрены тенденции развития инфокоммуникаций, которые породили процессы конвергенции (взаимного притяжения и проникновения) информационных и телекоммуникационных технологий и услуг и, как следствие, новые классы инфокоммуникационных сетей ИКС-3, ИКС-4. Базовой основой этих изменений следует признать системы передачи данных (ПД) для компьютерных сетей и метод коммутации пакетов, взорвавший традиционные взгляды и подходы к построению сетей связи. Инициирующим фактором развития инфокоммуникаций стала, конечно, динамика развития трафика современных сетей связи, которая показана на рис. 13.4 [4]. Из рисунка видно, что динамика развития речевого трафика в общемировом масштабе в конце XX – начале XXI веков в среднем была стабильна, а вот доля трафика данных и трафика Интернет росла экспоненциально. Трафик данных стал превалировать над речевым трафиком уже в 2001–2002 годах, а к 2004 году доля трафика Интернет оказалась больше речевого трафика. Поэтому понятно и объяснимо решение мирового телекоммуникационного сообщества об изменении стратегии развития сетей следующего поколения (NGN) на базе метода коммутации пакетов. Передача видеоинформации, включая телевизионную, еще больше увеличит долю трафика передачи данных и ускорит переход к сетям класса ИКС-4, ИКС-5. В этом случае «узким горлышком» могут снова стать системы абонентского доступа, которые будут, в основном, широкополосными.

В [5] показан прогноз потребностей в полосе пропускания для широкополосного доступа (рис. 13.5), из которого видно, что, если в середине 90-х годов большинство пользователей Интернет использовало соединение dial-up, где средняя скорость

составляла порядка 30 кбит/с, то уже к 2007 году средняя скорость доступа к Интернет стала 1–3 Мбит/с, что соответствует действительности для многих российских городов, где предоставляют услуги DSL – и/или Ethernet-доступа.

В сетях класса ИКС-4, ИКС-5 определяющим условием в оценке систем доступа является их способность обеспечивать доставку наиболее требовательного к полосе трафика IP-видео, который наиболее перспективен с точки зрения доходности.

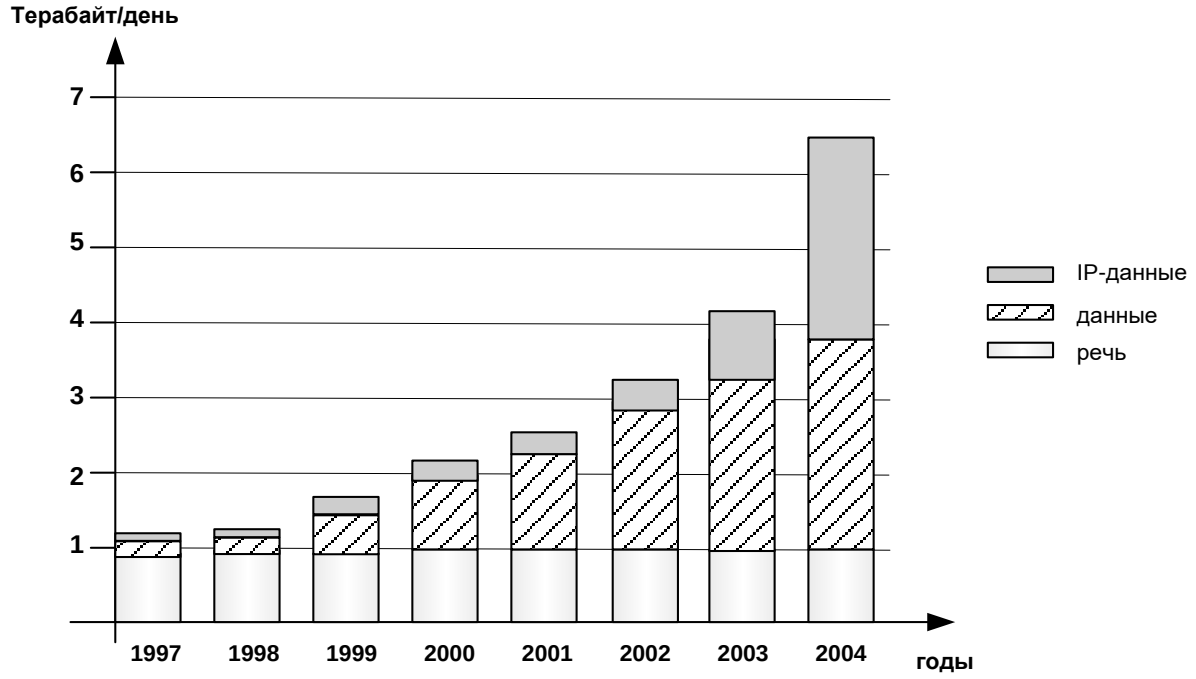


Рис. 13.4. Динамика развития трафика современных сетей связи

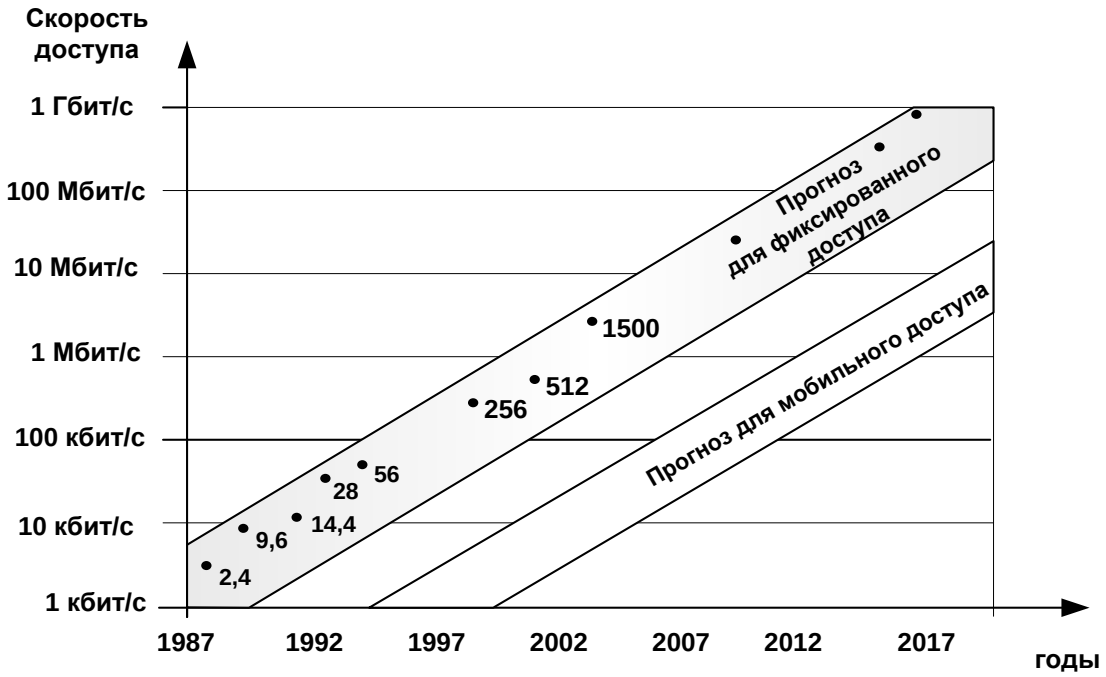


Рис. 13.5. Прогноз потребностей в полосе пропускания
для широкополосного доступа
(источник: Infonetics Research, 2004 г.)

13.4. Типовые схемы удаленного абонентского доступа

13.4.1. Универсальные схемы удаленного доступа

Универсальность подразумевает весь спектр услуг и полный набор абонентских устройств, необходимых для передачи данных, голоса и видео, включая телевидение. На рис. 13.6 [6] в наглядной форме показан разнообразный и пестрый мир абонентского доступа, в котором клиенты могут иметь разные сочетания оконечных устройств, соединенных с ближайшей точкой доступа оператора связи различными способами: с помощью аналоговых или цифровых окончаний телефонной сети, телевизионного кабеля, беспроводной связи. Операторы связи могут иметь разную специализацию: одни поставлять только телефонные услуги, другие услуги Интернет, третьи – операторы кабельного телевидения, четвертые – универсальные операторы, предоставляющие весь спектр услуг и обладающие собственными сетями всех типов.

Наиболее типичные пользователи на рис. 13.6 – это клиенты под номерами 1 и 2, имеющие по одному компьютеру, которому необходимо обеспечить доступ к удаленной компьютерной сети. У них имеется также телефон и телевизор, абонентские окончания которых можно использовать для организации доступа компьютеров к сети ПД.

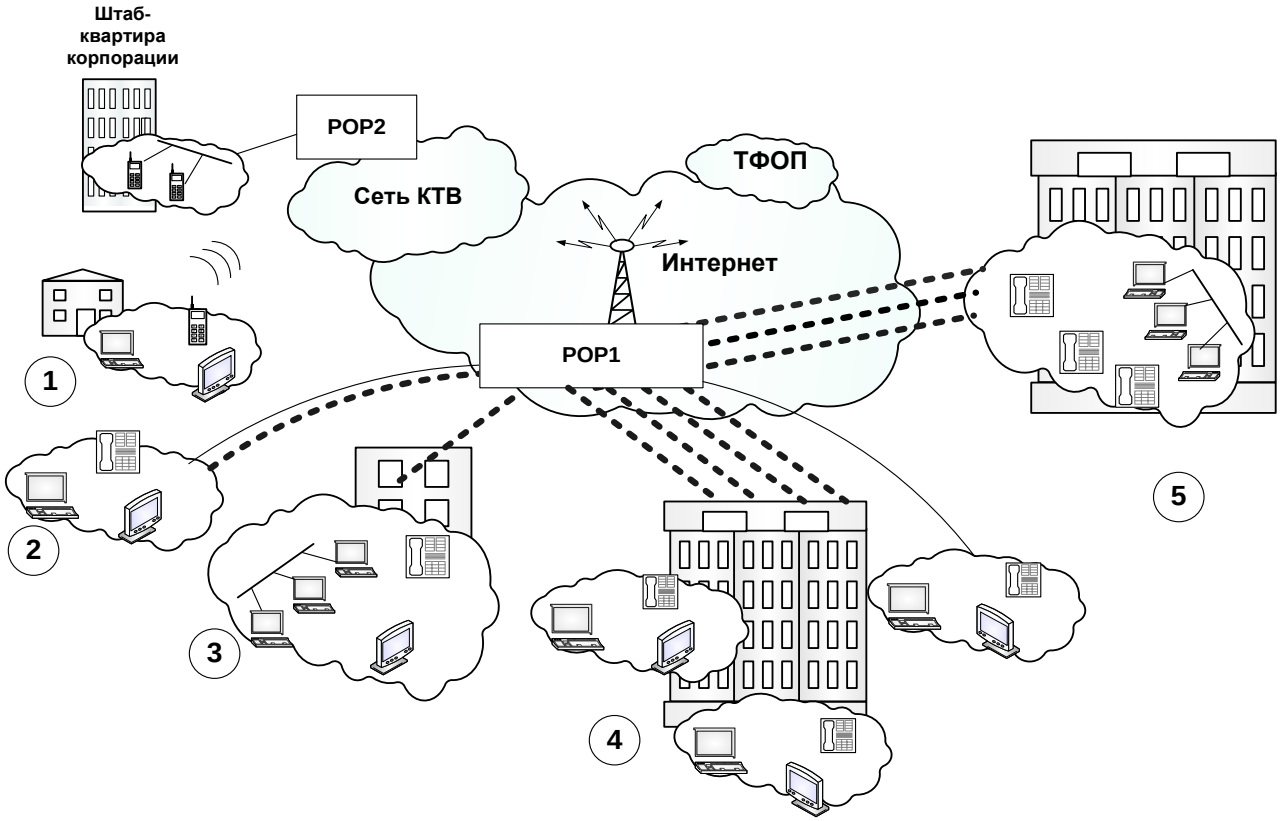


Рис. 13.6. Универсальная схема доступа

Клиент 2 использует для соединения с POP1 телефонный кабель на основе витой пары и коаксиальный телевизионный кабель кабельного телевидения.

Клиент 1 не имеет проводных абонентских окончаний, пользуясь мобильным телефоном и эфирным телевидением. Поэтому для организации доступа его к компьютерной сети поставщик услуг или должен предоставить ему беспроводной доступ, или проложить новый кабель от точки присутствия к дому. Для абонента 2 поставщик услуг компьютерной сети может использовать или существующее телефонное

абонентское окончание, или телевизионный кабель. У клиента под номером 3 имеется несколько компьютеров, объединенных в локальную сеть. Такой клиент может быть и частным лицом и офисом небольшого учреждения. Локальная сеть отличается повышенными требованиями к пропускной способности абонентской линии. Так как этот клиент не имеет кабельного окончания сети КТВ, то ему можно обеспечить удаленный доступ к компьютерной сети только по телефонному окончанию.

Клиенты под номером 4 являются жителями многоквартирного дома, соединенного с POP1 многочисленными витыми парами телефонных абонентских окончаний, а также кабели сети КТВ. Если телевизионный кабель один на много клиентов, возникает проблема организации работы в разделяемой среде.

Клиенты под номером 5 также являются жильцами многоквартирного дома, но здесь поставщик услуг развернул локальную сеть, к которой и подключаются жильцы, желающие пользоваться услугами этого поставщика. Поставщик должен обеспечить абонентское окончание с широкой полосой пропускания, для чего может быть использован существующий кабель сети КТВ, специально проложенный кабель Ethernet или заново проложенный оптический кабель.

Таким образом, на рис 13.6 показаны дома, связанные с POP либо телефонными абонентскими окончаниями, либо абонентскими окончаниями сети КТВ. Поэтому для обеспечения клиентов всеми тремя основными видами услуг (телефония, телевидение и передача данных) необходимо реализовать одновременную передачу информации разного типа по одной линии связи. Как было ранее показано, в ИКС-3 уже реализована одновременная передача голоса и данных. Но в идеале необходимо добиться одновременной передачи по одной абонентской линии всех трех видов информации: аудио, видео и данных. Эта задача решается в сетях классов ИКС-4, ИКС-5.

13.4.2. Коммутируемый аналоговый доступ через телефонную сеть

Идея этого доступа состоит в том, чтобы использовать имеющуюся широко разветвленную телефонную сеть для организации соединений между компьютером домашнего пользователя и сервером удаленного доступа (Remote Access Server, RAS), установленным на границе телефонной и компьютерной сетей. Компьютер пользователя подключается к телефонной сети с помощью модема, который имитирует работу телефонного аппарата для установления соединения с RAS. Коммутируемый доступ может быть аналоговым или цифровым в зависимости от типа абонентского окончания.

Типичная структура доступа по телефонной сети показана на рис. 13.7 [6].

Чтобы получить доступ в Интернет или корпоративную сеть ПД, модем пользователя должен выполнить вызов по одному из номеров, присвоенных модемам, находящимся на сервере удаленного доступа (RAS). Ширина полосы на участке между модемами не превышает 4 кГц, что принципиально ограничивает скорость передачи данных модемами. Сегодня это 56 кбит/с для участков с цифроаналоговым преобразованием. Такие скорости, конечно, не удовлетворяют большинство современных приложений, где необходима передача видеоинформации.

13.4.3. Доступ к сети с коммутацией пакетов через ISDN

Для доступа к сетям с коммутацией пакетов ISDN используется в основном также, как аналоговые телефонные сети, но только более скоростные. При этом лучшее качество каналов обеспечивает меньший процент искаженных кадров, а полезная скорость обмена существенно выше. ISDN поддерживает два вида пользовательских интерфейса: с начальной (Basic Rate Interface, BRI) и основной (Primary Rate Interface, PRI) скоростями передачи данных. Интерфейс BRI предоставляют пользователю два канала по 64 кбит/с

для передачи данных (каналы типа B) и один канал 16 кбит/с для передачи управляющей информации (канал типа D). Все каналы работают в дуплексном режиме. В результате суммарная скорость интерфейса BRI для пользовательских данных составляет 144 кбит/с по каждому направлению, а с учетом служебной информации 192 кбит/с. Различные каналы BRI являются логическими, а не физическими, так как разделяют один и тот же физический двухпроводной кабель по технологии TDM.

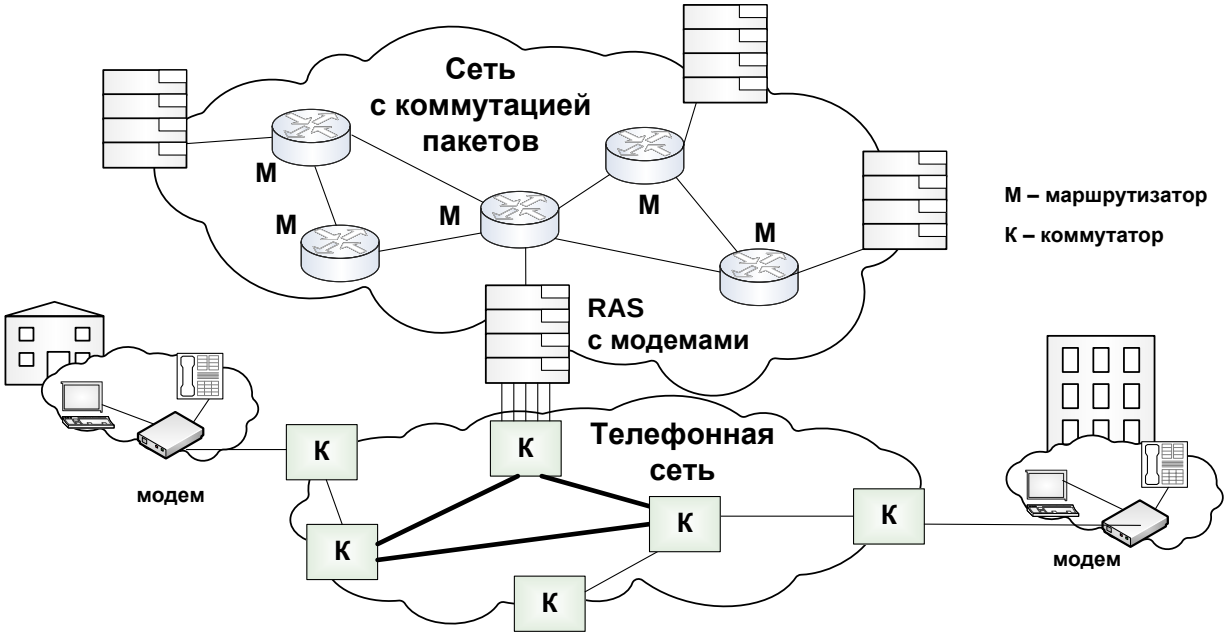


Рис. 13.7. Доступ к сети с коммутацией пакетов через телефонную сеть

Интерфейс BRI может поддерживать не только схему 2B + D, но и B + D и просто D. Начальный интерфейс BRI стандартизирован в рекомендации I.430.

Основной интерфейс PRI предназначен для пользователей с повышенными требованиями к пропускной способности сети. Он поддерживает либо схему 30B + D, либо схему 23B + D. В обеих схемах канал D обеспечивает скорость 64 кбит/с. Первый вариант схемы предназначен для Европы, второй – для Северной Америки и Японии.

Каналы B могут объединяться в один логический высокоскоростной канал с общей скоростью до 1 920 кбит/с. Основной интерфейс может быть также основан на каналах типа H. При этом пропускная способность интерфейса все равно не должна превышать 2 048 или 1 544 Мбит/с. Для каналов H0 возможны интерфейсы 3H0 + D для американского варианта и 5H0 + D для европейского.

Основной интерфейс BRI служит в коммуникационном оборудовании для подключения отдельных компьютеров или небольших локальных сетей домашних пользователей, а интерфейс PRI – для подключения сети средних размеров с помощью маршрутизатора.

Схема удаленного доступа через ISDN показана на рис. 13.8 [6].

Для удаленного доступа компьютеры пользователей оснащаются терминальными адаптерами (TA), а в POP устанавливаются маршрутизатор, имеющий один или несколько интерфейсов PRI. При этом максимальная скорость доступа для отдельного пользователя будет равна скорости передачи двух каналов типа B, то есть 128 кбит/с.

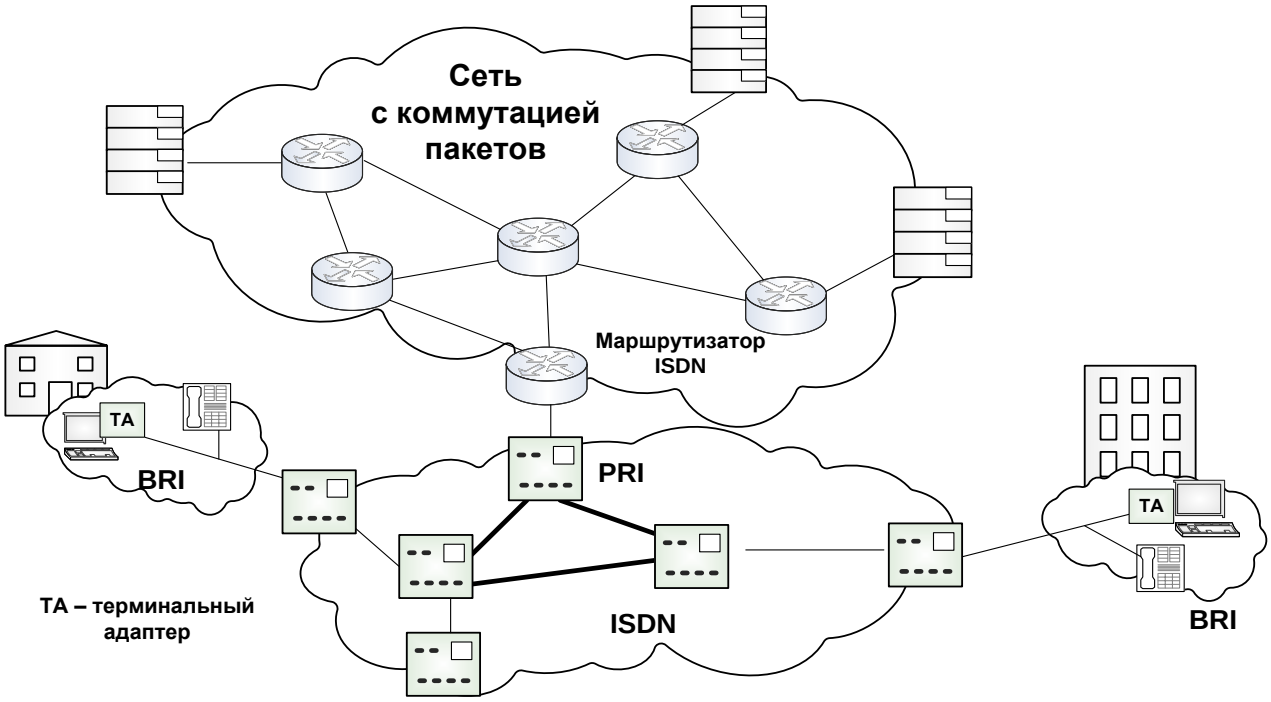


Рис. 13.8. Удаленный доступ сиспользованием ISDN

13.4.4. Доступ через сети КТВ

Сети КТВ, в отличие от всех других традиционных сетей связи, изначально строились как широкополосные сети, так как основным видом передаваемой здесь информации была видеоинформация. С этой точки зрения сети КТВ в наибольшей степени подходят для построения перспективных сетей NGN. Одновременно телевизионные сети являются привычными для многочисленных пользователей, число которых сравнимо или уже превышает число телефонных абонентов, так как сегодня практически каждая семья большинства стран мира имеет один или несколько телевизоров.

Интерес к сетям КТВ не ослабевает, особенно в США, где они являются существенной составляющей информационной супермагистрали, так как легко обеспечивают без больших дополнительных капиталовложений одновременную передачу телефонного, компьютерного и телевизионного трафиков [7].

Как видно из рис. 13.6 и подтверждено на практике, большинство домов и многоквартирных зданий связано с POP либо телефонными абонентскими окончаниями, либо абонентскими окончаниями сетей КТВ. Для обеспечения клиентов тремя основными на сегодня видами доступа (к телефонной сети, телевизионной сети и сети ПД) необходимо реализовать одновременную передачу информации разного типа по одной линии связи. В идеале желательно использовать единственное абонентское окончание, способное передавать информацию всех трех типов.

Наиболее распространенная телефонная витая пара на эту роль не подходит, так как ее полоса пропускания на расстояниях в несколько километров не превышает 1 МГц. Претендентами здесь могут выступать только коаксиальные кабели сетей КТВ и широкополосные беспроводные линии связи (имеются ввиду уже существующие и широко распространенные абонентские окончания). Когда речь идет о прокладке новых кабелей, к списку только что рассмотренных необходимо прибавить оптический кабель.

Схема использования линий сетей КТВ для доступа в Интернет, телефонную сеть и сеть кабельного телевидения показана на рис. 13.9 [6].

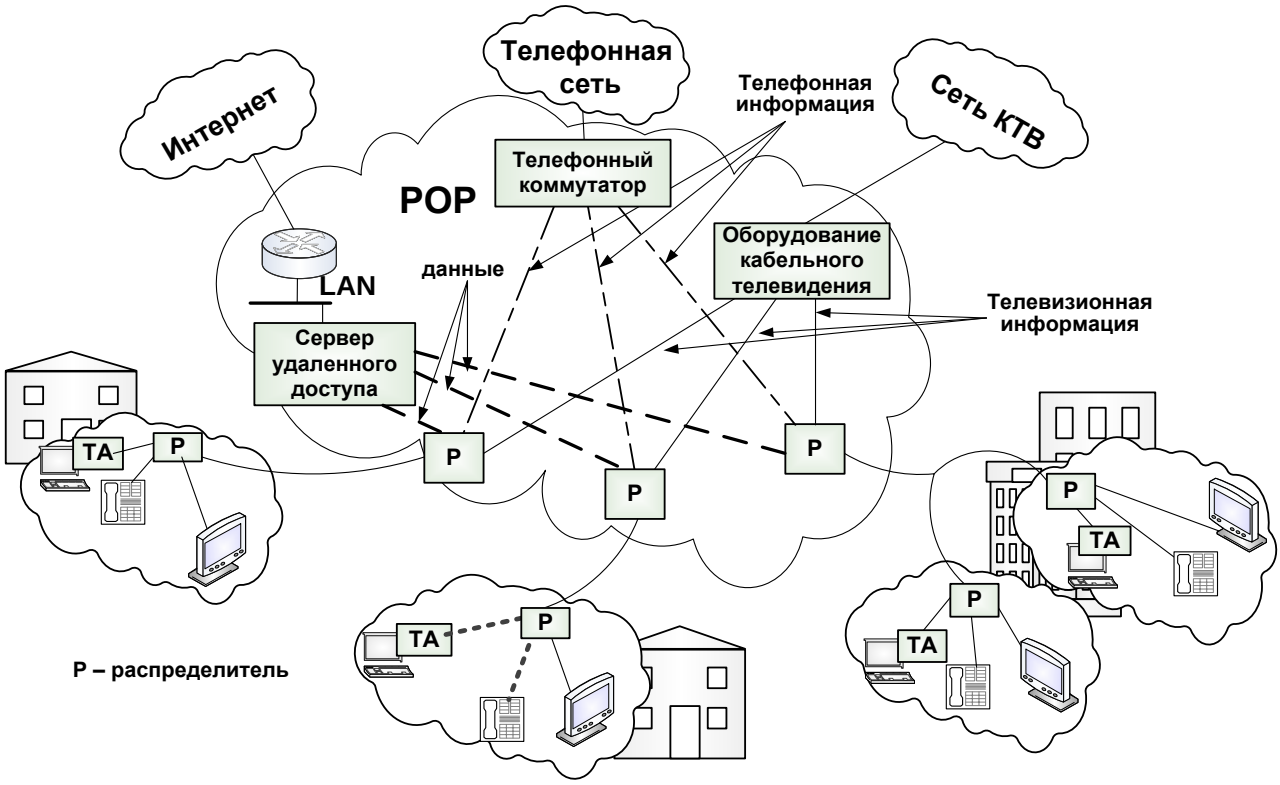


Рис. 13.9. Схема мультиплексирования трех типов информации вабонентских окончаниях

Для мультиплексирования информации обычно применяется техника FDM. Каждому из трех типов информации выделяется определенная полоса частот. Для телефонного соединения – 4 кГц, для компьютерных данных – более широкая полоса в сотни кГц и даже несколько МГц. В кабельном телевидении традиционно используются полосы в 6 МГц для каждого абонента, но при этом передается только исходящий трафик. В помещениях клиента и точках присутствия (POP) устанавливаются распределители (P), выполняющие операции мультиплексирования и демультиплексирования сигналов. Разделитель – это обычно пассивный фильтр, который выделяет нужные диапазоны частот и передает каждый диапазон на отдельный выход. К выходу распределителя подключаются терминальные устройства абонента – телефон, телевизор и компьютер. Между распределителем и компьютером устанавливается преобразователь дискретных сигналов в аналоговые (и наоборот).

В POP поставщика услуг каждое абонентское окончание также подключено к распределителю, который выполняет аналогичные функции мультиплексирования и демультиплексирования. В результате телефонная информация поступает с телефонных выходов распределителя на телефонный коммутатор поставщика услуг, который передает ее в телефонную сеть.

Аналогично телевизионные выходы распределителей соединены с оборудованием КТВ поставщика и далее с сетью КТВ, а компьютерные данные через сервер удаленного доступа поступают на локальную сеть поставщика и далее в Интернет.

Отличием абонентского окончания сети КТВ является то, что к коаксиальному кабелю по схеме монтажного ИЛИ подключаются одновременно несколько абонентов (рис. 13.10) [6], образуя, таким образом, классическую разделяемую среду, которая используется, например, в сетях Ethernet на коаксиальном кабеле. В помещении каждого абонента высокоскоростного доступа устанавливается распределитель и кабельный модем, а в точке присутствия – головной модем или модемная терминальная станция (Cable Modem Termination Station, CMTS).

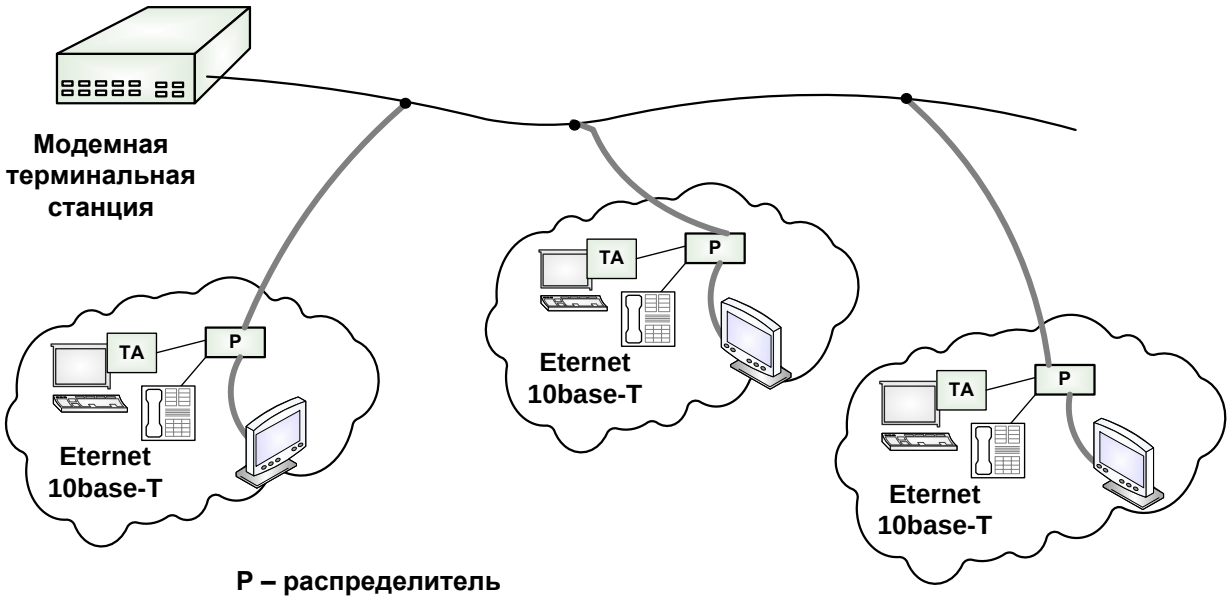


Рис. 13.10. Подключение кабельных модемов к окончанию сети КТВ

Для организации двунаправленной передачи компьютерных данных кабельные модемы клиентов и станция CMTS занимают частоты, не используемые телевизионными программами.

Это диапазон частот от 5 до 50 МГц, расположенный ниже частот телевизионных программ, а также диапазон высоких частот выше 550 МГц. Диапазон низких частот используется для менее скоростного восходящего канала, а диапазон высоких частот – для высокоскоростного нисходящего канала. Скорость передачи данных в восходящем направлении до 10 Мбит/с, в нисходящем – до 30–40 Мбит/с. Модемы пользователей могут взаимодействовать только со станцией CMTS.

13.5. Построение сетей абонентского доступа на базе унифицированных комплексов каналообразующей аппаратуры

На практике широкое распространение получили технологии комплексного использования различных доступных физических средств.

Одним из примеров комплексного использования различных физических сред для передачи групповых потоков, образованных путем мультиплексирования информационных каналов от отдельных абонентов (абонентского оборудования), является цифровая система концентрации абонентских линий – *DLC* (Digital Loop Carrier).

По своей архитектуре основное оборудование, реализующее технологию DLC, представляет собой мультиплексор/демультилексор с временным разделением каналов с различными пользовательскими и линейными интерфейсами для непосредственного подключения к оптоволокну, к радиоканалу и к каналам связи по медному кабелю. Таким образом, обеспечивается объединение множества абонентских линий в один высокоскоростной цифровой поток, поступающий на УК (АТС) – рис. 13.11.

В отличие от традиционных решений, где абонентское устройство (терминал) соединяется с УК непосредственно с помощью витой медной пары, в технологии DLC к УК подводится цифровой групповой поток, в котором содержится несколько десятков или даже сотен телефонных каналов. Этот поток формируется двумя терминалами, или полукомплектами, выполняющими функции мультиплексора (объединителя) индивидуальных телефонных каналов (станционного терминала) и демультиплексора (абонентского терминала). Как правило, групповой поток передается по двум волокнам

оптического кабеля. Однако, если к объектам телефонизации проложены медные или радиорелейные линии, групповой поток может транслироваться и по ним.

Набор пользовательских интерфейсов, как правило, включает в себя аналоговый абонентский двухпроводной интерфейс (обычный телефонный), аналоговый интерфейс с сигнализацией E&M, цифровой интерфейс (V.24 или V.35), интерфейс ISDN.

Станционные интерфейсы предусматривают подключение к аналоговым АТС (по абонентскому двухпроводному стыку или интерфейсу E&M), цифровым АТС (по стыку E1 с сигнализацией V5.1 или стыку E3 с сигнализацией V5.2). Предусматривается также подключение по интерфейсу ISDN (DSS) и цифровому интерфейсу V.24/V.35 (для подключения к сети передачи данных).

Линейные интерфейсы современной аппаратуры DLC можно разбить на несколько групп.

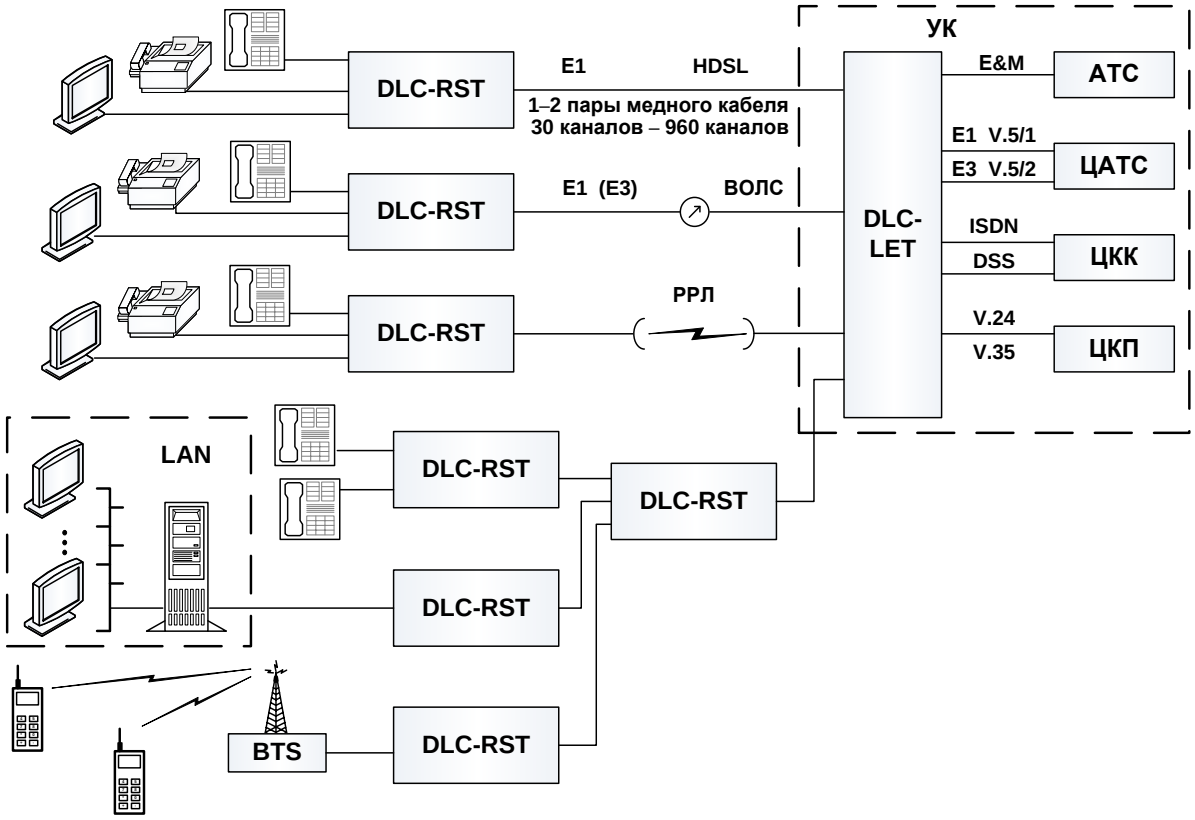


Рис. 13.11. Пример построения САД наоснове технологии DLC

Оптический интерфейс необходим для непосредственного подключения к оптическим волокнам (линейная скорость обычно в пределах от 34 до 155 Мбит/с).

Электрический интерфейс от E1 (2 Мбит/с) до E3 (34 Мбит/с) позволяет подключаться к высокоскоростным сетям (например, к сети SDH), обеспечивающим прозрачную передачу цифровых потоков. Электрический интерфейс также позволяет подключать аппаратуру через тракты или радиорелейные линии.

Благодаря универсальности и компактности оборудование DLC можно легко перемещать с места на место или, при росте потребности в телефонных номерах, доукомплектовывать. В случае недостатка пропускной способности группового тракта можно использовать статистическое уплотнение. Часто оно используется и для повышения надежности. САД управляется с помощью персонального компьютера из любого терминала. Программное обеспечение позволяет изменять конфигурацию групповых трактов (изменять назначения временных интервалов), производить

техническое обслуживание, аварийный надзор, самодиагностику, учёт нагрузки, сбор статистики, администрирование и т. д.

Оборудование системы DLC разрабатывалось с учетом последних достижений в области телекоммуникационных технологий, поэтому с его помощью можно подключать любые оконечные абонентские устройства (телефонные аппараты, таксофоны, модемы, факсимильные аппараты, компьютеры, терминальное оборудование ISDN, учрежденческие АТС и т. п.). Для преобразования аналоговых сигналов в цифровые и обратно в составе оборудования DLC имеются соответствующие АЦП и ЦАП.

Описанная выше технология DLC является преимущественно развитием технологий доступа к сетям (или через сети) с коммутацией каналов, в частности к ТФОП или ISDN. Существуют и другие подобные технологии, широко используемые в мировой практике и в России (например, TANGARA, WATSON, Flex Gain и др.).

Однако в последнее время все чаще «подают голос» технологии абонентского доступа, зародившиеся в недрах локальных компьютерных сетей, архитектура которых включает интерфейсы непосредственного взаимодействия с физической средой без использования традиционной (для технологий WAN) аппаратуры цифрового каналообразования первичных сетей.

В качестве подобной технологии построения САД может выступать любая технология LAN, способная обеспечить необходимую дальность связи, например, технология FDDI или последние версии высокоскоростных технологий Ethernet.

Стали появляться также интересные смешанные технологии построения САД, включающие элементы технологий LAN, WAN и новых технологий образования цифровых абонентских линий (ЦАЛ) на основе уже проложенных медных пар.

Например, для одновременного коллективного доступа пользователей домашних компьютеров к сети Интернет и абонентов телефонных сетей к ТФОП по обычным телефонным проводам (или радиопроводке) еще в 1998 году была предложена технология *Home PNA* (Home Phoneline Networking Alliance) или *HPNA* (рис. 13.12), совмещающая в себе свойства технологии LAN Ethernet и технологии ЦАЛ xDSL (см. далее).

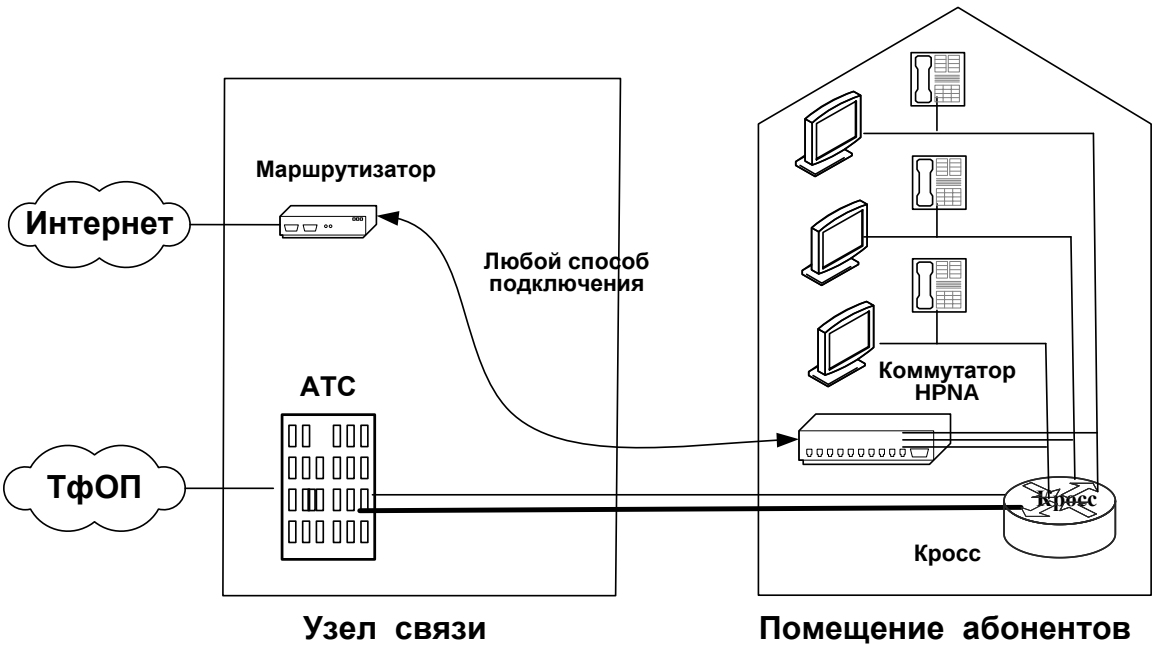


Рис. 13.12. Пример построения САД на основе технологии HPNA

Основная задача разработчиков технологии HPNA заключалась в обеспечении максимально возможной скорости передачи данных при минимально подходящих для этого условиях. При этом необходимо было максимально совместить новую технологию с широко распространенной технологией построения локальных сетей Ethernet. В этом смысле различия между технологиями Home PNA и Ethernet заключаются только в способе передачи данных, то есть затрагивают только MAC- и PHY-уровни. Как известно, для построения сетей Ethernet требуется специализированный кабель категории 3 или выше, состоящий из четырех перекрученных пар проводов. При этом из четырех пар задействуются только две: одна «работает» на передачу данных, а другая – на прием. А для HPNA годится даже ТРП-кабель («лапша»).

В стандарте Home PNA версии 1.0 информационная скорость составляет 1 Мбит/с, а спектр сигнала простирается от 5,5 до 9,5 МГц, то есть ширина спектра составляет 4 МГц. Следовательно, в том или ином виде здесь используется технология расширения спектра.

В более позднем стандарте Home PNA 2.0 с целью повышения информационной скорости передачи до 10 Мбит/с используется квадратурно-амплитудная модуляция передаваемого сигнала (QAM). При этом тип модуляции может изменяться, то есть количество различных уровней амплитуды варьируется так, что информационная скорость меняется от 2 до 8 бит/символ. При максимальной информационной скорости (8 бит/символ) используется модуляция типа 256 QAM, а при минимальной информационной скорости — квадратурная фазовая модуляция QPSK.

Ожидается появление третьей версии HPNA, которая будет обеспечивать скорость передачи до 100 Мбит/с, т. е. составит серьезную конкуренцию сетям Fast Ethernet, причем, не требуя кабелей высокой категории.

Сеть на основе оборудования HPNA может использовать топологии «звезда» и «шина».

В случае использования топологии «звезда» используется коммутатор, который имеет несколько портов HPNA и WAN порт для подключения к глобальной сети передачи данных. Этот вариант применяется при использовании существующей в здании телефонной проводки – коммутатор устанавливается вблизи телефонного кросса здания, подсоединяясь параллельно к телефонным линиям без частотных разделителей. Не требуются разделители и на стороне абонента. При этом каждому абоненту выделяется порт коммутатора и, даже в случае применение HPNA версии 1.0, абоненту гарантируется широкополосное подключение к Internet (скорости в 1 Мбит/сек для этого более чем достаточно). Порт WAN подключается к сети передачи данных оператора любым способом (выделенная линия, xDSL, оптика, радио).

В случае использования топологии «шина» возможно объединение до 32 абонентов HPNA с помощью одной пары проводов. Такое решение является единственным выходом, если провайдер не имеет доступа к абонентской телефонной проводке. Но в этом случае полоса пропускания будет делиться между всеми абонентами.

Существуют варианты использования Home PNA типа «общей шины» для организации передачи данных по *сетям проводного вещания*. Низшее звено таких сетей – абонентская линия – уже имеет топологию «шина» (именно к ней подключаются абонентские громкоговорители).

Система проводного вещания является уникальной инфраструктурой, которая создавалась на протяжении последних 40–50 лет в странах бывшего СССР. Такая система используется не только для передачи трех радиопрограм, но и служит частью системы гражданской обороны и предупреждения о чрезвычайных ситуациях. Имеет смысл обратить внимание на данную технологию и с точки зрения использования в системах связи военного назначения, в частности, на полевых узлах связи, «опутываемых» обычно вполне подходящими для HPNA легкими полевыми кабелями.

13.6. Беспроводный доступ

Различают фиксированный и мобильный беспроводный доступ.

Фиксированный беспроводный доступ организуется для абонентского оборудования, находящегося в пределах ограниченной территории, например, в пределах здания. В этом случае поставщик услуг использует направленную антенну и передатчик определенной мощности, обеспечивающих в этом здании устойчивый прием сигнала. Если число абонентов фиксированного доступа достаточно велико, могут быть задействованы несколько антенн, чтобы покрыть всю территорию.

Исторически сети радиодоступа прошли долгий путь эволюции от аналоговых телефонных радиоизделий до сверхширокополосных цифровых систем (UWB) со скоростью передачи данных 100 Мбит/с и выше. Условно можно выделить пять поколений систем радиодоступа [4]:

аналоговые средства доступа к аналоговым АТС (1960-е годы);

узкополосные цифровые системы доступа к цифровым и аналоговым АТС и узлам передачи данных (1980-е годы). Здесь впервые были разработаны стандарты беспроводных локальных сетей (WLAN), стандарты RadioEthernet, IEEE 802.11, 802.15 и др.;

системы цифрового радиодоступа на основе пакетной передачи IP, куда вошли технологии MMDS, LMDS;

системы широкополосного доступа на основе стандартов IEEE 802.11/802.16 со скоростью передачи от 10 до 70 Мбит/с, куда вошли технологии Wi-Fi и WiMAX;

системы сверхширокополосного доступа (UWB) со скоростью передачи 100 Мбит/с и выше.

Очевидно, что для перспективных инфокоммуникационных сетей классов ИКС-4, ИКС-5 подходят технологии только 4-го и 5-го поколений. Для сравнения технологий беспроводного доступа с проводными, рассмотрим бесспорные преимущества проводного доступа [4]:

технологии семейства DSL используют существующую инфраструктуру кабельной сети операторов телефонии;

технологии PON обеспечивают огромный резерв по полосе передачи;

технология домашнего Ethernet максимально упрощает технические решения в домашних сетях.

Преимущества беспроводного радиодоступа не менее привлекательны:

затраты на строительство минимальны, так как не требуется кабельная система;

широкополосные услуги доступны любому пользователю в пределах зоны покрытия сети радиодоступа;

сети радиодоступа могут обслуживать не только фиксированных, но и мобильных абонентов;

во всем мире применение технологий радиодоступа рассматривается как стратегия быстрого захвата рынка широкополосных услуг.

Однако беспроводной радиодоступ имеет и ряд существенных недостатков:

качество услуг в сетях радиодоступа обычно ниже, чем в сетях проводного доступа, вследствие влияния электромагнитных полей, экранирования сигналов от базовых станций и других факторов;

ресурс радиоэфира для передачи широкополосных сигналов ограничен, поэтому существует проблема, связанная с переходом к концепции Triple Play и требованием предоставить абоненту скорость свыше 20 Мбит/с;

возникает проблема решения комплекса задач, получившего название AAA (авторизация, идентификация и тарификация абонентов сети). Сюда же относится

комплекс решений в области сетевой безопасности, включающий превентивные меры для предотвращения незаконного пользования ресурсами сети.

Эти недостатки не могут служить препятствием для широкого применения систем радиодоступа там, где природные условия не позволяют разворачивать проводные сети или они неэффективны. Последние поколения беспроводных сетей доступа значительно расширили их возможности за счет внедрения систем широкополосного радиодоступа, сделав их еще более конкурентоспособными для применения в перспективных сетях классов ИКС 4, ИКС-5. Если узкополосные абонентские окончания обеспечивали только сравнительно низкоскоростные компьютерный и телефонный трафики, то теперь широкополосное абонентское окончание обеспечивает передачу любого типа трафика, включая телевизионные сигналы.

К системам последнего типа относятся многоканальная служба распределения (Multichannel Multipoint Distribution Service, MMDS) и локальная служба распределения (Local Multipoint Distribution Service, LMDS). MMDS работает в диапазоне 2,1 ГГц, а LMDS – 30 ГГц в Америке и 40 ГГц в Европе. Обе системы обеспечивают двунаправленную передачу сигналов для абонентов телевизионных, телефонных и компьютерных услуг. MMDS может обслуживать территорию радиусом в 50 км, а радиус покрытия LMDS не превышает 5 км.

Для беспроводного фиксированного доступа часто употребляется термин «беспроводное абонентское окончание» (Wireless Local Loop, WLL), который используется для обозначения целой группы технологий. Эти технологии во многом являются фирменными с несовместимым оборудованием доступа и центральными станциями.

Для устранения этого недостатка был разработан стандарт IEEE 802.16 (известный под названием WiMAX), который определяет некоторые общие принципы использования частотного диапазона, методов мультиплексирования и предоставляемые услуги.

Для фиксированного беспроводного доступа может также использоваться технология 802.11, но она ориентирована исключительно на компьютерный трафик. Метод доступа CDMA/CA, описываемый в 802.11, не может обеспечить требуемого уровня QoS для чувствительного к задачам трафика, каковым являются телефонный и телевизионный трафики.

Беспроводный мобильный доступ в Интернет предоставляется сегодня в основном операторами мобильных телефонных сетей. Мобильная телефония второго поколения обеспечивает доступ в Интернет, используя в качестве транспорта с коммутацией пакетов протокол GPRS (General Packet Radio Service – служба пакетной радиосвязи общего назначения), который работает в сетях D-AMPS и GSM. Однако скорость такого доступа невысока – 2400–9800 кбит/с. В мобильных сетях третьего поколения эта скорость возрастает до 2 Мбит/с.

Обобщенная структура системы радиодоступа представлена на рис. 13.13 [4]. Абоненты широкополосного доступа подключаются к радиосети с помощью абонентских устройств (радиомодемов), на вход которых подаются абонентские данные, а на выходе формируется абонентский радиосигнал, который передается на базовую станцию. Базовые станции системы радиодоступа объединяются через каналы проводной сети, образуя опорную сеть системы, в которой решаются вопросы коммутации, маршрутизации, авторизации пользователей, биллинга и пр. Через одну или несколько точек присутствия (линейный интерфейс) опорная сеть подключается к транспортной сети ИКС-4 (ИКС-5).

Различные системы радиодоступа отличаются размерами зоны охвата сети, параметрами радиоинтерфейса и линейного интерфейса. По размеру зоны охвата различают пять категорий системы доступа: глобальные (WiMAX), региональные (RAN), городские (MAN), локальные (LAN) и персональные сети (PAN).

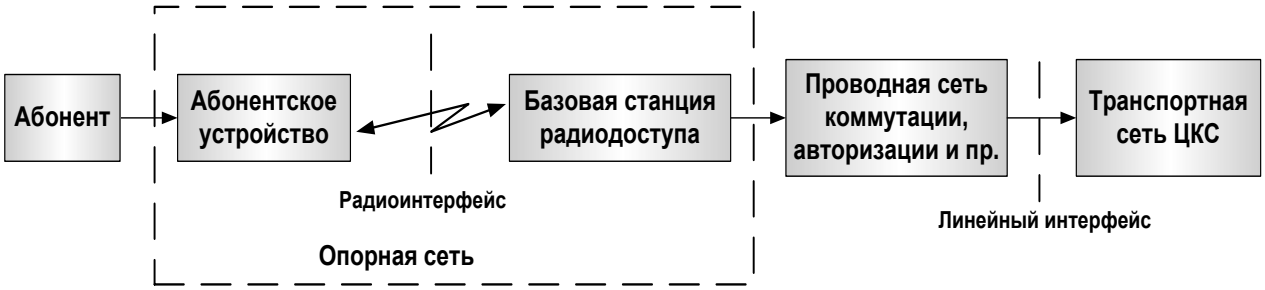


Рис. 13.13. Обобщенная схема системы радиодоступа

Зоны покрытия делятся на соты, в каждой из которых устанавливаются базовая станция. Системы радиодоступа могут быть односотовыми и многосотовыми. По размеру соты они делятся на три категории:

макросотовые сети с размером соты до 30 км;

микросотовые сети с размером соты до 3 км;

пикосотовые сети с размером соты до 100 м.

WAN, RAN и MAN обычно используют технологии макросотовых сетей, LAN и MAN – микросотовых, а PAN – технологии пикосотовых сетей.

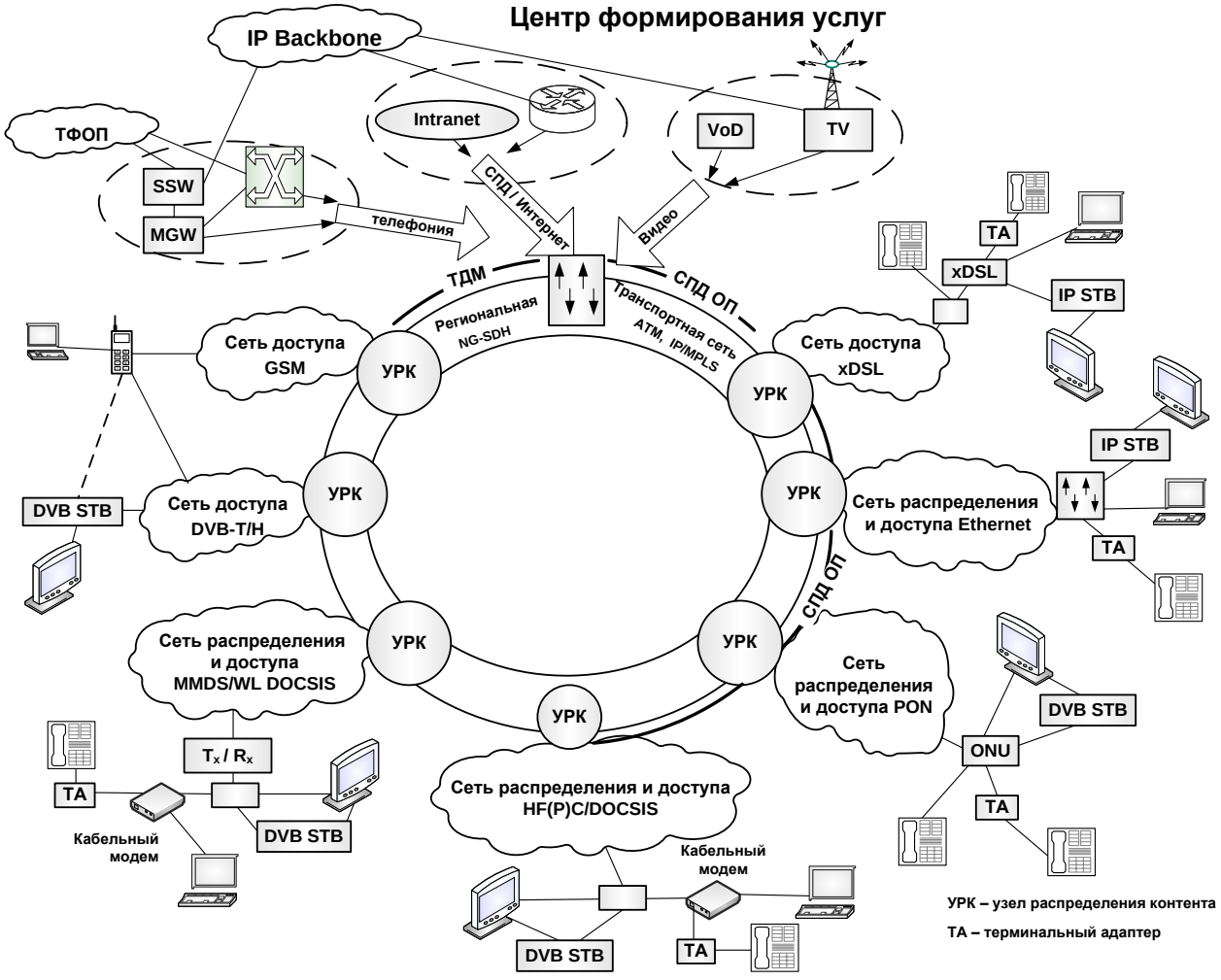


Рис. 13.14. Варианты организации широкополосного доступа к услугам Triple Play

В качестве основных параметров радиоинтерфейса рассматривают рабочие диапазоны частот, методы разделения каналов и принципы модуляции, разнообразие которых породило многообразие технических решений и технологий радиодоступа.

В заключение главы на рис. 13.14 приведена обобщенная схема множества вариантов организации широкополосного доступа к услугам Triple Play [8].

В следующих главах технологии проводного и беспроводного абонентского доступа будут рассмотрены более подробно.

Литература

1. Ги Кайя. Об абонентском доступе // Сети и системы связи. 1996. № 6.

2. Лихачев А. М., Курносов В. И. Тенденции технического и технологического развития телекоммуникационных сетей. СПб.: Абрис, 1997. – 439 с.

3. Горнак А. М. Организация доступа на базе xDSL: современные технологии // Технологии и средства связи. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа». 2004.

4. Бакланов И. Г. NGN: Принципы построения и организации.– М.: Эко-Трендз. 2008. – 400 с.

5. Горнак А. М. Особенности архитектур фиксированного широкополосного доступа // Технологии и средства связи, 2006. № 4. – С. 12–16.

6. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб: Питер. 2012. – 944 с.

7. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в Глобальной информационной инфраструктуре / Под ред. Б. Я. Советова. – СПб: Наука. 2008. – 552 с.

8. Тарасов В. К. Факторы риска и сложности современного рынка // Широкополосные мультисервисные сети. 2007. С. 9–11.

ГЛАВА 14. ТЕХНОЛОГИИ ПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

14.1. Проблемы проводного абонентского доступа и пути их решения

14.1.1. Модель среды передачи

Основной проблемой высокоскоростной передачи информации по медно-кабельным линиям являются искажения, возникающие из-за всевозможных нелинейностей среды передачи и трактов обработки, а также из-за неидеальности проводного пространственного разделения каналов, приводящей к появлению взаимных помех, мощность которых растет с увеличением длины проводов, а также мощности и ширины спектра передаваемых сигналов.

В отличие от радиоканалов влияние собственных шумов входных цепей приемных устройств в проводных каналах невелико. Однако для упрощения описания сигнально-помеховой обстановки можно привести все внешние помехи проводных линий и внутренние искажения к входу приемного устройства и считать их составной частью собственных шумов приемника.

Решением проблемы создания высокоскоростных цифровых абонентских линий (ЦАЛ) явилось практическое воплощение известных теоретических идей приближения к предельной пропускной способности каналов передачи $V_{б.max}$ с ограниченной шириной полосы пропускания F и конечной шумовой защищенностью $A_{шз} = P_с / P_ш$.

Практическая реализация сложных теоретических алгоритмов формирования и обработки сигналов стала возможной за счет бурного развития микроэлектроники и проникновения информационных технологий в самые низовые физические процессы телекоммуникационных систем. Для правильного понимания рекламируемых возможностей новых технологий высокоскоростного абонентского доступа целесообразно представлять, каковы же причины ограниченной максимальной скорости передачи, какова эта скорость, как к ней приблизиться и за счет каких дополнительных затрат ресурсов увеличить.

На рис. 14.1 показано упрощенное символическое изображение физической среды передачи в виде «туннеля» с ограниченной шириной F и высотой $P_с$, проход по которому осложняется наличием «бурлящего потока» помех с уровнем $P_ш$ ($P_с$ *и* $P_ш$ – мощность сигнала и шума соответственно).

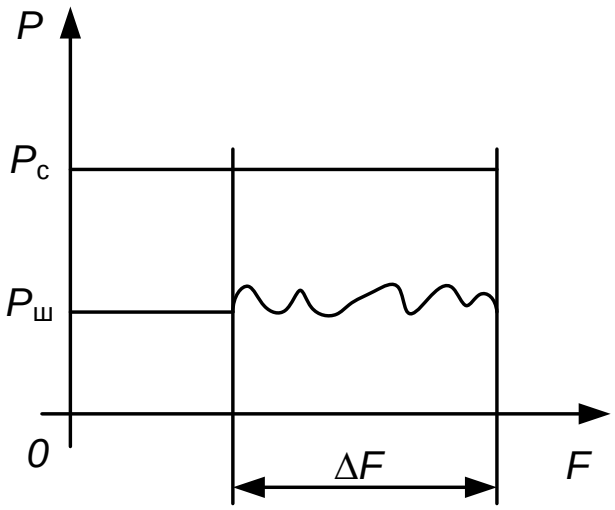


Рис. 14.1. Модель среды передачи с ограниченной пропускной способностью

Указанные ограничения сечения «туннеля» являются ресурсными ограничениями доступной физической среды передачи, влияющими на величину максимальной возможной скорости передачи $V_{б.max}$.

Сравнивая данную величину с величиной битовой скорости $V_б$, предоставляемой физическим уровнем конкретной технологии, можно судить об эффективности $E_б$ использования пропускной способности среды передачи на физическом уровне:

$$E_б = V_б / V_{б.max} \qquad (14.1)$$

Показатель $E_б$ (14.1) можно использовать в качестве дополнительного коэффициента при оценке эффективности использования пропускной способности среды передачи протоколами вышележащих уровней ЭМВОС.

Задачей системы передачи является реализация такого алгоритма формирования и обработки сигналов, который бы позволил передать через показанный на рис. 14.1 «туннель» как можно больше информации в единицу времени.

Максимальная скорость передачи $V_{б.max}$ в первую очередь зависит от полосы F, ограничиваемой скоростью реагирования естественных (в виде самих проводов) или искусственных (в передающих и приемных устройствах) фильтров на изменения состояния информационных параметров сигнала. Разумеется, прямоугольная форма полосы пропускания, типа «туннеля» на рис. 14.1, является значительной идеализацией реальных «неровных» амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) среды передачи АЛ. Однако она является удобной моделью, к которой можно пересчитать реальные АЧХ, задаваясь определенным уровнем ослабления на краях полосы, и (или) разбивая их на отдельные относительно прямоугольные участки.

При использовании простых двухпозиционных сигналов с посимвольным приемом обычно справедливо $V_{б.max}F$. За счет устранения межсимвольной интерференции, как доказано Найквистом, можно добиться максимальной скорости $V_{б.max} = F$. Более точно указанный предел отражает максимальную скорость $V_{с.max}$, выраженную в единицах [символ/с] или в Бодах. В более общем случае при использовании многопозиционных сигналов с основанием кода $m \geq 1$ и соответствующим количеством различаемых градаций сигналов $M = 2^m$ теоретически можно достичь скорости F_{max}, выраженной в единицах [бит/с]:

$$V_{б.max} = V_{с.max}m = 2Fm = 2F\log_2 M \qquad (14.2)$$

14.1.2. Методы формирования сигналов

Все используемые в цифровых АЛ технологии или методы передачи (формирования сигналов или сигнального кодирования) можно разделить на две большие группы: *на основе видеоимпульсов* и на *основе гармонических несущих.*

Методы формирования сигналов на основе видеоимпульсов имеют только две степени свободы: напряжение (потенциал) и время. Из сочетания данных параметров и формируются простые и сложные многопозиционные немодулированные сигналы. Иногда способы формирования таких сигналов называют «*цифровой модуляцией*», подразумевая, что вместо исходной последовательности бит «1» и «0» по каналу передаются цифровые видеосигналы специальной формы. Причем, сигналы, передаваемые по каналу, могут выполнять не только функции различения бит «1» и «0» отдельного информационного канала, но и функции образования дополнительных информационных и служебных каналов, в том числе, каналов синхронизации.

Наиболее распространенными являются следующие методы сигнального кодирования на основе видеоимпульсов.

NRZ (*Non Returnto Zero)* – кодирование «без возвращения к нулю». Биты «0» кодируются нулевым напряжением, а биты «1» – некоторым положительным напряжением +U. Самый простой код. В основном используется внутри аппаратуры. В АЛ в чистом виде практически не используется, так как имеет постоянную составляющую и не имеет возможности самосинхронизации (возможны длинные последовательности «единиц» или «нулей», передаваемые постоянным напряжением).

RZ (*Returnto Zero)* – кодирование «с возвращением к нулю». Биты «0» кодируются нулевым напряжением, а биты «1» представляются напряжением +U в первой половине тактового интервала и нулевым во второй. Позволяет уменьшить постоянную составляющую и избежать непрерывной передачи напряжения +U при длинной последовательности «единиц».

AMI **(***Bipolar Alternate Mark Inversion)* – метод биполярного кодирования с альтернативной инверсией. В этом методе используются три уровня потенциала – отрицательный –U, нулевой и положительный +U. Для кодирования бит «0»используется нулевой потенциал, а биты «1» кодируются либо положительным потенциалом, либо отрицательным, при этом потенциал каждой новой «единицы» противоположен потенциалу предыдущей. Достоинство – обеспечивает нулевой уровень постоянного напряжения. Недостаток – возможность нарушения синхронизации при передаче длинных последовательностей «нулей».

NRZI *(Non Returnto Zerowithones Inverted)* – кодирование «без возвращения к нулю с инверсией». Код похож на AMI, но использует только два уровня сигнала. При передаче «нуля» он передает нулевой потенциал, а при передаче «единицы» передается потенциал +U, если перед этим передавался нулевой потенциал, или нулевой потенциал, если перед этим передавался потенциал +U.

Манчестерский код – метод, при котором для кодирования единиц и нулей используется перепад потенциала в середине каждого тактового интервала. «Единица» кодируется перепадом от низкого уровня сигнала к высокому, а «ноль» – обратным перепадом. До недавнего времени был самым распространенным методом кодирования в локальных сетях при использовании технологий Ethernet и Token Ring. Код обладает хорошими самосинхронизирующими свойствами. Нет постоянной составляющей, а основная гармоника в худшем случае (при передаче последовательности единиц или нулей) имеет частоту V_6 Гц, а в лучшем (при передаче чередующихся единиц и нулей) она равна $V_6/2$ Гц, как и у кодов AMI или NRZ. В среднем ширина полосы манчестерского кода в полтора раза уже, чем у биполярного импульсного кода, а основная гармоника колеблется вблизи значения 3 V_6 /4.

HDB3 **(***High Density Bipolar 3)* – биполярное кодирование с высокой плотностью 3. Код похож на AMI, но отличается специальными мерами защиты системы тактовой синхронизации от длинных последовательностей «нулей». Число «3» в названии метода отражает максимально допустимое количество подряд следующих нулевых напряжений. При наличии в потоке данных четырех подряд следующих «нулей» в канал передается последовательность трех нулевых напряжений и одного ненулевого U, полярность которого такая же, как у предыдущего ненулевого импульса (в отличие от кодирования битов «1», для которых знак напряжения U изменяется поочередно для каждой «единицы» в потоке данных). Из-за асимметричности бита U в канале возникает смещение постоянной составляющей. Для сохранения нулевой постоянной составляющей полярность бита U изменяется по сравнению с полярностью предшествующего бита U. Когда это происходит, битовый поток изменяется на B00U, где полярность бита B совпадает с полярностью бита U. Когда приемник получает бит B, он может ошибочно принять его за «единицу», но после получения бита U (с такой же полярностью) оба бита корректно трактуются как «нули».

Потенциальные алфавитные коды – позволяют S уровнями напряжения переносить в n символах m бит (B) информации. Подобные коды обычно обозначают в виде mBnS. В роли размерности S чаще всего подразумеваются числа 2 (двоичный сигнал), 3 (троичный сигнал) или 4 (четверичный сигнал), обозначаемые буквами B, T и Q соответственно. В цифровых абонентских линиях популярным является код такого типа 2B1Q, согласно которому каждые очередные два бита информации (2B) передаются одним из четырех (1Q) уровней напряжения.

В последнее время в цифровых АЛ стал применяться вариант описываемого метода кодирования сигналов вида mBIS**,** где S>4, который по-другому называется «*амплитудно-импульсной модуляцией*» (*Pulse-amplitude modulation*) и обозначается *АИМ-S (PAM-S),* например, АИМ-16 (PAM-16).

Методы формирования сигналов на основе гармонических несущих в дополнение к напряжению (в данном случае – амплитуде) и времени имеют такие степени свободы, как частота и фаза гармонических колебаний, заполняющих видеоимпульсы. Подобные методы представляют собой классические способы модуляции несущих колебаний низкочастотными (в данном случае импульсными) сигналами. Наиболее известными простыми бинарными сигналами, формируемыми подобным образом, являются АМ (АТ), ЧМ (ЧТ или FSK – *Frequency Shift Keying)* и ФМ (ФТ) или ОФМ (ОФТ или DPSK – *Differential Phase Shift Keying),* отличающиеся используемым информационным параметром – амплитуда, частота и фаза или относительное изменение фазы несущего колебания (как известно, фазовая модуляция неустойчива к распознаванию фазы опорного колебания) соответственно. Традиционно в обозначениях указанных сигналов вместо буквы М (модуляция или манипуляция) используется буква Т (телеграфирование).

Из более сложных сигналов широко используемыми являются четверичные сигналы *ДЧТ* и *ДФТ* (ДОФТ или DQPSK – *Differential Quadrature Phase Shift Keying),* использующие 4 градации частоты и фазы, соответственно. По мере развития цифровой техники стали появляться системы передачи со значительно большим количеством различаемых градаций, причем не одного типа параметров (типа, например, ФТ-n и ЧТ-n), а сразу нескольких.

Из многомерных способов сигнального кодирования на основе несущих колебаний наиболее известными являются методы *амплитудно-фазовой модуляции* (АФМ). Одним из способов формирования АФМ-сигналов является сложение промодулированных низкочастотными АИМ-сигналами ортогональных колебаний (сдвинутых по фазе на 90°) или, как их часто называют, квадратур. Данный способ называется квадратурной амплитудной модуляцией (КАМ или QAM – *Quadrature Amplitude Modulation*). В настоящее время используются способы квадратурной модуляции, позволяющие в одном символе передавать до 8–9 бит, т. е. количество различаемых комбинаций амплитуд и фаз составляет 256–512.

Частным случаем метода КАМ является АФМ с подавленной несущей CAP *(Carrierless Amplitude and Phase modulation). При* формировании сигналов методом CAP из спектра исключается частотная составляющая, которая соответствует частоте несущего колебания. Приемник, в процессе приема переданного сигнала, сначала восстанавливает частоту несущего колебания, а затем уже сам информационный сигнал. Подобные манипуляции со спектром позволяют уменьшить долю его неинформационной несущей составляющей.

Еще одним популярным методом многопозиционного кодирования сигналов, конкурирующим с КАМ, является многочастотный способ модуляции DMT (*Discrete Multi Tone),* представляющий собой смесь ЧТ-n и КАМ (стандарт G.DMT). Применительно к ЦАЛ данный метод предусматривает разделение всего используемого частотного диапазона (от 20 кГц до $\approx$ 1 МГц) на множество отдельных участков, следующих с шагом около 4 кГц (точнее 4,3125 кГц). Каждый такой участок может использоваться

для организации независимого канала передачи данных методом КАМ с различной позиционностью. Дуплексная работа может обеспечиваться как с разделением частотных полос передачи и приема, так и без разделения (с использованием эхо-компенсаторов). При этом скорости передачи и приема могут быть различными (согласно стандарта G.DMT на передачу от абонента используется 25 полос в диапазоне от 20 до 140 кГц, а на прием к абоненту – 249 полос в диапазоне от 20 до 1120 кГц). Эхо-компенсация и различие скоростей передачи и приема поддерживаются и в других технологиях. Достоинством же технологии DMT является возможность частотно-избирательной адаптации приемо-передающих устройств к характеристикам конкретной линии.

Согласно выражению (14.2) за счет увеличения позиционности указанных выше сигналов можно было бы до бесконечности увеличивать скорость в канале с ограниченной полосой. Однако с ростом количества градаций информационных параметров сигналов при ограниченной максимальной мощности $P_с$ между соседними градациями будет все меньше отличий и рано или поздно начнут сказываться ошибки их выделения при приеме из-за помех с ненулевой мощностью $P_ш$. Клод Шеннон доказал, что за счет использования сложных алгоритмов формирования и обработки сигналов (приводящих, правда, к большому увеличению задержки) в канале с помехами можно приблизиться к следующей максимальной скорости, зависящей от параметров F, $P_с$ и $P_ш$ физической среды (см. рис. 14.1.):

$$V_{б.max} = \Delta F \cdot \log_2 \frac{(1 + P_c)}{P_ш}. \qquad (14.3)$$

Формулы (14.2) и (14.3.) не затрагивают показателей достоверности и задержки. Условно можно считать, что при скорости передачи информации меньшей, чем $V_{б.max}$, вероятность ошибки на бит $P_{ош.б}$ равна нулю, а при большей скорости – $P_{ош.б} = 0{,}5$. А вот дополнительная задержка передачи отдельных бит $T_б$ теоретически при идеальном кодировании стремится к бесконечности.

При использовании реальных сигналов минимальную дополнительную задержку $T_б$ можно оценить по величине произведения количества бит/символ m и скорости передачи символов $V_с$. На практике дополнительная задержка бывает гораздо больше за счет групповой обработки нескольких символов, образующих сигнально-кодовую конструкцию. Однако по сравнению с задержками из-за пакетной передачи на вышележащих уровнях современных ТКС величиной $T_б$ все же можно, как правило, пренебречь.

В то же время, неидеальной достоверностью на реальных АЛ можно пренебречь (т. е. считать, что $P_{ош.б} = 0$) только при относительно невысоких скоростях $V_б$ ($V_б V_{б.max}$) и дальностях R ($P_с(R) P_ш(R)$). Для каждого метода кодирования сигналов при использовании его в конкретных условиях существует свой определенный предел скорости и дальности, выше которого вероятность ошибки на бит резко возрастает. Как правило в методиках расчета АЛ достоверность считается заданной на пренебрежимо малом уровне ($P_{ош.б} = 10^{-7} – 10^{-10}$), а сами расчеты сводятся к определению допустимого затухания сигнала в АЛ и (или) допустимого переходного затухания помех между различными АЛ (на ближнем конце, на дальнем конце или в целом по линии) при заданной длине АЛ. Обратной задачей является определение допустимой длины АЛ, при которой выполняются все требования к указанным затуханиям и, в итоге, к заданной достоверности.

При прочих равных условиях многоуровневые сигналы, переносящие больше битов на символ, для выполнения одинаковых требований к достоверности требуют большей шумовой защищенности в канале. Так при требуемом значении $P_{ош.б} = 10^{-7}$ в случае использования многопозиционных методов модуляции CAP-4, CAP-32 и CAP-256 отношение сигнал/шум должно быть 14,5 дБ, 24,5 дБ и 33,8 дБ соответственно.

14.1.3. Методы обеспечения помехоустойчивости

На практике в чистом виде многопозиционные методы модуляции из-за проблем обеспечения помехоустойчивости не используются. Во всех современных высокоскоростных ЦАЛ дополнительно используются помехоустойчивые коды, исправляющие ошибки. Совместно с применяемыми сигналами подобные коды образуют устойчивые к помехам и эффективно использующие полосу частот *сигнально-кодовые конструкции* (СКК).

Наиболее популярным в ЦАЛ является решетчатое треллис-кодирование ТСМ (*Trellis Coded Modulation)* – специальный вид сверточного кодирования. Использование помехоустойчивых кодов требует увеличения скорости передачи в канале или снижения информационной скорости, но это с лихвой окупается увеличением помехоустойчивости. В частности, выбранная определенным образом комбинация КАМ или АИМ и помехоустойчивого кода при использовании в декодере приемника алгоритма Витерби позволяет снизить требование к отношению сигнал/шум в канале на 3–6 дБ. Причем, как правило, в СКК используют сверточное кодирование со скоростью *(m*–1/*m),* т. е. при передаче одного сигнального элемента (символа) используется только один избыточный двоичный разряд.

Для повышения помехоустойчивости в АЛ могут использоваться также коды, обнаруживающие ошибки в сочетании с протоколами, управляющими повторной передачей. Согласно ЭМВОС подобные функции выполняются на втором уровне (уровне звена данных). Различные сетевые технологии, рассмотренные ранее, используют на данном уровне различные модификации протокола HDLC: LAPB (в сетях X.25), LAPF (в сетях Frame Relay), LAPD (в сетях ISDN). В сетях абонентского доступа при использовании современных модемов может использоваться еще одна модификация HDLC, а именно протокол LAPM.

Протокол LAPM является составной частью стандарта (протокола) V.42, принятого ITU-T в ноябре 1988 г. и предназначенного для управления работой тонального модема. Формат кадра в целом соответствует формату кадра LAPB. Поля «Флаг», «Управление», «Данные» и «Проверочная последовательность» практически полностью совпадают. Некоторое отличие имеется в использовании поля «Данные», в котором может передаваться не только информация вышележащих уровней, но и служебная информация протокола V.42. С этим отличием связано еще одно отличие, заключающееся в использовании поля «Адрес» (1 или 2 байта), для организации по одному физическому каналу несколько логических (виртуальных) каналов. При этом используется 6-битный идентификатор соединения, подобный идентификатору DLCI в кадре Frame Relay (в X.25 эту функцию выполняли поля «НГЛК» и «НЛК» пакетов на сетевом уровне). Правда, протокол V.42 предусматривает использование только двух адресов из $2^6 = 64$ возможных: 0 – для канала передачи информации и 63 – для служебного канала.

На примере использования современных тональных модемов интересно пронаблюдать предельные возможности абонентского доступа в сеть Интернет по каналам ТЧ ТФОП.

Если в формулу (14.3) подставить характеристики канала ТЧ ($F \approx$ 3 кГц, $P_с/P_ш \gg 1$), то оказывается справедливой следующая оценка (с учетом преобразования $\log_b a = \log_c a / \log_c b$):

$$V_{б.max}[\text{кбит/с}] \approx 3*10 \lg (P_с / P_ш) / 10 \lg 2 = 10\ 1g(P_с / P_ш) = P_с/P_ш\ [\text{дб}] \qquad (14.4)$$

Т. е. максимальная скорость передачи информации по каналу ТЧ, выраженная в [кбит/с], примерно равна отношению сигнал/шум, выраженному в [дБ].

Предел скорости, оцениваемый по формуле (14.4), в частности, объясняет предельные скорости 30–40 кбит/с современных модемов, используемых для доступа в Интернет через каналы ТФОП с шумовой защищенностью $P_с / P_ш \approx$ 30–40 дБ.

Следует отметить, что причиной помех могут быть не только плохие абонентские линии, но и цифровые каналы ТФОП ОЦК со скоростью 64 кбит/с, образованные в результате 256-уровневого (2^8) квантования аналоговых сигналов на входе портов цифровых АТС (может использоваться и 2^{12}-уровневое квантование, но все равно, за счет компандирования остается 8 бит на отсчет каждые 125 мкс = 1/8 кГц). При пикфакторе аналоговых сигналов, составляющем около 10 дБ по мощности, шумовая защищенность по отношению к шумам квантования (мощность которых пропорциональна квадрату напряжения ошибки) составит $(2^8)^2/10 \approx 6400 < 10^4$, т. е. как раз меньше 40 дБ.

Так, наиболее широко используемыми на обычных телефонных линиях являются компьютерные модемы, поддерживающие двусторонние скорости передачи от 14,4 кбит/с (протокол V.32) до 28,8 / 33,6 кбит/с (протоколы V.34/V.34bis).

Для того, чтобы не терять скорость из-за явно нерациональной аналоговой передачи цифровых сигналов с последующим внесением шумов квантования на входе цифровых АТС *со стороны сети* Интернет, были придуманы специальные цифровые модемы, используемые в помещении провайдера, предоставляющего доступ в Интернет через ТФОП. Данные модемы позволяют включаться сразу в ОЦК, минуя АЦП. *Со стороны абонентов* АЦП остается, поэтому и скорость от абонентов в сеть остается прежней.

В этом случае при идеальных абонентских линиях можно было бы получить максимальную скорость из сети к абонентам, равную скорости ОЦК, т. е. 64 кбит/с. При этом фактически ЦАП на выходе порта цифровой АТС в сторону абонентов формирует 256-ти уровневый сигнал с амплитудно-импульсной модуляцией АИМ-256 (или PAM-256). При этом передача ведется многопозиционными сигналами со скоростью 8 кБод по 8 бит/символ. Однако из-за необходимости уменьшения влияния помех в абонентских линиях реально используются АИМ-128 (за счет игнорирования младшего из 8 разрядов), т. е. передача ведется с максимальной скоростью 8 кБод по 7 бит/символ или, иначе, со скоростью 56 кбит/с. Для работы по АЛ низкого качества в современных модемах предусмотрено автоматическое снижение скорости (как правило, с шагом 2 кбит/с).

Наиболее известными современными несимметричными модемами, вытягивающими максимум возможностей из каналов ТЧ ТФОП, образованных аналоговыми абонентскими линиями, ЦАТС и ОЦК-64, являются протоколы x2: K56flex и V.90 (до 56 кбит/с в направлении сеть – абонент и до 33 кбит в направлении абонент – сеть), а также V.92 (одно из отличий: за счет повышения качества обработки и сжатия сигналов в пределе возможно увеличение скорости до 42 кбит/с в направлении абонент – сеть, но при достаточно большой шумовой защищенности).

Для получения еще больших скоростей требуется расширять используемую полосу частот в АЛ, которая для витой пары может достигать 2–120 МГц при приемлемом затухании на дальностях от сотен метров до единиц километров. Это и было сделано при разработке технологий построения цифровых абонентских линий xDSL.

14.2. Классификация технологий проводных сетейабонентского доступа

На рис. 14.2. представлена классификация технологий проводного абонентского доступа. Технологии разбиты на пять групп по критерию среды передачи и категории пользователей [1,2].

LAN (Local Area Network) – группа технологий, предназначенных для предоставления корпоративным пользователям услуг доступа к ресурсам локальных вычислительных сетей и использующих в качестве среды передачи структурированные кабельные системы категорий 3, 4 и 5, коаксиальный кабель и оптоволоконный кабель.

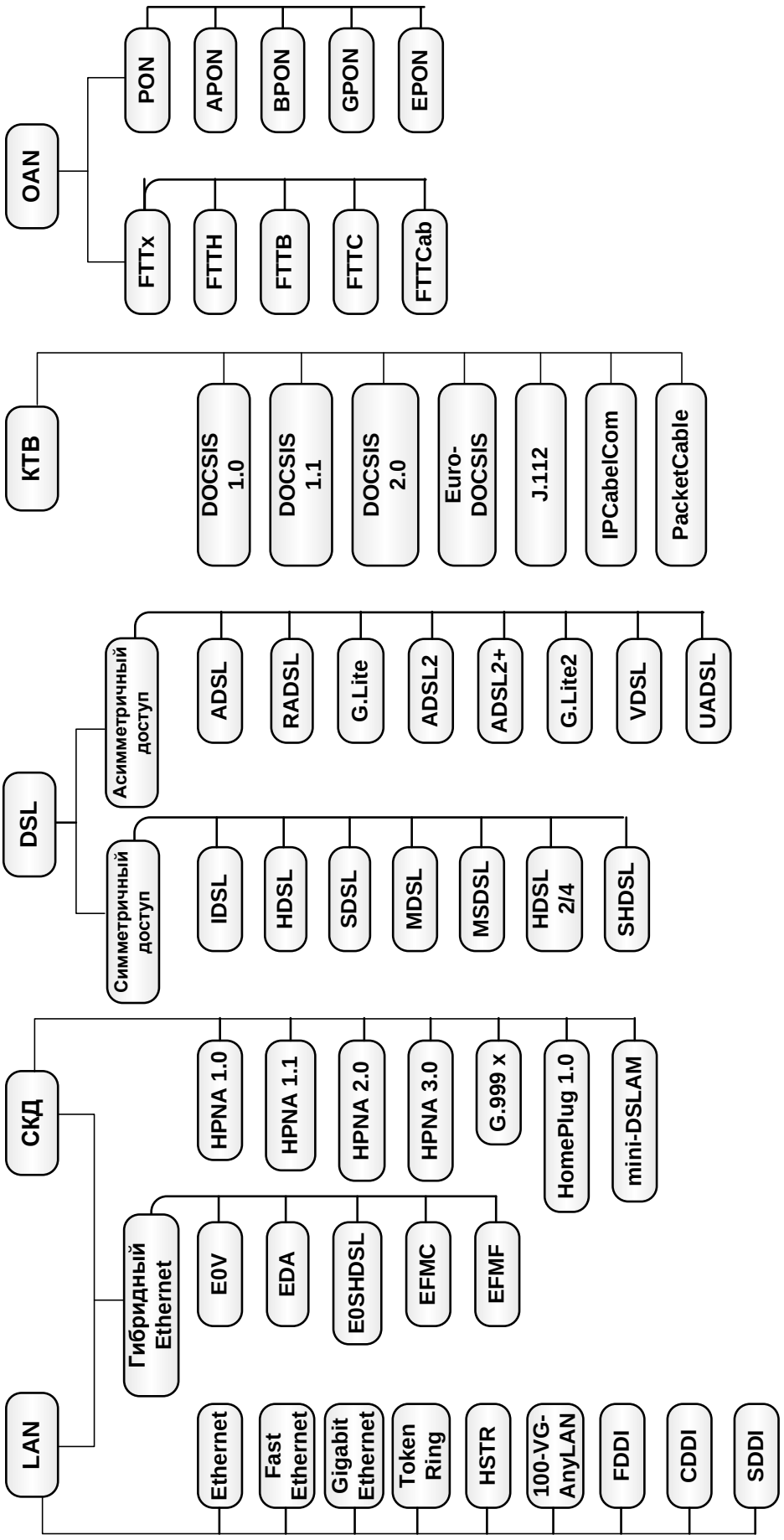


Рис. 14.2. Классификация технологий проводного доступа

DSL (Digital Subscribe Line) – группа технологий, предназначенных для предоставления пользователям ТфОП услуг мультимедиа и использующих в качестве среды передачи существующую инфраструктуру ТфОП.

КТВ (кабельное телевидение) – группа технологий, предназначенных для предоставления пользователям сетей КТВ мультимедийных услуг (за счет организации обратного канала) и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный и коаксиальный кабели.

OAN (Optical Access Networks) – группа технологий, предназначенных для предоставления пользователям широкополосных услуг, линии доступа к мультимедийным услугам и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный кабель.

СКД (сети коллективного доступа) – группа гибридных технологий для организации сетей доступа в многоквартирных домах; в качестве среды передачи используется существующая в домах инфраструктура ТфОП, радиотрансляционных сетей и сетей электропитания.

14.3. Технологии локальных сетей (группа LAN)

В группе LAN более 90 % всех сетей построены с использованием технологии Ethernet, обеспечивающих пользователям корпоративных сетей скорости передачи информации от 10 Мбит/с до 1 Гбит/с. Широкое распространение сетей Ethernet при организации LAN в первую очередь связанно с низкой стоимостью, легкостью управления и простотой используемого оборудования. Разрабатывавшаяся в конце 1970-х годов исключительно для передачи данных технология Ethernet обеспечивает сейчас поддержку широкого набора услуг, включая передачу речи и видео с требуемым качеством обслуживания QoS (IEEE 802.1p), а также организацию VLAN (IEEE 802.1Q).

14.3.1. Технология Ethernet в сетях доступа

«Первая миля» (называемая также или «последней милей», или абонентским шлейфом, или абонентской сетью доступа) – коммуникационная инфраструктура, которая соединяет корпоративных или частных пользователей с узлом связи (точкой присоединения) поставщика услуг [3]. Узел связи (точка присутствия) – здание или помещение, где коммутирующее и маршрутизирующее оборудование направляет данные в городскую опорную (магистральную) сеть.

Недостатком применяемых здесь технологий были ограниченные масштабируемость и гибкость, когда требовалось увеличить скорости доступа или обеспечить поддержку дополнительных сервисов.

Ethernet – недорогая технология, позволяющая без замены оборудования программно изменять скорость доступа в широком диапазоне и поддерживать все службы (данные, голос, видео) и типы сред передачи (медь, оптика).

Применение Ethernet в качестве технологий доступа во многом связано с развертыванием локальных сетей в жилом секторе, где зачастую стихийно в домах создавались локальные сети, которые затем объединялись в единую сеть и формировалась сеть доступа в магистральную городскую сеть.

В соответствии со стандартами структурированных кабельных сетей (СКС) в технологии Ethernet могут использоваться три типа СКС:

магистральная для соединения распределителей между зданиями;

магистральная (вертикальная) для соединения поэтажных распределителей с распределителем всего здания;

горизонтальная кабельная система – кабели от розетки пользователя до этажного распределителя.

Из-за малого числа пользователей в домах частного сектора (обычно менее 20-30) горизонтальная кабельная система не используется, так как на одном этаже редко бывает более 2-3 пользователей. Поэтому кабельную систему домашнего Ethernet обычно делят на две части:

абонентская система здания, в которой пользователи подключаются к активному или пассивному оборудованию оператора внутри одного дома;

магистральная кабельная система, которая служит для объединения активного оборудования абонентских систем здания в единую инфраструктуру и их соединения с другими сетями, в том числе с Интернет.

В магистральную кабельную систему входят соединения между зданиями, активное оборудование связи, устройства сопряжения с городскими, междугородными и национальными транспортными сетями.

В главе 11 показаны основные варианты топологии локальных сетей, которые характерны и для Ethernet. Магистральная кабельная система развивается обычно от древовидной топологии к стандартным конфигурациям типа «кольцо», «звезда» или их комбинациям. В сетях Ethernet на магистральном участке могут использоваться не только витые пары, но и оптические кабели, включая активные системы передачи или сети PON.

Кабельная разводка внутри дома, служащая для подключения конечных пользователей к активному или пассивному оборудованию сети, представляет собой абонентскую кабельную систему. Требования к ней варьируются в широких пределах. Если пользователям предоставляется скорость 10 Мбит/с (интерфейс 10 Base T), то в такой сети достаточно использовать витую пару категории 3. Но обычно абонентская кабельная система строится на основе СКС с использованием витой пары CAT5, которая позволяет предоставлять пользователям интерфейс Ethernet 10/100 Base-T.

Простота объединения абонентских и магистральных сетей доступа обеспечивается единым форматом данных на основе кадров и единой технологией с высоким уровнем масштабируемости: от скорости 10 Мбит/с до 10 Гбит/с. Большое разнообразие интерфейсов взаимодействия, показанное в таблице 14.1 [3], также облегчает задачу объединения. Не является сложным и сопряжение сети доставки с любыми транспортными сетями перспективных ИКС, так как оборудование транспортных сетей, как правило, обеспечивает интерфейсы Ethernet разного уровня иерархии.

В таблице 14.1 обозначены:

H/F – полудуплексный (H) и полнодуплексный (F) режим передачи;

MFS – минимальный размер кадра в байтах;

N/A – не применяется.

14.3.2. Форматы кадров технологии Ethernet

Форматы кадра Ethernet DIX, который обычно используется на практике в оборудовании Ethernet и стандарта IEEE 802.3, показаны на рис. 14.3 [4].

Преамбула длиной 8 байт содержит последовательность 10101010 (за исключением последнего байта, в котором значение двух последних битов равны 11). Последний байт в стандарте 802.3 называется разделителем Start of Frame (начало кадра). Два последних бита, равных единице, говорят получателю, что сейчас начнется новый кадр.

Далее два поля заголовка отведены под адреса получателя и отправителя, каждый из которых занимает 6 байт. Первый передаваемый бит адреса получателя содержит 0 для обычных адресов и 1 для групповых получателей. Групповые адреса позволяют нескольким станциям принимать информацию от одного отправителя. Такой механизм называется групповой рассылкой (multicasting). Если адрес состоит только из единиц,

то кадр могут принять все станции сети. Таким способом осуществляется широковещание (broadcasting).

Таблица 14.1.

Варианты интерфейсов Ethernet по стандарту IEEE 802.3

Название	Тип интерфейса	H/F	MFS	Размер сети
10G Ethernet IEEE 802.3ae (классы 48–53) XGMII				
10G BASE-SR	Двойной 50/125 мкм, MMF, 850 мм	F	N/A	2/550 м
10G BASE-SW	Двойной 62,5/125 мкм, MMF, 850 мм	F	N/A	2/33 м
10G BASE-LX4	Двойной 50/125 мкм, MMF, 4xDWM сигнал	F	N/A	300 м
10G BASE-LX4	Двойной 62,5/125 мкм, MMF, 4xDWM сигнал	F	N/A	300 м
10G BASE-LX4	Двойной 8–10 мкм SMF, 1310 мм, 4xDWM сигнал	F	N/A	10 км
10G BASE-LR	Двойной 8–10 мкм SMF, 1310 мм	F	N/A	10 км
10G BASE-ER	Двойной 8–10 мкм SMF, 1550 мм	F	N/A	2/40 км
Gigabit Ethernet IEEE 802.3z (классы 34–42) GMII				
1000 BASE-ZX	Двойной 8–10 мкм SMF, 1310 мм	F	416	80 км
1000 BASE-LX	Двойной 8–10 мкм SMF, 1310 мм	F	416	5 км
1000 BASE-LX	Двойной 50/125 мкм MMF, 1310 мм	F	416	550/2000 м
1000 BASE-LX	Двойной 62,5/125 мкм MMF, 1310 мм	F	416	550/1000 м
1000 BASE-SX	Двойной 50/125 мкм MMF, 850 мм	F	416	500/750 м
1000 BASE-SX	Двойной 62,5/ мкм MMF, 850 мм	F	416	220/400 м
1000 BASE-CX	Двойной1500 м STP (twinax)	F	416	25 м
1000 BASE-T	Четыре пары UTP 5 (или лучше)	H/F	520	<100 м
FAST Ethernet IEEE 802.3u (классы 21–29) MII				
100 BASE-FX	Двойной 50/125 мкм SMF	F	64	40 км
100 BASE-FX	Двойной 62,5/ мкм MMF	F	64	2 км
100 BASE-TX	Двойная пара кабеля STP	F	64	200 м
100 BASE-TX	Двойной UTP 5 (или лучше)	H/F	64	<100 м
100 BASE-T4	Четыре пары UTP3 (или лучше)	H	64	<100 м
Ethernet IEEE 802.3a-t (классы 1–20) AUI				
100 BASE-FB	Двойной 50/125 мкм SMF с синхронным хабом	H	64	<2000 м
100 BASE-FP	Двойной оптический 62,5/ мкм MMF пассивный хаб	H	64	<1000м
100 BASE-FL	Двойной 62,5/125 мкм MMF асинхронный хаб	F	64	2000 м
100 BASE-T	Двойная витая пара UTP 3 (или лучше)	H/F	64	<100 м
10 Broad 36	Один 750 м коаксиальный (CATV)	H	64	<3600м
10 BASE-2	Один 500 м тонкий коаксиальный кабель	H	64	<185 м
10 BASE-5	Один 500 м толстый коаксиальный кабель	H	64	<500 м

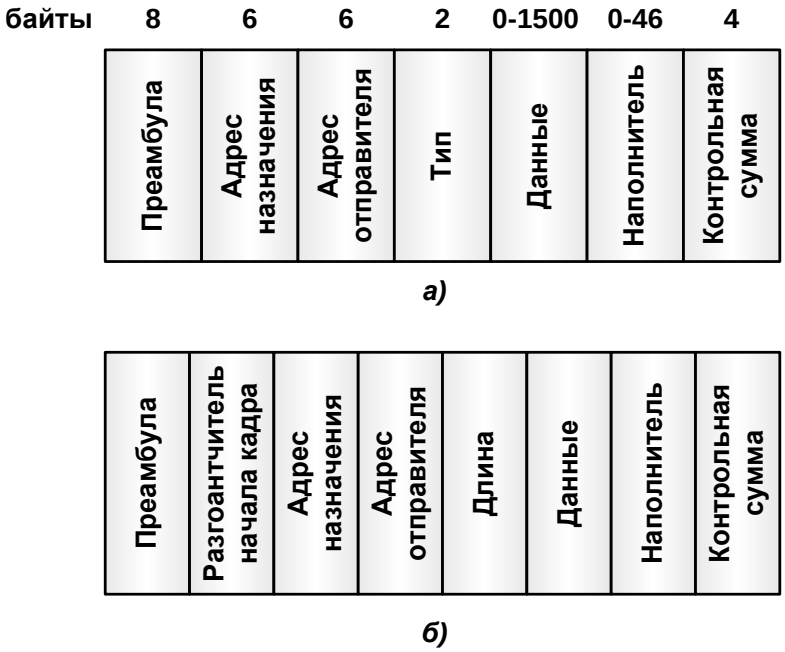


Рис. 14.3. Форматы кадров: а) – Ethernet DIX, б) – IEEE 802.3

Следующее поле Тип (Type или Ether Type) содержит условный код протокола верхнего уровня, данные которого находятся в поле данных кадра. Это поле требуется для поддержки интерфейсных функций мультиплексирования и демультиплексирования кадров при взаимодействии с протоколами верхних уровней.

Поле данных содержит от 46 до 1 500 байт. Если длина пользовательских данных меньше 46 байт, то это поле дополняется до минимального размера байтами заполнения.

Поле контрольной последовательности кадра (Frame Check Sequence, FCS) состоит из 4 байт контрольной суммы, которая вычисляется по алгоритму CRC-32.

14.3.3. Стандарт IEEE 802.3ah

Для решения проблем совместимости оборудования, выработки единых для отрасли подходов к построению сетей доступа на основе Ethernet был разработан стандарт IEEE 802.3ah (Ethernet in the First Mile, Ethernet на «первой/последней» миле, он же IEEE 802EFM) и утвержден в июне 2004 года.

Разработкой стандарта занималась рабочая группа комитета IEEE 802 Института инженеров по электротехнике и электронике.

При разработке стандарта в наибольшей степени учитывались интересы абонента, что отражено в его названии, где абонентский шлейф именуется «первой» (если считать от абонента), а не «последней» (если считать от оператора связи) «милей».

Стандарт IEEE 802.3ah определяет спецификации для физического уровня (для медных и оптических сетей) и три различные топологии доступа:

«точка-точка» по медной линии связи, известная еще как Ethernet поверх VDSL (E_0VDSL) или EFMC (Ethernet in First Mile Copper);

«точка-точка» по волоконной линии связи (Point-to-point fiber, P2P fiber) или EPON (Ethernet Passive Optical Network).

На основе этих топологий операторы могут создавать гибридные технологии.

Соединение «точка-точка» по меди

Ethernet поверх VDSL обеспечивает скорость доступа 5–15 Мбит/с по существующей медной кабельной проводке низкой категории. При скорости доступа 10 Мбит/с, которая обеспечивается на расстояниях порядка 1,5 км, E_0VDSL предоставляет возможность одновременной передачи голоса, видео и данных в таких приложениях как

высокоскоростной доступ в Интернет, видеотрансляции, IP-телефония. Применяется для зданий с множеством точек подключения (отели, многоквартирные дома, бизнес-центры и т. п.) или в корпоративных кампусах (производственные территории, больничные комплексы и т. п.).

К недостаткам технологии можно отнести ограниченные возможности по увеличению как скорости доступа, так и расстояния от абонента до узла оператора связи.

Соединение «точка-точка» по оптике

EPON обеспечивает на физическом уровне скорости передачи 100 Мбит/с и 1 Гбит/с на расстояния до 10 км по одномодовому оптическому волокну. При этом данные вниз и вверх по потоку передаются на разных неперекрывающихся длинах волн.

На рис. 14.4 показана структура «первой линии» для Ethernet P2P по оптическому волокну [5].

Обязательный элемент в этой структуре – агрегирующий узел с интерфейсами спецификации IEEE 802.3ah, к которому могут напрямую подключаться пользователи, если до них доведена оптика. Необязательный элемент – распределительный узел, располагающийся в зоне агрегирующего узла или в здании, где абонент соединяется с ним по внутренней проводке. Распределительный и агрегирующий узлы могут также располагаться в уличных шкафах.

Устройством пользователя может быть Ethernet-коммутатор или домашний шлюз, имеющий в дополнение к Ethernet аналоговые или ISDN BRI интерфейсы и поддерживающий V_0IP протоколы с сигнализациями H.323, STP или MGCP.

Для просмотра видеоконтента на обычном ТВ-приемнике необходим IP-STB (Set-Top-Box), который декодирует поступающий в виде IP-пакетов сжатый видеопоток.

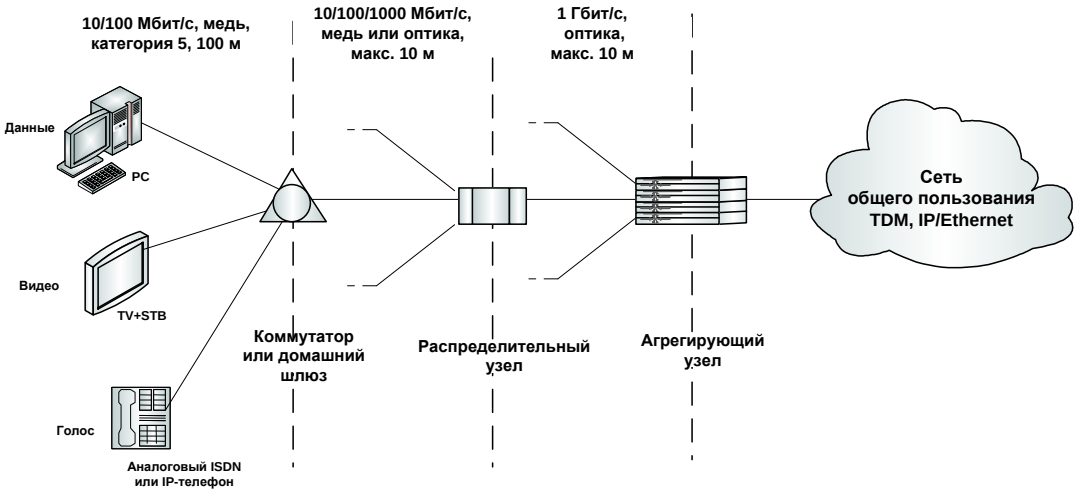


Рис. 14.4. Структура «первой линии» для Ethernet P2P по оптическому волокну

Преимущества данной структуры определяются применением оптического волокна, обеспечивающего высокую пропускную способность, большие расстояния передачи, возможность прокладки в кабельных каналах не только со слаботочным (абонентским) кабелем, но и с электрическим кабелем. Гигабитной скорости доступа вполне достаточно, чтобы гарантировать большой жизненный цикл сетевой инфраструктуры, а само оптическое волокно амортизируется в течение 20 лет и более.

Соединение «точка-много точек» по оптике

Многоточечные соединения стандарт IEEE 802.3ah рекомендует строить на основе пассивных оптических сетей PON (Passive Optical Network), в которых применяется единый и совместно используемый оптический канал, распределяемый по абонентам

с помощью пассивных оптических сплиттеров. Такая структура обеспечивает дальность до 20 км и скорость 1 Гбит/с. Преимущества сетей PON заключаются в отсутствии промежуточных активных узлов, экономии оптических приемопередатчиков в центральном узле, экономии волокон, легкости подключения новых абонентов и удобстве обслуживания.

Основная идея структуры PON – использование всего одного приемопередающего модуля в оптическом линейном терминале для передачи информации множеству абонентских устройств.

Для IEEE 802.3ahEPON определены протокол MPCP (Multi-Point Control Protocol), механизм P2PE (Point-to-Point Emulation), а также две длины волны 1490/1310 мм, для «нисходящего» и «восходящего» потоков соответственно.

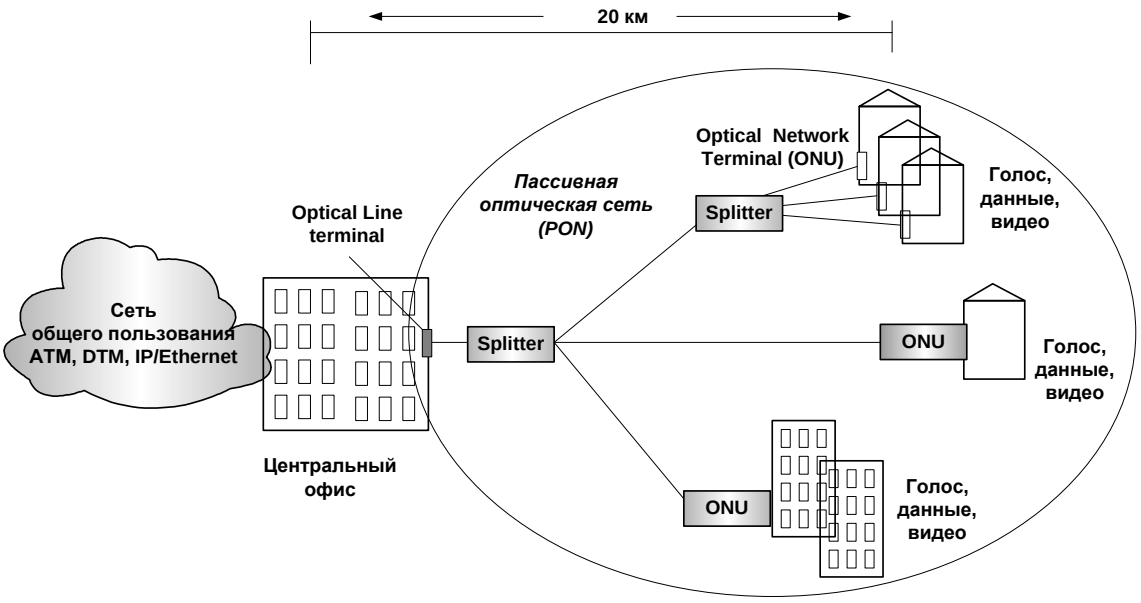


Рис. 14.5. Структура «первой мили» для Ethernet P2MP (EPON) по оптическому волокну

На рис. 14.5 приведена структура «первой мили» в EPON, где определены устройства двух типов: OLT (Optical Line Terminal – оптический линейный терминал) на стороне оператора связи и ONU (Optical Network Unit – оптическое сетевое устройство) на территории абонента [5].

Все ONU подключаются к одному OLT по совместно используемой сети EPON, в которой по протоколу MPCP формируются логические каналы к каждому из абонентов. Абонент получает часть общей полосы пропускания и идентификатор логической линии связи Logical Link ID, согласно которому проводится распределение кадров по абонентам.

Данные от OLT к абоненту передаются как широковещательные кадры, и каждый ONU сбрасывает все кадры, кроме содержащих его собственный Logical Linc ID в преамбуле.

Данные от абонента к OLT передаются с применением протокола TDMA, когда только одно ONU передает в заданный квант времени.

Для построения LAN был разработан и ряд других технологий, которые не получили широкого распространения. В первую очередь это маркерная бесколлизионная кольцевая технология Token Ring (IEEE 802.5) со скоростью передачи до 16 Мбит/с и ее высокоскоростная версия HSTR – High-Speed Token Ring (100 Мбит/с и 1 Гбит/с). Технология 100 VG-Any LAN (IEEE 802.12) была разработана для совместного использования в одной сети Ethernet и Token Ring. В силу высокой стоимости технология

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) не применяется для построения LAN, однако, обладая высокими отказоустойчивостью и скоростью передачи (100 Мбит/с), она используется для построения городских кольцевых магистралей с диаметром кольца до 100 км. Существуют также ее проводные варианты CDDI (Copper Distributed Data Interface) и SDDI (Shielded Distributed Data Interface) для неэкранированной и экранированной витой медной пары соответственно.

В технологиях доступа в последнее время наметилась интеграция технологии Ethernet с различными технологиями DSL (гибридный Ethernet). Наиболее известным вариантом такой интеграции является EoV. При скорости передачи порядка 10 Мбит/с сеть Ethernet может располагаться на расстоянии до 1,5 км от узла доступа, а при скоростях 3–4 Мбит/с это расстояние возрастает до 3–4 км. Стандарт на EoV разрабатывался в IEEE (IEEE 802.3ah) как EFM (Ethernet in the First Mile) в двух вариантах: EFMC (EFM Copper), с характеристиками обслуживания, аналогичными EoV, и EFMF (EFM Fiber) со скоростями передачи от 100 Мбит/с до 1 Гбит/с и с расстоянием до узла доступа до нескольких десятков километров [5]. Известны также решение Ethernet с использованием ADSL компании Ericsson (EDA – Ethernet DSL Access) со скоростями передачи 8/2,8 Мбит/с и дальностью до 4 км и решение Ethernet с использованием SHDSL компании Shmidt telecom со скоростью передачи 2,3 Мбит/с и дальностью до 5 км.

Некоторые из упомянутых технологий рассмотрены в главе 11.

14.4. Технологии сетей коллективного доступа

Для организации относительно недорогого доступа в Интернет жителей многоквартирных домов разработаны технологии СКД: Home PNA и PLC (Power Line Communication). Сеть доступа развёртывается на существующей в доме кабельной инфраструктуре (витая медная пара, проводка радиотрансляционных сетей, электрическая проводка), а концентратор трафика может подключаться к узлу служб с использованием различных систем передачи (кабельных, радио и др.).

Для домашних сетей может использоваться оборудование гибридных Ethernet или mini-DSLAM при использовании в качестве концентратора трафика мультиплексоров DSL.

Технология HPNA разработана альянсом Home Phoneline Networking Alliance (стандарты: HPNA 1.0, HPNA 1.1, HPNA 2.0 и HPNA 3.0). В ITU-T это Рек. G.989x. Системы доступа HPNA 1.x обеспечивают коллективный доступ к каналу с пропускной способностью 1 Мбит/с на расстоянии до 150 м (HPNA 1.0) и до 300 м (HPNA 1.1). В стандарте HPNA 2.0 пропускная способность коллективного канала увеличена до 10 Мбит/с при дальности до 350 м. В стандарте HPNA 3.0 пропускная способность увеличивается до 100 Мбит/с. Разработкой стандартов доступа в Интернет по сетям электропитания занимаются различные международные организации. Одна из них Home Plug Powerline Alliance приняла в 2001 году единый стандарт Home Plug 1.0 Specification, в котором пропускная способность сети составляет 14 Мбит/с. Стандартизация PLC-технологии ведётся также в ETSI. Далее мы рассмотрим эту технологию более подробно.

14.4.1. Достоинства и недостатки технологии PLC

Объединение передачи данных и подачи электропитания по одним проводам – вещь не новая. В традиционной телефонии питание на телефонные аппараты всегда подавалось из узла связи по тем же абонентским линиям, по которым шел и голосовой трафик. После принятия институтом IEEE стандарта 802.3af PoE (Power over Ethernet) получает широкое распространение подача электропитания по кабелям ЛВС на такие устройства, как IP-телефоны и точки доступа беспроводных ЛВС (БЛВС).

Использование электрических сетей для высокоскоростной передачи данных является одним из альтернативных решений проблемы широкополосной последней мили. Стимулируют исследования и разработки в этом направлении примерно те же факторы, что привели к широкому распространению xDSL: повсеместная распространенность электрических сетей 0,2–0,4 кВ и, соответственно, отсутствие необходимости в строительстве дорогостоящей канализации (пробивки стен, прокладки кабелей связи и пр.).

Исследования технологии широкополосного доступа по электросетям PLC (Power Line Communications) и решений на ее основе, начавшиеся в конце XX века, завершились разработкой оборудования PLC первого и второго поколений [7]: первое – скорость передачи данных до 2 Мбит/с, второе – до 14 Мбит/с. Оно обладало предельной скоростью передачи данных (теоретической) не более 10–14 Мбит/с, но реально достигнутая в тестовых сетях пропускная способность PLC отличалась от нее на порядок и составляла 1–2 Мбит/с. При этом для электролиний, «уплотненных» PLC, был характерен высокий уровень электромагнитных излучений, обусловленный работой PLC-аппаратуры, а абонентское оборудование имело сравнительно высокую стоимость. В первую очередь, по этим причинам технология PLC была недостаточно конкурентоспособна, прежде всего, по сравнению с xDSL и до недавнего времени применялась в ограниченном масштабе.

Новые возможности для реализации широкополосного доступа открыли перед PLC последние достижения микроэлектроники, которые позволили создать элементную базу и системы PLC третьего поколения. Это оборудование даже при использовании стандартных электролиний обеспечивает пиковые скорости передачи данных до 200 Мбит/с, что дает основания полагать: «списывать» PLC как технологию последней мили пока преждевременно.

Преимущества PLC очевидны: электрические сети подходят практически к каждому жилому и коммерческому зданию, т. е. имеется готовая, обслуживаемая инфраструктура как внутри каждого здания, так и между зданиями. Развернув систему передачи данных на базе PLC, энергетические компании смогли бы задействовать ее для внутренней телефонной связи (используя устройства VoIP), для удаленных проверки и считывания показателей электрических счетчиков. Сеть PLC позволит дистанционно (не посылая инженеров на объект) отслеживать отклонения характеристик энергосистемы от штатных значений, фиксировать разного рода неполадки и аварии. Более того, можно будет принимать превентивные меры для недопущения аварий: например, в очень жаркий день на непродолжительное время отключить часть кондиционеров, снизив тем самым нагрузку на систему. Наконец, PLG – это и решение задач национальной безопасности: с помощью сетевых видеокамер компании смогут отслеживать ситуации на электростанциях, других важных энергетических объектах, газопроводах и т. п.

Имеющиеся недостатки технологии PLC определяются в основном тем, что существующие электросети изначально не предназначались для передачи данных. Они характеризуются высоким уровнем шумов и быстрым затуханием высокочастотного сигнала. Параметры линии существенно меняются во времени в зависимости от текущей нагрузки. При организации связи должны быть обеспечены электромагнитная совместимость и экранирование процессов передачи данных от собственно электропотребления.

Службам высокоскоростного доступа BPL, конечно, трудно конкурировать там, где уже прочно «обосновались» системы DSL и КТВ, с ними провайдерам есть смысл приходить туда, где имеется острый дефицит услуг широкополосного доступа. Следует иметь ввиду, что BPL-системы способны не только конкурировать с другими широкополосными технологиями, но и дополнять их: они могут расширить зону охвата DSL-сети или системы WiMAX, например, на сельские районы. Подобные

комбинированные решения, возможно, окажутся экономически эффективными при обслуживании районов с низкой плотностью заселения, там, где использование только систем BPL невыгодно из-за высокой стоимости соответствующего оборудования. Вывод очевиден: добавление еще одного варианта широкополосного доступа сделает телекоммуникационные услуги более доступными и конкурентоспособными.

14.4.2. Области применения технологии PLC

На рис. 14.6. показаны важнейшие области применения средств связи на базе технологии PLC [8].

К низкоскоростным распределенным системам управления и учета относятся системы автоматического управления в цехах и на производственных территориях, системы жизнеобеспечения зданий (лифты, кондиционеры, вентиляция), складские системы, средства учета энергопотребления, системы охранной и пожарной сигнализации в дачных поселках, гаражных кооперативах и т. д.

Другой класс приложений составляют средства домашней автоматики, позволяющие комплексно управлять бытовыми приборами. Сюда же можно отнести локальные сети для домашних и малых офисов, развернутые в пределах небольшого здания или отдельной квартиры. Уже есть примеры успешного использования электрических сетей для организации телефонной связи в поселках и других ограниченных территориях, а также для обеспечения высокоскоростного доступа в Internet.

Современные PLC-системы широкополосного абонентского доступа или BPL-системы (Broadbandover Power Lines) в основном базируется на двух технологиях. В первой применяется сигнал с так называемым расширением спектра (spread spectrum – SS), а в качестве базовой используется QPSK-модуляция.

Рис. 14.6. Области применения средств связи на базе технологии PLC

При использовании SS мощность распределяется в широкой полосе частот, и сигнал становится как бы незаметным на фоне помех. На принимающей стороне значимая информация выделяется из шумоподобного сигнала с помощью уникальной для каждого соединения псевдослучайной кодовой последовательности. SS позволяет в одной широкой полосе частот осуществлять передачу сразу нескольких сообщений, существенно повышает помехоустойчивость передачи и обеспечивает высокий уровень защиты информации. Аналогичный принцип лежит в основе метода множественного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA).

Вторая технология гарантирует высокую достоверность передачи и устойчивость к искажениям сигнала за счет применения ортогонального частотного уплотнения с одновременной передачей сигналов на нескольких несущих (OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplex), также уже испытанного в беспроводных сетях.

Дальнейшим ее развитием стало применение американской фирмой Intellon модификации OFDM-метода, при котором исходный поток данных разбивается на пакеты, и каждый из них передается в диапазоне частот 4,3–20,9 МГц с использованием относительной фазовой модуляции на собственной поднесущей (DBPSK или DQPSK – Differential Quadrature Phase Shift Keying, дифференциальная квадратурная фазовая модуляция со сдвигом). Тут максимальная информационная скорость передачи достигает десятков Мбит/с.

Как видим, сети PLC реализуют принцип множественного доступа «точка – множество точек». Локальная трансформаторная подстанция поставляет определенному числу зданий электроэнергию и одновременно обеспечивает подключенным пользователям услуги передачи данных, IP-телефонии и др.

Основным оконечным оборудованием следует считать так называемый PLC-модем (в ряде источников используется термин «пограничный модем»), который подключается к источнику информации – розетке 220 В, а на выходе к ПК по соответствующему интерфейсу (USB, Ethernet и др.).

Возможен вариант, когда параллельно с ПК подключается телефон, поддерживающий режим VoIP. Ядром PLC-модема является контроллер сетевого, канального и физического уровней. Режим гибкого управления полосой пропускания гарантирует оптимальное использование пропускной способности и получение пользователем достаточной скорости передачи данных даже в период максимальной загрузки.

Изолирующий (соединительный) модуль в общем случае осуществляет две функции: изолирует аппаратуру коммуникационного узла от напряжения питания и выделяет информационный сигнал, проходящий по электросети.

Как правило, компоненты PLC-модемов реализуются на базе универсальных либо специализированных микропроцессоров (выпускаются рядом фирм в виде наборов). На их основе могут быть созданы модемы со стандартным или заказным интерфейсом пользователя. Некоторые фирмы изготавливают специальные микросхемы усилителей мощности, позволяющие передавать сигнал на большие расстояния.

Внутренние контроллеры модемов, включенных непосредственно в розетки сети электропитания, позволяют объединить абонентские устройства (адаптеры) и организовать внутри помещений здания сеть доступа к пользовательским терминалам (компьютерам, телефонным и факсимильным аппаратам, видеооборудованию и т. д.) через набор стандартных интерфейсов, так называемое решение «In-Door».

14.4.3. Принципы работы системы PLC

Существуют три основных типа линий электропередачи: высокого, среднего и низкого напряжения. Линии высокого напряжения, как правило 70 кВ, – это магистральная часть всей энергосистемы (здесь описывается структура энергосистемы США). Эти линии приходят на крупные понижающие подстанции, откуда по воздушным линиям среднего напряжения (обычно 7 кВ) электричество распределяется вдоль улиц и дорог. Далее находятся низковольтные трансформаторные подстанции, которые понижают напряжение до 110 или 220 В и подают электричество в дома потребителей. Каждая такая подстанция обслуживает от шести до 10 домов.

В основе функционирования систем PLC лежит использование известного по технологиям ADSL и КТВ принципа частотного разделения сигналов и применения разветвителей. Высокоскоростной поток данных разбивается на несколько

низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной частоте с последующим объединением всех потоков в один сигнал. Использование 84 поднесущих частот в диапазоне 4…21 МГц не оказывает влияния на передачу по проводам обычной электроэнергии, поскольку существует огромная разница в сравнении со стандартной частотой электросети в 50 Гц. Разветвители и оборудование PLC для сетей низкого напряжения размещается непосредственно в квартирах абонентов, а для сетей среднего напряжения – на узлах распределительной сети (трансформаторные будки, столбы электропередачи и пр.), где осуществляется регенерация сигнала данных.

Передача данных по высоковольтным линиям на сколько-нибудь значительные расстояния затруднена из-за сильного затухания сигнала (на этом, магистральном уровне для подключения к Интернет-провайдерам или другим операторам связи энергетические компании могут проложить собственное оптоволокно). Информационные потоки обычно вводятся в электросети на уровне понижающих подстанций и затем передаются по линиям среднего и низкого напряжения. Прохождение потоков данных через низковольтные трансформаторные подстанции затруднено из-за высокого уровня возникающих там помех. Одним из способов решения этой проблемы является установка специального сплиттера, который обеспечивает передачу данных между линиями среднего и низкого напряжения в обход трансформатора. Затем информационные потоки проходят по низковольтным линиям (110 или 220 В) и через розетку в квартире пользователя и специальный (относительно недорогой) модем выдаются на интерфейс Ethernet.

Один из вариантов предусматривает установку на столбах линий электропередачи беспроводных точек доступа, работающих по технологии 802.1lb. Одна такая точка доступа способна обслуживать несколько домов, а поскольку она устанавливается на электрической линии среднего напряжения, то не требуется никакого дополнительного оборудования для обхода трансформатора на низковольтной подстанции. Минус такого решения следующий: в том же частотном (нелицензируемом) спектре будут работать и другие точки доступа БЛВС, расположенные в соседних домах и офисах, а также бесшнуровые телефоны и микроволновые печи, что, естественно, снизит качество и надежность связи.

Для BPL-систем, доводящих информационные потоки непосредственно до конечных розеток, как уже говорилось, потребуется установка специальных сплиттеров на трансформаторных подстанциях. Это повысит стоимость реализации проекта и увеличит затраты на дальнейшее техническое обслуживание. Сложность заключается еще и в том, что без дополнительного усиления информационный сигнал может быть передан только на 500 м. Ambient, Amperion и ряд других компаний предлагают специальные повторители, увеличивающие дальность передачи, но необходимость установки повторителей ставит экономические барьеры на пути использования технологии BPL для обслуживания сельских районов.

В настоящее время интерференции и наводки уже не являются основной проблемой при развертывании BPL-систем, на первое место вышла проблема безопасности. Информация может быть перехвачена, когда она передается по воздушным линиям электропередачи, а на последнем участке, после низковольтного трансформатора, среда передачи оказывается разделяемой между несколькими пользователями, что тоже открывает широкие возможности по перехвату информации. Для защиты BPL-коммуникаций можно использовать шифрование, предусмотренное технологиями VPN и SSL. И нужно сказать, многие предприятия и организации уже активно применяют эти технологии, в том числе для подключения своих надомных и мобильных сотрудников. Оборудование BPL также поддерживает алгоритмы шифрования, но часто длина ключа ограничивается 56 битами, а этого маловато. Поэтому лучше самим пользователям побеспокоиться о защите своей информации и задействовать более мощные алгоритмы шифрования.

Проблема с наводками и интерференцией обостряется внутри зданий, где электрическая проводка начинает использоваться как кабельная инфраструктура для локальной сети. Сигналы от разных источников могут интерферировать между собой, нарушая устойчивую передачу данных. Над решением этой проблемы сейчас активно работает организация Home Plug Powerline Alliance, которая объединила свои усилия с советом United Powerline Council. Кстати, последний стандарт Home Plug Powerline Alliance – Home Plug AV – практически на порядок увеличивает скорость передачи данных в системах связи по электросети. Также этот стандарт обеспечивает совместимость со следующим поколением оборудования BPL.

Недостатки технологии PLC объясняются «болезнями роста», т. к. эта технология относительно молода. Многие специалисты считают, что она победит свои болячки и займет достойное место среди систем доступа перспективных инфокоммуникационных сетей.

14.5. Технологии группы DSL-доступа

14.5.1. Понятия и определения

xDSL – семейство технологий, позволяющих значительно повысить пропускную способность абонентской линии местной телефонной сети путем использования эффективных линейных кодов и адаптивных методов коррекции искажений линии.

В аббревиатуре xDSL символ «x» используется для обозначения первого символа в названии конкретной технологии, а DSL обозначает цифровую абонентскую линию (Digital Subscriber Line, DSL – цифровая абонентская линия). Технологии xDSL позволяют передавать данные со скоростями, которые доступны даже самым лучшим аналоговым и цифровым модемам. Эти технологии поддерживают передачу голоса, высокоскоростную передачу данных и видеосигналов. Существующие типы технологий xDSL различаются в основном по используемой форме модуляции и скорости передачи данных.

Термин «*цифровая абонентская линия*» впервые появился в 80-е годы в документации по ISDN. Тогда данный термин употреблялся для обозначения стыка U абонентского окончания ISDN, обеспечивающего доступ по интерфейсу BRI (2B+D=144 кбит/с).

Первые разработки DSL для ISDN BRI появились в Bellcore – научно-исследовательском центре компании AT&T – в 80-е годы. В конце 80-х годов в Bellcore был разработан новый метод высокоскоростной (в то время – до 1,5 Мбит/с – для американского варианта интерфейса PRI) передачи данных по медным проводам, который, по аналогии со своим предшественником DSL, получил наименование «высокоскоростная цифровая абонентская линия» HDSL (*Highbitrate Digital Subscriber Line).* Тогда и возникла некоторая путаница с употреблением аббревиатуры DSL по отношению к абонентским линиям, оборудованию и технологиям.

В настоящее время термин DSL полностью потерял былую связь с линией BRI ISDN и означает любую технологию высокоскоростной передачи дискретных сигналов по физическим линиям (медным проводам). Множество существующих «DSL-образных» методов передачи информации по медным проводам принято объединять в семейство xDSL-технологий. По сравнению со своими предшественниками (телефонными модемами, ИКМ- и ISDN-оборудованием, модемами для физических линий и т. п.), xDSL-модемы более эффективно используют возможности медной транспортной среды.

Современный мир созрел для использования технологий DSL. Увеличение потоков информации, передаваемых по сети Интернет компаниями и частными пользователями, а также потребность в организации удаленного доступа к корпоративным сетям, породили потребность в создании недорогих технологий цифровой высокоскоростной передачи данных по самому «узкому» месту цифровой сети – абонентской телефонной линии.

Технологии DSL позволяют значительно увеличить скорость передачи данных по медным парам телефонных проводов без необходимости модернизации абонентских телефонных линий. Именно возможность преобразования существующих телефонных линий в высокоскоростные каналы передачи данных и является главным преимуществом технологий DSL.

Любой абонент, пользующийся в настоящий момент обычной телефонной связью, имеет возможность с помощью технологии DSL значительно увеличить скорость своего соединения, например, с сетью Интернет. Следует помнить, что для организации линии DSL используются именно существующие телефонные линии; данная технология тем и хороша, что не требует прокладывания дополнительных телефонных кабелей. В результате вы получаете круглосуточный доступ в сеть Интернет с сохранением нормальной работы обычной телефонной связи. Благодаря многообразию технологий DSL пользователь может выбрать подходящую именно ему скорость передачи данных – от 32 кбит/с до более чем 50 Мбит/с. Данные технологии позволяют также использовать обычную телефонную линию для таких широкополосных систем, как видео по запросу или дистанционное обучение. Современные технологии DSL дают возможность организации высокоскоростного доступа в Интернет в каждый дом или на каждое предприятие среднего и малого бизнеса, превращая обычные телефонные кабели в высокоскоростные цифровые каналы. Причем скорость передачи данных зависит только от качества и протяженности линии, соединяющих пользователя и провайдера. При этом провайдеры обычно дают возможность пользователю самому выбрать скорость передачи, наиболее соответствующую его индивидуальным потребностям.

Принцип функционирования DSL очень прост.

Телефонный аппарат, установленный у вас дома или в офисе, соединяется с оборудованием телефонной станции с помощью витой пары медных проводов. Традиционная телефонная связь предназначена для обычных телефонных разговоров с другими абонентами телефонной сети. При этом по сети передаются аналоговые сигналы. Телефонный аппарат воспринимает акустические колебания (являющиеся естественным аналоговым сигналом) и преобразует их в электрический сигнал, амплитуда и частота которого постоянно изменяется. Так как вся работа телефонной сети построена на передаче аналоговых сигналов, проще всего, конечно же, использовать для передачи информации между абонентами или абонентом и провайдером именно такой метод. Именно поэтому вам пришлось прикупить в дополнение к вашему компьютеру еще и модем, который позволяет демодулировать аналоговый сигнал и превратить его в последовательность нулей и единиц цифровой информации, воспринимаемой компьютером.

При передаче аналоговых сигналов используется только небольшая часть полосы пропускания витой пары медных телефонных проводов; при этом максимальная скорость передачи, которая может быть достигнута с помощью обычного модема, составляет около 56 кбит/с. DSL представляет собой технологию, которая исключает необходимость преобразования сигнала из аналоговой формы в цифровую форму и наоборот. Цифровые данные передаются на компьютер именно как цифровые данные, что позволяет использовать гораздо более широкую полосу частот телефонной линии. При этом существует возможность одновременно использовать и аналоговую телефонную связь, и цифровую высокоскоростную передачу данных по одной и той же линии, разделяя спектры этих сигналов.

Достоинства технологий xDSL вытекают, в основном, из достоинств используемых методов многопозиционного кодирования (в основном, CAP, DMT, PAM). Однако однозначного соответствия между xDSL-технологиями и технологиями кодирования сигналов нет. Т. е. сигналы одного и того же типа могут использоваться в различных xDSL-технологиях (и наоборот), но с различными усовершенствованиями, отличающими

одну технологию от другой (например, с различным соотношением скорости передачи и приема, с различными методами дополнительного помехоустойчивого кодирования, организации дуплексной работы, эхо-компенсации, адаптации по частоте, мощности, скорости и т. д.).

Краткий перечень разновидностей наиболее распространенных xDSL-технологий и их основных характеристик приведен в таблице 14.2.

Таблица 14.2

Характеристики основных xDSL-технологий

Шифр	Название технологии англ./рус.		Скорость передачи	Длина (без регенераторов)	Примечание (особенность)
DSL	Digital Subscriber Loop	Цифровая абонентская линия	До 160 кбит/с	До 7,5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Дуплексная передача по одной медной паре. Первоначально – для реализации U-стыка BRI ISDN
IDSL	Internet Digital Subscriber Loop	Цифровая абонентская линия для доступа в Internet	До 128 кбит/с	До 7,5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Дуплексная передача по одной медной паре для доступа в Internet минуя коммутатор каналов ISDN
HDSL	High-bit-rate Digital Subscriber Line	Высокоскоростная цифровая абонентская линия	768/1024 кбит/с по 1 паре и 2048 кбит/с по 2–3 парам медного кабеля	От 5 км (диаметр провода 0,5 мм) до 18 км (диаметр провода 1,2 мм)	Прием и передача группового сигнала по одному многожильному кабелю. Первоначально – для реализации U-стыка PRI ISDN
SDSL (MDSL, MSDSL, G.shdsl)	Symmetric Digital Subscriber Line	Симметричная цифровая абонентская линия	160–2320 кбит/с	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Рекомендуется для замены HDSL. Наиболее популярная группа симметричных технологий
ADSL (CDSL)	Asymmetric Digital Scriber Line	Асимметричная цифровая абонентская линия	До 6,144 Мбит/с (из сети), до 640 кбит/с (от абонента)	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Рекомендуется для доступа к услугам Интернет с сохранением телефонного канала
UADSL	Universal ADSL	Универсальная асимметричная цифровая абонентская линия	До 1,536 Мбит/с (из сети), до 384 кбит/с (от абонента)	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Простота установки и эксплуатации. Использование – аналогично ADSL

Шифр	Название технологии англ./рус.		Скорость передачи	Длина (без регенераторов)	Примечание (особенность)
RADSL	Rate-Adaptive Digital Subscriber Line	Адаптивная по скорости цифровая абонентская линия	До 8,192 Мбит/с (из сети), до 640 кбит/с (от абонента)	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Автоматически подбирается наиболее подходящая скорость передачи в соответствии с условиями в линии
VDSL	Very high-bit-rate Digital Subscriber Line	Сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия	До 51 Мбит/с (из сети), до 1,6 Мбит/с (от абонента)	До 100–300 м в зависимости от скорости и диаметра провода	Самая высокоскоростная технология доступа (например, к сети ATM). Может использоваться в подсети абонентских линий для наращивания оптического кабеля

Развитие достаточно большого количества отличающихся друг от друга технологий, объединенных общим названием DSL, привело к появлению определенных трудностей не только у конечных пользователей, но и у самих провайдеров. Трудности обычно связаны с выбором именно той технологии, которая наилучшим образом подходит для конкретного пользователя или провайдера. В число таких технологий входят ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая абонентская линия), R-ADSL (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения), ISDL (ISDN Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия IDSN), HDSL (High Bit-Rate Digital Subscriber Line – высокоскоростная цифровая абонентская линия), SDSL (Symmetric Digital Subscriber Line – симметричная цифровая абонентская линия), VDSL (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line – сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия), G.Lite (упрощенный вариант технологии ADSL) и их вариации. Правда, по мере развития технологий DSL в специализированных изданиях было опубликовано большое количество материалов, касающихся данных технологий, что позволило хотя бы частично устранить пробел в техническом образовании пользователей.

Рассматривая варианты технологии DSL с точки зрения принципиальных различий, можно выделить две основные категории: симметричные и асимметричные технологии. Принцип разделения здесь предельно простой. Если скорости передачи данных в обоих направлениях (то есть из сети к пользователю и от пользователя в сеть) одинаковы, то это симметричная технология; если не одинаковы (по направлениям) – то асимметричная. К числу симметричных технологий относятся технологии HDSL, HDSL2, SDSL и IDSL. В США, например, технологии SDSL и IDSL в основном продвигаются структурами, аналогичными нашим операторам сетей передачи данных. Технологии HDSL и HDSL2 используются операторами местной связи в качестве альтернативы технологии T1. Симметричные линии DSL идеально подходят для использования в сфере бизнеса, при необходимости обеспечить равные скорости передачи данных в обоих направлениях, например для передачи голоса, электронной почты, файлов и для обеспечения функционирования ЛВС. Асимметричные технологии DSL, такие как ADSL, RADSL и G.Lite, в основном используются операторами местной связи, которые ориентированы на предоставление высокоскоростного доступа частным абонентам. Ведь именно им операторы местной связи предоставляют услугу традиционной телефонной связи.

Асимметричные линии DSL имеют более высокую скорость передачи данных из сети в сторону пользователя, что очень удобно для работы в Интернет.

Технологии DSL, позволяющие передавать голос, данные и видеосигнал по существующей кабельной сети, состоящей из витых пар телефонных проводов, наилучшим образом отражают потребность пользователей в высокоскоростных системах передачи.

Во-первых, технологии DSL обеспечивают высокую скорость передачи данных. Различные варианты технологий DSL обеспечивают различную скорость передачи данных, но в любом случае эта скорость гораздо выше скорости самого быстрого аналогового модема.

Во-вторых, технологии DSL оставляют возможность пользоваться обычной телефонной связью, не смотря на то, что используют для своей работы абонентскую телефонную линию. Используя технологии DSL больше не надо беспокоиться о том, что не получено вовремя важное известие, или о том, что для обычного телефонного звонка прежде потребуется выйти из сети Интернет.

И, наконец, линия DSL всегда работает. Соединение всегда установлено, и больше не надо набирать телефонный номер и ждать установки соединения, каждый раз, когда нужно подключиться. Не придется больше беспокоиться о том, что в сети произойдет случайное разъединение, и будет потеряна связь именно в тот момент, когда из сети загружаются данные, которые просто жизненно необходимы. Электронную почту можно будет получать в момент поступления, а не тогда, когда нужно ее проверить. В общем, линия будет работать всегда, а пользователь может быть всегда на линии.

14.5.2. Классификация технологий доступа к телекоммуникационным сетям по медному проводу

В результате быстрого развития технологий xDSL на месте обозначения «x» выросли настоящие «буквенные джунгли», в которых трудно разобраться даже специалисту. За этим явлением стоит не только стремление распространителей привлечь внимание покупателя новыми названиями, но и принятое двойное обозначение (одинаковые сокращения для различных технологий – EDSL, FDSL, SDSL UDSL; различные обозначения для одних и тех же, например, UDSL, UADSL).

Для того, чтобы внести ясность в вопрос о том, что же скрывается за этим множеством букв, специалисты фирмы Teleconnect GmbH Dresden [9] в течение нескольких лет проводили классификацию xDSL, формируя все усложняющееся «родословное дерево» (рис. 14.7).

Разделение технологий xDSL по среде передачи

Первоначально понятие DSL употреблялось только в связи с передачей по симметричным медным линиям, в США оно приравнивалось к BRI-ISDN (Basic Rate Interface Integrated Services Digital Network). Со временем варианты беспроводных локальных линий Wireless Local Loop стали также обозначать DSL (чего, однако, не приемлют некоторые специалисты), например, WDSL – Wireless DSL, Air DSL, радио DSL (сотовые, транкинговые сети доступа), skyDSL (радиоудлинители в сочетании с медными парами). Фирмой Alcatel Communications Electronic в рамках представления нового оборудования Line Runner для CeBIT 2000 были введены сокращения FDSL (Fiber DSL – DSL по оптоволоконному кабелю) и PDSL (Powerline DSL – DSL по электропроводам). Ниже в данном разделе в качестве среды передачи рассматривается более подробно технология xDSL применительно к медным парам. Эти части «родословного дерева» технологий xDSL показаны на рис. 14.7.

Разделение технологий xDSL по отдельным направлениям

Для передачи xDSL используются симметричные пары медных проводов, причем технологии отличаются тем, сколько пар используется и как осуществляется разделение

цифровых потоков в различных направлениях.

Самое простое и лежащее на поверхности решение – передача данных в прямом и обратном направлениях (прямое: от АТС к абоненту; обратное – от абонента к АТС) по разным парам (пространственное уплотнение), то есть по каждой из пар передача осуществляется только в одну сторону, отсюда и название – симплекс. В этом случае говорят о UDSL (Unidirectional DSL).

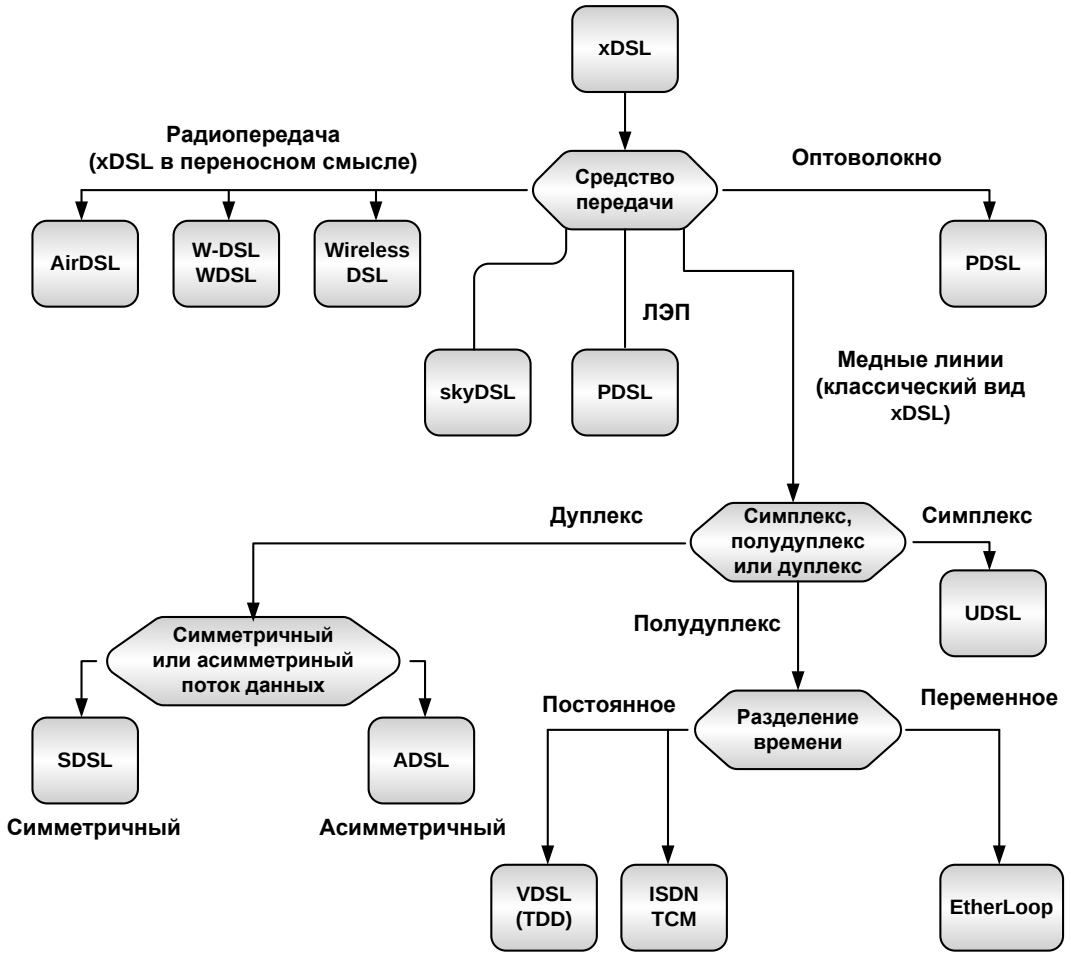


Рис. 14.7. Классификация xDSL-технологий по используемым физическим средам и способам встречной работы

Большая часть технологий xDSL является дуплексной, то есть передача происходит по одной паре в прямом и обратном направлениях, причем разделение осуществляется с помощью эхо-компенсации и/или частотного разделения. При полудуплексе происходит передача в обоих направлениях тоже только по одной паре, но разновременно. В зависимости от времени, необходимого для передачи в обоих направлениях, возможно разделение по постоянной и переменной временной сетке. Основными представителями являются VDSL (Veryhighbitrate DSL) с использованием TDD (Time Division Duplex), японский вариант ISDN с TCM (Time Compression Multiplexing) и Ether Loop (рис. 14.7).

Разделение дуплексных технологий xDSL по соотношению скоростей передачи в прямом и обратном направлениях

Дуплексные технологии xDSL можно разделить по соотношению скоростей передачи в прямом и обратном направлениях. Если скорости в обоих направлениях одинаковы, то говорят о симметричных технологиях xDSL (Symmetric DSL). В асимметричных технологиях (Asymmetric DSL) скорость передачи в прямом направлении намного выше, чем в обратном. В частном случае ADSL могут эксплуатироваться

и в симметричном режиме. Говоря о Reverse ADSL – сокращенно RDSL (это сокращение используется также для Residential DSL), имеют в виду обратимую ADSL, скорость передачи которой в обратном направлении больше, чем в прямом (что недопустимо из-за больших переходных помех).

Популярность xDSL-технологий как технологий цифрового абонентского доступа в последнее время привела к тому, что стали появляться технологии, причисляемые к xDSL, но не имеющие ничего общего к передаче информации по медным телефонным проводам. К таким технологиям можно отнести технологии с использованием радиоканалов и оптического волокна, а также технологии передачи информации по линиям электропередач (ЛЭП) (см. рис. 14.7).

14.5.3. Технологии симметричного DSL-доступа

Технологии симметричного DSL-доступа используются при предоставлении услуг объединения LAN, организации выносов, подключении оборудования пользователя к транспортным сетям по симметричным медным линиям. К этой группе относятся технологии HDSL, SDSL, MDSL, MSDSL, SHDSL, HDSL2/4, VDSL.

Симметричные технологии xDSL различают по числу пар используемых проводов. В частности, самая «древняя» симметричная технология HDSL (highbitrate DSL) применяется для передачи по одной, двум или трем парам, причем в каждой паре осуществляется дуплексная передача. Часть «родословного дерева» xDSL для симметричных технологий представлена на рис. 14.8 [10].

Сначала появился вариант HDSL для двух пар, нормированный в ANSI, который использует кодирование 2B1Q. Затем прошла стандартизация HDSL для трёх, двух и одной пар в ETSI с использованием 2BIQ или CAP. Часто употребляются обозначения HDSL2 и SDSL2, причём технология HDSL2 рассчитана исключительно на передачу Tl, а SDSL2 поддерживает скорости 384 кбит/с...2,304 Мбит/с (с шагом 64 кбит/с).

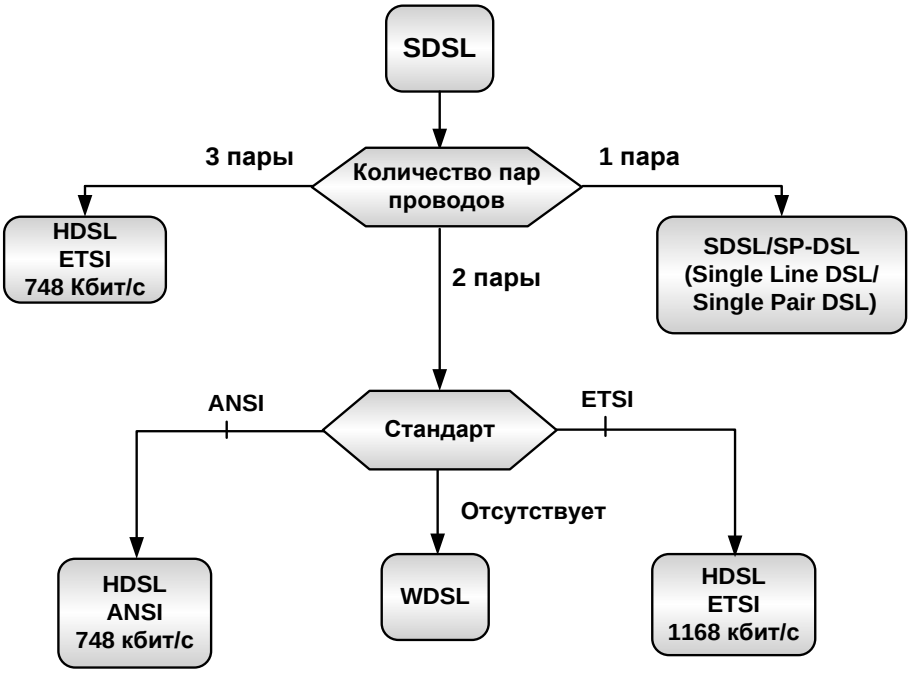


Рис. 14.8. Классификация симметричных xDSL-технологий по числу пар используемых проводов

Симметричные технологии xDSL для одной пары различают по скорости передачи: постоянная или переменная, или же с возможной установкой (рис. 14.9). Для таких

технологий также принято сокращение SDSL, поэтому проблемы в понимании «запрограммированы».

Самая старая симметричная технология xDSL для одной пары с постоянной скоростью – европейская или американская технология для BRI ISDN, при которой осуществлялась дуплексная передача на скорости 160 кбит/с и разделение с помощью эхо-компенсации (кодирование: 2B1Q или V 4B3T). Модификация ISDN обозначается IDSL (ISDN DSL).

Технология IDSL обеспечивает полностью дуплексную передачу данных на скорости до 144 кбит/с. В отличие от ADSL возможности IDSL ограничиваются только передачей данных. Несмотря на то, что IDSL так же, как и ISDN использует модуляцию 2B1Q, между ними имеется ряд отличий. В отличие от ISDN линия IDSL является некоммутируемой линией, не приводящей к увеличению нагрузки на коммутационное оборудование провайдера. Также линия IDSL является «постоянно включенной» (как и любая линия, организованная с использованием технологии DSL), в то время как ISDN требует установки соединения.

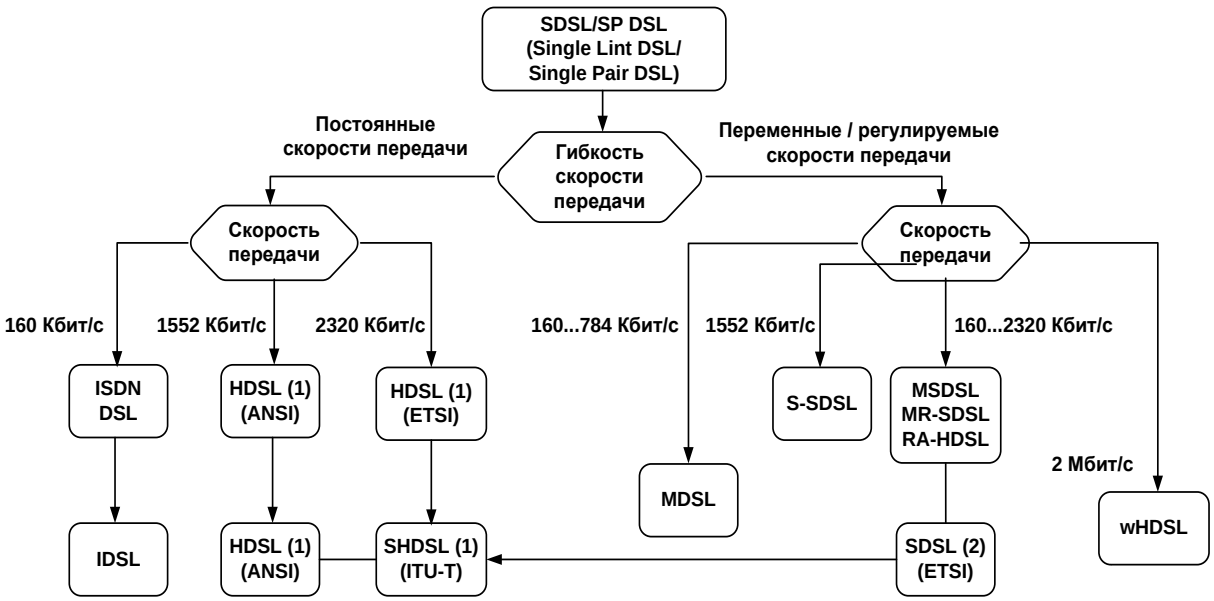


Рис. 14. 9. Симметричные технологии xDSL для одной пары

Для передачи T1 по одной паре на минимальное расстояние 3,65 км при сечении провода 0,511 мм, на скорости 1,5 Мбит/с (например, на базе кода 2B1Q), были разработаны системы HDSL, которые не были нормированы в ANSI, так как их дальность достигала лишь 80...85 % от требуемой. Эти системы явились шагом на пути к разработке систем передачи на скорости 2,048 Мбит/с и позже на 2,304 Мбит/с по одной паре. В рамках ETSI была стандартизирована передача на 2,304 Мбит/с (плюс 16 кбит/с) по одной паре.

Под эгидой ANSI интенсивно велись поиски возможностей передачи T1 по одной паре на минимальное расстояние 3,65 км. В результате появилась технология HDSL2, которая в 2001 году стандартизована в ITU-T в виде стандарта G.921.2, более известного как G.Shdsl.

Технология HDSL предусматривает организацию симметричной линии передачи данных, то есть скорости передачи данных от пользователя в сеть и из сети к пользователю равны. Благодаря скорости передачи (1,544 Мбит/с по двум парам проводов и 2,048 Мбит/с по трем парам проводов) телекоммуникационные компании используют технологию HDSL в качестве альтернативы линиям T1/E1. Линии T1 используют

в Северной Америке и обеспечивают скорость передачи данных 1,544 Мбит/с, а линии E1 используются в Европе и обеспечивают скорость передачи данных 2,048 Мбит/с. Хотя расстояние, на которое система HDSL передает данные (а это порядка 3,5–4,5 км), меньше, чем при использовании технологии ADSL, для недорогого, но эффективного увеличения длины линии телефонные компании могут установить специальные повторители. Использование для организации линии HDSL двух и трех витых пар телефонных проводов делает эту систему идеальным решением для соединения УАТС, серверов Интернет, локальных сетей и т. п. Технология HDSL2 является логическим результатом развития технологии HDSL. Данная технология обеспечивает характеристики, аналогичные технологии HDSL, но при этом использует только одну пару проводов.

Длина линии связи в современных HDSL-системах при использовании регенераторов превышает 100 км. Технология стандартизирована в ITU-T (Рек. G.991.1), в ETSI (TS 101 135) и в ANSI (T1, TR.28).

На основании знаний о развитии HDSL2 в ETSI, в МСЭ также начались исследования новой технологии HDSL. В ETSI она получила название SDSL. Это вызвало еще большую неразбериху, так как для того, чтобы отличить ETSI-SDSL от вышеуказанных технологий SDSL, здесь (в соответствии с HDSL2) также употребляется сокращение SDSL2. Существенно то, что HDSL2 рассчитано исключительно на передачу Tl, SDSL2 требует скорости от 384 кбит/с до 2,304 Мбит/с (с возможным растром 64 кбит/с).

Технологии SDSL2 предназначались в основном для делового сектора. Но возможности комбинированной передачи речи и данных, повышенная потребность частного сектора в скорости передачи и хороших технических характеристиках (таких, как спектральная совместимость, аварийное питание и т. д.) могут в будущем привести к тому, что SDSL2 заменят ISDN в частном секторе и тем самым создадут серьезную конкуренцию ассиметричным службам xDSL.

Системы SHDSL могут работать по одной или по двум витым парам со скоростями передачи соответственно от 192 до 2312 кбит/с с шагом 8 кбит/с и от 384 до 4624 кбит с шагом 16 кбит/с. В линии может быть установлено до 8 регенераторов (Рек. G.991.2 11U-T). Длина линии при максимальной скорости может достигать 20–30 км в зависимости от диаметра провода. Технология HDSL2/4 является аналогом SHDSL для потока T1 и стандартизирована в ANSI T1.TRQ.06-2001.

Зачастую полная скорость (544 кбит/с или 2,304 Мбит/с) не требуется или необходимая дальность при этих скоростях не достигается. Отсюда появились новые системы, заполняющие «зазоры в скоростях»: сначала это были системы MDSL (в интервале скоростей между 160 и 784 кбит/с), позднее – системы MSDSL, занимающие диапазон скорости передачи 160-2320 кбит/с.

В основу SHDSL были положены основные идеи HDSL2, получившие дальнейшее развитие. Была поставлена задача, используя способы линейного кодирования и технологию модуляции HDSL2, снизить взаимное влияние на соседние линии ADSL при скоростях передачи выше 784 кбит/с.

Поскольку новая система использует более эффективный линейный код по сравнению с 2B1Q, то при любой скорости сигнал SHDSL занимает более узкую полосу частот, чем соответствующий той же скорости сигнал 2B1Q. Поэтому помехи от систем SHDSL на другие системы xDSL имеют меньшую мощность по сравнению с помехами, создаваемыми HDSL типа 2B1Q. Более того, спектральная плотность сигнала SHDSL имеет такую форму, которая обеспечивает его почти идеальную спектральную совместимость с сигналами ADSL.

Отмеченные свойства SHDSL являются чрезвычайно важными для обеспечения устойчивой работы в условиях широкого внедрения xDSL технологий в будущем.

Результаты анализа устойчивости работы, которые выполнялись на основе используемых ранее шумовых моделей (в том числе и описанных в стандартах) могут оказаться недостоверными. Таким образом, оператор связи, развертывая системы передачи сегодня, не будет иметь гарантии, что они сохранят устойчивую работоспособность в будущем, когда на соседних парах заработают другие системы.

Шумовые модели, более точно отражающие современное состояние внедрения цифровых технологий передачи на абонентской сети предложены международной инициативной организацией FSAN (Full Service Access Networks), которая занимается разработкой требований и поиском консенсуса между интересами операторов и различных производителей телекоммуникационного оборудования, работающих в области построения мультисервисных сетей узкополосного и широкополосного абонентского доступа. Организацией FSAN были разработаны четыре оценочные модели шумов, отличающиеся количеством и составом эксплуатируемых в одном кабеле систем передачи. Расчеты по новым моделям достаточно сложны, но именно они могут дать представление о реальной работоспособности технологий xDSL на этапе массового развертывания цифрового абонентского доступа. С учетом сказанного, стоит весьма критически относиться к результатам оценки устойчивости работы, если для них использованы хоть и предусмотренные стандартами, но морально устаревшие шумовые модели.

Есть и другие достоинства SHDSL. По сравнению с двухпарными вариантами, однопарные варианты обеспечивают существенный выигрыш по аппаратным затратам и, соответственно, надежности изделия. Ресурс снижения стоимости составляет до 30 % для модемов и до 40 % для регенераторов – ведь каждая из пар требует приемопередатчика HDSL, линейных цепей, элементов защиты и т. п.

В целях поддержки клиентов различного уровня, в SHDSL решили предусмотреть возможность выбора скорости в диапазоне 192 кбит/с – 2320 кбит/с с инкрементом 8 кбит/с. За счет расширения набора скоростей передачи оператор может выстроить маркетинговую политику, более точно приближенную к потребностям клиентов. Кроме того, уменьшая скорость, можно добиться увеличения дальности в тех случаях, когда установка регенераторов невозможна. Так, если при максимальной скорости рабочая дальность составляет около 2 км (для провода 0,4 мм), то при минимальной – свыше 6 км. Но это еще не все. В SHDSL предусмотрена возможность использования для передачи данных одновременно двух пар, что позволяет увеличить предельную скорость передачи до 4624 кбит/с. Но, главное, можно удвоить максимальную скорость, которую удается получить на реальном кабеле, по которому подключен абонент.

Возможности систем передачи SHDSL показаны на рис. 14.10.

Для обеспечения взаимной совместимости оборудования различных производителей в стандарт SHDSL был инкорпорирован стандарт HSbis (G.844.1), описывающий процедуру инициализации соединения. Предусмотрено два варианта процедуры. В первом оборудование LTU (установленное на АТС) диктует параметры соединения NTU (оборудованию клиента), во втором – оба устройства «договариваются» о скорости передачи с учетом состояния линии. Учитывая неизвестные начальные условия, при обмене данными во время инициализации для гарантированного установления соединения применяется низкая скорость передачи и один из классических методов модуляции (DPSK).

Кроме установки скорости, HS описывает и порядок выбора протокола в процессе установки соединения. Чтобы обеспечить совместимость со всеми используемыми на сегодня сервисами, фреймер SHDSL-модема должен реализовать возможность работы с такими протоколами, как El, ATM, IP, PCM, ISDN. Для обеспечения гарантированной работоспособности приложений реального времени, стандартом SHDSL ограничена максимальная задержка данных в канале передачи (не более 500 мс). Наиболее

используемыми приложениями этого вида для SHDSL являются передача голоса VoDSL во всех ее разновидностях (PCM – обычный цифровой канал телефонии, VoIP – голос через IP и VoATM – голос через ATM) и видеоконференцсвязь.

Рис. 14.10. Возможности систем передачи SHDSL

За счет оптимального выбора протокола во время инициализации в SHDSL удается дополнительно снизить задержки в канале передачи. Например, для IP-трафика устанавливается соответствующий протокол, что позволяет отказаться от передачи избыточной информации, по сравнению с IP-пакетами, инкапсулированными в ATM-ячейки. Для передачи цифровых телефонных каналов в формате ИКМ непосредственно выделяется часть полосы DSL канала.

Стоит отметить, что упомянутые выше передача голоса и видеоконференцсвязь требуют передачи симметричных потоков данных в обе стороны. Симметричная передача необходима и для подключения локальных сетей корпоративных пользователей, которые используют удаленный доступ к серверам с информацией. Поэтому, в отличие от других высокоскоростных технологий (ADSL и VDSL), SHDSL как нельзя лучше подходит для организации последней мили. Так, при максимальной скорости она обеспечивает передачу 36 стандартных голосовых каналов. Тогда как ADSL, где ограничивающим фактором является низкая скорость передачи от абонента к сети (640 Кбит/с), позволяет организовать лишь 9 голосовых каналов, не оставляя места для передачи данных.

Еще одна задача, которая успешно решена в SHDSL – снижение энергопотребления. Поскольку для дистанционного питания используется одна пара, важность этой задачи трудно переоценить. Еще одна положительная сторона – снижение рассеиваемой мощности – открывает путь к созданию высоко интегрированного станционного оборудования.

Зачастую полная скорость (544 кбит/с или 2 304 Мбит/с) не требуется или необходимая дальность при этих скоростях не достигается. Отсюда появились новые системы, заполняющие «зазоры в скоростях»: сначала это были системы MDSL (в интервале скоростей между 160 и 784 кбит/с, позднее – системы MSDSL, занимающие диапазон скоростей передачи 160–2320 кбит/с.

MDSL представляют собой множество подсистем MSDSL, которые не были нормированы, а используемая технология соответствует HDSL. MDSL расшифровывают по-разному:

Mediumspeed DSL;
Mediumbitrate DSL;
Multi-rate DSL;
Mid range DSL;
Multiline DSL.

MSDSL означает Multi-rate Summetric DSL. Здесь также приняты разные сокращения – MR-DSL (Multi-rate Symmetric SDSL) или M/SDSL (Multispeed Symmetric SDSL). Для указания возможности ступенчатого регулирования скорости передачи используется обозначение RA-HDSL (Rate Adaptive HDSL). В зависимости от технического исполнения, возможна ручная либо автоматическая установка оптимального значения скорости, обусловленная также качеством кабеля.

14.5.4. Технологии асимметричного xDSL-доступа

Если первоначально развитие симметричных технологий xDSL в основном было ориентировано на потребности делового сектора, то ассиметричные технологии xDSL были предназначены для частного сектора. Такой подход определяет существенную разницу в требованиях к ним. В частном секторе было необходимо, чтобы уже существующая телефонная служба (ТфОП или BRI ISDN) продолжала работать и при переходе на ADSL. Иначе говоря, помимо телефонной службы требовалось обеспечить и передачу данных. С целью разделения речевых сигналов и сигналов передачи данных были введены частотные разветвительные фильтры, называемые *разветвителями*.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая абонентская линия) предполагает доступ в Интернет с сохранением у пользователя телефонного номера и обеспечивает скорость нисходящего потока данных от 1,5 до 8 Мбит/с и скорость восходящего потока – от 640 Кбит/с до 1,5 Мбит/с на расстоянии до 5,5 км по одной витой паре проводов диаметром 0,5 мм.

ADSL является технологией, позволяющей превратить витую пару телефонных проводов в тракт высокоскоростной передачи данных. Линия ADSL соединяет два модема ADSL, которые подключены к каждому концу витой пары телефонного кабеля (рис. 14.11). При этом организуются три информационных канала – «нисходящий» поток передачи данных, «восходящий» поток передачи данных и канал обычной телефонной связи (POTS) (рис. 14.12). Канал телефонной связи выделяется с помощью фильтров, что гарантирует работу вашего телефона даже при аварии соединения ADSL.

ADSL является асимметричной технологией – скорость «нисходящего» потока данных (т. е. тех данных, которые передаются в сторону конечного пользователя) выше, чем скорость «восходящего» потока данных (в свою очередь передаваемого от пользователя в сторону сети). Скорость передачи данных от пользователя (более «медленное» направление передачи данных) все равно значительно выше, чем при использовании аналогового модема. Фактически же она также значительно выше, чем ISDN (Integrated Services Digital Network – интегральная цифровая сеть связи),

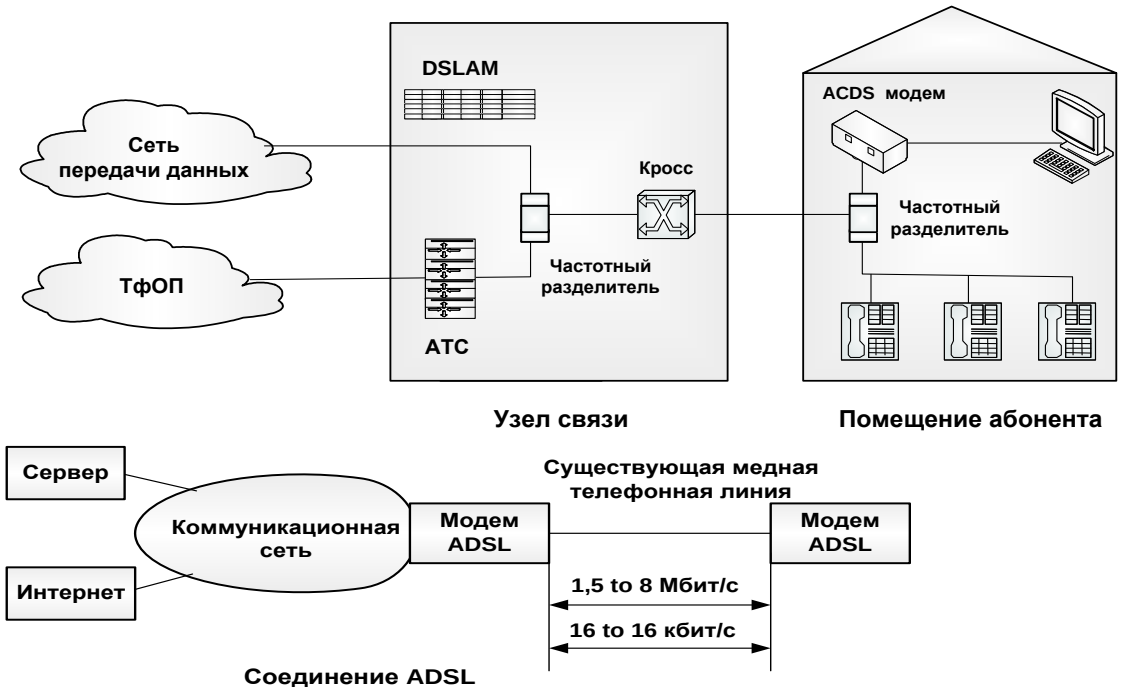


Рис. 14.11. Схема организации ADSL соединения

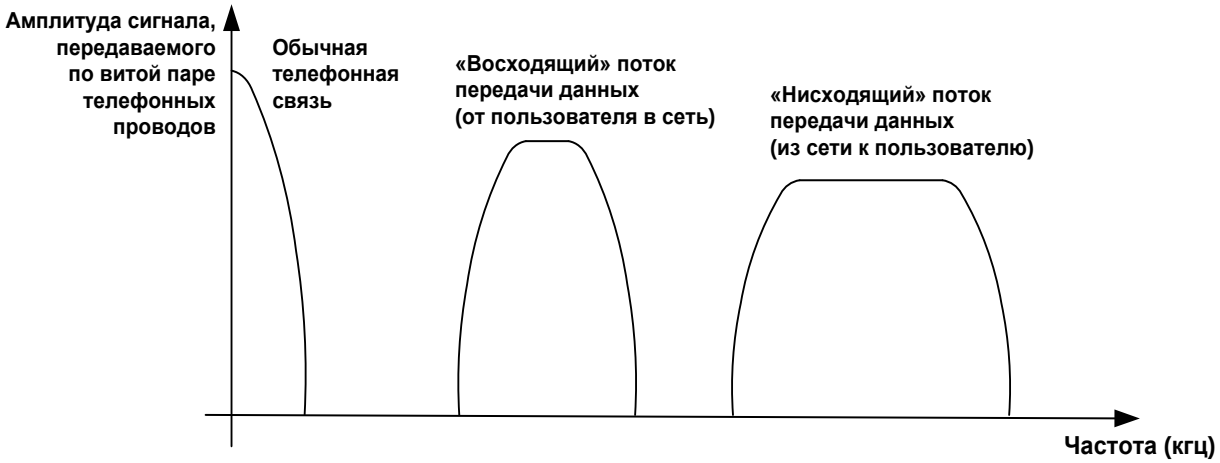


Рис. 14.12. Распределение частот в ADSL

Для сжатия большого объема информации, передаваемой по витой паре телефонных проводов, в технологии ADSL используется цифровая обработка сигнала и специально созданные алгоритмы, усовершенствованные аналоговые фильтры и аналого-цифровые преобразователи. Телефонные линии большой протяженности могут ослабить передаваемый высокочастотный сигнал (например, на частоте 1 МГц, что является обычной скоростью передачи для ADSL) на величину до 90 дБ. Это заставляет аналоговые системы модема ADSL работать с достаточно большой нагрузкой, позволяющей иметь большой динамический диапазон и низкий уровень шумов. На первый взгляд система ADSL достаточно проста – создаются каналы высокоскоростной передачи данных по обычному телефонному кабелю. Но, если детально разобраться в работе ADSL, можно понять, что данная система относится к достижениям современной технологии.

Технология ADSL использует метод разделения полосы пропускания медной телефонной линии на несколько частотных полос (также называемых несущими). Это

позволяет одновременно передавать несколько сигналов по одной линии. Точно такой же принцип лежит в основе кабельного телевидения, когда каждый пользователь имеет специальный преобразователь, декодирующий сигнал и позволяющий видеть на экране телевизора футбольный матч или увлекательный фильм. При использовании ADSL разные несущие одновременно переносят различные части передаваемых данных. Этот процесс известен как частотное уплотнение линии связи (Frequency Division Multiplexing – FDM) (рис. 14.13). При FDM один диапазон выделяется для передачи «восходящего» потока данных, а другой диапазон для «нисходящего» потока данных. Диапазон «нисходящего» потока в свою очередь делится на один или несколько высокоскоростных каналов и один или несколько низкоскоростных каналов передачи данных. Диапазон «восходящего» потока также делится на один или несколько низкоскоростных каналов передачи данных. Кроме этого может применяться технология эхо-компенсации (Echo Cancellation), при использовании которой диапазоны «восходящего» и «нисходящего» потоков перекрываются (рис. 14.13) и разделяются средствами местной эхо-компенсации.

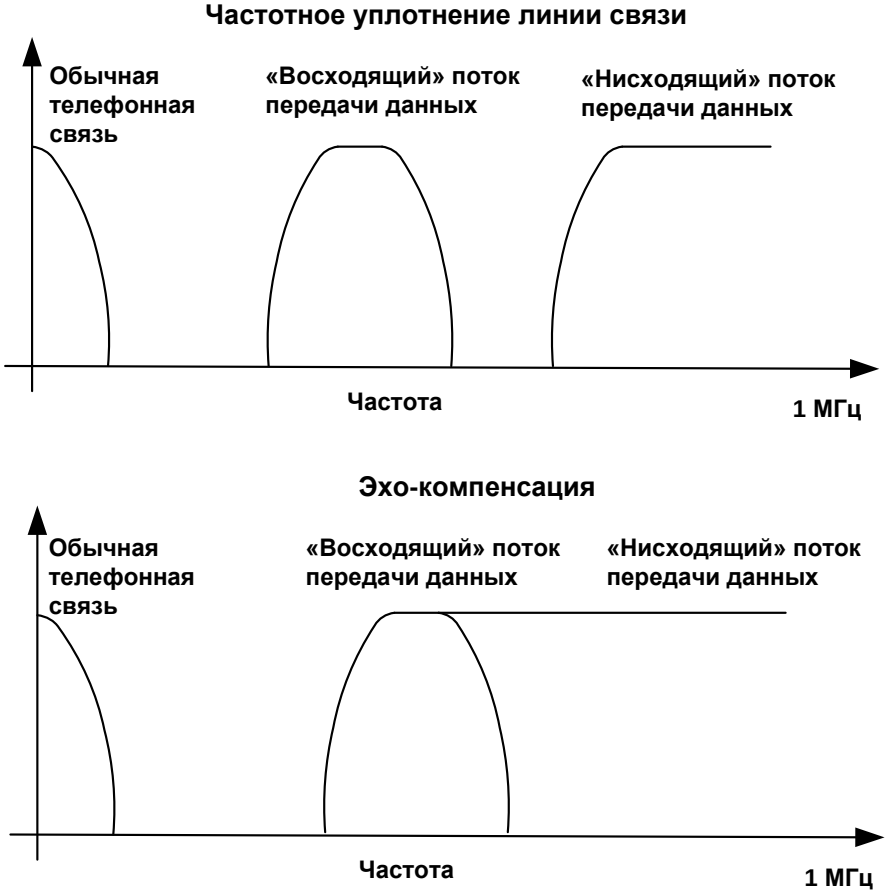


Рис. 14.13. Частотное уплотнение линии связи и эхо-компенсации

Именно таким образом ADSL может обеспечить, например, одновременную высокоскоростную передачу данных, передачу видеосигнала и передачу факса. И все это без прерывания обычной телефонной связи, для которой используется та же телефонная линия. Технология предусматривает резервирование определенной полосы частот для обычной телефонной связи (или POTS – Plain Old Telephone Service). При этом телефонный разговор можно вести одновременно с высокоскоростной передачей данных, а не выбирать одно из двух. Более того, даже если отключат электричество, обычная «старая добрая» телефонная связь будет работать по-прежнему и с вызовом электрика у вас никаких проблем не возникнет. Обеспечение такой возможности было одним

из разделов оригинального плана разработки ADSL. Даже одна эта возможность дает системе ADSL значительное преимущество перед ISDN.

Одним из основных преимуществ ADSL над другими технологиями высокоскоростной передачи данных является использование самых обычных витых пар медных проводов телефонных кабелей. Совершенно очевидно, что таких пар проводов насчитывается гораздо больше**,** чем, например, кабелей, проложенных специально для кабельных модемов. ADSL образует, если можно так сказать, «наложенную сеть». При этом дорогостоящей и отнимающей много времени модернизации коммутационного оборудования (как это необходимо для ISDN) не требуется.

Факторами, влияющими на скорость передачи данных, являются состояние абонентской линии (т. е. диаметр проводов, наличие кабельных отводов и т. п.) и ее протяженность. Затухание сигнала в линии увеличивается при увеличении длины линии и возрастании частоты сигнала, и уменьшается с увеличением диаметра провода. Фактически функциональным пределом для ADSL является абонентская линия длиной 3,5–5,5 км при толщине проводов 0,5 мм.

Для того, чтобы оценить скорость передачи данных, обеспечиваемую технологией ADSL, необходимо сравнить ее с той скоростью, которая может быть доступна пользователям, использующим другие технологии. Аналоговые модемы позволяют передавать данные со скоростью от 14,4 до 56 кбит/с. ISDN обеспечивает скорость передачи данных 64 кбит/с на канал (обычно пользователь имеет доступ к двум каналам, что в сумме составляет 128 кбит/с). Различные технологии DSL дают пользователю возможность передавать данные со скоростью 128 кбит/с (IDSL), 768 кбит/с (HDSL), «нисходящий» поток 1,5–8 Мбит/с и «восходящий» поток 640–1000 кбит/с (ADSL), «нисходящий» поток 13–52 Мбит/с и «восходящий» поток 1,5–2,3 Мбит/с (VDSL). Кабельные модемы имеют скорость передачи данных от 500 кбит/с до 10 Мбит/с. При этом следует учитывать, что полоса пропускания кабельных модемов делится между всеми пользователями, одновременно имеющими доступ к данной линии. Поэтому число одновременно работающих пользователей оказывает значительное влияние на реальную скорость передачи данных каждого из них. Цифровые линии E1 и E3 имеют скорость передачи данных, соответственно, 2,048 Мбит/с и 34 Мбит/с.

При использовании технологии ADSL полоса пропускания той линии, с помощью которой конечный пользователь связан с магистральной сетью, принадлежит этому пользователю всегда и целиком.

Рассмотрим некоторые преимущества ADSL.

Прежде всего, скорость передачи данных. Цифры, указанные выше, не являются пределом. В последующие годы можно ожидать увеличения скорости «нисходящего» потока до 52 Мбит/с, а «восходящего» потока до 2 Мбит/с.

Больше не нужно набирать телефонный номер для того, чтобы подключиться к сети Интернет или к ЛВС, ADSL создает широкополосный канал передачи данных, используя уже существующую телефонную линию. После установки модемов ADSL пользователь получает постоянно установленное соединение. Высокоскоростной канал передачи данных всегда готов к работе – в любой момент, когда это потребуется.

Полоса пропускания линии принадлежит пользователю целиком. В отличие от кабельных модемов, которые допускают разделение полосы пропускания между всеми пользователями (что в значительной мере оказывает влияние на скорость передачи данных), технология ADSL предусматривает использование линии только одним пользователем.

Технология ADSL позволяет полностью использовать ресурсы линии. При обычной телефонной связи используется около одной сотой пропускной способности телефонной линии. Технология ADSL устраняет этот «недостаток» и использует оставшиеся 99 % для высокоскоростной передачи данных. При этом для различных функций используют

различные полосы частот. Для телефонной (голосовой) связи используется область самых низких частот всей полосы пропускания линии (приблизительно до 4 кГц), а вся остальная полоса используется для высокоскоростной передачи данных.

Многофункциональность данной системы является не самым последним аргументом в ее пользу. Так как для работы различных функций выделены различные частотные каналы полосы пропускания абонентской линии, ADSL позволяет одновременно передавать данные и говорить по телефону. Вы можете звонить по телефону и отвечать на звонки, передавать и принимать факсы, одновременно с этим находясь в сети Интернет или получая данные из корпоративной сети ЛВС. Все это по одной и той же телефонной линии.

ADSL открывает совершенно новые возможности в тех областях, в которых в режиме реального времени необходимо передавать качественный видеосигнал. К ним относится, например, организация видеоконференций, обучение на расстоянии и видео по запросу. Технология ADSL позволяет провайдерам предоставлять своим пользователям услуги, скорость передачи данных которых более чем в 100 раз превышает скорость самого быстрого на данный момент аналогового модема (56 кбит/с) и более чем в 70 раз превышает скорость передачи данных в ISDN (128 кбит/с).

Технология ADSL позволяет телекоммуникационным компаниям предоставлять частный защищенный канал для обеспечения обмена информацией между пользователем и провайдером.

Технология ADSL эффективна и с экономической точки зрения хотя бы потому, что не требует прокладки специальных кабелей, а использует уже существующие двухпроводные медные телефонные линии. То есть, если дома или в офисе есть подключенный телефонный аппарат, не нужно прокладывать дополнительные провода для использования ADSL.

Для того, чтобы линия ADSL работала, необходимо не так уж много оборудования (рис. 14.14). На обоих концах линии устанавливаются модемы ADSL: один на стороне пользователя (дома или в офисе), а другой на стороне сети (у провайдера Интернет или на телефонной станции). Причем пользователю совсем не обязательно покупать свой модем, но достаточно взять его у провайдера в аренду. Кроме того, пользователю для того, чтобы модем ADSL работал, необходимо иметь компьютер и интерфейсную плату, например, Ethernet 10 baset.

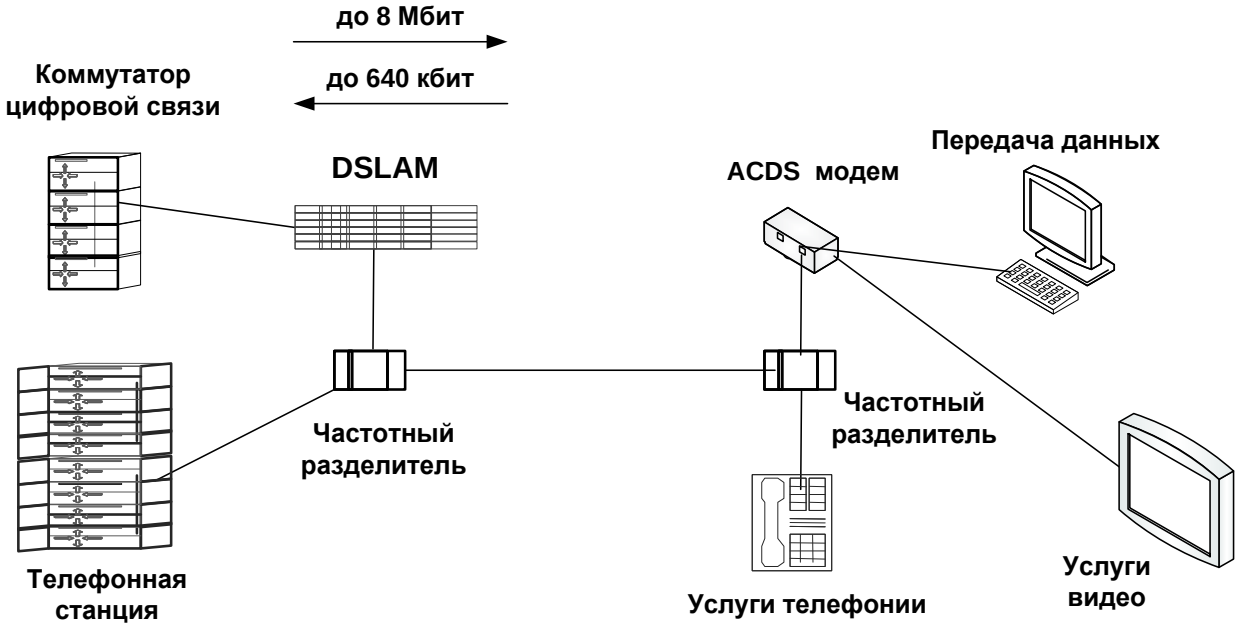


Рис. 14.14. Схема ADSL-сети

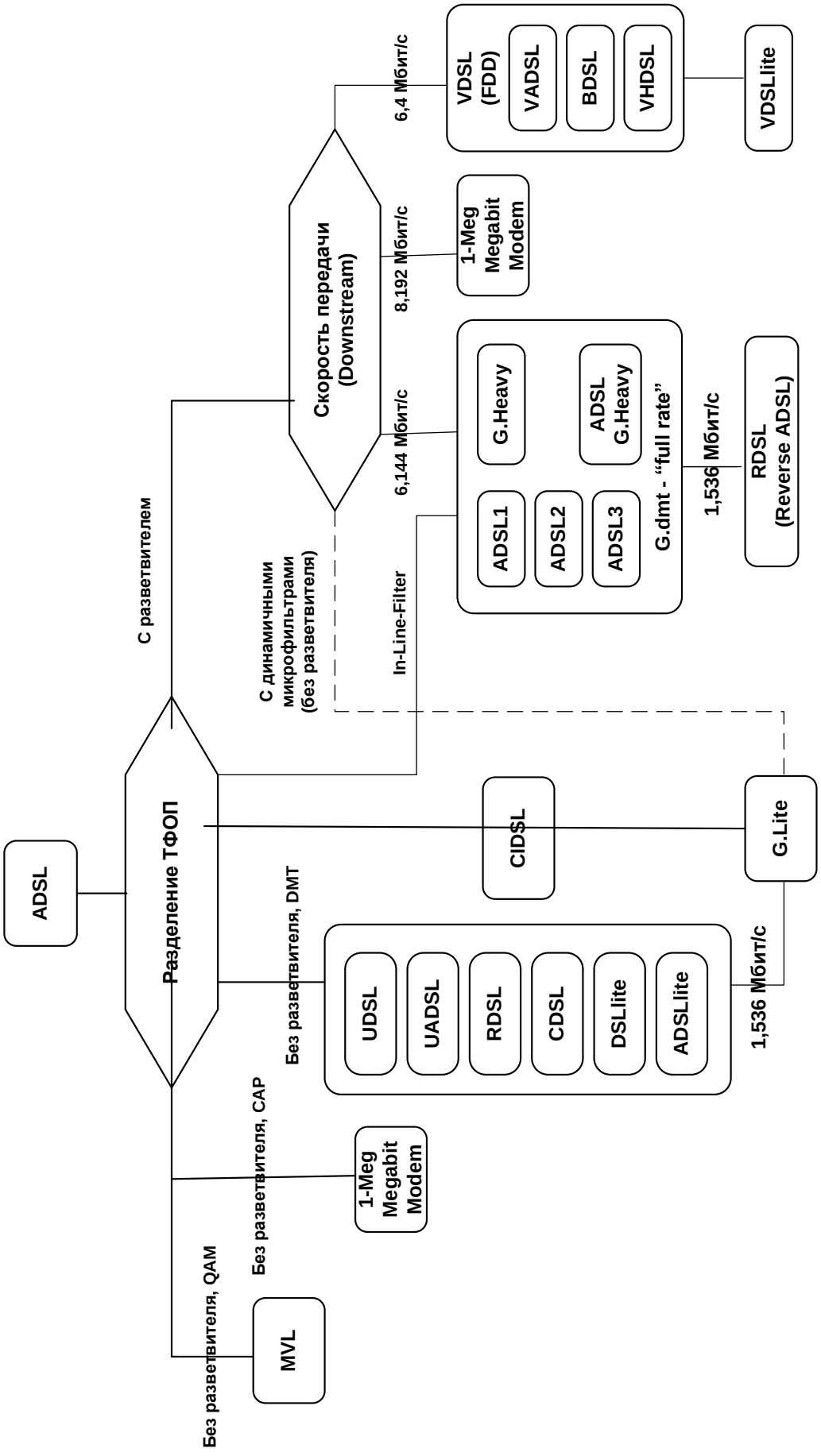


Рис. 14.15. Классификация асимметричных xDSL-технологий

Классификация асимметричных xDSL-технологий, предложенная в [1], показана на рис. 14.15.

Первые линии ADSL могли работать только на постоянных скоростях. Между тем решения ADSL могут регулировать скорость передачи в зависимости от качества линии. Из-за адаптивности скорости передачи эту технологию иногда называют RADSL (Rate Adaptive DSL). Различают ADS Lover POLS и ADS Lover ISDN. В зависимости от вида применения могут быть использованы различные диапазоны частот.

Первые версии ADSL имели следующие отношения скоростей передачи в прямом и обратном направлениях: ADSL1 – 1,5 Мбит/с / 16 кбит/с; ADSL2 – 3 Мбит/с / 16 кбит/с; ADSL3 – 6 Мбит/с / 64 кбит/с).

Более высокие скорости доступа к абоненту порядка 20–30 Мбит/с можно получить с использованием технологий ADSL2 и ADSL2+ (G.992.3, G992.4 и G992.5), которые были специально разработаны для достижения лучшей производительности на протяженных линиях и увеличения скорости передачи до 1 Мбит/с – в другом. Теоретически пиковая скорость передачи при использовании ADSL2+ может достигать 25 Мбит/с.

Еще более высокие скорости передачи достигаются с помощью технологий VDSL (Very Higt Bit-Rate Digital Subscreiber Line – сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия). В асимметричном режиме скорость нисходящего потока находится в пределах от 13 до 52 Мбит/с и восходящего – от 1,5 до 2,3 Мбит/с по одной медной паре телефонных проводов. Однако максимальное расстояние передачи данных для этой технологии – 1 300 м.

Для более протяженных линий характерны скорости передачи данных к абоненту 6–9 Мбит/с на расстояние 4 км и 1–3 Мбит/с на расстояние 6 км.

Асимметричные технологии xDSL без разветвителя

Внедрение ADSL на практике показало, что установка разветвителей связана с большими затратами. Поэтому идут поиски технологий ADSL, которые могут обойтись без разветвителя. Целым рядом фирм были предложены различные варианты исходя из уменьшения скорости передачи в обоих направлениях по сравнению с ADSL (например, MVL – Multiple Virtual Line DSL; CDSL – Consumer DSL; CiDSL – Consumerinstallable DSL). После проведения множества испытаний удалось сэкономить на разветвителе на стороне абонента, но практика показала, что во многих случаях передача без фильтра получается не всегда (Microfilter; distributedfilter; In-line-Filter). Технологии ADSL, не требующие разветвителя, были нормированы в МСЭ (G.992.1) и получили название G.Lite (а также и ASDL.Lite).

Технология асимметричной передачи цифровых потоков по обычной медной паре G.Lite согласно Рек. G.992.2 ITU-T предназначена для индивидуального использования со скоростями передачи информации не более 1,536 Мбит/с в сторону пользователя и 512 кбит/с в обратном направлении на расстояние до 3,5 км. С увеличением длины линии скорость передачи снижается [1].

Одним из самых популярных одно время был термин – VoDSL (Voice over DSL), что буквально означает передачу речевых сигналов по цифровым линиям сети абонентского доступа. В целом, данное обозначение подходит почти ко всем высокоскоростным технологиям xDSL. Отдельно выделяют VoSDSL и VoADSL, особенностью которых является сочетание сжатия речевых сигналов и ATM.

Спрос на ADSL-оборудование продолжает расти, а цены снижаются. Более того, постоянно совершенствуются как сами ADSL-устройства, так и средства управления ими. В результате по своим техническим характеристикам и надежности ADSL-системы практически не уступают симметричным DSL-решениям (SDSL, AHDSL и т. д.). Поэтому целесообразно более детально рассмотреть технологические особенности ADSL-систем.

Особенности технологии ADSL

Растущий спрос на услуги асимметричного доступа со стороны не только частных пользователей, но и отдельных представителей корпоративного сектора заставляет производителей заниматься дальнейшим совершенствованием технологии ADSL. В первую очередь, речь идет о повышении скорости передачи при фиксированной длине линии, а также об увеличении зоны охвата сети доступа при данной пропускной способности.

Появление стандартов на технологию ADSL второго поколения G.dmt.bis (G.992.3) и G.Lite.bis (G.992.4) определило параметры полномасштабной и усеченной (аналог G.Lite) версий ADSL2. Асимметричная технология xDSL второго поколения превзошла свою предшественницу по ряду показателей.

Прежде всего, это производительность. Применение 16-уровневого кодирования TC-PAM в сочетании с алгоритмом одноразрядной квадратурной амплитудной модуляции (QAM) позволило повысить эффективность модуляции и тем самым достичь более высоких скоростей передачи на длинных линиях с малым отношением сигнал/шум (SNR). В отличие от первого стандарта ADSL, спецификации ADSL2 предусматривают возможность программного изменения числа служебных бит в передаваемых пакетах. Если раньше на служебную информацию приходились 32 кбит/с, то теперь этот показатель может изменяться в диапазоне 4–32 кбит/с. Незначительный на первый взгляд выигрыш оказывается весьма существенным на линиях большой протяженности, когда вся полоса пропускания может составлять 128 кбит/с. Кроме того, на таких линиях (за счет усовершенствования процедуры формирования кадров ADSL2 с использованием кода Рида-Соломона) дополнительно повышен коэффициент усиления сигналов. Той же цели служит схема тонального переупорядочивания и расширения спектра нестационарных шумов. Наконец, повышению скорости передачи способствовал ряд изменений, внесенных в процедуру инициализации соединения.

Результат всех нововведений сводится к тому, что максимальная пропускная способность ADSL-каналов для нисходящего трафика увеличена до 12 Мбит/с. На линиях значительной протяженности (от 5,5 до 6,5 км) скорость передачи выросла на 50 кбит/с; при фиксированной скорости это эквивалентно увеличению длины соединения почти на 200 м.

Стандарты ADSL2 предусматривают и возможность многократного повышения скорости передачи путем объединения нескольких медных пар в один логический канал. В основе этого процесса – технология обратного мультиплексирования (Inverse Multiplexingfor ATM, IMA), стандартизованная в свое время консорциумом ATM Forum. Ее использование даст операторам дополнительную гибкость в предоставлении услуг разного качества и позволит довести суммарную скорость передачи нисходящего трафика до 40 Мбит/с.

Приемопередающее оборудование ADSL2 снабжается различными средствами диагностики. Они позволят выявлять и устранять неисправности на стадии инсталляции и в процессе эксплуатации, а также проводить мониторинг производительности канала связи в режиме реального времени.

В частности, предполагается, что устройства ADSL2, находящиеся на обоих концах соединения, станут измерять уровень шума в линии, коэффициент затухания сигнала и отношение SNR. Сбор такой информации позволит передавать трафик даже по линиям плохого качества и определять, можно ли предложить отдельным клиентам дополнительную полосу пропускания.

Существенный прогресс достигнут в области энергосбережения. Как известно, современное ADSL-оборудование работает в режиме максимального энергопотребления, даже если трафик в сети отсутствует. Стандартами ADSL2 предусмотрены три режима энергопотребления.

Основной режим (L0) используется, например, при обработке длинных файлов. В нем потребляемая мощность является максимальной, что соответствует наибольшей скорости передачи.

В экономичном режиме (L2), применяемом только оборудованием центрального офиса, при уменьшении интенсивности трафика на линии ADSL2 предусмотрен динамический переход на пониженное энергопотребление. Соответственно, снижается и скорость передачи. Переключения с L0 на L2 и обратно не сопровождаются прерыванием сервиса или появлением ошибок передачи; для пользователя они остаются незаметными.

Наконец, действие «спящего» режима (L3) распространяется и на операторские, и на клиентские устройства. Он используется при условии, что трафик в линии отсутствует продолжительное время.

Восстановление одного из рабочих режимов (L0 или L2) занимает менее 3 с. Столь короткое время инициализации (или реинициализации) соединения также является рекордным: на линиях ADSL это требовало около 10 с.

Еще одно важное новшество – прозрачная адаптация скорости передачи SRA (Seamless Rate Adaptation) в режиме реального времени с учетом изменившегося состояния канала. Процедура эта не сопровождается прерыванием сервиса или появлением ошибок передачи. Ее назначение – в удержании соединения при изменении уровня перекрестных помех, появлении возмущений от амплитудно-модулированных сигналов и т. п. В технологическом отношении адаптация скорости стала возможной благодаря разобщению уровней модуляции сигналов и формирования пакетов ADSL2: средства модуляции динамически изменяют скорость передачи, не влияя на кадровую синхронизацию.

Среди других преимуществ технологии ADSL2 перед ее «родительницей» следует отметить улучшенную совместимость продуктов разных производителей (благодаря упрощению процедуры инициализации соединения), возможность транспортировки ADSL-данных в «голосовой» полосе пропускания (что позволяет поднять скорость восходящего трафика на 256 кбит/с), поддержку передачи пакетного трафика, например Ethernet, по линиям ADSL2.

Следующим этапом развития стало принятие стандарта G.992.5 на технологию ADSL2+. Ее основное отличие от ADSL2 заключается в увеличении скорости передачи нисходящих потоков до 25 Мбит/с и даже больше на расстояниях до 900 м. При значительной длине соединений выигрыш в производительности оказывается не столь заметным, а после 2–3 км пропадает вовсе (рис. 14.16).

Скоростной резерв, обнаруженный разработчиками ADSL2+, «лежал на поверхности»: это расширение рабочей частотной области. Если стандартом G.992.3 для транспортировки нисходящего трафика предусмотрено использование частот в диапазоне 0,14...1,1 МГц (восходящий трафик находится ниже 0,14 МГц), то в ADSL2+ частотная планка поднята до 2,2 МГц. Это и дало резкое увеличение скорости. В качестве опции аналогичная возможность допускается и для восходящих потоков – опять же за счет удвоения верхней границы соответствующей области частотного спектра (с 0,14 до 0,28 МГц).

Важно отметить, что в соответствии со стандартами все оборудование ADSL2 и ADSL2+ будет совместимо с устройствами ADSL. Это заметно упростит задачу внедрения операторами нового сервиса.

Конечно, стандарт ADSL2+ не позволяет достичь 50-мегабитных скоростей, которые обеспечивает VDSL на дистанциях до 1,2 км, зато уже на двухкилометровом рубеже он уверенно опережает стандарт VDSL.

Цифровые абонентские линии стали первой из технологий широкополосного доступа, позволивших реализовать сервис пакетной телефонии на «последней миле».

Мультимегабитная пропускная способность линий xDSL позволяет выделить часть полосы пропускания под голосовой трафик без особого ущерба для передачи данных. При этом с самого начала доминировавшей технологией транспортировки голоса по каналам xDSL была ATM, но затем индустрия стала постепенно переходить на технологию VoDSL с протоколом IP [10].

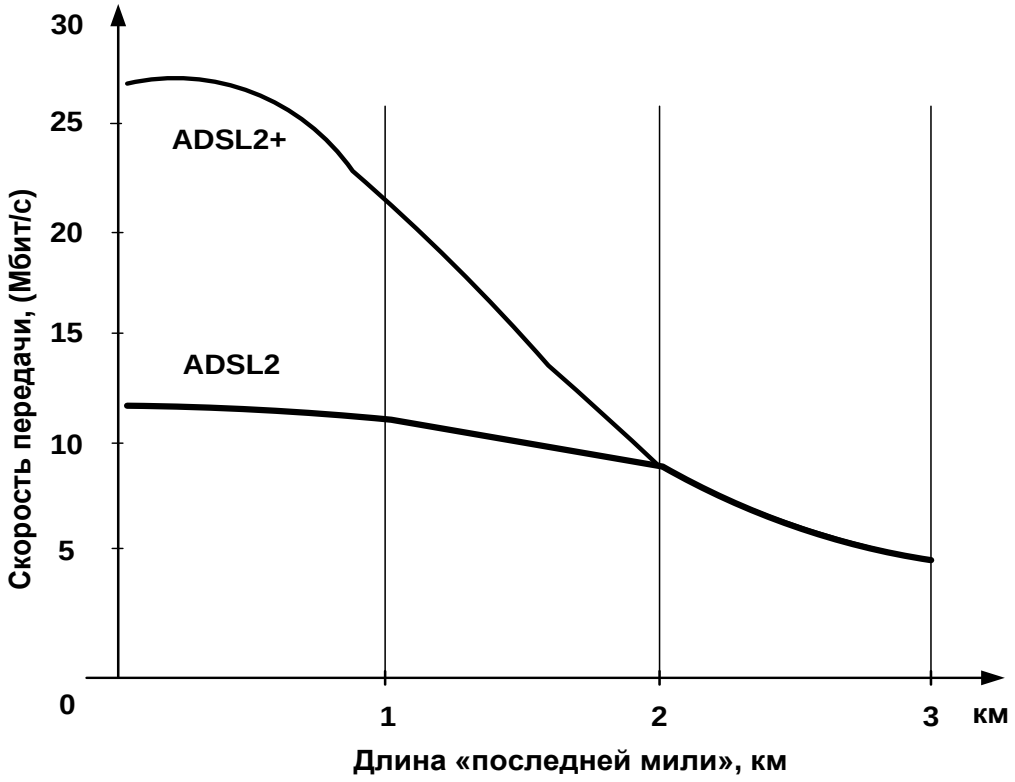


Рис. 14.16. Скорость нисходящего трафика по линии ASDL2+

Организация каналов телефонной связи по линии DSL(технология VoDSL)

Несмотря на то, что технологии DSL ориентированы, прежде всего, на высокоскоростную передачу данных, они могут являться платформой и для одновременной (с передачей данных) организации каналов телефонной (то есть голосовой) связи. Изначально некоторые технологии DSL поддерживали только один канал традиционной телефонной связи. Новые технологические решения позволяют провайдерам организовать по одной паре медных проводов не только передачу данных, но и до 24 каналов голосовой телефонной связи. Технология VoDSL в настоящее время успешно используется в разных сегментах рынка предоставления телекоммуникационных услуг, обеспечивая уровень гибкости и экономической эффективности, не достижимый при использовании более ранних технологий. Исходя из этого, многие провайдеры включили VoDSL в список предлагаемых пользователю технологических решений.

VoDSL (Voice over DSL – голос по/поверх DSL) позволяет обеспечить пользователей не только высокоскоростной передачей данных, но и большим числом простых телефонных соединений (технология VoDSL предоставляет пользователю до 16 телефонных каналов одновременно).

Следует отметить, что появлению технологии VoDSL способствовало то, что в 1996 году в США был принят Телекоммуникационный акт (TA 96). Сразу после этого на рынке телекоммуникационных услуг помимо официальных операторов связи (ILEC, Incumbent Local Exchange Carrier) появляются конкурентные операторы связи (CLEC – Competitive Local Exchange Carrier). У последних сразу возникли сложности с организацией сервиса, так как конечный участок до пользователя (в большинстве

случаев – это витая пара) CLEC приходилось арендовать у ILEC, своего основного конкурента, что стоило немалых денег. Технология VoDSL как раз и помогла решить задачу минимизации арендуемых у ILEC линий, чтобы обеспечить пользователей из сферы малого и среднего бизнеса как высокой пропускной способностью для передачи данных, так и большим числом телефонных соединений.

При этом пользователь должен иметь специальный DSL-модем. Поскольку по медному проводу идут и телефонные переговоры, и передача данных, у пользователя устанавливается специальный разделитель, от которого отходят две линии. Одна из них подключается к телефону, другая – к DSL-модему.

Данные от пользователя приходят сначала на местную телефонную станцию, а точнее, на установленный на ней мультиплексор доступа DSL (DSLAM, DSL Access Multiplexer). Такое оборудование устанавливается как ILEC, так и CLEC. После DSLAM данные идут в сеть провайдера Интернет. Это может быть ATM или frame relay (рис. 14.17).

Так как передается два вида трафика (голос и данные), необходима установка специализированного оборудования – интегрированного устройства доступа IAD (Integrated Access Device), предназначенного для объединения голосового и информационного трафика в линии DSL. Указанное оборудование преобразует исходящий голосовой трафик в пакеты IP или ячейки ATM, после чего они передаются на DSLAM вместе с данными.

Рис. 14.17. Передача информации по технологии V_0DSL

IAD предоставляет пользователю до 16 стандартных портов ТфОП (телефоны общего пользования) и услуги Интернет через ЛВС (например, типа Ethernet). После DSLAM голосовые пакеты поступают в голосовой шлюз, который располагается между DSLAM и коммутатором класса 5. Шлюз принимает и преобразует исходящие голосовые пакеты обратно в обычный трафик с коммутацией каналов, передаваемый на коммутатор класса 5, а далее – в телефонную сеть общего пользования.

С входящими вызовами происходит то же самое. Как обычно, вызовы приходят через коммутаторы класса 5. На голосовом шлюзе вызовы преобразуются в пакеты IP или ячейки ATM и передаются затем на DSLAM, направляющий их к потребителю. Там IAD преобразует их в традиционный трафик и маршрутизирует на телефоны потребителя.

Как уже упоминалось выше, в качестве транспорта для трафика с абонентского узла на мультиплексор DSLAM могут использоваться ATM, frame relay и IP. У каждого из них свои преимущества. Виртуальные каналы frame relay могут обеспечивать более высокий приоритет для голосового трафика. При использовании IP это сделать сложнее, но возможно. В принципе, важно не столько то, какой транспорт используется, сколько то, что он интегрирован с DSL. Самое главное, чтобы поставщики услуг могли предоставить

дифференцированное обслуживание – в зависимости от нужд пользователя. Причем пользователь не обязан знать, как работает весь этот механизм.

Возвращаясь к видам транспорта трафика, следует отметить, что многие провайдеры отдают предпочтение ATM. Они обосновывают свой выбор тем, что этот транспорт имеет встроенные средства обеспечения качества услуг для всех видов трафика (и для особо чувствительного ко времени голосового и видеотрафика). ATM может устанавливать приоритеты трафика для безопасной доставки пакетов. При использовании ATM поставщики услуг могут предложить разные тарифы обслуживания в зависимости от финансовых возможностей пользователя. Кроме того, провайдеры могут предложить соглашение об уровне сервиса SLA (Service Level Agreement), что гарантирует высокое качество предоставляемого обслуживания.

ATM способен обеспечить QoS, то есть предоставить большое число виртуальных каналов (ВК) передачи с малой задержкой (к задержкам в большей степени чувствительна телефония, чем информационный трафик).

Интегральный концентратор доступа DSL и коммутатор ATM (DSLAM) на узле доступа поддерживает требуемое качество передачи QoS и схему распределения пропускной способности, которую называют взвешенной справедливой очередью – WFQ (Weighted Fair Queuing), необходимой для передачи речи через DSL. Мультиплексоры DSLAM обеспечивают коммутацию и сигнализацию ATM в точке ввода трафика VoDSL в сеть доступа DSL. Именно поэтому информационный трафик не может использовать ту пропускную способность, которая необходима для передачи голоса. WFQ устанавливает приоритетное для речи распределение пропускной способности между двумя параллельными трафиками. Таким образом, речевой трафик всегда получит необходимую полосу независимо от других типов трафика.

Установленное в помещении пользователя интегральное устройство доступа (IAD) служит для преобразования потоков речи и данных в ВК для передачи по линии DSL. Помимо этого IAD может выполнять функции моста или маршрутизатора трафика ЛВС Ethernet и одновременно поддерживать большое число речевых соединений. Для обеспечения и поддержания QoS большого числа ВК мультиплексор DSLAM и IAD должны поддерживать классы услуг ATM – постоянной скорости CBR и переменной скорости в реальном времени VBRrt. Эти классы услуг гарантируют необходимую пропускную способность для ВК, используемых для передачи голосового трафика. Речевые ВК конфигурируются как соединения CBR или VBRrt с ограниченной потерей ячеек ATM и ограниченным транзитным временем задержки, что обеспечивает высокое качество речи. Поскольку ВК, используемые для телефонии, имеют более высокий приоритет, то передача данных по той же линии не мешает передаче речи. В зависимости от конкретных требований ВК для передачи данных могут быть конфигурированы как соединения с постоянной (CBR), переменной (VBR) или неопределенной (UBR) скоростью передачи. Соединения типа UBR не дают никаких гарантий ни пропускной способности, ни выполнения заданных требований к таким параметрам качества передачи QoS, как потеря ячеек и задержка. При отсутствии ресурсов пропускной способности для транспортирования ячеек типа UBR последние отбрасываются.

Переход к технологии VoDSL может выполняться последовательной заменой линий для передачи телефонии и данных. Пусть, например, предприятие имеет 10 телефонных линий для обслуживания своей 50-номерной УАТС (учрежденческой АТС) и одну линию frame relay, ISDN или E1 для доступа к Интернет. Оно может модернизировать свою сеть, заменив все 11 указанных линий одной симметричной цифровой абонентской линией типа SDSL (Single Line Digital Subscriber Line – однолинейная цифровая абонентская линия) с пропускной способностью до 2048 кбит/с. Тогда ВК этой линии заменят имеющиеся 10 телефонных линий и линию frame relay, ISDN или E1 для доступа к Интернет. Одновременная передача речи и данных методом VoDSL увеличивает эффективность

использования пропускной способности для каждого телефонного канала, даже если он не является активным. Таким образом в линии VoDS пропускная способность неактивных телефонных каналов может быть полностью использована для передачи данных, например для доступа к Интернет. Динамическое распределение пропускной способности линии VoDS, основанной на передаче ячеек ATM, между трафиком речи и данных происходит по определенному алгоритму только при существовании трафика для передачи. Подобное распределение пропускной способности позволяет пользователю оптимизировать потенциал пропускной способности каждой линии VoDSL, обеспечивая тем самым требуемое число телефонных соединений и максимально возможную скорость передачи данных. В связи с этим можно говорить о появлении новой экономичной модели доступа пользователя из сферы малого или среднего бизнеса к сетевым услугам с использованием всего одной медной пары.

Основным назначением речевого шлюза на местной АТС является преобразование речевых сигналов виртуальных каналов VoDSL, поступивших от DSLAM, в типовые 64 кбит/с каналы ИКМ и подключение их к речевому коммутатору. В обратном направлении вызовы в формате ИКМ преобразуются в речевые виртуальные каналы ATM, которые далее поступают в DSLAM, что обеспечивает требуемое качество телефонного разговора. Конвергенция речи и данных в рамках DSL увеличивает эффективность использования пропускной способности. Так как сеть доступа DSL использует передачу пакетов (или ячеек в случае ATM), то трафик VoDSL «потребляет» полосу только динамически, то есть только в случае необходимости. Вызовы VoDSL занимают полосу лишь тогда, когда являются активными. Если соединение VoDSL неактивно, то его полоса может быть занята любыми другими приложениями, например доступом к Интернет. При подобном динамическом распределении пропускной способности любое предприятие может оптимально использовать потенциал каждого соединения DSL, чтобы пользователям было предоставлено максимально возможное число телефонных соединений при максимально возможных скоростях передачи данных. Таким образом, благодаря интеграции большого числа телефонных линий и высокоскоростных соединений передачи данных в режиме постоянного включения (alwayson) VoDSL позволяет создать новую экономичную модель сетей связи предприятия. Конвергенция речи и данных в рамках VoDSL повышает эффективность сети путем оптимизации использования пропускной способности и исключения необходимости управления отдельными сетями. По сути дела VoDSL является не только продуктом использования технических решений DSL, но и результатом конкурентной борьбы между операторами связи. Приложение VoDSL выгодно как для конкурентных (CLEC), так и для традиционных операторов (ILEC). Так, CLEC способны предложить дополнительные услуги пользователям, а ILEC имеют возможность сократить инвестиции в инфраструктуру местной сети. Максимальный же выигрыш получают пользователи из сферы малого и среднего бизнеса, которые дополнительно к высокоскоростной передаче данных получают большое количество телефонных соединений. Однако, для того чтобы эта новая технология стала привлекательной для пользователей, необходима определенная работа.

Теперь остановимся на особенностях устройств интегрального доступа IAD. В настоящее время к этому классу относят целый ряд устройств, обычно располагающихся в помещении пользователя. Самым общим определением IAD может служить следующее: IAD – это устройства, позволяющие гибко и в кратчайшее время адаптировать все многообразие телекоммуникационных приложений пользователя (уже существующих и тех, которые могут появиться в будущем). Говоря более конкретно, IAD, как правило, представляют собой мультисервисные устройства с возможностью передачи речи и данных (а иногда также видео и факса), которые могут поддерживать протоколы ATM, IP, frame relay и xDSL.

Можно выделить два типа IAD.

Классические IAD типа TDM собирают разнородный трафик в стандартные основные цифровые каналы (64 кбит/с) в потоке T/E1 и направляют их к провайдеру услуг, который с помощью устройств цифровой кросс-коннекции разделяет речь и данные и, в свою очередь, направляет их к соответствующему оборудованию.

Перспективные IAD представляют собой концентраторы доступа типа ATM или устройства доступа frame relay с возможностью динамического распределения пропускной способности среды передачи.

IAD второго типа являются более эффективными, потому что работают через среду передачи, используемую совместно несколькими пользователями, и постепенно вытесняют IAD первого типа. В настоящее время создаются многофункциональные платформы доступа для магистральных сетей на основе SDH/SONET, обладающие функциями мультиплексоров ввода/выделения, цифровых плезиохронных систем, цифровых абонентских систем передачи (ЦСПАП, или DLC), маршрутизаторов доступа и мультиплексоров доступа ATM. Такие платформы интегрируют речь, данные и видео в одном тракте. Интегрированный доступ – это часть общей тенденции, заключающейся в конвергенции сетей с коммутацией каналов и сетей с пакетной коммутацией. Самыми привлекательными чертами новых IAD являются низкая цена и модульность построения. Наиболее дальновидные производители создают базовые IAD с набором основных функций и возможностью добавления новых услуг с помощью дополнительных линейных карт. Такие многофункциональные и многосервисные платформы доступа как нельзя лучше подходят для комплексов больших зданий со множеством арендаторов. Главная особенность перспективных сетей доступа – способность динамического распределения пропускной способности: для предоставления целого набора услуг служит одна совместно используемая инфраструктура доступа, что дает альтернативному оператору больше источников дохода при фиксированных затратах.

Важнейшим свойством современных IAD является то, что они изменяют модель работы провайдеров услуг. Более активные нетрадиционные операторы связи CLEC стараются принять трафик пользователя в его «натуральной форме», – то есть в виде пакетов IP и Ethernet или аналоговой речи, а не принуждают пользователя преобразовывать трафик в форму, удобную провайдеру услуг. Это расширяет периметр «облака сети» провайдера услуг практически вплоть до места расположения пользователя.

Технология VoDSL

Технология VoDSL максимально отвечает требованиям потребителей. Однако технический прогресс не стоит на месте. Новая технология – VeDSL (Voice-enabled DSL – DSL с поддержкой передачи речи) обладает, по словам специалистов, рядом преимуществ перед традиционными решениями для передачи речи по DSL-линиям типа VoDSL (Voice over DSL). Как правило, для реализации технологии VoDSL в распоряжении оператора должна быть ATM-сеть и установленный на АТС шлюз в ТфОП. Кроме того, на клиентской стороне должно иметься специальное интегрированное устройство доступа (IAD), так как между ним и шлюзом организуется постоянный виртуальный канал для передачи телефонного трафика. VeDSL же передает речевую информацию непосредственно на физическом уровне, не упаковывая ее в пакеты протоколов более высоких уровней, что позволяет упростить структуру сети. VeDSL не конфликтует ни с обычной телефонией, ни со стандартными методами передачи данных по линиям DSL. Кроме того, у VeDSL нет проблемы подавления эха, поскольку задержки здесь значительно меньше, чем при использовании VoDSL

VeDSL динамически резервирует часть общей полосы пропускания цифровой абонентской линии, исходя из числа каналов голосовой связи и способа сжатия речевой информации (64 или 32 кбит/с на канал). Оставшаяся часть может использоваться для передачи данных. Поддерживаются такие дополнительные функции телефонии, как

идентификация вызывающего абонента, уведомление о поступлении еще одного вызова во время разговора, а также модемная и факсимильная связь.

Технология CVoDSL

Неудовлетворенность ряда заказчиков качеством передачи голоса в системах VoDSL привела к появлению новой технологии CVoDSL (Channellized Voic over DSL), обеспечивающей организацию прозрачной (канализированной) передачи голосового TDM-трафика по линии DSL.

Главное отличие CVoDSL от технологий VoDSL заключается в том, что передача голосового трафика осуществляется на физическом уровне DSL. Оборудование CVoDSL резервирует «каналы» физического уровня, по которым голосовой трафик в виде ИКМ-потоков DS0 передается от клиентского устройства в центральный офис. Затем установленное у оператора оборудование непосредственно пересылает эти голосовые потоки на АТС.

Преобразование голосового трафика в IP-пакеты или ATM-ячейки при этом не используется, хотя в принципе оно не запрещено. В последнем случае трафик будет обрабатываться голосовым шлюзом, как в традиционных системах пакетной телефонии. Отсутствие пакетизации влечет за собой заметное уменьшение задержек передачи, повышение эффективности использования полосы пропускания, а также упрощение и удешевление соответствующих решений с точки зрения начальных и эксплуатационных расходов.

Для одной «прозрачной» телефонной линии как в восходящем, так и в нисходящем направлении резервируются 64 кбит/с. Применение сжатия, например, алгоритма адаптивной дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (АДИКМ), позволяет уменьшить этот показатель вдвое. Оставшаяся полоса пропускания будет доступна другим приложениям.

Сильной стороной технологии CVoDSL является возможность динамического выделения пропускной способности «прозрачному» голосовому трафику: если дополнительные телефонные линии не используются, соответствующая полоса отводится под трафик данных. Ключевую роль в этом процессе играет сигнализация. В соответствии с одним из предложений, под сигнализацию выделяется 32-кбит/с канал, по которому передаются служебные сообщения в формате HDSL, причем только в том случае, когда требуется изменить конфигурацию одного из «прозрачных» голосовых каналов.

Приняв во внимание ограничения на скорость передачи восходящего трафика по линиям ADSL, легко убедиться, что в сети ADSL-доступа вряд ли имеет смысл формировать свыше четырех дополнительных голосовых каналов. Для симметричных вариантов DSL (SDSL, SHDSL) их число больше, но при этом не будут поддерживаться традиционные услуги ТфОП. Важно отметить также, что CVoDSL допускает использование аналоговых модемов и факс-модемов в рамках полосы пропускания линии DSL.

Развертывание услуг CVoDSL потребует от операторов установки DSL-мультиплексоров доступа (DSLAM) нового поколения, которые станут прообразами мультисервисных платформ доступа (MSAP).

Основное отличие MSAP от устройств DSLAM заключается в их способности обрабатывать и трафик данных, передаваемый по «последней миле», и обычные телефонные вызовы, требующие маршрутизации в ТфОП. Отделение таких вызовов от вызовов CVoDSL и пакетов данных выполняется посредством частотной фильтрации. Платформа MSAP оцифровывает аналоговый телефонный трафик и направляет его на мультиплексирующую матрицу, где трафик агрегируется для последующей пересылки на АТС. Трафик CVoDSL поступает в MSAP через выделенный порт на DSL-процессоре. Он может быть направлен на голосовую матрицу для дальнейшей транспортировки в ТфОП либо преобразован в ATM- или IP-пакеты и отослан в сеть передачи данных.

Изменения претерпит и клиентское оборудование: интегрированные устройства доступа (IAD) должны будут поддерживать технологию CVoDSL. Реализовать такую функцию проще, чем поддержку пакетной передачи. В отличие от обычного устройства доступа оборудованию CVoDSL IAD не требуются средства сжатия и пакетизации речевого трафика, эхо-подавления и компенсации речевых пауз.

Архитектура CVoDSL отличается завидной гибкостью, что позволяет операторам реализовать соответствующий сервис в сетях с самой разной инфраструктурой. Для этого понадобится использовать DSL-мультиплексоры доступа следующего поколения, оборудование выноса номерной емкости, городскую АТС со встроенными функциями DSLAM, голосовой шлюз или пакетный коммутатор и т. д. CVoDSL обеспечивает высокое качество воспроизведения голоса, который передается без помощи высокоуровневых протоколов.

Вклад системы CVoDSL в одностороннюю передачу голосового трафика по сети составляет около 2 мс. Это в несколько раз меньше показателей оборудования для пакетной передачи.

Отсутствие служебной информации в заголовках пакетов приводит к резкому повышению эффективности использования имеющегося спектра; для систем CVoDSL она приближается к 100 %. Разделение на физическом уровнетрафика голоса и данных означает, что они перестают конкурировать за общую полосу пропускания. Более того, параметры передачи этих двух видов трафика (скорость, задержка, уровень ошибок и др.) могут быть настроены независимо – с учетом потребностей конкретных приложений. Тем самым в сети DSL облегчается приоритизация различных видов трафика, а поддержка QoS теперь требуется только применительно к потокам данных.

Это обстоятельство особенно важно при внедрении сервиса CVoDSL в той сети, где в качестве транспортной применяется технология ATM. Прозрачная передача голоса приводит к тому, что виртуальные каналы PVC приходится формировать только между устройствами, отвечающими за транспортировку данных.

Технология VDSL

Очень высокие скорости передачи в прямом и обратном направлении достигаются с помощью технологии VDSL. Ранее для VDSL использовались также обозначения VADSL, BDSL (Broadband DSL или VHDSL (Very High bit-rate DSL). Основные ее параметры: скорость – до 52 Мбит/с, расстояние – до 2,5– 3 км по витой паре.

VDSL (Very High Bit-Rate DSL) – это перспективный стандарт сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии, который обеспечивает самую высокую на текущий момент времени, среди всех xDSL технологий, скорость передачи данных. VDSL поддерживает скорость передачи данных до 52 Мбит/с по направлению к пользователю и до 1,5 Мбит/с по направлению от пользователя при небольшом расстоянии передачи (от 300 до 1300 м). Т. е. технология, как и ADSL, является асимметричной. Вообще же, при ее применении происходит обмен скорости на дальность, и можно варьировать параметры, увеличивая расстояние, на котором будут работать модемы. Однако в этом случае скорость будет меньше заявленных 52 Мбит/с. Расстояние и скорости передачи к абоненту и от абонента показаны в таблице 14.3.

Таблица 14.3.

Расстояние и скорости передачи в технологии VDSL

Расстояние (м)	Скорость передачи к абоненту, Мбит/с (downstream)	Скорость передачи от абонента, Мбит/с (upstream)
1500	12.96–13.8	12.96–13.8
1000	25.92–27.6	19.2
300	51.84–55.2	1.6–2.3

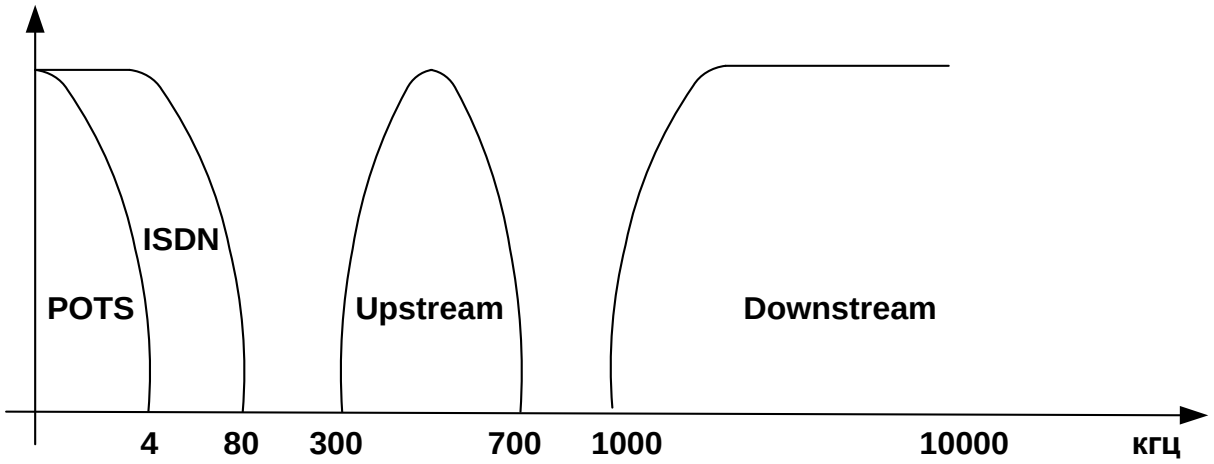


Рис. 14.18. Частоты телефонного сигнала (POTS), ISDN, upstream и downstream, составляющие VDSL сигнала

VDSL, как и технологии ASDL, могут прекрасно работать по существующим телефонным линиям, при этом не мешая обычной телефонии. Вдобавок ко всему, VDSL не мешает и работе ISDN (рис. 14.18).

Первый вариант спецификации технологии, получивший название VDSL или VDSL1, позволял передавать данные со скоростью до 24 Мбит/с, что соответствует предельным значениям скоростей передачи для технологии ADSL 2+. Новая спецификация технологии VDSL2 расширила диапазон скорости передачи до 100 Мбит/с. Технологии ADSL/VDSL можно рассматривать как единое семейство технологий, построенное на единых принципах и охватывающих широкий диапазон длин абонентских кабелей [3]. Здесь предусмотрена совместимость оборудования разных производителей, что поддерживается стандартами Euro-VDSL и Euro-VDSL2.

В заключение данного раздела приведем сравнительные характеристики основных технологий проводного доступа к услугам передачи данных (рис. 14.19) и к услугам мультисервисных сетей (рис. 14.20) [1].

14.5.5. Опыт США во внедрении и эксплуатации технологий DSL

Быстрый успех технологий DSL в США напрямую связан с возможностью организации высокоскоростного доступа в сеть Интернет по линиям DSL.Особенности данных технологий привели к тому, что линия DSL стала основным выбором отдельных пользователей и компаний, находящихся в процессе становления и развития. Ведь именно для этих категорий пользователей важно не только высокое качество связи, но и цена подобной услуги.

Рынок DSL не только уникален, но и многогранен. Здесь работают несколько категорий провайдеров, предлагающих DSL в качестве технологии высокоскоростной передачи данных различным категориям пользователей. Коммуникационные компании, в число которых входят операторы местной и ведомственной телефонной связи, операторы сетей передачи данных и операторы междугородной связи, предоставляют соединения на базе технологий DSL «оптом» либо другим провайдерам, либо непосредственно конечным пользователям. Все основные провайдеры включают технологии DSL в сферу своей деятельности и предоставляют пользователям услуги на базе этих технологий. В перечень подобных услуг входят не только организация высокоскоростного доступа в сеть Интернет, но и обеспечение высокоскоростной передачи данных для целых групп

пользователей, объединенных по территориальному признаку. Имеется ввиду подключение многоквартирных домов, офисных зданий, гостиниц и т. п.

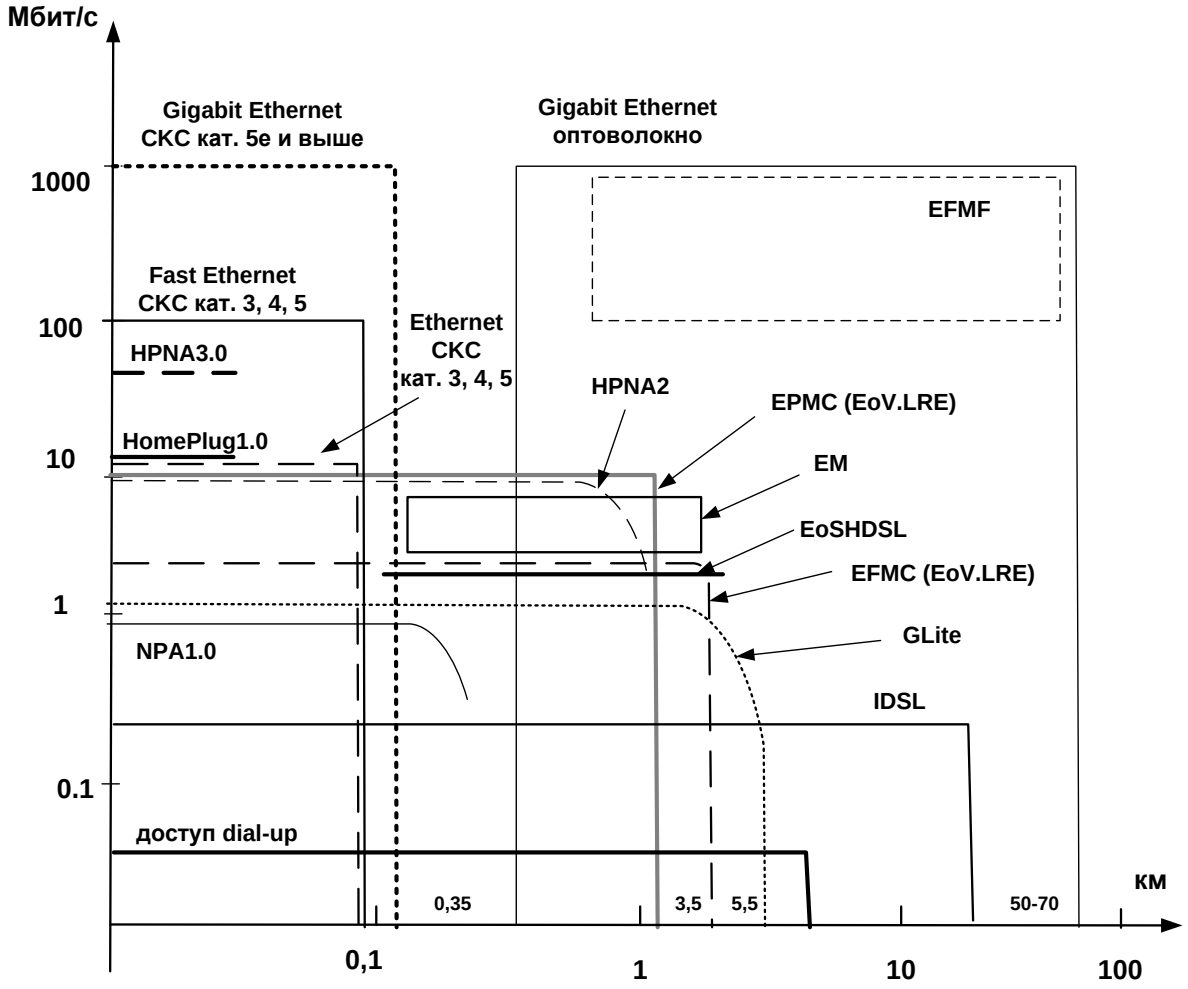


Рис. 14.19. Сравнение технологий проводного доступа к услугам ПД

Можно выделить основные категории пользователей (целевые рынки), в число которых входят, в частности, домашние офисы, удаленные офисы, малые, средние и большие предприятия, сотрудники различных компаний, работающие вне офиса, а также квартиры и частные дома.

Одним из аспектов, влияющих на рынок технологий DSL, является потребность в эффективном с экономической точки зрения средстве высокоскоростной передачи данных и доступа в сеть Интернет. В течение длительного времени представители малого и среднего бизнеса испытывали определенные трудности с организацией сетей передачи данных бизнес-класса, которые оправдывали бы затраченные на них средства. Основным препятствием была высокая стоимость линий высокоскоростного доступа отдельных пользователей. До создания технологий DSL такие пользователи могли выбирать только между передачей данных с помощью низкоскоростных аналоговых модемов (с необходимостью набирать телефонный номер перед каждой установкой соединения) и высокоскоростной, но очень дорогой, выделенной линией T1 или E1. Технологии DSL предоставили таким пользователям возможность иметь надежное соединение бизнес-класса (и, значит, соответствующего качества) по очень привлекательной цене. Современный бизнес, нормальное функционирование которого базируется на использовании глобальных сетей, уже не может не только вообще обходиться без связи, но и полностью полагаться на ненадежные и низкоскоростные аналоговые службы передачи данных.

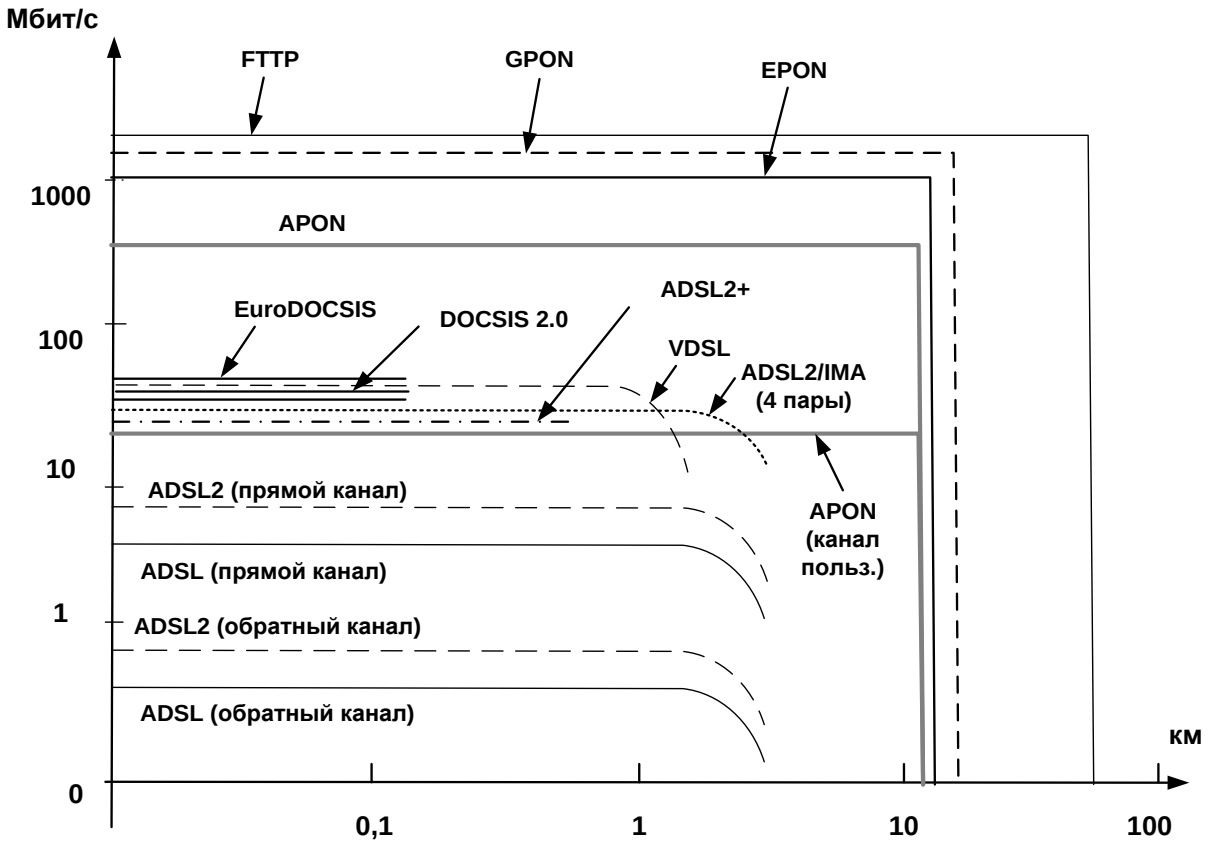


Рис. 14.20. Сравнение технологий проводного доступа к услугам МСС

Услуги на базе технологий DSL

До настоящего времени предоставление услуг на базе технологий DSL было в основном связано с доступом в Интернет. Однако провайдеры должны учитывать все многообразие возможностей данных технологий, чтобы при создании стратегии развития DSL выбрать наиболее выгодный путь. Это позволяет максимально увеличить инвестиции и гарантировать развитие в условиях конкуренции. Технологии DSL предоставляют возможность создания высокоскоростного соединения для успешно развивающихся небольших компаний, учрежденческих автоматических телефонных станций и достаточно большого количества тех сотрудников различных компаний, которые работают вне офиса.

Многоканальная телефонная и факсимильная связь

Многим представителям даже малого бизнеса необходимо большое количество телефонных линий. При этом они просто не в состоянии осилить затраты на выделенную линию T1/E1, и единственным выходом для них оказывается использование телефонной сети общего пользования. Однако не каждая компания может позволить себе провести в свой офис достаточное количество физических линий. Что уж говорить о работающих на дому сотрудниках, имеющих одну телефонную линию и вынужденных выбирать между телефонными разговорами и передачей данных. Некоторые из них вынуждены прокладывать дополнительную телефонную линию или пользоваться дорогой линией IDSN.

Электронная почта и передача данных

При определении коммуникаций высокого класса электронная почта становится определяющим приложением. За последние несколько лет размер файлов, прикладываемых к письмам, передаваемым по электронной почте, значительно возрос. Это оказывает существенную нагрузку на электронную почту, изначально созданную для передачи небольших текстовых файлов. Прием и передача объемных файлов по

низкоскоростным линиям приводит к увеличению времени соединения и соответственно к росту затрат.

Доступ в Интернет

Сеть Интернет стала мощным инструментом ведения бизнеса. Она позволяет собирать информацию, проводить исследования и анализ, размещать рекламу и наконец, вообще вести весь свой бизнес в сети. Пользователи, использующие для доступа в Интернет аналоговые модемы, вынуждены огромное (и, добавим, оплачиваемое ими) время тратить на ожидание загрузки нужных страниц.

Создание VPN (виртуальных частных сетей)

Постоянные вложения средств в создание и поддержание работы учрежденческих телефонных станций и ЛВС приводят к необходимости создания безопасного и эффективного инструмента соединения их между собой. Многие представители малого бизнеса поддерживают связь со своими клиентами, поставщиками и партнерами по безопасным сетям VPN. Однако обычно эти системы функционируют в виде медленных и дорогих соединений на базе протокола PPP.

Многие провайдеры используют технологии DSL для проникновения на рынок малого бизнеса, учрежденческих станций и удаленных (с точки зрения расстояния) работников. Технологии DSL поднимают существующую кабельную инфраструктуру на уровень высокоскоростного соединения, одновременно с этим значительно понижая расходы пользователей. При помощи линии DSL пользователи значительно упрощают свои коммуникационные заботы и могут целиком сосредоточиться на развитии своего бизнеса.

Одна линия DSL поддерживает до 24 каналов телефонной связи плюс одновременную передачу данных, что способно удовлетворить потребности в связи практически любого пользователя не только в техническом плане, но и с точки зрения расходов.

Высокоскоростное и всегда установленное соединение

DSL обеспечивает всегда установленное высокоскоростное соединение, что исключает необходимость набора телефонного номера каждый раз, когда нужно проверить электронную почту или отправить письмо.

Широкая доступность

Многие потенциальные пользователи находятся на достаточно большом расстоянии от станций, но современные технологии DSL позволяют увеличить предельную длину абонентской линии до 10-11 км.

Простота в установке

Частные пользователи и небольшие компании могут не иметь технического опыта для установки сложного телекоммуникационного оборудования. Применяя созданое на основе plug-and-play оборудование, пользователи больше не должны заботиться о его установке и сложной настройке.

Одна из самых важных особенностей технологий DSL заключается в возможности изменения масштаба предоставляемого обслуживания. Каждый пользователь имеет возможность выбрать тот уровень предоставляемой услуги, который необходим в каждом конкретном случае. Пример приведен в нижеследующей таблице 14.4, составленной по информации компании Copper Mountain.

Очень соблазнительно начать с предложения технологий DSL только для организации доступа в сеть Интернет, назначив за такой доступ цену, конкурентоспособную по отношению к другим технологиям, используемым на местном рынке. Однако провайдеры должны разрабатывать более устойчивую рыночную стратегию, основанную, прежде всего, на выяснении потребностей потенциальных пользователей и «свободных ниш», имеющихся на рынке. Большинство людей склонно

Таблица 14.4

Уровни обслуживания пользователей

	Уровень предоставляемого обслуживания		
	I	II	III
Представители малого бизнеса	Доступ в Интернет. Скорость симметричной передачи данных 144 кбит/с. Статический IP-адрес. Буфер защиты внутренней сети. Электронная почта	Доступ в Интернет и поддержка сервера. Скорость симметричной передачи данных 384 кбит/с. Имя домена. Буфер защиты внутренней сети. Электронная почта. Оборудование пользователя с трансляцией сетевого адреса (NAT) и IP-маршрутизацией	Доступ в Интернет, поддержка сервера и многоканальная телефонная связь. Скорость симметричной передачи данных 768 кбит/с. Имя домена. Буфер защиты внутренней сети. Электронная почта. Оборудование пользователя с NAT- и IP-маршрутизацией. Функции вызова. Местная и междугородная телефонная связь
Учрежден-ческие станции	Доступ в Интернет. Скорость симметричной передачи данных 384 кбит/с. Статический IP-адрес. Электронная почта. Буфер защиты внутренней сети. Сеть VPN в Интернет	Доступ в Интернет. Скорость симметричной передачи данных 384 кбит/с. Статический IP-адрес. Электронная почта. Буфер защиты внутренней сети Сеть VPN в Интернет	Доступ в Интернет, поддержка сервера и многоканальная телефонная связь. Скорость симметричной передачи данных 1,5 Мбит/с. Имя домена. Буфер защиты внутренней сети. Электронная почта Контролируемое оборудование пользователя с NAT- и IP-маршрутизацией
Сотрудники, работающие вне офиса	Доступ в Интернет. Скорость симметричной передачи данных 384 Кбит/с. Электронная почта. Буфер защиты внутренней сети. Сеть VPN в Интернет	Доступ в Интернет и вынос ЛВС или УАТС. Скорость симметричной передачи данных 768 кбит/с. Буфер защиты внутренней сети. Электронная почта. Контролируемое оборудование пользователя	Доступ в Интернет, поддержка сервера и многоканальная телефонная связь. Скорость симметричной передачи данных 1,5 Мбит/с. Имя домена. Буфер защиты внутренней сети. Электронная почта. Контролируемое оборудование пользователя с IP-маршрутизацией

концентрироваться на вопросах улучшения текущей ситуации, поэтому внедрение на рынке новой услуги (на базе новой технологии) и количественная оценка темпов внедрения этой услуги могут потребовать определенной подготовки. Некоторые из важных особенностей технологий DSL (например, установленное на постоянной основе соединение и облегченное использование высокоскоростного канала передачи данных) не всегда понимаются абонентами правильно и в полной мере.

Вступление на рынок

При выходе на рынок телекоммуникационных услуг с новой технологией может потребоваться наглядная демонстрация главных преимуществ этой технологии целевым группам пользователей. Это, конечно же, приводит к увеличению объемов подготовительных работ, но анализ реакции пользователей на возможности новых технологий в любом случае дастпровайдеру существенные преимущества в конкурентной борьбе.

Создание бизнес-плана

На ведение бизнеса, связанного с внедрением технологий DSL, влияют разнообразные внешние факторы, которые провайдер обязательно должен учитывать. В число этих факторов входят, в частности, соединение со шлюзом провайдера Интернет, установка оборудования для пользователя на узле связи и оборудование DSL, размещаемое в помещении пользователя. К обстоятельствам, напрямую влияющим на модель ведения бизнеса, относится не только привлечение пользователей и маркетинг, но и множество вопросов чисто технического характера. Создание плана для организации доступа с использованием технологий DSL не слишком обременительная техническая задача. Создание же бизнес-плана для ориентированной на конкретный рынок услуги может занять значительно больше времени, однако при этом гарантирует гораздо более высокую прибыль. Независимо от того, какой метод используется для предоставления обслуживания, бизнес-план должен быть «живым» документом, который регулярно обновляется и содержит реальные пути достижения финансового успеха данного бизнеса.

Планирование и ввод обслуживания в действие

Планирование службы DSL требует очень точной оценки ее совместимости с другими предоставляемыми провайдером услугами, а также представления понимания о том, как она повлияет на существующую стратегию деятельности провайдера. Для защиты хорошо отлаженной базы получения прибыли многие провайдеры изначально планируют свою службу таким образом, чтобы она как можно меньше конкурировала с другими технологиями. Однако по мере увеличения конкуренции в области представления услуг на базе технологий DSL провайдерам придется планировать расширение своей деятельности за границы гарантированно защищенной. Если основным соображением является защита существующих прибылей, очень важно четко определить границы потенциального воздействия. Не исключено, что при планировании будет выявлен следующий факт: существующие услуги предоставляются таким образом, что внедрение технологий DSL практически не окажет никакого отрицательного воздействия на получаемые доходы. После создания первого контура данной услуги провайдеру необходимо определиться в других ее аспектах, например в выборе дополнительных систем, поддерживаемых линиями DSL, таких как VoDSL, FRoDSL, VPN и многих других приложений. Экономическая выгода от предоставления многогранной услугина базе технологии DSL несомненна. Провайдеры получат возможность не только привлечь наибольшее количество потенциальных пользователей, но и увеличить доход, обеспечиваемый каждым абонентом, а также оптимизировать прибыль, получаемую от каждой абонентской линии.

Дифференциация обслуживания

Это, безусловно, один из самых непростых аспектов планирования службы, который по мере расширения рынка DSL будет только усложняться. Дифференциация

обслуживания должна совпадать с общей стратегией провайдера, но при этом идти немного дальше простой дифференциации базовых услуг DSL. Сервисный провайдер, который рассматривает DSL как услугу на более чем 12 месяцев вперед, рискует со временем разойтись во взглядах с потенциальными пользователями. Для каждого сегмента рынка, объединяющего какой-либо один тип потенциальных пользователей, должны быть разработаны отдельная схема и соответствующий комплект услуг.

Препятствия на пути внедрения услуги

Большинство сложностей при внедрении службы DSL связано с получением точной и своевременной информации о состоянии абонентской линии и с минимизацией затрат на предоставление обслуживания абоненту. Важной целью, к которой нужно стремиться, является возможность быстрой предварительной оценки пригодности линии, призванной предоставлять обслуживание тем абонентам, которые приобрели необходимое оборудование DSL и обратились за обслуживанием. На этом этапе очень важно скоординировать действия операторов сетей передачи данных и операторов местной связи для предварительной проверки абонентских линий и устранения всех обнаруженных на этих линиях неисправностей. Другой особенностью предоставления данной услуги является снижение объемов работ, связанных с установкой и настройкой оборудования DSL в помещении пользователя, и необходимость организации службы поддержки пользователей. Нужно предусмотреть группу специалистов-универсалов, способную справиться с решением любой проблемы потенциального клиента и выполнить все стадии работ – от первого обращения до завершения установки пользовательского оборудования.

Управление техническими средствами

По мере расширения службы управление техническими средствами усложняется. Работа с заказами и установка оборудования доступа представляют собой сложный процесс, в который вовлечено большое количество участников. Провайдеру DSL может потребоваться некоторое время на то, чтобы отработать этот процесс со своими партнерами, в частности с операторами местной связи.

Вопросы, касающиеся выбора платформы

Вопрос выбора платформы и производителя оборудования является одним из центральных вопросов внедрения любой службы. Несмотря на то, что каждый сервисный провайдер имеет собственный уникальный набор технических функций и требований, идущих от корпоративной стратегии и маркетинговой политики, существуют определенные фундаментальные требования, которые должны учитываться в любом случае.

Возможность совершенствования функций платформы

Независимо от того, должно ли оборудование поддерживать Frame Relay, VPN или какую-либо конкретную конфигурацию сети пользователя типа PPP по ATM либо PPP по Frame Relay, стратегия и платформа службы должны обладать определенной гибкостью, достаточной для добавления новых услуг, если этого потребует рынок. Планирование будущей поддержки каких-либо служб (таких как VoDSL или других приложений) является обязательной стратегической задачей, которая позволит оптимизировать инвестиции в платформу DSL.

Возможность изменения масштаба платформы

Независимо от количества ожидаемых пользователей вопрос возможности изменения масштаба платформы должен рассматриваться в обязательном порядке. Выбор платформы должен соответствовать планам развития каждой опорной станции, а также учитывать возможность поддержки удаленных пользователей, например через MTU (Multi-tenantunit).

Автоматическая предварительная оценка

Автоматическая предварительная оценка соединений между оборудованием DSL,

устанавливаемым в помещении пользователя, и концентратором DSL на станции, позволяет упростить предоставление обслуживания абоненту, потому что исключает необходимость отправлять техников для настройки пользовательского модема и оборудования провайдера. Кроме того, предварительная проверка позволяет значительно повысить скорость предоставления обслуживания. Решение задачи предварительной оценки соединений является определяющим для быстрого увеличения числа подключенных пользователей. Отсутствие средств эффективной предварительной проверки и инструментов поиска и устранения неисправностей можетзначительно повлиять на сроки и возможность возврата вложенных в службу средств.

Инструменты поиска и устранения неисправностей

По мере увеличения числа пользователей инструменты поиска и устранения неисправностей становятся все более важным элементом поддержания нормального функционирования службы и предоставления высококачественного обслуживания. Процедура изолирования неисправностей должна быть как можно более простой и проводимой максимально быстро. Постоянный контроль рабочих характеристик системы и анализ неисправностей позволяет гарантировать, что большинство неисправностей будет обнаружено и устранено до того, как начнет влиять на качество обслуживания.

Многофункциональная платформа

Провайдеры должны быть уверены, что выбранная платформа DSL имеет многофункциональные возможности и может поддерживать обслуживание всех сегментов рынка DSL, включающих и частных пользователей, и представителей бизнеса, и учрежденческие станции, и сотрудников компаний, работающих вне офиса.

Обязательная отчетность

Возможность создания отчетов о работе службы важна для любого провайдера DSL, но особенно для тех, кто предоставляет услуги бизнес-класса. По мере возрастания конкуренции в области предоставления таких услуг возможность оптимизации службы на базе анализа информации о ее работе становится определяющей.

Взаимодействие платформы

Каждая стратегия предоставления обслуживания устанавливает свои специфические требования, но в обязательном порядке провайдер при выборе платформы должен предусмотреть три основные области взаимодействия.

1. Взаимодействие с оборудованием, устанавливаемым в помещении пользователя. К тому времени, когда технологии DSL и предоставление обслуживания на их базе достигнут достаточно высокой степени развития, пользователи будут приобретать необходимое им оборудование по различным каналам. Это приведет к значительному повышению требований к провайдеру. Ведь тогда провайдер должен будет обеспечивать взаимодействие своей службы с широким диапазоном пользовательского оборудования. Степень такого взаимодействия изменяется в широких пределах в зависимости от используемой технологии DSL и производителя оборудования.

2. Взаимодействие с магистральной сетью. Обеспечение беспрепятственного доступа и интеграция в магистральную сеть значительно упрощают все аспекты создания, планирования, внедрения и эксплуатации службы DSL. Возможность взаимодействия с сетями IP и ATM значительно расширяет гибкость данной службы.

3. Взаимодействие с телефонной сетью. Если стратегия обслуживания включает в себя поддержку каналов телефонной связи (например, в виде VoDSL), исключительно важно предусмотреть возможность взаимодействия платформы DSL с телефонной сетью общего пользования.

Что день грядущий нам готовит?

DSL по целому ряду причин представляет собой технологию, которая будет использоваться на абонентской телефонной линии достаточно долго. Во-первых, потому,

что уже сейчас данные технологии получили распространение по всему миру. Постоянно возрастающий уровень конкурентной борьбы на местных рынках за право предоставления услуги высокоскоростного доступа (независимо от того, какая технология лежит в основе, включая и технологии беспроводного доступа) подстегивает сервисных провайдеров к их погоне за пользователем. Наличие у пользователей модемов DSL заставит провайдеров постоянно расширять зоны предоставления обслуживания. По мере того, как пользователи будут все лучше узнавать возможности новых технологий и, что более важно, зависеть от наличия высокоскоростных соединений, потребность в таких технологиях из узкопрофессиональной и любительской превратится в общепотребительскую.

Во-вторых, технологии DSL будут использоваться для поддержки стандартных служб передачи голоса и данных, а также для базового доступа в сеть Интернет, который поддерживается в настоящее время. Технологии DSL будут служить инфраструктурой недорогого и эффективного доступа, расширяющей возможности и распространение таких служб, как Frame Relay и VPN. Использование технологии VoDSL позволит наладить значительно более эффективную и экономичную телефонную связь по сравнению с той, что используется на современной телефонной сети общего пользования. Во многих случаях успешное применение технологий DSL пройдет попросту незамеченным, поскольку конечные пользователи даже не догадаются, что пользуются плодами новых технологий.

Возрастающая конкуренция на рынке магистральных сетей передачи данных приведет к необходимости внедрения новых служб при минимальных капитальных вложениях. И наконец, решение проблемы высокоскоростной передачи данных по абонентской телефонной линии предоставляет конечным пользователям исключительную возможность обмена информацией. Технологии DSL позволяют ликвидировать разрыв между скоростью обработки информации и скоростью ее передачи по телефонным линиям.

Провайдеры CAD

По мере возрастания общего уровня конкуренции в телекоммуникационной индустрии возросла и конкуренция в сфере внедрения эффективных высокоскоростных служб передачи данных на новых телекоммуникационных рынках. Эта конкуренция не только захватила традиционные рынки телекоммуникаций, но и затронула провайдеров кабельных и беспроводных служб передачи информации. Частные лица и компании (в основном находящиеся в городах), независимо от их типа и размера, стали иметь возможность выбора из достаточно большого количества провайдеров, представляющих на рынке различные технологии передачи данных.

Существует несколько категорий провайдеров DSL, каждая из которых использует собственный метод работы на том рынке, на который ориентируется. Изначально большинство провайдеров предлагали свои услуги только представителям малого и среднего бизнеса. В настоящее время технологии DSL распространились на некоторые новые сегменты рынка, которые охватывают и сотрудников различных компаний, работающих вне офиса, и учрежденческие телефонные станции. Та модель организации доступа по медной абонентской линии, которая в свое время была внедрена в США, быстро распространилась по всему миру и стала нормой для Европы.

Операторы СПД, развивающие технологии SDSL или IDSL, обычно предоставляют доступ по второй (выделенной) линии. Другими словами, линия передачи данных DSL организуется на отдельной медной абонентской линии (отдельной от той, по которой оператор местной связи предоставляет абоненту обычную телефонную связь). Такая линия не поддерживает одновременную работу канала телефонной связи. Если линия DSL ведет в офис какой-либо компании, то в качестве альтернативы обычной телефонной связи может использоваться технология VoDSL (более подробно об этой технологии рассказывалось выше).

В США операторы сетей передачи данных успешно применяют законодательство, регламентирующее совместное использование абонентских линий операторами СПД и операторами местной связи, чтобы еще больше продвинуться на рынок частных пользователей, увеличивая тем самым свои прибыли. Более того, использование самых современных технологий позволяет провайдерам гарантировать значительное улучшение работы (как для частных пользователей, так и для представителей бизнеса) с приложениями, требующими передачи больших потоков данных (видео, телевидение и радиовещание).

Операторы сетей передачи данных (CLEC)

В США CLEC (Competitive Local Exchange Carrier) – это компании, которые обеспечивают работу сетей передачи информации (нашим аналогом являются операторы сетей передачи данных – (СПД). Операторы сетей передачи данных, работающие на данном рынке, сосредоточены на установке и развитии сетей доступа на базе технологий DSL. В основном это провайдеры национального масштаба, работающие только в крупных и средних городах или охватывающие целые регионы. Хотя зачастую некоторые сравнительно недавно созданные компании вынуждены довольствоваться и меньшими сегментами рынка.

Большинство крупных операторов сетей передачи данных предоставляют «оптом» доступ на базе технологий DSL Интернет-провайдерам (ISP), которые, в свою очередь, предоставляют услуги конечным пользователям. По мере роста потребности частных пользователей в высокоскоростном доступе на базе DSL операторы СПД начали предлагать своим партнерам (Интернет-провайдерам) обслуживание пользователей. Некоторые операторы сосредоточились на представителях малого и среднего бизнеса, другие предоставляют большим корпорациям возможность организовать работу сотрудников вне основного офиса.

Операторы междугородной связи (IXC)

Междугородная связь является достаточно новой областью применения технологий DSL. Ведущие операторы междугородной связи имеют хорошо развитый бизнес и постоянные группы пользователей. В сферу их деятельности входит обеспечение телефонной связи и передачи данных в национальном масштабе. При использовании технологий DSL операторы междугородной связи обычно ориентируются на представителей бизнеса – малого и среднего.

Операторы ведомственных сетей связи (IOC)

В США компании IOC (Independent Operating Carrier) представляют собой небольшие компании (аналогичные нашим операторам ведомственных сетей связи) с точки зрения получаемой прибыли, количества линий и масштаба своей организации. Эти компании обычно предоставляют услуги передачи голоса и данных по телефонной сети общего пользования как частным пользователям, так и организациям.

Операторы местной связи

В США операторы местной связи ILEC (Incumbent Local Exchange Carrier) – это компании, являющиеся крупными операторами местной связи. К ним относятся, например, компании, которые к моменту возникновения конкуренции на рынке предоставления услуг связи занимали доминирующие позиции; в основном они и организовали изначально рынок таких услуг. В мире очень часто такими компаниями являются либо национальные операторы телефонной связи, либо телефонные компании крупных городов (подобно МГТС в Москве).

Сегмент рынка, обслуживаемый обычно операторами местной связи, достаточно многообразен и включает в себя большое количество различных групп пользователей, заинтересованных в предоставлении им связи на базе технологий DSL. Это и представители бизнеса, и отдельные абоненты или группы абонентов. Особое внимание уделяется предоставлению услуг на базе технологии DSL представителям малого бизнеса.

Обычно операторы местной связи развивают технологии DSL, позволяющие организовать высокоскоростную передачу данных по той же самой линии, которая используется абонентом для традиционной телефонной связи. Впрочем, это не мешает тем же самым операторам предоставлять своим пользователям и выделенные линии.

В настоящее время операторы местной связи все больше концентрируются на предоставлении услуг DSL представителям малого и среднего бизнеса (как, пожалуй, самому перспективному сегменту рынка). Налаживание партнерства с производителями компьютерного оборудования, модемов, а также с Интернет-провайдерами позволяет расширить сферу применения технологий DSL и повысить эффективность их использования.

Интернет-провайдеры (ISP)

Обеспечение высокоскоростного доступа в Интернет является одним из самых важных направлений применения технологий DSL, которое может охватить весь спектр провайдеров – от самого высокого уровня до местных Интернет-провайдеров, предоставляющих доступ в Интернет конечным пользователям. За исключением небольшого количества ориентированных на доступ в Интернет операторов сетей передачи данных, Интернет-провайдеры не развивают собственные сети DSL. Вместо этого они приобретают доступ на базе технологии DSL у соответствующих операторов сетей передачи данных и операторов местной связи.

В число абонентов, на которых ориентируются Интернет-провайдеры, входят наиболее «продвинутые» частные пользователи, представители малого и среднего бизнеса, а также некоторые представители большого бизнеса. Однако большая часть Интернет-провайдеров обслуживает малый и средний бизнес, предоставляя соединение со скоростью от 128 кбит/с до 1,5 Мбит/с (усеченный канал T1/E1). Стоимость услуг этой части провайдеров может изменяться в достаточно широких пределах, поскольку зависит от уровня цен на местном рынке и от цен, предлагаемых партнерами.

14.6. Технологии группы КТВ

Предоставление услуг широкополосного доступа с помощью сетей КТВ является одним из методов использования существующей инфраструктуры. Подобно технологии DSL, которая формирует каналы широкополосного доступа по телефонным парам, технология доступа по сетям КТВ использует коаксиальные кабели, которые приходят в каждую квартиру, оснащенную телевизором сети КТВ.

Во многих странах число таких квартир не меньше числа стационарных домашних телефонов. Но если технология DSL сталкивается с проблемой разработки специальных технических решений, чтобы расширить полосу передачи данных, то в технологии традиционного кабельного телевидения такой проблемы нет. Коаксиальные кабели в сетях КТВ, в отличие от витой пары категории 3 и 4 в традиционных телефонных сетях, обеспечивают передачу сигнала в диапазоне до 1 ГГц. Это означает, что сети КТВ технически более приспособлены для широкополосного доступа в современных ИКС, чем традиционные телефонные кабели [1].

Использование сетей КТВ для построения интерактивных сетей доступа к мультимедийным услугам стало возможным с появлением в 1997 году стандарта DOCSIS (Data over Cable Service Interface Specification), разработанного по инициативе организации операторов кабельных сетей Северной Америки MCNS (Multimedia Network System Partners Ltd.). Для построения гибридных (HFC–Hybrid Fiber Coaxial) сетей КТВ сегодня имеется 5 стандартов: три американских (DOCSIS1.0, DOCSIS1.1 и DOCSIS2.0), один европейский (Euro-DOCSIS) и один международный (Рек.J.112 ITU-T), объединяющий требования американских и европейского стандартов. Дальнейшее развитие европейского (IP Cable Com) и американского (Packet Cable) вариантов спецификаций на HFC-сети продолжается в части создания дополнительных

возможностей и внедрения новых услуг. Для организации прямого канала в сетях КТВ США используется полоса частот 6 МГц (Рек. J.83.B. ITU-T) в диапазоне частот 88–860 МГц. При использовании модуляции 256 QAM скорость передачи данных в прямом канале достигает 42 Мбит/с. В Европе для этих целей используется полоса частот 8 МГц (Рек. J.83.A ITU-T) в диапазоне частот 108–862 МГц, а скорость передачи составляет 52 Мбит/с. Отличие европейских и американских сетей КТВ не ограничивается только указанными характеристиками. Они отличаются также методами сигнализации и организации интерфейса V5, методами обеспечения безопасности и т. д. В целом эти различия и определили появление двух стандартов на обратный канал в интерактивных сетях КТВ: DOCSIS и EuroDOCSIS [8].Стандарт DOCSIS 1.0 определяет физический и MAC-уровни, уровень управления для кабельных модемов и головных станций CMTS (Cable Modem Termination System), принципы обеспечения сетевой безопасности (шифрование и аутентификация) и качество обслуживания. Для организации обратного канала выделен диапазон частот 5–42 МГц. Скорость передачи в обратном канале для этого канала не превышает 1 Мбит/с. Дальнейшее совершенствование стандартов DOCSIS шло по пути увеличения пропускной способности обратного канала, обеспечения механизмов QoS для IP-телефонии и мультимедийных приложений. В третьей версии стандарта DOCSIS 2.0 скорость передачи в обратном канале составляет около 30 Мбит/с. В Европе для организации обратного канала выделен диапазон частот 5–65 МГц, а скорость передачи составляет около 42 Мбит/с.

14.7. Оптические технологии группы OAN

OAN (Optical Assess Networks) – группа технологий, предназначенных для предоставления пользователям широкополосных услуг линии доступа к мультимедийным услугам и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный кабель. В нее входят группы технологий FTTx и PON (рис. 14.2) .

14.7.1. Группа технологий FTTx

Группа технологий FTTx (Fiber To Thex, где x – это или B –building – здание или Cab –Cabinet – распределительный шкаф сети абонентских линий) предназначена для совместного использования с технологиями ADSL и VDSL и позволяет более эффективно использовать пропускную способность этих технологий благодаря сокращению длины меднокабельных линий связи [1].

Эти технологии позволяют предоставлять индивидуальному пользователю каналы с пропускной способностью выше 1 Гбит/с, однако стоимость их пока высока. В настоящее время для предоставления пользователям широкополосных услуг используются обычно смешанные медно-оптические сети доступа. Существует несколько концепций разворачивания сети доступа смешанного типа. Одна из них называется HFC (Hybrid Fiber Coaxial) и предполагает доведение оптики до точки концентрации при этом распределительная абонентская сеть строится на основе коаксиальных кабелей (рис. 14. 21) [14].

Данная архитектура не получила широкого распространения и используется обычно лишь операторами кабельного телевидения. Другая концепция является разновидностью концепции FFTx и носит название FFTB (Fiber To The Building – «волокно к зданию», то есть доведение ВОЛС до офисного здания). Согласно концепции FTTB распределение сигналов по абонентам внутри здания осуществляется по витым медным парам с использованием преимущественно технологии VDSL [13].

Ниже перечислены другие варианты концепции FTTx (рис. 14.22).

FTTH – Fiber To The Home (доведение ВОЛС до жилого дома);

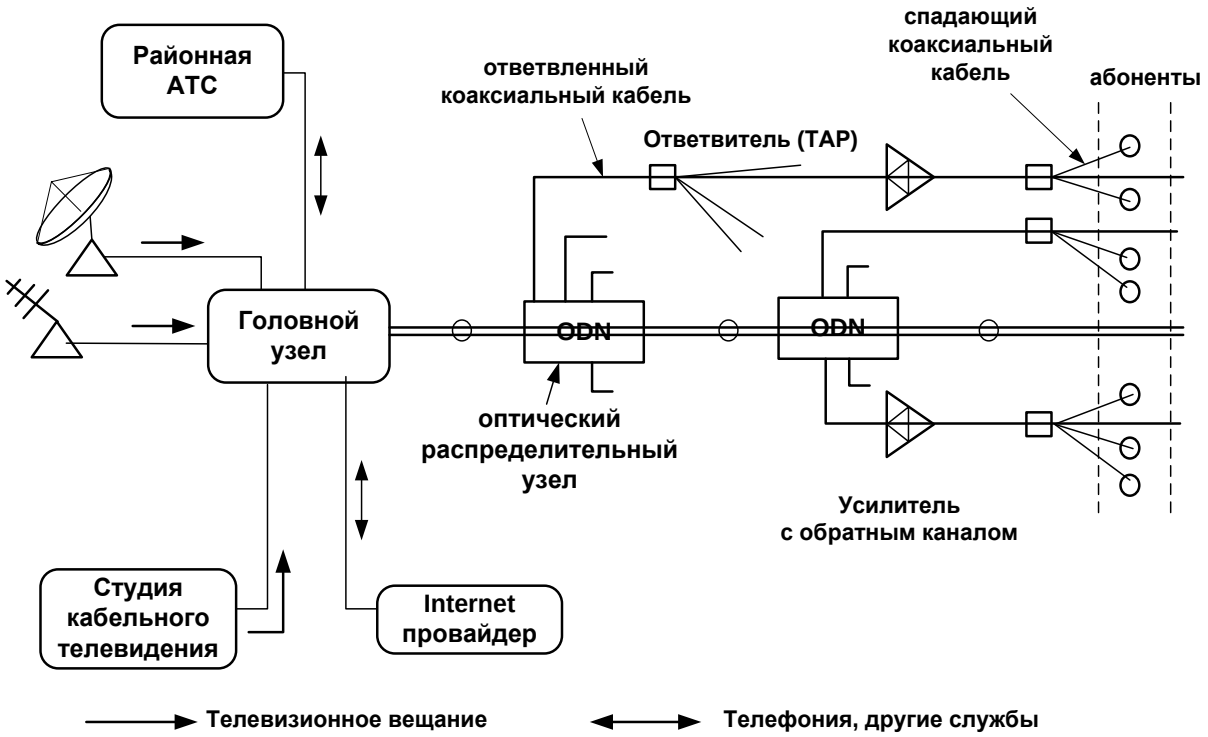


Рис. 14.21. Структура гибридной волоконно-оптической сети абонентского доступа

FTTP – Fiber To The Premises (обобщённое понятие, объединяющее, по сути, варианты FTTH и FTTB);

FTTO – Fiber To The Office (понятие, аналогичное FTTB);

FTTC – Fiber To The Curb (доведение ВОЛС до места, в котором установлен кабельный шкаф);

FTTCab – Fiber To The Cabinet (понятие, аналогичное FTTC);

FTTR – Fiber To The Remote (доведение ВОЛС до удаленного модуля, концентратора);

FTTOpt – Fiber To The Optimum (доведение ВОЛС до оптимального, с точки зрения оператора, пункта).

Наряду с FTTx существует подобная ей концепция организации распределительной сети внутри здания – FITB (Fiber In The Building).

Варианты доступа FTTH и FTTB пока не получили широкого распространения. Связано это в основном с тем, что их реализация требует от оператора значительно больших инвестиций, чем построение DSL-инфраструктуры, поскольку для предоставления абоненту высокоскоростного канала (до нескольких Гбит/с) необходимо во много раз увеличить пропускную способность опорных сетей, протянуть оптоволокно до абонента, разработать немало новых приложений и, самое главное, убедить абонента платить за это деньги. Поэтому многие операторы до сих пор стараются использовать имеющуюся меднокабельную инфраструктуру

В Северной Америке ситуация другая. Там достаточно развиты сети операторов кабельного телевидения HFC и внедрение концепций FTTH и особенно FTTB набирает обороты вслед за ростом спроса на широкополосные мультимедийные услуги. Широкополосные решения достаточно быстро распространяются в Азиатско-Тихоокеанском регионе, особенно в Японии. В апреле 2004 года японские компании KDDI, Japan telecom, NEC, Hitachii Matsushita Electric объявили о создании консорциума Broadband Japan, целью которого стало расширение рынка услуг широкополосных сетей. В число основных задач консорциума BB Japan входит построение инфраструктуры,

создание контента, реализация концепции FTTH, установление партнёрства с компаниями, которые представляют другие сектора экономики, но могут стать потребителями широкополосных услуг.

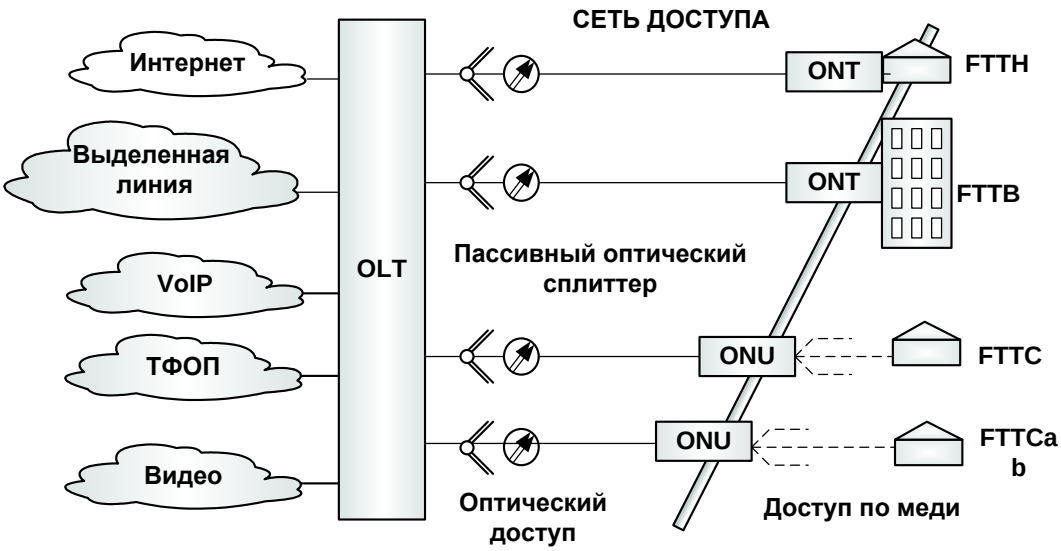


Рис.14.22. Технологии оптического доступа

Таким образом, вложения в инфраструктуру ВОЛС являются эффективными и долговременными, а внедрение технологий FTTx становится оправданным и весьма перспективным направлением, в том числе и в России [13].

14.7.2. Пассивные оптические сети

Подгруппа технологий PON – это семейство быстроразвивающихся, наиболее перспективных технологий широкополосного мультисервисного множественного доступа по оптическому волокну. Суть технологии пассивных оптических сетей, вытекающая из её названия, состоит в том, что её распределительная сеть строится без каких-либо активных компонентов: разветвление оптического сигнала осуществляется с помощью пассивных делителей оптической мощности – сплиттеров. Следствием этого преимущества является снижение стоимости системы доступа, уменьшение объёма необходимого сетевого управления, высокая дальность передачи и отсутствие необходимости в последующей модернизации распределительной сети.

Базовая архитектура для связи в PON – это схема «один ко многим», которая состоит из терминалов оптических линий OLT (Optical Line Terminal) на стороне оператора связи и терминалов оптической сети ONT (Optical Network Terminal) на стороне абонента (рис. 14.23) [11].

Вместо прокладки отдельного волокна к каждому абоненту используется одно волокно от OLT и пассивные оптические сплиттеры для отводов от главного волокна к каждому абоненту. Обычно один терминал OLT обслуживает до 32 ONT.

В нисходящем потоке данные от OLT передаются всем ONT сети PON за счет сплиттеров, а ONT отфильтровывают предназначенные им пакеты. В восходящем направлении устранение коллизий выполняется за счет протоколов арбитража (например, TDMA). Имеются протоколы, отвечающие за управление полосой пропускания, качество обслуживания и другие функции.

Использование одного волокна достигается за счет WDM: ONT передает сигнал на длине 1310 нм, OLT – на 1490 нм. Еще одна длина волны 1550 нм может использоваться

для передачи видеосигнала в полосе радиочастот (RF video), такого же, как в сетях кабельного телевидения. Несмотря на то, что IP-видео может предоставить более богатый набор услуг, преимущество использования наложенного видеосигнала связано с рентабельным заимствованием достижений кабельного вещания.

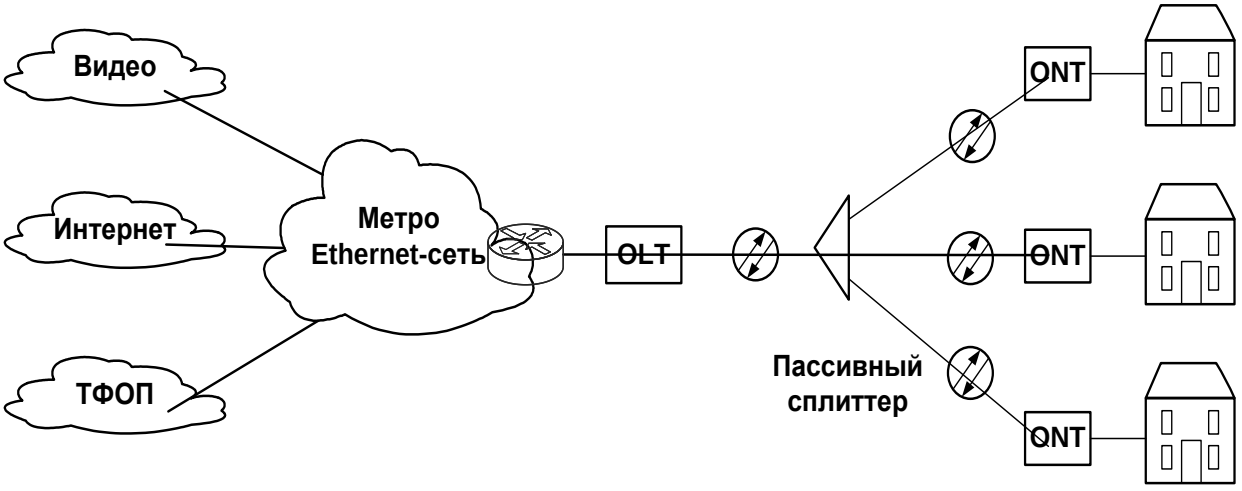


Рис. 14. 23. Структура PON

Из технологий подгруппы PON на сегодняшний день известны 4 вида: APON (ATM PON), BPON (Broadband PON), GPON (Gigabit PON) и EPON (Ethernet PON).

Стандарт на APON был создан международным консорциумом FSAN (Full Service Access Network) в 1995 году. В состав сети APON входят: один сетевой узел OLT (Optical Line Terminal), до 32 абонентских терминалов ONU (Optical Network Unit) и пассивные оптические ответвители (splitter). Прямой и обратный каналы с пропускной способностью 622 Мбит/с организуются в одном оптическом волокне за счёт волнового уплотнения – передача к абонентам ведётся на длине волны 1550 нм, а в обратном направлении – 1310 нм. Скорость передачи информации для индивидуального пользователя составляет 20 Мбит/с, а максимальное удаление пользователя от узла доступа – 20 км.

В технологии BPON дополнительно предусмотрены динамическое назначение полосы частот и возможность работы на дополнительных длинах волн.

Помимо традиционных ТДМ-услуг технология BPON реализует большое количество широкополосных услуг, включая доступ в Интернет и трансляцию аналогового и цифрового видео.

В 2001 году в институте IEEE была образована рабочая группа Ethernet in the First Mile (EFM), основные усилия которой были направлены на стандартизацию симметричной технологии Ethernet Passive Optical Networking (EPON), обеспечивающей скорость передачи до 1,25 Гбит/с и предназначенной для транспортировки преимущественно Ethernet-трафика. Результатом деятельности группы является создание стандарта EPON (IEEE 802.3ah).

Консорциум FSAN предложил новое решение для построения оптических сетей доступа GPON (Gigabit PON). Данная технология с производительностью свыше 1 Гбит/с (Рек. МСЭ G.984) предназначена для реализации мультисервисных услуг, причем не только на базе протокола IP, но и на основе ТДМ.

Технология PON имеет ряд неоспоримых преимуществ [13]:

невысокая стоимость построения сети;

низкие расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание сети;

возможность постепенного наращивания сети;

перспективность создания распределительной инфраструктуры, обеспечивающей в будущем развитие любых мультимедийных услуг с практически неограниченной полосой пропускания;

высокая надежность за счет использования пассивного оборудования;

существенное сокращение проводки и занимаемого пространства на телефонной станции;

простота модернизации и длительный срок эксплуатации сети абонентского доступа.

По мнению многих аналитиков, рынок систем PON будет какое-то время развиваться, после чего наступит переломный момент и начнется их массовое внедрение в жилищном секторе.

14.7.3. Активные оптические сети Ethernet

Использование активного оборудования Ethernet (коммутаторов) для обеспечения оптических соединений «точка–точка» между домами (зданиями, офисами) абонентов и центральным узлом оператора связи можно рассматривать как альтернативу PON [5].

В здании для доступа непосредственно к абоненту разворачивается, как правило, Ethernet сеть на основе витой пары Cat.5 или Wi-Fi. Для уменьшения количества оптических волокон, приходящих в центральный узел, могут быть организованы промежуточные точки агрегации трафика. На уровне агрегации/распределения могут применяться не только центрально-радиальная или древовидная топологии, но и кольцевая. Последняя позволяет использовать преимущества технологии отказоустойчивых пакетных колец RPR (Resilient Packet Ring) или других средств защиты трафика в Ethernet-кольце для обеспечения в сети доступа надежной и эффективной доставки мультисервисного трафика.

Стандарт IEEE 802.3ah (EFM) наряду с PON дал спецификации и для архитектуры «точка – точка» по оптическому волокну, в рамках которых определены интерфейсы 100 и 1000 Мбит/с, работающие как по двум волокнам, так и по одному волокну. В последнем случае, как и в PON, данные передаются вверх и вниз на разных неперекрывающихся длинах волн 1310 нм в одну сторону и 1490 – в другую сторону.

Активный оптический Ethernet имеет следующие преимущества над PON:

активные сети Ethernet используют значительно более дешевые приемопередатчики и могут обеспечить большую дальность связи;

на разных участках сети можно использовать оптические интерфейсы различного типа и мощности, в зависимости от расстояний и требуемой полосы, что положительно сказывается на экономике сети;

активная сеть обладает улучшенной безопасностью, так как трафик, предназначенный конкретному пользователю, приходит только к этому пользователю.

Среди рассмотренных здесь структур доступа, обеспечивающих требования будущих перспективных широкополосных служб, безусловного лидера нет. FTTx на основе PON или активный Ethernet-доступ более предпочтительны в случаях нового строительства, так как могут обеспечить пропускную способность даже на далекую перспективу. А вот там, где уже имеется инфраструктура медных абонентских линий, хорошим компромиссом является сочетание DSL и FTTN.

Литература

1. Котиков И. М. Классификация и сравнительный анализ технологий проводного доступа // Технологии и средства связи. Спец. выпуск «Системы абонентского доступа». 2004. – С. 16–19.

2. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в Глобальной информационной инфраструктуре. – Спб.: Наука, 2008. – 552 с.

3. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.

4. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – Спб.: Питер, 2012. – 960 с.

5. Горнак А. М. Ethernet для «первой мили» // Системы абонентского доступа. 2004. – С. 27–29.

6. Орлов С. Ethernet в сетях доступа // LAN. Журнал сетевых решений. – 2004, № 1.

7. Павловский Ф., Саломасов С. PLC в России. Специфика проблемы, решения, проекты // ИнформКурьерСвязь. 2003, № 8. – С. 29–33.

8. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. – Спб.: Наука. 2000. – 336 с.

9. Блумке А. «Родословная» xDSL или попытка классификации технологии xDSL для «последней мили» // Технологии и средства связи, 2000, № 1. – С. 37.

10 Иванов П. xDSL: между прошлым и будущим // Сети, 2003, № 4. – С. 29.

11 Горнак А.М. Особенности архитектур фиксированного широкополосного доступа // Технологии и средства связи. 2006, № 4. – С. 12–16.

12. http://www/xdsl.ru

13. Долотов Д. В. Оптические технологии в сетях доступа // Технологии и средства связи. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа». 2004. – С. 24–26.

14. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 267 с.

ГЛАВА 15. ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

15.1. Отличительные особенности беспроводного доступа

Беспроводные технологии отличаются высокой оперативностью развертывания сетей абонентского доступа (САД) и удобством использования беспроводных абонентских устройств. В сетях абонентского доступа фиксированных абонентов они имеют бесспорные преимущества перед проводными технологиями в случае отсутствия кабельной инфраструктуры, в труднодоступных и малонаселенных местах:

возможность поэтапного развития сети, начиная с минимальной конфигурации (благодаря этому преимуществу обеспечивается малый объем инвестиций на начальном этапе строительства сети);

высокая скорость развертывания сети (при наличии разрешительных документов) и, следовательно, быстрый возврат инвестиций;

незначительные (по сравнению с проводными сетями) затраты на эксплуатацию.

К недостаткам таких систем следует отнести:

ограниченность радиочастотного ресурса приводит к ограничению в каждом отдельном регионе числа систем радиодоступа, которые могут работать в одном частотном диапазоне;

сильное влияние электромагнитной обстановки в регионе;

длительные (до года и более) и очень затратные процедуры получения разрешения на строительство и эксплуатацию сети доступа.

Рассмотренные достоинства и недостатки показывают, что универсальных технологий не бывает и на практике каждая найдет свою нишу.

Еще одна проблема построения проводных САД, в отличие от проводных транспортных (магистральных) сетей (ТС), заключается в том, что эффективность использования пропускной способности индивидуальных проводных абонентских линий (АЛ) принципиально невозможно приблизить к 100 %, что в магистральных линиях ТС возможно за счет статистического уплотнения большого количества каналов. Низкий к.п.д. проводных АЛ связан с их монопольным владением отдельными абонентами, активно использующими данные АЛ далеко не круглые сутки. Многократно использовать одну и ту же пару проводов для подключения множества пространственно удаленных друг от друга абонентов, динамически перебрасывая ее от «замолчавшего» абонента к «заговорившему», естественно, нереально.

Правда, подобное динамическое переключение общей среды передачи используется в проводных LAN, однако провода и в этом случае подключаются к каждому компьютеру независимо от его текущей активности.

По настоящему широкий простор для эффективного динамического перераспределения ресурсов пропускной способности среды передачи предоставляют только технологии беспроводного абонентского доступа.

Как и технологии проводного доступа, технологии беспроводного доступа ориентированы прежде всего на выполнение функций физического уровня. Однако на их основе могут разворачиваться довольно сложные разветвленные сети беспроводного абонентского доступа (СБАД), реализующие функции вышележащих уровней ЭМВОС (как минимум, уровня звена данных и сетевого уровня).

Принципиальным отличием технологий беспроводного доступа от проводных является использование свободного пространства как *ненаправленной* среды передачи электромагнитных волн (ЭМВ). В этом заключается их достоинство (мобильность, оперативность развертывания, слабая зависимость от местоположения), но это же является их недостатком («открытость» к внешним воздействиям, наличие взаимных

помех и возможность перехвата сигналов). Специфической проблемой также является изменчивость среды распространения, приводящая к большим флуктуациям уровня принимаемых сигналов.

В роли стен «туннеля» беспроводной среды передачи обычно выступают границы полос пропускания искусственных (в аппаратуре каналообразования) фильтров, «настроенных» на различные центральные частоты. Свойства среды распространения ЭМВ на различных частотах существенно отличаются, что влияет на выбор тех или иных частотных диапазонов для использования в различных технических системах, включая и системы беспроводного абонентского доступа.

Ярко выраженными отличиями обладают две достаточно большие технически освоенные области частот: радиочастоты (от сотен килогерц до сотен гигагерц) и оптические частоты (от десятков тысяч гигагерц до десятков миллионов гигагерц).

Наиболее часто под беспроводным доступом понимается доступ на радиочастотах. Однако в последнее время и оптические частоты стали пользоваться заметным спросом в СБАД. В частности на небольших расстояниях (единицы – десятки метров) популярны инфракрасные ненаправленные или слабонаправленные системы передачи (IrDA) на скоростях до нескольких Мбит/с. Примеры: инфракрасный порт между радиотелефоном и компьютером, клавиатурой и компьютером, мышкой и компьютером и т. п. Существуют также технологии построения беспроводных локальных сетей на основе инфракрасных систем доступа.

Для оптической связи между более удаленными объектами (до нескольких километров) используются узконаправленные лазерные атмосферные линии (ЛАЛ), обеспечивающие скорость передачи от 2 Мбит до 155 Мбит/с. В отличие от беспроводных радиосистем узконаправленные лазерные системы связи обеспечивают более высокие помехозащищённость и скрытность передачи, так как получить несанкционированный доступ к информации можно только находясь непосредственно на прямой линии между приемником и передатчиком. Для многих пользователей подобная оптическая связь является предпочтительной также потому, что не требует получения разрешения на использование дорогостоящих радиочастот.

Наиболее заметным частотно-зависимым свойством используемой неоднородной околоземной среды распространения ЭМВ с ростом частоты является увеличение направленности излучений или иначе – снижение способности «обходить» препятствия (за счет явлений дифракции и рефракции). Кроме того, с ростом частоты уменьшается способность ЭМВ проникать сквозь препятствия. В оптическом диапазоне данная способность практически отсутствует (за исключением проникновения через особые среды типа стекла). Указанные особенности распространения ЭМВ на более высоких частотах при прочих равных условиях приводят к снижению дальности связи в околоземном пространстве, но в не меньшей степени они способствуют и уменьшению дальности взаимных помех,а следовательно, и улучшению качества связи.

Ограниченная дальность распространения взаимных помех на высоких частотах в современных СБАД эффективно используется для пространственного разделения (взаимного экранирования) участков местности, на которых одновременно на одних и тех же частотах не мешая друг другу может вестись передача информации различными абонентами. Подобное пространственное разделение, позволяющее значительно увеличить пропускную способность сети доступа, является основой построения всех современных СБАД, включая подвижную связь.

Дополнительным средством пространственного разделения на высоких частотах выступают направленные системы излучения и приема ЭМВ – антенны (или соответствующие оптические устройства). На различных участках современных СБАД можно встретить самые разные сочетания диаграмм направленности антенн взаимодействующих беспроводных устройств. В перспективе ожидается использование

электронных антенных систем с динамически перестраиваемыми многолучевыми диаграммами направленности как со стороны узлов доступа, так и со стороны абонентских устройств, что позволит еще более повысить пропускную способность совместно используемой беспроводной среды передачи.

Исторически технологии беспроводной, прежде всего, радиосвязи развивались в направлении обеспечения как можно большей дальности, т. е. способности принимать очень слабые сигналы на фоне собственных шумов приемника и внешних радиопомех, причем как случайных, так и преднамеренных. Характерным примером достигнутой дальности на уровне межпланетных расстояний является космическая радиосвязь.

В значительной степени именно радиосвязь стимулировала научные изыскания в области обеспечения надежной связи в условиях помех.

Гармонический характер ЭМВ предопределил использование в беспроводных системах передачи, прежде всего, методов сигнального кодирования на *основе гармонических несущих*. Соответственно, в радиоканалах могут использоваться и используются способы модуляции несущих колебаний низкочастотными (импульсными) сигналами типа АТ, ЧТ, ФТ, ОФТ, ДЧТ, ДОФТ, АФМ, КАМ и др.

Увеличение скорости передачи информации за счет использования более широких частотных полос внесло некоторую путаницу в понятия «*узкополосные*» и «*широкополосные»* сигналы, для которых исторически сложились следующие два определения:

1**.** В самом общем случае под узкополосными сигналами в радиосвязи понимаются сигналы, ширина спектра которых ΔF намного меньше (в сотни, тысячи и более раз) частоты несущей F, т. е. $\Delta F << F$, а под широкополосными – сигналы, ширина спектра которых соизмерима с частотой несущей $\Delta F \approx F$ или, по крайней мере, с ее десятыми долями $\Delta F \approx (0{,}1 \ldots 0{,}3)F$.

2. С другой стороны, при использовании методов борьбы с радиопомехами за счет расширения спектра сигналов широкополосными называют сигналы, ширина спектра которых ΔF намного больше информационной скорости $V_б$ (или соответствующей информационной полосы), т. е. $\Delta F >> V_б$. Соответственно, узкополосными называются сигналы, ширина спектра которых соизмерима $\Delta F \approx V_б$ или меньше $\Delta F < V_б$ информационной скорости.

С точки зрения первого определения современные технологии высокоскоростной передачи информации по ЦАЛ действительно можно отнести к широкополосным, поскольку спектр сигналов начинается почти с нулевой частоты и простирается до единиц–десятков мегагерц, при этом $\Delta F \approx (1 \ldots 2)F$. Однако с точки зрения второго определения используемая полоса частот не превышает информационную скорость $\Delta F < V_б$, и, соответственно, данные сигналы можно назвать узкополосными.

При переходе к радиоканалам, нижняя граница спектра используемых сигналов значительно удаляется от нулевого значения и для высокоскоростных непомехозащищенных сигналов с $\Delta F < V_б$, и для относительно низкоскоростных помехозащищенных сигналов с расширенным спектром $\Delta F >> V_б$. Т. е. оба типа сигналов можно было бы назвать, согласно первому определению узкополосными, т. к. $\Delta F << F$. Однако их все же часто называют широкополосными или из-за относительно высокой информационной скорости, или из-за используемых методов помехозащиты. Следует отметить, что в развитии технологий высокоскоростной передачи информации в условиях помех наблюдается тенденция к объединению обоих типов сигналов с динамически регулируемым соотношением информационной скорости и уровня помехозащиты.

Для первого типа радиосигналов с $\Delta F < V_б$, которые согласно второму определению следует отнести к узкополосным, характерно использование частотно-эффективных методов модуляции, позволяющих передавать несколько бит на символ, но требующих больших отношений сигнал/шум (до 40–50 дБ). Например, современные цифровые РРС

способны передавать информацию со скоростью 155 Мбит/с в полосе 20–30 МГц. Известны разработки и более высокоскоростных РРЛ, позволяющих передавать информацию со скоростью до 620 Мбит/с. При этом используются многопозиционные сигналы типа КАМ.

В слабонаправленных системах беспроводного доступа, включая системы подвижной связи, популярны узкополосные сигналы с минимальным частотным сдвигом MSK (*Minimum Shift Keying*), являющиеся разновидностью частотно-манипулированных сигналов FSK (*Frequency Shift Keying*) без разрыва фазы. Для дополнительного сужения ширины спектра MSK сигналы пропускаются через специальный частотный фильтр с АЧХ, напоминающей Гауссовскую (*Gauss*) колоколообразную кривую, в связи с чем такие сигналы принято обозначать GMSK или GFSK. Степень сжатия полосы частот данным методом иногда отображают соответствующим дробным числом перед обозначением метода модуляции, например 0,5 GMSK или 0,3 GMSK. Следует отметить, что сигналы с минимальным частотным сдвигом могут приниматься приемниками ОФТ сигналов, что иногда используется при различной технической реализации беспроводных абонентских устройств.

Для второго типа радиосигналов с $\Delta F >> V_б$, которые согласно второму определению следует отнести к широкополосным, характерно использование простых методов модуляции типа ФТ (ОФТ) или ДФТ (ДОФТ) с дополнительным расширением спектра или за счет псевдослучайной фазовой манипуляции сигнала со скоростью, соизмеримой с ΔF, намного превышающей информационную скорость $V_б$, или за счет псевдослучайного переключения несущих частот узкополосных сигналов с шириной спектра, соизмеримой с $V_б$, в диапазоне ΔF, опять-таки, намного превышающем информационную скорость $V_б$. Отношение $B = \Delta F / V_б >> 1$ принято называть *базой широкополосных сигналов*, которая определяет энергетический выигрыш, показывающий во сколько раз уменьшается эффективная мощность помех, действующих в части или во всей полосе ΔF.

Формирование подобных широкополосных помехозащищенных сигналов иногда называют *спектральной модуляцией*.

Широкополосный сигнал, сформированный первым способом за счет псевдослучайной фазовой манипуляции в отечественной литературе принято обозначать ФМ ШПС (*фазово-манипулированный широкополосный или шумоподобный сигнал*). Однако в последнее время более популярно англоязычное обозначение DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) – расширение спектра за счет использования прямой (модулирующей) последовательности.

Широкополосный сигнал, сформированный вторым способом за счет псевдослучайного переключения частот в отечественной литературе принято обозначать ППРЧ (*псевдослучайное переключение рабочих частот*). Однако в последнее время более популярно англоязычное обозначение FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) – расширение спектра за счет использования прыжков по частоте.

В военных системах связи для борьбы с преднамеренными помехами давно используются методы формирования широкополосных сигналов (ШПС).

В частности, они хорошо зарекомендовали себя в отечественных спутниковых системах связи военного назначения, для которых особенно актуальна защита ретрансляторов связи на околоземных орбитах, доступных со стороны всевозможных источников помех.

Наряду со способностью подавлять преднамеренные помехи ШПС обладают массой других достоинств, которые оказались востребованными в современных беспроводных системах абонентского доступа. Главной востребованной особенностью данных сигналов является возможность обеспечения одновременной работы в общей полосе частот множества радиолиний, практически не мешая друг другу. Эта особенность легла в основу

самого популярного сегодня метода *множественного доступа с кодовым разделением* (МДКР) или CDMA (*Code Division Multiplexing Access*).

В последнее время появились публикации, в которых описываются сверхширокополосные радиосигналы на основе очень коротких электромагнитных импульсов.

Историческую основу подобных сигналов составляют опыты Генриха Герца, А. С. Попова и Г. Маркони, продемонстрировавших еще в конце XIX века возможность формирования ЭМВ путем управляемых искровых разрядов. Однако дальнейшее развитие радиосвязи пошло по пути использования гармонических колебаний, хорошо подходящих для реализации частотной фильтрации сигналов и помех на аналоговых радиотехнических элементах.

Бурное развитие цифровой техники в последние десятилетия XX века сопровождались постепенным продвижением методов цифровой обработки сигналов в радиооборудовании от низкочастотных цепей к высокочастотным. При этом все более явно стало проступать противоречие между импульсными цифровыми сигналами в оконечных компьютизированных устройствах и их переносчиками – аналоговыми радиосигналами, претерпевающими довольно сложные преобразования в цифровом радиооборудовании.

Попытки вернуться к импульсным радиосигналам начались в 60-х годах прошлого столетия. К концу 70-х годов были выполнены основные теоретические исследования в области формирования и обработки таких сигналов, сформулированы принципы проектирования устройств и созданы первые военные и гражданские системы короткоимпульсной радиолокации, подземной геолокации, позиционирования, связи и т. п. Поскольку единая терминология еще не выработалась, их обозначали как «сигналы без несущей» (*carrier-free*), «импульсные» (*impulse*), «несинусоидальные» (*notsinwave*) и т. п.

Определение термина «*сверхширокополосные*» UWB (*Ultra Wideband*) было введено агентством DARPA Министерства обороны США в 1990 году и скорректировано Федеральной комиссией связи США (FCC) в 2000 году. По определению FCC к UWB относятся все сигналы с шириной спектра не менее 1,5 ГГц, а также сигналы, у которых ширина спектра составляет, по крайней мере, 25 % от значения центральной частоты.

Сегодня подобные средства, в принципе, могут работать в ряде диапазонов частот (включая полосы 30–50 МГц, 225–400 МГц и др.), однако чаще всего используется интервал от 1 до 11 ГГц.

Очередной этап становления этой технологии (полное ее название *Ultra Wideband Pulse Technology – сверхширокополосная импульсная технология*) наступил в феврале 2003 года, когда IEEE одобрил беспроводной стандарт 802.16a, основанный на UWB и ориентированный на использование в беспроводных сетях масштаба города – Wireless Metropolitan Area Networks (WMAN).

Идея UWB заключается в том, что в качестве носителей информации используются последовательности сверхкоротких импульсов с крутыми фронтами и без высокочастотного заполнения, что позволяет рассматривать эту технологию как предельный случай «гармонических» систем, в которых длительность импульсов равна одному периоду несущей. На практике длительность импульсов составляет от 200 пикосекунд до одной наносекунды, а интервалы следования импульсов лежат в пределах от 10 до 1000 нс.

Обычно UWB-сигналы имеют форму идеализированных гауссовских импульсов (так называемых гауссовых моноциклов), параметры которых подобраны таким образом, чтобы основная часть спектра излучения была сосредоточена в диапазоне от 1–2 до 6–7 ГГц. Моноцикл является широкополосным сигналом, у которого центральная частота и ширина полосы полностью определяются его длительностью (например, центральная

частота обратно пропорциональна длительности импульса). Спектральная мощность этих сигналов оказывается очень мала (сигнал как бы размыт в широком диапазоне) и напоминает обычный шумовой фон. Для традиционных средств связи подобные сигналы фактически недоступны.

Поскольку передача в UWB-системах осуществляется с очень малыми уровнями мощности («под шумами»), принять правильное решение по одному импульсу сложно. По этой причине для надежной передачи информации в UWB используются длинные серии моноциклов, большая частота следования которых позволяет использовать для передачи каждого бита информации пачки из 100 и более импульсов, что и обеспечивает высокую защиту от помех.

Модуляция таких импульсов полезными данными, в принципе, возможна любым из известных методов: на основе изменения их амплитуды, длительности, частоты следования и т. п. Однако на практике сейчас чаще всего используется технология TM-UWD, согласно которой сигналы формируются путем фазоимпульсной модуляции PPM (*Pulse-Position Modulation*), а информационным параметром является временное положение переднего фронта импульсов. В зависимости от мгновенного значения модулирующего сигнала позиция каждого рабочего импульса изменяется во времени по отношению к периодическим опорным импульсам. Другими словами, для передачи логического «0» рабочий импульс посылается, например, немного раньше своего «стандартного» временного положения в импульсной последовательности, а для передачи «1» – немного позже. Величина временного сдвига обычно составляет ¼ от длительности импульса.

Период повторения импульсов в конечном итоге определяет скорость передачи данных. Так, при периоде 10 нс максимальная скорость передачи составит 100 Мбит/с.

Ряд независимых каналов связи можно образовать методом временных скачков (*Time Hopping*). Он основан на вводе дополнительного временного кодирования положения импульсов с помощью последовательности псевдослучайных кодов, что дает сдвиг импульсов на величины в 10–100 раз большие, нежели описанная выше модуляция. Для выделения такого сигнала в приемной части должна использоваться такая же последовательность псевдослучайных кодов, иначе приемник будет открываться в иные временные интервалы. Применение ортогональных кодов для управления временными задержками импульсов позволяет создать в одной полосе до 1000 и более дуплексных каналов связи.

Короткие гауссовские моноимпульсы обладают высокой проникающей способностью, поэтому в UWB-системах можно использовать достаточно низкие уровни излучаемой мощности (1–50 мВт). Это исключает необходимость в усилителях мощности, что существенно упрощает структуру UWB-передатчиков, уменьшает их размеры, стоимость и энергопотребление. UWB-передатчик может состоять всего из одного транзистора, работающего в ключевом режиме «открыт–закрыт». А короткий импульс с его выхода можно подать прямо на специальную сверхширокополосную антенну, по размерам сравнимую со стандартной пластиковой картой. UWB-приемник по построению тоже проще, чем узкополосные приемники.

Несмотря на оптимизм энтузиастов технологии UWB, пока еще рано говорить об отмене традиционных методов передачи на основе гармонических колебаний. Особенности сверхкоротких импульсов еще изучены не до конца. В частности, есть сомнения в допустимости пиковых значений мощности импульсов, которые могут оказаться довольно большими даже при невысокой средней мощности UWB-передатчиков.

Следует отметить, что подобный «негармонический» способ импульсной модуляции используется и в высокоскоростных оптических беспроводных системах передачи. В частности, Ассоциация инфракрасной передачи данных, или IrDA, образованная

в 1993 году с целью стандартизации инфракрасных соединительных линий, разработала стандарт беспроводной оптической связи на скоростях до 4 Мбит/с с *фазово-импульсной модуляцией* (ФИМ). ФИМ производит кодирование групп битов путем изменения времени передачи световых импульсов. Например, стандарт ФИМ-4 предполагает группирование по 2 бита и передачу их путем посылки импульса в одном из четырех временных интервалов, образующих цикл.

15.2. Стандартизация беспроводных технологий

В целом в последние годы появилось довольно большое количество технологий фиксированного беспроводного абонентского доступа, опирающихся на описанные выше способы модуляции радио- и оптических сигналов, которые сложно классифицировать с единых позиций. Многие технологии являются закрытыми фирменными разработками. Однако в последнее время все более доминирующими становятся открытые стандарты, поддерживаемые разработчиками и потребителями во многих странах.

С точки зрения общих тенденций развития можно выделить *три группы стандартов*, которые, в конечном счете, претендуют на роль технологий построения *мультисервисных СБАД*, но основываются на различных исходных сетевых технологиях, ориентированных на предоставление одной из следующих групп телекоммуникационных услуг:

беспроводных телефонных сетей и услуг доступа к ТФОП;

беспроводных компьютерных сетей и услуг доступа в Интернет;

беспроводных сетей радио- и телевизионного вещания.

Сети, представляющие третью группу односторонних вещательных услуг, какое-то время развивались самостоятельно и не рассматривались серьезным конкурентом сетевым технологиям, нацеленным на предоставление первых двух групп услуг. Более того, и «продвинутые» телефонные сети в лице ISDN, и компьютерные сети в лице Интернет включают в свой перечень услуг услуги радио- и телевизионного вещания.

Однако существующие беспроводные элементы телефонных и компьютерных сетей пока еще слабо приспособлены для предоставления услуг вещания. В то же время, развитие технологий массового радио- и телевизионного вещания, опирающееся на использование новых цифровых методов формирования и обработки широкополосных радиосигналов, а также на введение обратных каналов (как проводных, так и беспроводных), привело к тому, что и такие технологии стали претендовать на роль технологий построения мультисервисных СБАД, способных предоставлять не только односторонние вещательные услуги, но и интерактивные услуги доступа к ТФОП и к Интернет.

15.2.1. Технологии беспроводного доступа к ТФОП и к Интернет

Наибольшее распространение получили новые технологии построения СБАД, базирующиеся на *предоставлении услуг доступа к ТФОП*.

Технологии, базирующиеся на построении беспроводных компьютерных сетей и *услуг доступа в Интернет*, заметно активизировались в 90-е годы и в последнее время бурно развиваются, «нарушая плановое развитие» СБАД (включая подвижную радиосвязь), базирующихся на предоставлении телефонных услуг.

Наиболее известные технологии построения беспроводных компьютерных сетей описаны в стандартах IEEE 802.11 и ETSI Hiper LAN. Отчасти к данным технологиям можно отнести недавно появившийся стандарт Bluetooth, который, однако, уже изначально выходит за рамки традиционных функций беспроводных компьютерных сетей.

Важную роль в широком распространении технологий построения беспроводных компьютерных сетей сыграло использование многими стандартами нелицензируемого

в большинстве стран диапазона частот ISM (*Industrial, Scientific, Medical*) 2400–2483,5 МГц, в котором работают многие маломощные радиоизлучающие бытовые устройства (микроволновые печи), научные и медицинские приборы. В США нелицензируемым является также диапазон 5725–5850 МГц. В таблице 5.1 приведены основные характеристики радиосигналов, используемых в беспроводных компьютерных сетях.

В стандартах IEEE 802.11 описываются технологии построения уже ставшей классической беспроводной компьютерной сети Radio Ethernet.

Наиболее известными стандартами данной группы являются:

IEEE 802.11 (1997 г.) – базовый стандарт, предусматривающий скорости 1 и 2 Мбит/с;

IEEE 802.11a (1999 г.) – высокоскоростной стандарт для частотного диапазона 5 ГГц, предусматривающий скорости передачи данных до 54 Мбит/с;

IEEE 802.11b (1999 г.) – самый распространенный стандарт (Wi-Fi), поддерживаемый производителями носимых и портативных компьютеров, предусматривающий максимальную скорость передачи данных до 11 Мбит/с;

IEEE 802.11x (2001 г.) – определяет полнофункциональную систему сетевой безопасности для всех сетей, соответствующих стандартам IEEE (включая Ethernet и беспроводные LAN);

IEEE 802.11g (конец 2001 г.) – альтернативный высокоскоростной стандарт для диапазона частот 2,4 ГГц, предусматривающий скорости передачи данных 20 Мбит/с и выше.

В таблице 15.2 приведены основные характеристики физического уровня IEEE 802.11.

Европейскую конкуренцию американским стандартам IEEE 802.11 составляют стандарты ETSI Hiper LAN/*, где под знаком «*» скрываются цифры 1…4. В частности с самым высокоскоростным стандартом IEEE 802.11a конкурирует стандарт Hiper LAN/2 (2000 г.), который так же предусматривает максимальную скорость передачи данных 54 Мбит/с.

Дальнейшим развитием группы стандартов IEEE 802.11* явилось появление стандартов IEEE 802.15 и IEEE 802.16.

Стандарт IEEE 802.15 имеет несколько версий, внешне отличающихся буквенными индексами. Одна из первых версий является близкой по ряду характеристик (скорости, диапазона частот и др.) к технологии Bluetooth, уже получившей широкое распространение. Другие версии предполагают использование более высоких диапазонов частот и более высокую скорость передачи.

Технология WiMax (стандарт IEEE 802.16) считается одной из наиболее перспективных технологий построения сетей широкополосного беспроводного доступа (WBA). Однако еще до начала воплощения в конкретное оборудование и реальные сети данный стандарт начал видоизменяться и разделяться на различные частные стандарты 802.16* (с различными буквенными индексами*), подстраиваясь под новые потребности в широкополосных услугах, под новые конкурирующие технологии подвижной и фиксированной связи, а также под административные ограничения и технические особенности использования различных диапазонов волн от 2 до 66 ГГц.

В последние годы основное внимание уделяется стандартам 802.16a,d,e, предполагающим развертывание сетей WiMax в диапазоне частот 2–11 ГГц со скоростью передачи до 75 Мбит/с. Причем стандарт 802.16e даже предполагает обеспечение связи в движении (в диапазоне 2–6 ГГц со скоростью 15 Мбит/с в полосе 5 МГц), составляя конкуренцию как стандартам подвижной сотовой связи, так и новому родственному стандарту широкополосного радиодоступа IEEE 802.20, специально ориентированного на предоставление широкополосной связи в движении.

Таблица 15.1.

Характеристики радиосигналов,
используемых в беспроводных компьютерных сетях

	Инфракрасное излучение		Расширенный спектр		Радио
	Рассеянное инфракрасное излучение	Инфракрасное излучение с направленным лучом	Перестройка частоты	Прямая последовательность	Узкополосная СВЧ-передача
Скорость передачи данных (Мбит/с)	1–4	1–10	1–3	2–20	10–20
Мобильность	Стационарные / мобильные	Стационарные в пределах прямой видимости	Мобильные		Стационарные / мобильные
Диапазон (м)	15–60	25	30–100	30–250	10–40
Возможность обнаружения	Незначительная		Малая		Некоторая
Длина волны / частота	800-900нм		902–928 МГц 2,4–2,4835 ГГц 5,725–5,85 ГГц		902–928 МГц 5,2–5,775 ГГц 18,825–19,205 ГГц
Схема модуляции	ASK		FSK	QPSK	FS/QPSK
Излучаемая мощность	–		<1Вт		25 мВт
Схема доступа	CSMA	Token Ring, CSMA	CSMA		ALONA с резервированием CSMA
Необходимость лицензии	Не требуется		Не требуется		Только вне частот ISM

15.2.2. Технологии беспроводного доступа к сетям радио- и телевизионного вещания

Технологии, базирующиеся на построении беспроводных сетей радио- и телевизионного вещания, получили в последние годы мощный импульс в своем развитии на основе использования цифровых методов формирования и обработки сигналов, а также освоения более высокочастотных диапазонов частот.

В системах радиовещания в настоящее время постепенно внедряется стандарт цифрового аудиовещания DAB (Digital Audio Broadcasting).

Таблица 15.2

Характеристики физического уровня IEEE 802.11

а) Расширение спектра методом прямой последовательности

Скорость передачи данных	Длина раздробленного кода	Модуляция	Скорость передачи символов	Бит/символ
1 Мбит/с	11 (последовательность Баркера)	DBPSK	1 млн. символов/с	1
2 Мбит/с	11 (последовательность Баркера)	DQPSK	1 млн. символов/с	2
5,5 Мбит/с	8 (CCK)	DBPSK	1,375 млн. символов/с	4
11 Мбит/с	8 (CCK)	DQPSK	1,375 млн. символов/с	8

б) Расширение спектра методом скачкообразной перестройки частоты

Скорость передачи данных	Модуляция	Скорость передачи символов	Бит/символ
1 Мбит/с	Двухуровневая GFSK	1 млн. символов/с	1
2 Мбит/с	Четырехуровневая GFSK	1 млн. символов/с	2

в) Передача в инфракрасном диапазоне

Скорость передачи данных	Модуляция	Скорость передачи символов	Бит/символ
1 Мбит/с	16-PPM	4 млн. символов/с	0,25
2 Мбит/с	4-PPM	4 млн. символов/с	0,5

г) Ортогональное частотное уплотнение (OFDM)

Скорость передачи данных	Модуляция	Степень кодирования	Кодирование битов на поднесущую	Битов кода на символ OFDM	Битов данных на символ OFDM
6 Мбит/с	BPSK	1/2	1	48	24
9 Мбит/с	BPSK	3/4	1	48	36
12 Мбит/с	QPSK	1/2	2	6	48
18 Мбит/с	QPSK	3/4	2	96	72
24 Мбит/с	16-QAM	1/2	4	192	96
36 Мбит/с	16-QAM	3/4	4	192	144
49 Мбит/с	64-QAM	2/3	6	288	192
54 Мбит/с	16-QAM	3/4	6	288	216

В основу современных аналоговых радиосистем положен принцип частотной модуляции, изобретенный в 1933 году. В дополнение к передаче звука, радиопрограмма может сопровождаться лишь очень ограниченной информацией (например, идентификацией станции).

В полностью цифровой системе DAB качество звука сравнимо с качеством записей на компакт-дисках. При этом можно использовать радиостанции, работающие на одной частоте. В настоящее время различные передатчики во избежание взаимных помех

должны действовать на разных частотах, даже если они транслируют одну и ту же радиопрограмму.

Система DAB работает в диапазонах ОВЧ и УВЧ (например, наземные каналы с пятого по двенадцатый используют частоты 174–230 МГц). Для модуляции применяется схема DQPSK. Уплотнение в системе DAB происходит с помощью ортогональных многочастотных сигналов COFDM, включающих от 192 до 1536 поднесущих частот (также называемых ансамблем) внутри канала DAB шириной 1,5 МГц. Кроме того, для уменьшения количества ошибок применяется схема FEC, а между отдельными символами при передаче вводятся защитные интервалы. Схема COFDM и применение защитных интервалов сводят к минимуму межсимвольную интерференцию. В системе DAB можно даже выиграть от многолучевого распространения, объединяя сигналы, распространяющиеся по различным путям.

В каждом блоке частот шириной 1,5 МГц система DAB может транслировать до шести стереозвуковых программ со скоростью 192 кбит/с для каждой из них. В качестве альтернативы доступна служба передачи данных со скоростью до 1,5 Мбит/с. В системе передачи DAB звук является всего лишь одним из возможных типов данных.

В системах телевизионного вещания в настоящее время постепенно внедряется стандарт цифрового видеовещания DVB (Digital Video Broadcasting).

Используемая в настоящее время аналоговая система телевизионного вещания на протяжении десятилетий оставалась неизменной. Единственным существенным изменением стало освоение массового рынка цветным телевидением, происходившее в 60-е годы. Телевидение все еще использует низкое разрешение – 768 × 576 в европейской системе PAL и 720 × 460 в американской системе NTSC. Дисплеи в этих системах чередуют, соответственно, 25 и 30 кадров в секунду. Современные компьютерные дисплеи имеют разрешение более 1280 × 1024, частоту смены кадров более 75 Гц, причем без чередования кадров. В сравнении с ними характеристики телевидения выглядят удручающе.

Предпринималось много попыток изменить эту ситуацию и ввести цифровое телевидение с более высоким разрешением, более качественным звуком и дополнительными возможностями. Однако ни одна из таких попыток не увенчалась успехом. Одной из причин этого является огромное количество установленных старых систем, которые не замещаются так же быстро, как компьютеры (самый новый фильм можно посмотреть по старому телевизору, однако новое программное обеспечение на старом компьютере запустить нельзя). Кроме того, появлению общего стандарта цифрового телевидения препятствуют изменяющиеся политические и экономические интересы.

После того, как попытки внедрения цифрового телевидения в нескольких государствах потерпели неудачу, в 1991 году была основана так называемая Европейская Группа Запуска (European Launching Group). Ее целью была разработка общей европейской цифровой телевизионной системы. В 1993 году эти общие усилия привели к созданию технологии цифровой широковещательной передачи видеоинформации DVB. Несмотря на то, что сами названия подчеркивают некоторое сходство систем DAB и DVB, между ними существуют фундаментальные различия в технологии передачи, частотах, модуляции и т. п. Целью технологии DVB является установление цифрового телевещания, использующего спутниковую передачу DVB-S (ETSI, 1997 г.), кабельную технологию DVB-C (ETSI, 1998 г.), а на более поздних этапах и наземную передачу DVB-T (ETSI, 1997 г.).

Центральным элементом системы DVB является объединенный приемник/декодер (приставка), соединенный с монитором высокого разрешения. Эта приставка принимает сигналы DVB через спутники, наземные местные/региональные передатчики (многоточечные системы распределения, наземные приемники), кабеля, сети B ISDN

и ADSL. В будущем возможно применение и других технологий. При использовании кабеля или соединений через сети ADSL и B ISDN предоставляется и обратный канал. Кроме того, потоки аудио- и видеоданных могут записываться, обрабатываться и воспроизводиться с помощью универсальных цифровых дисков (DVD), цифровых видеомагнитофонов (DVTR) или мультимедийных компьютеров. Предусмотрены различные уровни качества: телевидение стандартной четкости (SDTV), телевидение улучшенной четкости (EDTV) и телевидение высокой четкости (HDTV). Разрешение можетдостигать 1920×1080 пикселей. В системе DVB, подобно системе DAB, для передачи данных используются гибкие контейнеры. В основу этих контейнеров положены кадры MPEG-2 без ограничений на тип информации. Частью потока данных DVB является обслуживающая информация, описывающая содержимое контейнеров.

Результатом освоения более высокочастотных диапазонов в системах радио- и телевизионного вещания явилось появление, так называемых, систем «сотового телевидения», предполагающих (из-за ограниченной дальности на высоких частотах) покрытие территории размещения абонентов множеством зон доступа с радиусом от нескольких сотен метров до нескольких километров. В последнее время такие системы стали использоваться и для двусторонней связи как в режиме передачи данных, так и в целом для обмена мультимедийной информацией. Наиболее известными технологиями построения подобных СБАД являются:

MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) – технология предоставления многоканальных многоточечных распределительных услуг. Использует диапазон 2,5–2,7 ГГц. Первоначально разрабатывалась для передачи аналоговой телевизионной информации. В режиме передачи данных обеспечивает скорость от 10 до 30 Мбит/с.

LMDS (Local Multipoint Distribution Service) и MVDS (Multipoint Video Distribution System) – аналогичные технологии, но в отличие от MMDS сразу разрабатывались в цифровом варианте и никогда не были предназначены только для трансляции телевизионных программ. Их задача – организация связи в условиях прямой видимости в диапазонах частот 27,5–29,5 и 40,5–42,5/43,5 ГГц соответственно (в последнее время появились системы, использующие диапазон 38 ГГц).

Еще одним примером подобных систем являются мультимедийные беспроводные системы MWS (Muitimedia Wireless System), относящиеся к системам высокоскоростного радиодоступа и своим появлением обязанные конвергенции фиксированной связи и вещательных технологий. Этот процесс определяет переход к оборудованию беспроводного доступа с предоставлением мультимедийных услуг. MWS предполагает использование диапазонов частот от 3 ГГц и выше.

15.3. Области применения беспроводных технологий

На рис. 15.1–15.4 показаны сравнительные характеристики (скорость и дальность передачи) различных беспроводных технологий [1].

Основные области применения беспроводных технологий показаны на рис. 15.1. Для организации беспроводного доступа к услугам ТФОП применяются технологии групп CLL, WLL и VSAT. Для сравнения на рис. 15.2 приведены достигаемые при этом параметры обслуживания в линии на основе витой медной пары.

На рис. 15.3 показаны сравнительные характеристики технологий беспроводного доступа к услугам сетей ПД.

Для обеспечения услуг ПД используются группы технологий WLAN, WPAN, FBWA, а также VSAT. Доступ к услугам мультисервисных сетей классов ИКС4, ИКС5 обеспечивается сегодня технологиями «сотового ТВ» (MMDS, LMDS), а также FBWA и VSAT, характеристики которых показаны на рис. 15.4.

На основании проведенного анализа групп технологий и областей их применения далее рассмотрим классификацию технологий беспроводного абонентского доступа.

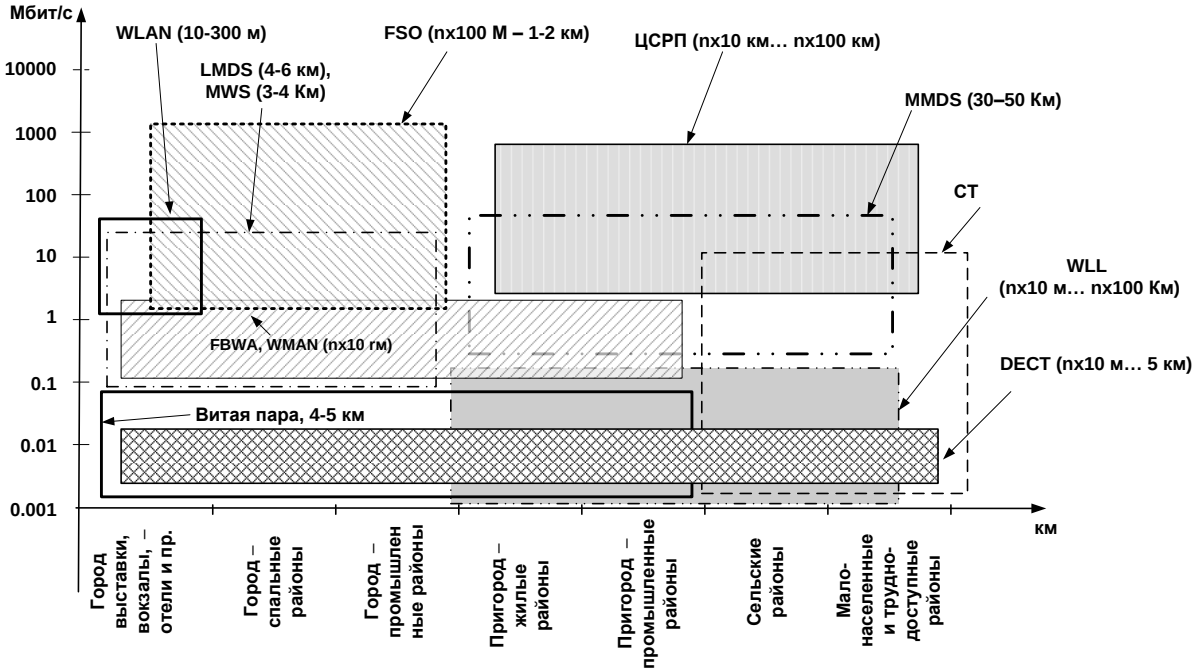


Рис. 15.1. Области применения технологий фиксированного беспроводного доступа

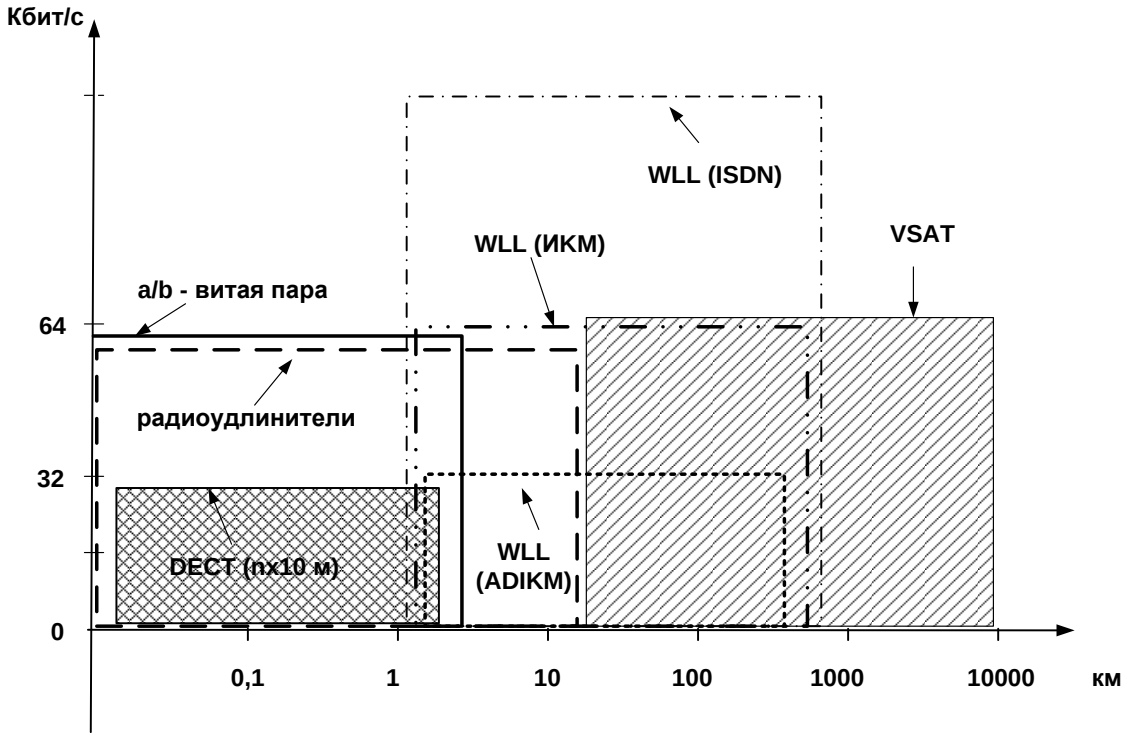


Рис.15.2. Технологии доступа к услугам ТФОП

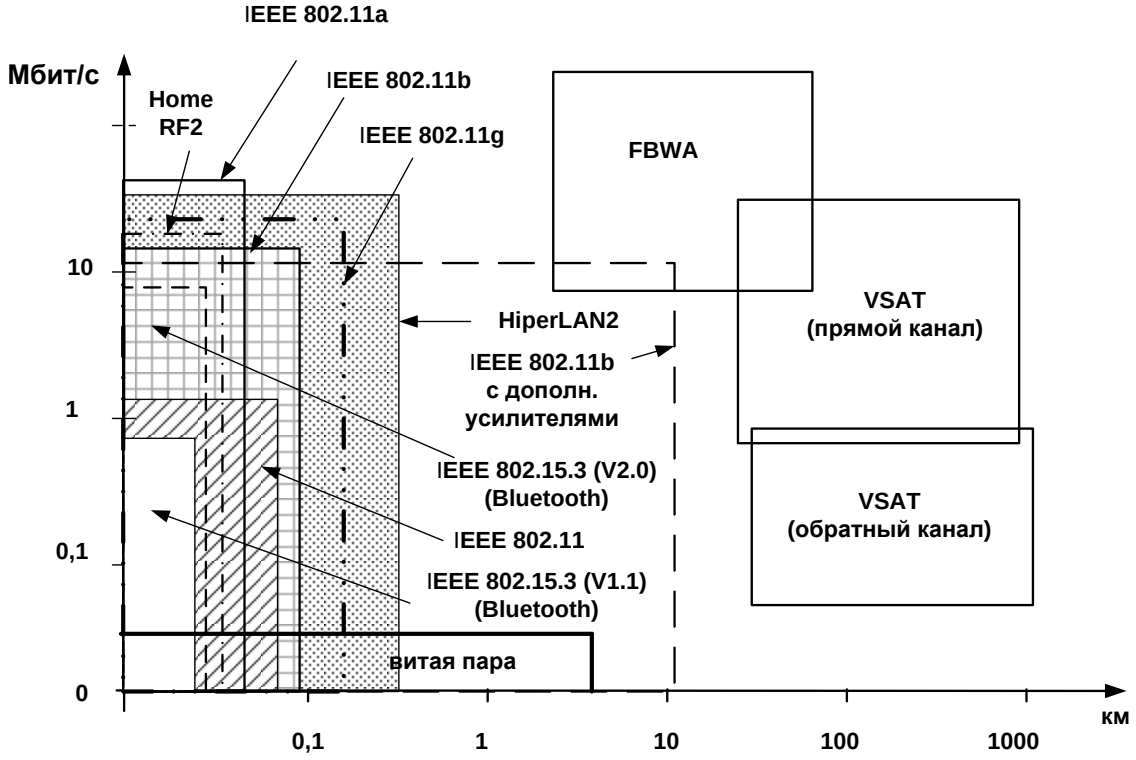


Рис. 15.3. Технологии доступа к услугам ПД

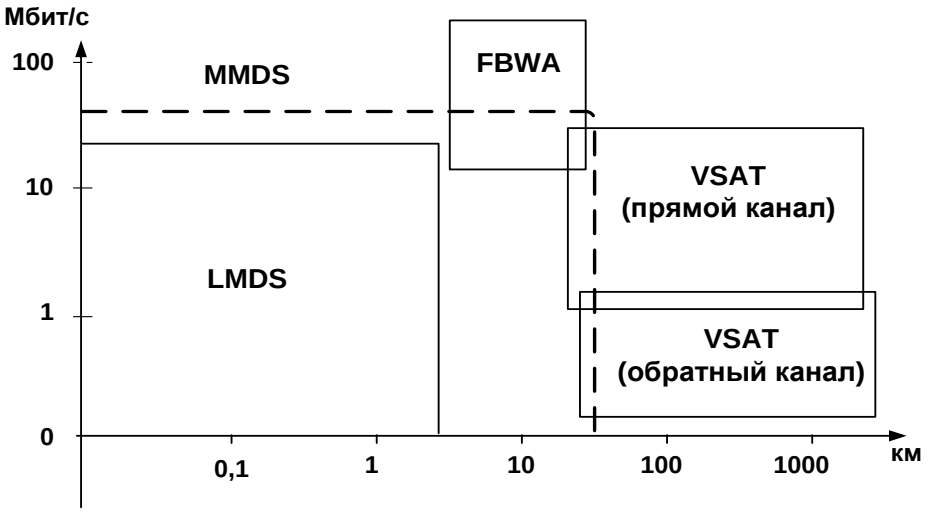


Рис. 15.4. Технологии доступа к услугам мультисервисных сетей связи

15.4. Классификация технологий беспроводного доступа

На рис. 15.5 представлена классификация технологий фиксированного беспроводного абонентского доступа [1]. Технологии разделены на группы по критерию услуг, которые они реализуют.

В класс технологий p-m-p (point to multipoint) входят следующие группы технологий:

CLL (Cordless Local Loop) – обеспечение локальной мобильности (дом, офис и т. д.) абонентов ТфОП;

WLL (Wireless Local Loop) – расширение зоны обслуживания АТС ТфОП;

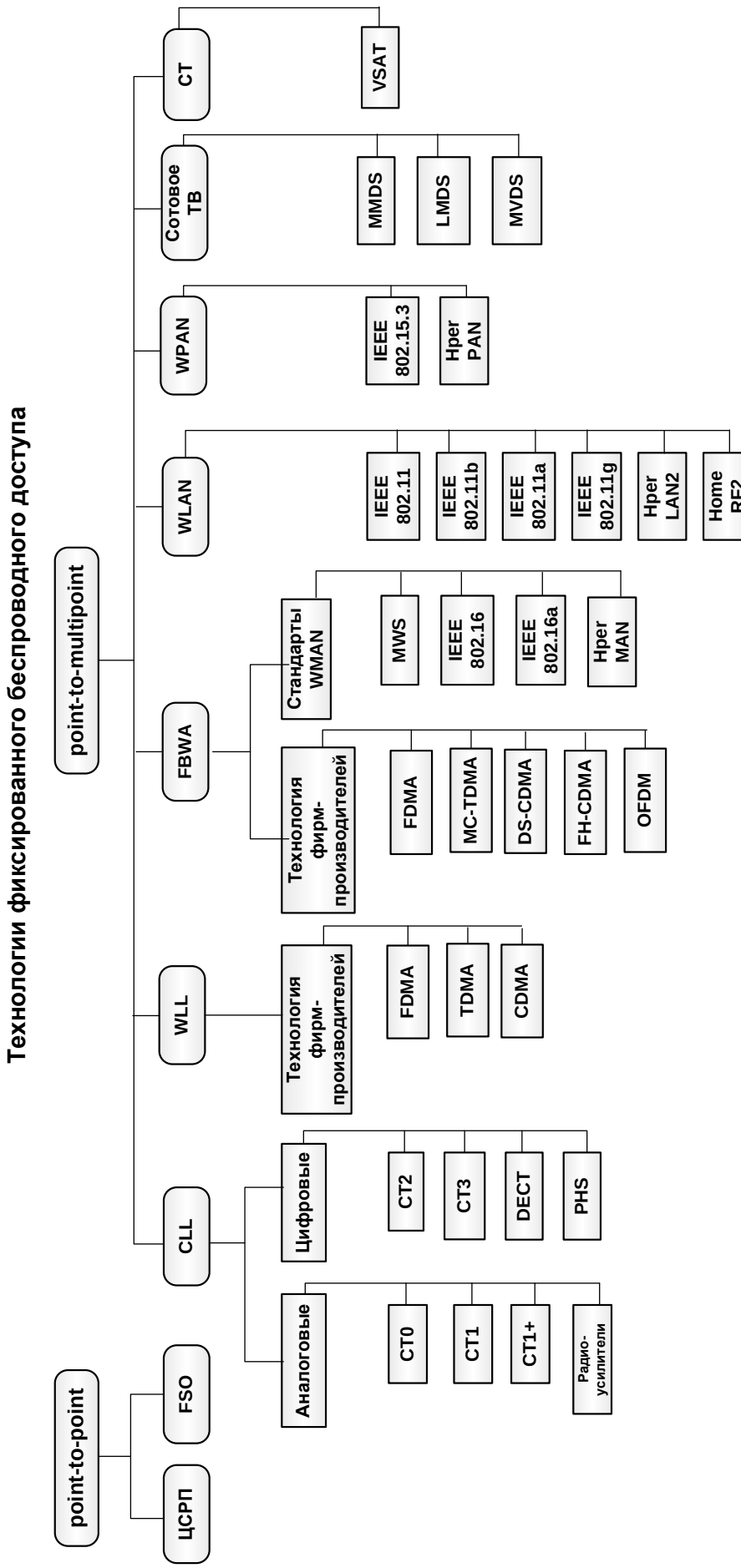


Рис. 15.5. Технологии доступа к услугам мультисервисных сетей связи

FBWA (Fixed Broadband Wireless Access) – предоставление услуг современных мультисервисных сетей (МСС), включая транспортные услуги; на базе данных технологий строятся беспроводные сети масштаба города WMAN (Wireless Metropolitan Area Network);

WLAN (Wireless Local Area Network) – организация беспроводных локальных сетей; в последние годы данная группа технологий все шире используется для построения беспроводных сетей доступа к сетям передачи данных (ПД) и Интернет в местах, где имеется большое число платежеспособных клиентов (выставочные центры, отели, аэропорты и т. д.);

WPAN (Wireless Personal Area Network) – реализация концепции «интеллектуальный дом»;

сотовое ТВ – организация интерактивных сетей доступа к мультимедийным услугам, реализуемым на базе систем эфирного телевизионного вещания путем организации в них обратного канала;

СТ (спутниковые технологии) – организация глобального доступа к телекоммуникационным услугам с использованием систем спутниковой связи.

Технологии класса р-р, обеспечивающие соединение «точка-точка», служат для предоставления транспортных услуг. На рис. 15.5 представлены две группы технологий данного класса.

Технологии ЦРСП (цифровые разделительные системы передач) предназначены для подключения оборудования (мультиплексоров, концентраторов и пр.) удаленных корпоративных или частных пользователей к ТфОП.

Группа технологий FSO (Free Space Optic) предназначена для предоставления транспортных услуг по подключению оборудования корпоративных или частных пользователей к ТфОП или МСС на уровне PDH. Оборудование FSO работает на инфракрасном спектре частот. В отечественной литературе для обозначения этих технологий используются аббревиатуры БОЛС (беспроводные оптические линии связи) или АОЛП (атмосферные оптические линии передачи).

15.5. Технологии обеспечения локальной мобильности абонентов ТФОП (группа CLL)

Эта группа технологий предназначена для организации беспроводного доступа к услугам ТфОП. Она разделена на две подгруппы – аналоговые и цифровые технологии. Использование систем стандартов СТ1, СТ1+ и СТ2 в Европе прекращено с 2008 года, а выдача лицензий на оборудование этих стандартов прекращена в 2000 году.

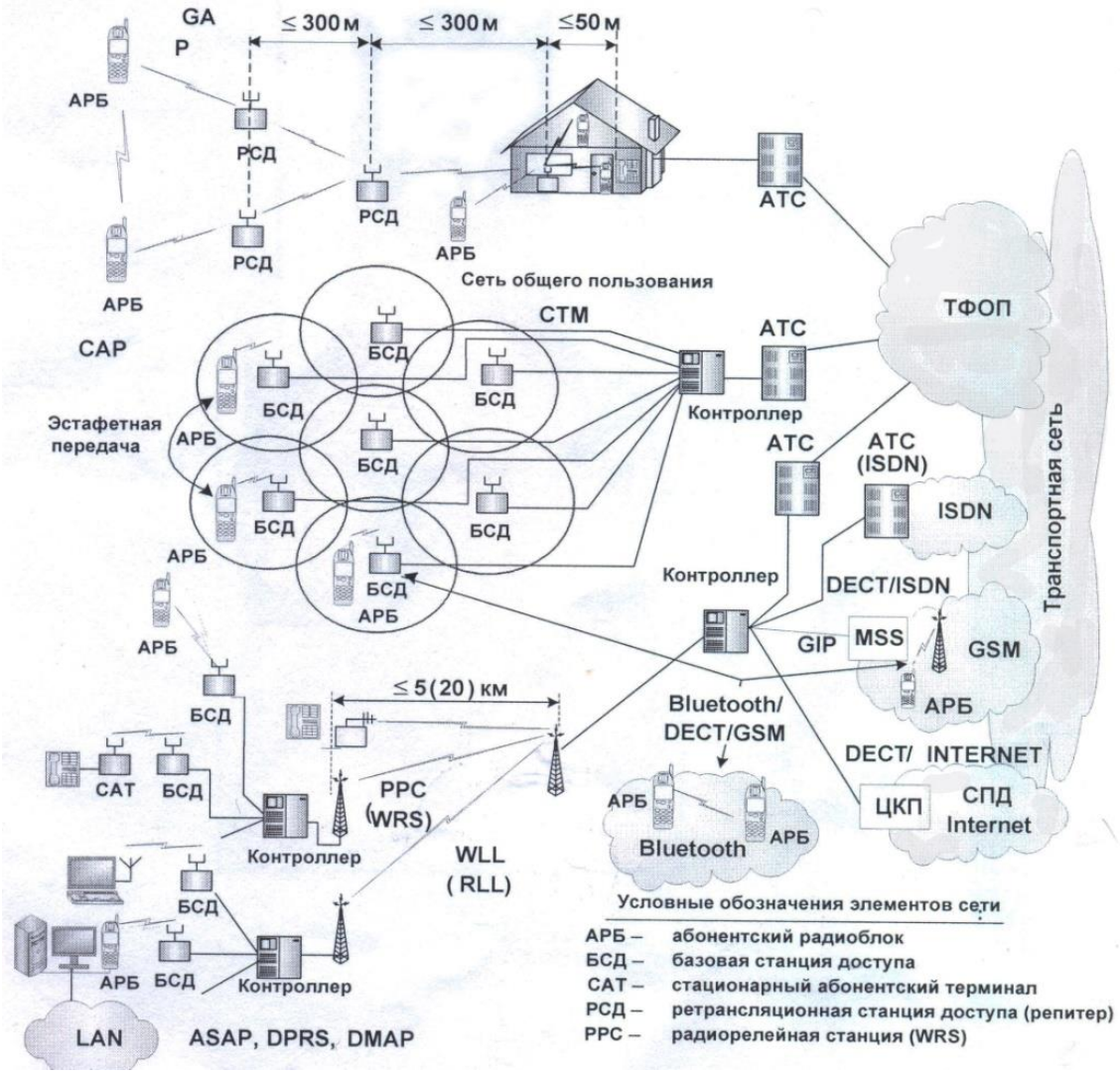
Наиболее популярной технологией, претендующей на роль технологии построения мультисервисных СБАД путем дополнения исходных базовых услуг беспроводного доступа к ТФОП, является европейский стандарт цифровой беспроводной телефонии DECT (Digital European Cordless Telephone).

Технология DECT является развитием европейских стандартов беспроводной (бесшнуровой) телефонии CT (Cordless Telephony): CT-1, CT-2, CT-2+, CT-3. Ближайшими аналогами DECT на других континентах являются: японский стандарт PHS (Personal Handphone System) и американские стандарты PACS (Personal Access Communication System), PWT (Personal Wireless Communications), WDCT (Worldwide Digital Cordless Telephone).

В отличие от предыдущих европейских технологий беспроводной телефонии стандарт DECT позволяет строить многообразные СБАД, способные предоставлять различные телекоммуникационные услуги, далеко выходящие за рамки обычной телефонии. Отчасти поэтому аббревиатуру DECT часто расшифровывают как *Digital Enhanced Cordless Telecommunications* – цифровая улучшенная беспроводная телекоммуникационная система.

В то же время, следует отметить, что DECT не является стандартом телекоммуникационной сети. Это лишь стандарт *подсистемы радиодоступа*. Но доступ обеспечивается не только к ТФОП, а к широкому классу телекоммуникационных сетей. При этом поддерживается большой набор приложений и услуг связи в соответствии с постоянно расширяющимся перечнем профилей DECT (таблица 15.3). Типовая структура и элементы СБАД на основе различных профилей DECT показаны на рис. 15.6, а перечень профилей – в табл. 15.3.

Первоначально процесс стандартизации DECT (как и CT) осуществлялся Европейской конференцией администраций почт и связи CEPT (Conference of European Postaland Telecommunications Operators). Начиная с 1988 года разработка стандарта продолжалась европейским институтом телекоммуникационных стандартов ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Первая редакция стандарта DECT появилась в 1992 году. После этого работа по стандартизации была сконцентрирована на определении общего профиля доступа GAP и других профилей (таблица 15.3).



Рис, 15.6. Типовая структура и элементы СБАД на основе различных профилей DECT

Помимо ETSI в процессе стандартизации DECT участвует еще ряд организаций. Огромную роль в продвижении и развитии технологии играет DECT Forum – международная ассоциация производителей оборудования и операторов DECT.

Таблица 15.3

Профили DECT

№ п.п.	Обозначение	Название	
		Английское	Русское
1.	PAP	Public Access Profile	Профиль открытого доступа
2.	GAP	Generic Access Profile	Общий профиль доступа
3.	CAP	CTM (Cordless Terminal Mobility) Access Profile	Профиль беспроводного доступа терминалов с ограниченной мобильностью
4.	RAP	Radio local loop Access Profile	Профиль фиксированного радиодоступа
5.	Bluetooth/DECT/ GSM	——	Универсальный профиль доступа к сетям Bluetooth, DECT и GSM
6.	ASAP	Application Specific Access Profiles	Профиль доступа приложений
7.	DPRS	DECT Packet Radio Services	Профиль службы пакетной передачи
8.	DMAP	DECT MultimediaAccess Profiles	Профиль доступа к мультимедийным услугам
9.	DIAP	DECT/Internet Access Profile	Профиль доступа к услугам Internet
10.	GIP	DECT/GSM Interworking Profile	Профиль взаимодействия с сетями сотовой связи стандарта GSM
11.	IIP	DECT/ISDN Interworking Profile	Профиль взаимодействия с сетями ISDN
12.	DSP	Data Services Profile	Профиль услуг передачи данных

В процессе согласования и продвижения стандарта DECT в рамках Европейского Сообщества принимает участие Европейская Комиссия ЕС (European Commission), выпускающая время от времени различные директивы и рекомендации.

Наиболее значимой является Директива 1991 года (EU Council Directive 91/287/EEC) о частотном диапазоне, который нужно выделить для введения DECT в Европейском Сообществе.

ETSI разрабатывает документы четырех основных категорий:

EN (European Norm) – европейские нормы;

ETS (ETSI Technical Specification) – ETSI техническиетребования;

ETR (ETSI Technical Report) – ETSI техническиеотчеты;

TBR (Technical Basic for Regulation) – общиетехнические требования.

Аббревиатура ETS расшифровывается также как European Telecommunication Standard – Европейский телекоммуникационный стандарт. Основной стандарт DECT содержится в документе ETS 300 175 и состоит из следующих 9 частей:

Часть 1: Обзор (Overview).

Часть 2: Физический уровень PHL.

Часть 3: Уровень управления доступом к среде MAC.

Часть 4: Уровень управления передачей данных DLC.

Часть 5: Сетевой уровень NWK.

Часть 6: Идентификация и адресация (Identities & Addressing).

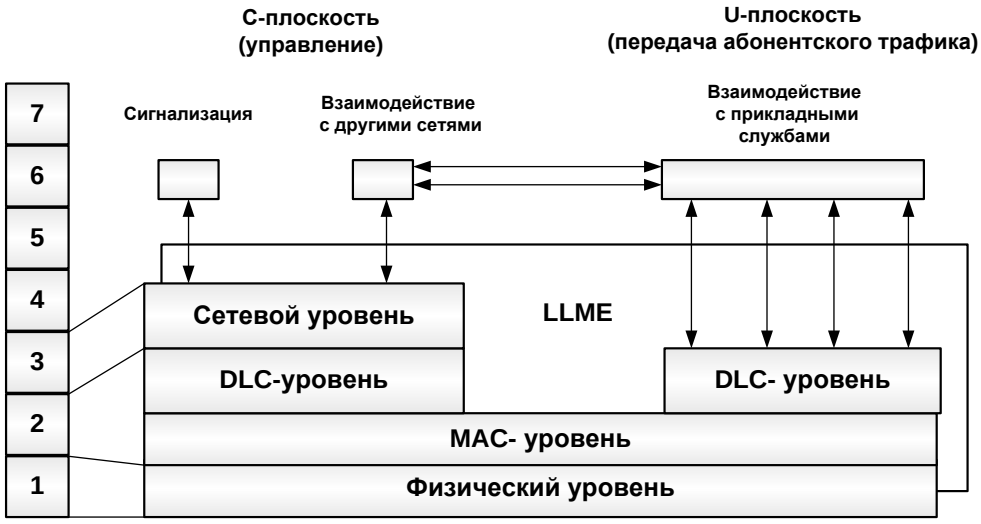
Часть 7: Параметры безопасности (Security Features).

Часть 8: Кодирование и передача речи (Speech Coding & Transmission).

Часть 9: Профиль общего доступа PAP (Public Access Profile).

Части 2–5 определяют радиоинтерфейс (airinterface). Они структурированы по уровням, близким к нижним трем уровням ЭМВОС. Общая уровневая архитектура протоколов DECT показана на рис. 15.7.

Из рис. 15.7 видны характерные черты архитектуры DECT, как сети с коммутацией каналов, подобной сети ISDN. Об этом свидетельствует наличие двух плоскостей архитектуры, одна из которых описывает управление коммутацией (С-плоскость), а вторая (U-плоскость) – передачу абонентского трафика. Дополнительным отличием архитектуры DECT, характерным для систем радиосвязи, является отсутствие жесткого разделения функций различных уровней, что символически отображено на рис. 15.7 в виде слоя LLME, управляющего всеми уровнями в С- и U-плоскостях. Основные отличительные особенности DECT, как стандарта подсистемы радиодоступа, определяются протоколами двух нижних уровней PHL и MAC. Для сравнения в таблице 15.4 приведены определяемые данными уровнями характеристики технологий CT-2 и DECT.



LIME (Lover Laer Management Entity) – среда управления нижними уровнями

DLC (Data Link Control) – управление каналом передачи данных

MAC (Media Access Control) – управление доступом к среде

Рис. 15.7. Уровневая архитектура протоколов DECT

Рассмотрим основные функции и характеристики уровней DECT более подробно.

*Физический уровень PHL (Physical Layer)*обеспечивает среду передачи для связи базовой станции доступа (БСД) с абонентским радиоблоком (АРБ) и характеризуется стандартизованными параметрами радиоинтерфейса. К данным параметрам относятся: диапазон частот, излучаемая мощность, чувствительность приема, метод модуляции, структура временного разделения сигналов и т. д.

В разных странах для DECT выделены различные частотные диапазоны:

1880–1900 МГц – базовый частотный диапазон DECT;

1880–1920 МГц – расширенный частотный диапазон для Европы;

1910–1930 МГц – частотный диапазон для Латинской Америки;

1850–1990 МГц – частотные диапазоны для Северной Америки;

1900–1920 МГц – частотный диапазон для основной части Китая.

Рассматривается возможность использования DECT и в других диапазонах частот, в частности в диапазонах 2,4 ГГц и 3,5 ГГц.

Таблица 15.4

Сравнение характеристик технологий беспроводного доступа CT-2 и DECT*

Параметр	CT-2	DECT
Диапазон частот	864,1 – 868,1 МГц	1880 – 1900 МГц
Метод многостанционного доступа/дуплекса	FDMA/TDD	MC/TDMA/TDD
Интервал между соседними частотами	100 кГц	1,728 МГц (F_{10}=1897,344 МГц)
Число несущих частот (частотных каналов)	40	10
Число тайм слотов	2	24
Число дуплексных речевых каналов на несущей частоте	1	12
Длительность кадра	2 мс	10 мс
Общая скорость передачи	72 кбит/с	1152 кбит/с
Метод модуляции сигнала	FSK	GFSK
Метод кодирования речи	ADPCM 32 кбит/с	ADPCM 32 кбит/с
Средняя / пиковая мощность	5/10 мВт	10/250 мВт
Метод выбора частотного канала	DCS	CDCS

** Условные обозначения в таблице:*

FDMA (Frequency Division Multiple Access) – многостанционный доступ с частотным разделением.

TDMA (Time Division Multiple Access) – многостанционный доступ с временным разделением.

TDD (Time Division Duplex) – дуплекс с временным разделением.

MC (Multi Channel) – многоканальный.

FSK (Frequency Shift Keying) – частотная манипуляция с (минимальным) частотным сдвигом.

GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) – Гауссовская манипуляция с (минимальным) частотным сдвигом.

ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) – адаптивная (разностная) дифференциальная импульсно-кодовая модуляция (АДИКМ).

DCS (Dynamic Channel Selection) – динамический выбор канала.

CDCS (Continues Dynamic Channel Selection) – непрерывный динамический выбор канала.

Основные частотно-энергетические характеристики радиоинтерфейса базового стандарта DECT показаны на рис. 15.8.

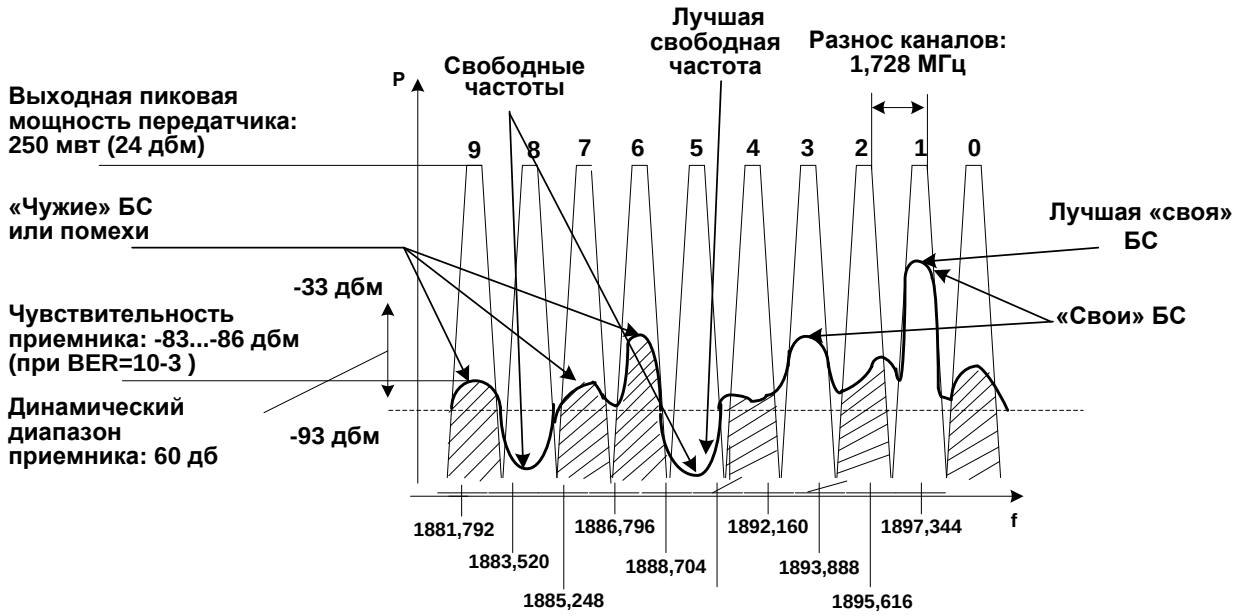


Рис. 15.8. Частотно-энергетические характеристики радиоинтерфейса DECT

Основной способ модуляция несущей 0,5 GFSK – разновидность GMSK с девиацией частоты Δf_d = 288 кГц и Гауссовой фильтрацией манипулированного сигнала, сужающей ширину спектра до 0,5 от скорости передачи.

Стандартом ETS.300.175 предусмотрена также возможность использования высокоскоростной фазовой манипуляции несущей информационной части сигнала до 2 Мбит/с одним из следующих способов: четырехуровневая π/4-DQPSK или восьмиуровневая TC/8-D8PSK (сигнально-кодовая конструкция на основе решетчатого кодирования и фазовой манипуляции). При этом сигналы синхронизации и управления модулируются, как и ранее (GFSK), с той же скоростью.

На рис. 15.9 показано представление основных сигналов DECT на фазовой плоскости.

Сигнал на несущей в DECT передается циклами (кадрами) фиксированной временной длины 10 мс. Кадр делится на 24 временных окна (слота), каждое из которых имеет длительность 10 / 24 = 0,41(6) мс ≈ 417 мкс. Каждые очередные 16 кадров образуют мультикадр длительностью 160 мс. При использовании внешней посекундной синхронизации с помощью спутниковой системы навигации GPS применяется также понятие гиперкадра, который имеет продолжительность 4 секунды и содержит 25 мультикадров.

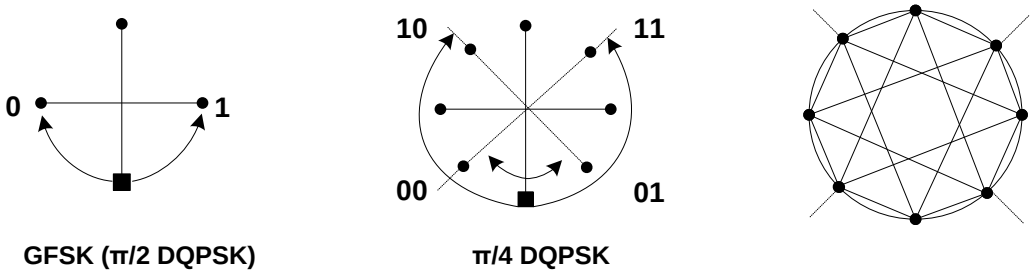


Рис. 15.9. Представление сигналов DECT на фазовой плоскости

Временные окна кадра образуют одночастотный канальный ресурс, распределяемый методом TDMA/TDD поровну между 12 дуплексными каналами. В течение первых двенадцати временных окон передачу осуществляет БСД, а прием – АРБ. На протяжении следующих двенадцати временных окон передачу осуществляет АРБ, а прием – БСД. В ряде случаев нормальное полное временное окно делится на два половинных окна. В некоторых приложениях наоборот используются сдвоенные временные окна (по шесть на передачу и прием). В любом случае правила временного доступа в кадре строго соблюдаются, хотя внутри кадра число половинных слотов возрастает вдвое, а сдвоенных уменьшается вдвое.

На рис. 15.10 показан пример использования двух разных частот и разных пар временных окон для соединения двух АРБ с одной БСД.

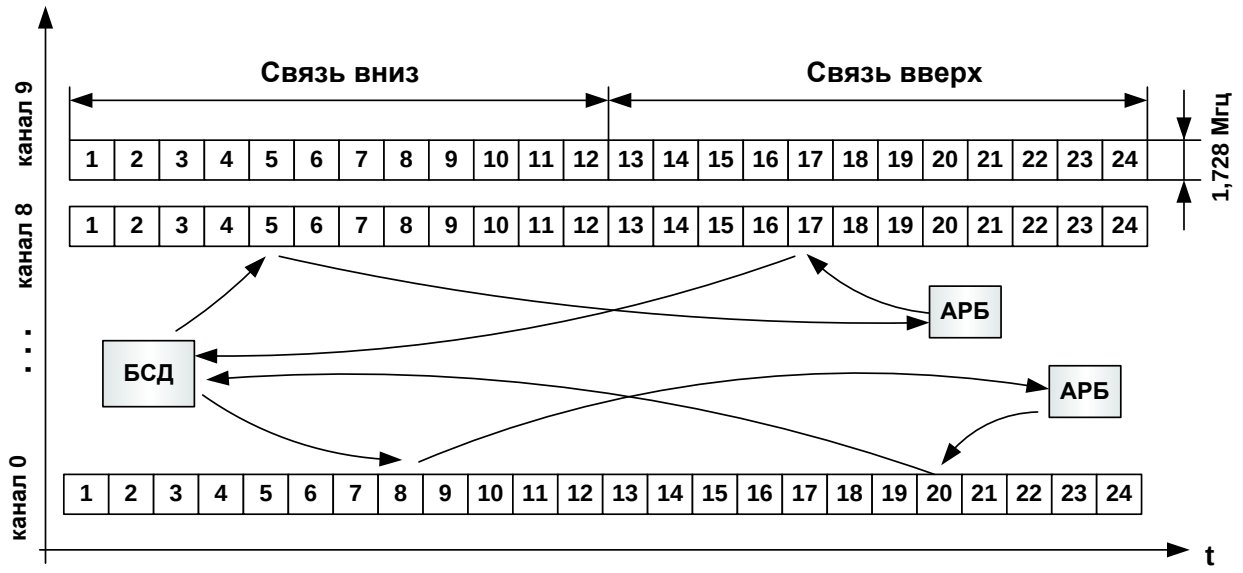


Рис. 15.10. Пример реализации MC/TDMA/TDD в стандарте DECT

Применяемый в системах DECT временной дуплекс не позволяет использовать обычные ретрансляторы сигналов с частотным сдвигом. На рис. 15.11 продемонстрирован принцип работы репитера DECT с временным сдвигом. Как видно из рис. 15.11, репитер расходует двойной набор временных окон, поэтому он не может ретранслировать больше 6 каналов. При этом возникает несимметричный временной сдвиг: в одну сторону на n = 2…11 окон, а в обратную на 24 – n = 22…13 окон.

С учетом частотного и временного доступа DECT в состоянии одновременно поддерживать 120 стандартных дуплексных (пар) каналов. Каждый физический канал в выделенном временном окне длительностью 417 мкс с эквивалентной длиной 480 бит содержит (см. рис. 15.12) фиксированный защитный интервал G длительностью 52 мкс (эквивалентной 60 битам) и блок данных (именуемый пакетом), включающий 32-битовую синхропоследовательность S длительностью 27 мкс, 64-битовую последовательность сигналов управления A длительностью 56 мкс и битовую последовательность переменной длины передаваемых данных B с хвостовиком Z (в зависимости от типа пакета P00, P32, P08j, P80) с максимальной длиной 324 бита.

Синхросигнал S состоит из заголовка (преамбулы) и синхропакета по 16 бит каждый. Заголовок синхросигнала S БСД представляет собой меандр, начинающийся логической 1, а синхропакет имеет вид 1110100110001010. Синхросигнал, передаваемый АРБ, является инверсным вариантом синхросигнала БСД.

Сигнал управления A включает собственно сигнал управления длиной 48 бит (8-битовый заголовок и 40-битовую информационную часть) и проверочную комбинацию из 16 бит.

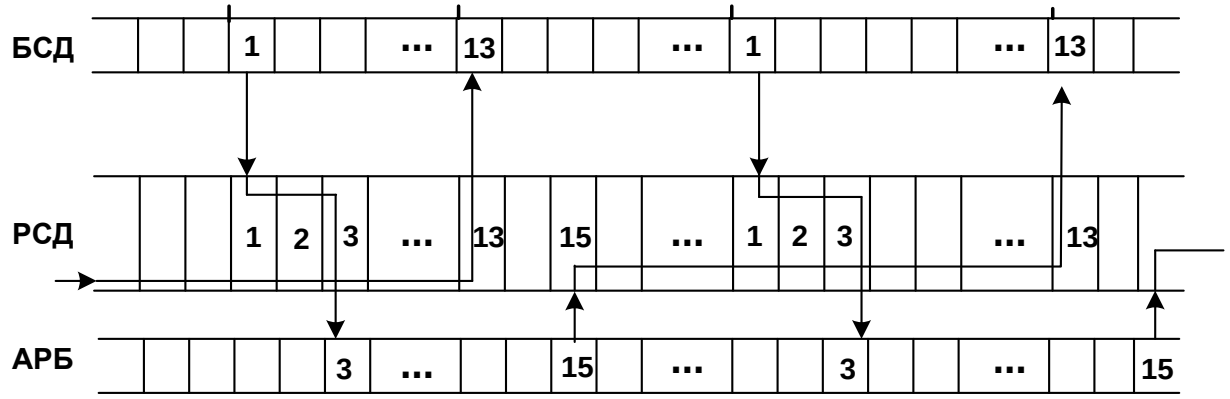


Рис. 15.11. Принцип работы репитера DECT

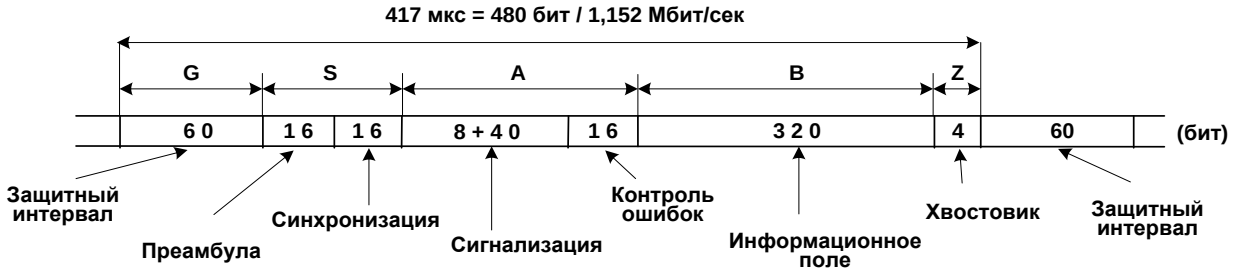


Рис. 15.12. Формат блоков данных (слотов) DECT

Учитывая возможность передачи половинных или сдвоенных пакетов, выделяют 4 физических типа пакетов:

короткий физический пакет P00, который в полном слоте занимает только служебную часть S+A, 96 бит (остальная часть слота является нерабочей);

базовый физический пакет P32 длиной 420 бит (в ряде случаев добавляется еще 4 хвостовых бита X, за счет длительности поля G);

физический пакет малой емкости P08j, образуемый путем деления полного слота из 480 бит на два половинных временных окна L=0 и L=1, каждый из которых имеет битовую длину 240 бит, из которых служебная и информационная часть составляют 180 бит, а защитный интервал равен 60 бит;

физический канал большой емкости P80, образуемый путем объединения двух временных окон с общей эквивалентной битовой длиной 960 бит, из которых служебная и информационная часть составляет 900 бит, а защитный интервал равен 60 бит.

Хвостовик Z из 4 бит используется в пакетах P32, P08j, P80 для обнаружения столкновений (коллизий) при попытке выйти на связь с БСД в одном временном окне двух и более АРБ.

С помощью данных пакетов в системе DECT формируются следующие логические каналы:

P – канал широковещательной передачи информации о состоянии и возможностях развернутой и действующей системы. Он образуется мультиплексированием информационной части полей A и используется, в частности, для передачи сетью вызывных сообщений для абонентского терминала (AT);

I – канал для предоставления услуг пользователю, для чего задействуются поля B. В случае передачи информации, не требующей защиты от возможных искажений, например, речи, ее трансляция осуществляется на длительности всего поля B.

В противном случае поле B делится на 4 подполя (по 64 бита) с добавлением к каждому из них проверочной комбинации циклического кода (16 бит);

C – канал передачи сигналов управления верхних уровней DECT, а также может содержать данные пользователей в дополнении к каналу I. Он делится на два подканала – Cs и Cf. Подканал Cs является медленным совмещенным каналом управления и размещается в информационной части полей A, подканал Cf является более скоростным и использует подполя B;

M – канал передачи управляющей информации уровня доступа к среде, такой как управление процессом шифрования и корректировкой несущих частот. Данный канал формируется с помощью информационной части полей A;

Q – канал передачи идентификационной информации;

N – канал передачи основной системной информации. Для формирования логических каналов Q и N используется информационная часть полей A.

Уровень управления доступом к среде MAC обеспечивает доступ к физической среде (радиоканалу) по протоколам взаимодействия между БСД и АРБ. Основными функциями уровня являются:

процедуры установления соединения по входящим и исходящим запросам, включая поиск АРБ (*paging*);

обеспечение сигнализации и управления сетевого уровня взаимодействия абонентов (*C-plane*) и на уровне прямого пользовательского доступа без сетевых процедур (*U-plane*), которые в данном случае являются транзитными (без обработки);

управление эстафетной передачей (хэндовером), в том числе во взаимодействующих сетях через соответствующие профили. MAC отвечает за «мягкий» хэндовер и механизм динамического перераспределения (использование метода CDCS/CDCA) частотно-канального ресурса DECT.

Использование метода непрерывного динамического выбора CDCS (*Continues Dynamic Channel Selection*) и выделения канала CDCA (*Continues Dynamic Channel Selection*) является наиболее значительным отличительным свойством DECT, как системы радиодоступа, динамически адаптирующейся к сигнально-помеховой обстановке. Данный метод является мощной альтернативой методам широкополосной связи типа FHSS и DSSS (в системах с кодовым разделением CDMA), не использующим адаптацию к помехам, а обезличивающим и подавляющим любые помехи за счет псевдослучайной избыточной кодовой структуры сигналов. И те, и другие методы позволяют развертывать многозоновые системы беспроводного доступа без частотного планирования, «разрешая» любой станции использовать весь диапазон частот. Но, если в системах CDMA «использование всего диапазона частот» является буквальным, то в системах DECT оно подразумевает постоянный адаптивный выбор из всего частотного диапазона одного свободного от помех частотного канала. Причем каждое очередное временное окно может занимать новый частотный канал.

При условии идеальной адаптации, предполагающей мгновенное предсказание любых изменений помеховой обстановки, технология DECT намного эффективнее технологии CDMA. Однако на практике условия близкие к идеальным для адаптации возникают лишь на относительно небольших расстояниях и при относительно медленных перемещениях абонентов.

Рассмотрим метод CDCS/CDCA более подробно.

Одиночная БСД имеет один дуплексный приемо-передающий тракт, который во включенном состоянии работает на одной из частот и обслуживает не более 12 МДВР каналов, сканируя по 10 частотным каналам в поиске очередной подходящей рабочей частоты.

Полный комплект системы состоит из 10 одиночных БСД и обслуживает 120 дуплексных пар каналов. Каждая БСД имеет две пространственно разнесенные

антенны (при длине волны $\lambda \approx 16$ см максимальный разнос антенн не превышает 10–15 λ и составляет 1,5–2 м), позволяющие выбирать лучший канал приема в условиях интерференции (многолучевости). Направленные антенны имеют коэффициент усиления 10–16 дБ при ширине главного лепестка диаграммы направленности в вертикальной плоскости 10–20°, в горизонтальной – 40–80°, при уровне заднего излучения –20…–12 дБ и боковых лепестков –12 дБ.

Выбор каналов БСД осуществляется в режиме «прием». Один приемник одиночной БСД или 10 приемников полного комплекта поочередно или параллельно сканируют все каналы приема. При этом осуществляется процедура RSSI (*Received Signal Strength Indication*) – измерение уровня сигналов на работающих каналах и уровня шумов (помех) на неработающих свободных каналах. По результатам сравнения полученных данных измерений БСД выбирается свободный канал с минимальным уровнем шумов (помех). На выбранном канале БСД передает сигнал «маяк», совмещающий функции широковещательного и пейджингового каналов. На этом канале для АРБ передаются: синхросигнал, идентификатор системы, возможности сервисного обслуживания в системе, свободные каналы в системе и пейджинговые вызовы для поиска абонентов.

После включения питания АРБ в режиме приема также реализует процедуру RSSI, сканируя все частоты. После обнаружения каналовс «маяками» слышимых БСД, идентифицирует «маяк» своей БСД, синхронизируется с ней и переходит в спящий режим ожидания поискового вызова. Если из-за медленного перемещения пользователя АРБ теряет «маяк» своей БСД, то он ищет «маяк» другой БСД, взаимодействие с которой заложено в сервис обслуживания и ожидает поисковый вызов. В этом и заключается процедура динамического выбора каналов CDCS.

При инициировании вызова АРБ, не теряя (в памяти) сигнала «маяка», сканирует другие частотные каналы, проверяя их занятость, а также их качество, а на свободных – уровень помех. Номера не менее двух лучших по качеству каналов заносятся в память АРБ, после чего начинается процедура вызова. Для этого АРБ передает на свою БСД предложение установить связь на выбранном АРБ канале. БСД может отвергнуть или принять это предложение. При получении отрицательного ответа АРБ предлагает второй канал. После получения согласия от БСД в засинхронизированном режиме происходит обмен адресно-управляющей информацией по запрашиваемому сервису обслуживания. В зависимости от содержания этой информации АРБ предоставляется соответствующий запросу трафик-канал и устанавливается соединение.

Прием входящих вызовов АРБ осуществляет в спящем режиме на сигнале «маяк», реагируя только на адресно-вызывные поисковые сигналы. При получении адресного вызова АРБ посылает БСД запрос/предложение о лучшем канале (по результатам оценки сканированных каналов). Дальнейшая процедура подобна описаной выше для исходящего вызова.

При ухудшении качества назначенного трафик-канала осуществляется процедура выбора нового, лучшего по качеству канала. Инициировать смену канала в режиме «мягкого» хэндовера может как АРБ, так и БСД. При этом, получив согласие на переключение каналов (после обмена запросами/предложениями о новом канале) может быть осуществлен внутренний переход (на канал той же БСД) или внешний переход (на канал другой БСД). Это и есть процедура непрерывного динамического перераспределения каналов (CDCA). Суть «мягкого» хэндовера состоит в том, что на интервале переключения работают два канала: текущий и новый. В процедуре выбора каналов не участвует центральный контроллер системы, что высвобождает значительные ресурсы каналов управления, в том числе временные, что чрезвычайно важно для микросотовых структур. Однако в таких структурах сложно реализовать хэндовер для высокоскоростных абонентов, быстро пролетающих несколько зон доступа.

Таким образом, благодаря режиму CDCS/CDCA в общей зоне радиодоступа динамично уживаются несколько систем АРБ–БСД с выбором лучших условий для каждого случая назначения трафик-каналов в сложных условиях радиосвязи при высокой плотности абонентского трафика, достигающей 10 000 Эрл/кв. км.

Уровень управления передачей данных DLC обеспечивает качество доступа, являясь верхней частью уровня звена данных. С этой целью предусматривается наличие в протоколах сигнализации и управления четкого адресного взаимодействия, полей данных управления по MAC и DLC процедурам, защиты передаваемых данных от ошибок. Заголовок в S-поле длиной 16 бит определяет тип DECT системы (домашняя, офисная, общего пользования) и тип передаваемого сообщения, кроме того передается идентификатор системы, информация о поддерживаемых функциях сервиса и поисковая информация. Сигнализация и управление в поле А содержит 48 бит данных и защищена проверочной 16-битовой комбинацией, получаемой при циклическом кодировании данных. В целом этот уровень DECT протокола близок к протоколу ISDN LAPD.

Сетевой уровень NWK (Net Wor K) отвечает в С-плоскости за реализацию следующих функций управления:

взаимодействие и управление уровнями DLC и MAC, управление потоками вызовов;

управление мобильностью – внешний хэндовер и роуминг при медленном перемещении в DECT и при взаимодействии с другими системами (например, с GSM по профилю GIP). Внутренний хэндовер осуществляется без участия уровня, что является существенным упрощающим отличием DECT от GSM;

управление передачей данных с установлением соединения и без установления соединения.

Дальнейшим развитием стандартов DECT в ETSI в настоящее время занимаются несколько рабочих групп. Основными направлениями работы данных групп являются:

разработка стандартов базового интерфейса CI, общего профиля доступа GAP, микросотовых систем общего доступа CTM, межсетевого взаимодействия DECT/GSM, фиксированного абонентского доступа;

разработка профилей, относящихся к передаче данных DECT/DATA, основными из которых являются DPRS, DIAP и DMAP;

разработка спецификаций по тестированию DECT/TEST.

Наиболее перспективными направлениями дальнейшего развития стандартов DECT считаются следующие:

поддержка двухмодовых (DECT/GSM) и даже трехмодовых (Blue Tooth/DECT/GSM) абонентских устройств;

поддержка высокоскоростной передачи данных (до 2 Мбит/с);

поддержка приложений третьего поколения 3G.

В России основными документами, регулирующими применение DECT, являются:

решение ГКРЧ «Об использовании полосы частот 1880–1900 МГц для оборудования беспроводной телефонной связи технологии DECT», протокол от 26.08.1996 № 39/7;

приказ Министерства связи РФ «О порядке внедрения оборудования DECT на российских сетях электросвязи», приказ от 13.11.96 № 128 (отменен приказом Госкомсвязи России от 11.08.1998 № 134);

решение ГКРЧ «Об использовании полосы частот 1 880–1 900 МГц для оборудования DECT», протокол от 27.04.1998 № 6/2;

приказ Госкомсвязи РФ «О порядке внедрения оборудования DECT на российских сетях электросвязи», приказ от 11.08.1998 № 134.

В заключение рассмотрения технологии DECT стоит отметить, что диапазон 1880–1900 МГц пересекается с диапазоном радиорелейной станции военного назначения Р-414 на трех рабочих частотах 33, 34 и 35. С одной стороны, это говорит о необходимости

соответствующего учета ЭМС при планировании радиорелейной связи, а с другой стороны, указывает на потенциальную возможность использования Р-414 после определенной доработки в качестве БСД или РСД (WRS) стандарта DECT. Дополнительным поводом для указанной доработки может служить принятое решение Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) о постепенном выводе военной техники связи из диапазона частот 2 ГГц для его освобождения под международные стандарты систем беспроводного доступа и подвижной связи общего пользования.

Технология DECT имеет более чем 15-летнюю историю успешного применения на сетях связи и реально показала свои преимущества [2, 3]:

выделенный частотный ресурс в России;

упрощенные процедуры регистрации и ввода в эксплуатацию DECT-оборудования;

высокое качество передачи голоса и данных на TDM- и MPLS/IP-сетях;

невысокая стоимость оборудования и эксплуатации системы.

Развитие технологии DECT идет в сторону увеличения скорости передачи данных, для чего необходимо переходить к более «продвинутым» видам модуляции 16 QAM (128 кбит/с в одном канале) и 64 QAM (192 кбит/св одном канале) и объединить частотно-временные каналы. При объединении шести каналов для первого абонента скорости передачи данных могут достигать 1,152 Мбит/с. В этом случае для одной 12-канальной базовой станции (БС) радиотехнологии DECT максимальная скорость передачи данных составит 13,824 Мбит/с.

Для обеспечения ограниченной локальной мобильности в сельской местности у нас в стране могут использоваться радиоудлинители. Для них выделены полосы частот в диапазонах 160, 330 и 420 МГц.

15.6. Технологии расширения зон обслуживания АТС (группа WLL)

WLL-технологии имеют бесспорное преимущество перед проводными в случае отсутствия кабельной инфраструктуры в труднодоступных и малонаселенных районах. Главные недостатки WLL – ограниченная пропускная способность и относительно высокая стоимость в расчете на одного абонента, а также традиционные для радиосвязи (да и оптической связи) проблемы «открытости» к внешним воздействиям. Однако принципиальная возможность быстрого развертывания, приема радиосигналов в любом месте (в пределах определенных зон покрытия), не привязываясь к «розетке», а также возможность связи в движении, вызывают все больший интерес к беспроводным технологиям, стимулируя их развитие и снижение стоимости.

В настоящее время существует огромное множество WLL-технологий, которые можно условно разделить на две большие группы – технологии фиксированной и подвижной связи, используемые, соответственно, для доступа фиксированных и подвижных абонентов. Традиционно аббревиатуру WLL используют в узком смысле для обозначения первой группы технологий – фиксированного беспроводного абонентского доступа. Технологии же подвижной или иначе «мобильной» связи обычно рассматривают как самостоятельную группу технологий, среди которых принято различать технологии сотовой, транкинговой, пейджинговой и спутниковой связи.

Очевидно, подвижную связь всегда можно использовать, как фиксированную. Обратное же не всегда возможно. С другой стороны, фиксированная связь позволяет обеспечить предоставление широкополосных услуг с качеством, соизмеримым с качеством услуг, предоставляемых проводными технологиями, что пока не может себе позволить подвижная связь.

Первые разработки оборудования WLL появились еще в конце 1980-х годов. Системы были предназначены для решения задач по расширению зоны обслуживания АТС и телефонизации малонаселенных и труднодоступных районов. Внедрение систем

WLL позволило предоставлять услуги традиционной телефонии в тех местах, где прокладывание кабелей связи было экономически нецелесообразным и даже просто невозможным.

Существует множество различных структур, называемых WLL, но каждая отличается одна от другой. Однако все они разработаны как альтернатива медно-кабельной инфраструктуре доступа (рис. 15.13) [4].

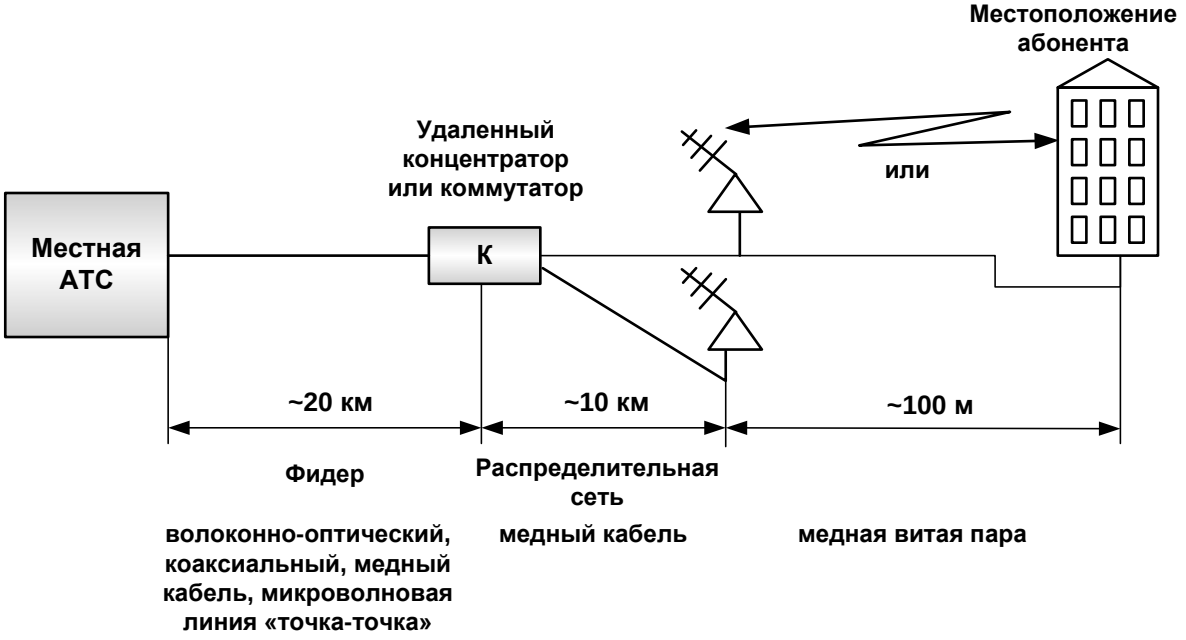


Рис. 15.13. Традиционная схема доступа к абоненту

Такая структура сети до недавнего времени применялась повсеместно и составляла около 99 % всех проводных инфраструктур доступа, установленных в мире.

Кабельная структура состоит из трех частей: фидерной части, распределительной сети и абонентского кабеля. Альтернативой этой кабельной структуре могут служить по крайней мере пять вариантов беспроводного абонентского доступа (рис. 15.14) [4].

Вариант 1 – беспроводный фиксированный доступ или стационарный доступ обеспечивает услуги, качество и уровень, аналогичные медному кабелю. Заменяют меднокабельные сети в «полудеревенских» (европейское село) и пригородных районах. Примером такой системы является система «Airspan-60», в которой используется технология многостанционного доступа с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра (DS-CDMA).

Вариант 2 – доступ по сотовой связи с применением мобильной сотовой технологии в абонентской сети. Заменяют собой распределительную и абонентскую кабельную сеть, но обычно требуют установки особых базовых станций. Применяется для развертывания в городских, пригородных и сельских районах.

Вариант 3. Если длина беспроводного участка не превышает 100 м, то может использоваться 3-й вариант структуры с бесшнуровой технологией, такой как CT2, DECT или PHS, с учетом ограничения дальности действия (не более 5 км).

Вариант 4 – технология микроволновой линии «точка-многоточка» применяется для обеспечения телефонной связью малонаселенных территорий. Такие системы обладают малой системной емкостью и сконфигурированы для обеспечения большого числа многолинейных ответвлений, предпочтительных для индивидуальных абонентских зданий.

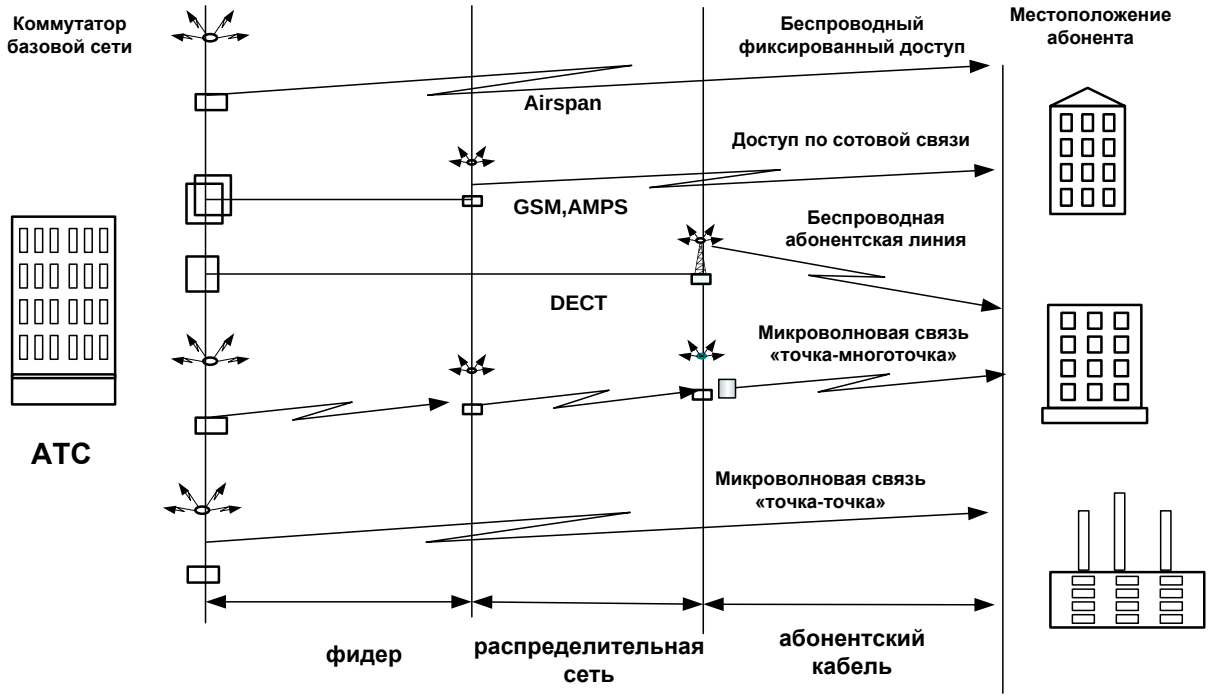


Рис. 15.14. Варианты беспроводного доступа

Вариант 5 – технология микроволновой линии «точка-точка» используется для прямого подключения крупных (коммерческих) абонентов к коммутируемой сети. Применяются в городских и пригородных районах на частотах от 10 ГГц и выше.

Системы WLL обеспечивают соединения point-to-multipoint («точка – много точек»), а сети радиодоступа на базе этих систем строятся по сотовому принципу. В состав систем WLL входят (рис. 15.15) [4, 5]:

центральная станция (ЦС), выполняющая функции подключения пользователей сети к АТС и обеспечивающая управление всей сетью;

базовые станции;

ретрансляционные станции (РС), позволяющие обеспечить сплошное покрытие обслуживаемой территории и расширить зону обслуживания АТС до нескольких сотен километров;

абонентские терминалы (АТ), устанавливаемые в зонах обслуживания ЦС и РС и предназначенные для подключения оконечного оборудования пользователей (телефонные аппараты, факсы, модемы);

система технического обслуживания, устанавливаемая в ПК и реализованная на уровне управления сетевыми элементами в виде программного пакета в соответствии с концепцией TMN.

Базовые станции связаны с ЦС проводными или беспроводными микроволновыми линиями связи с пропускной способностью n × 2 Мбит/с. ЦС предназначена для концентрации трафика WLL, обработки вызовов и обеспечения связи с АТС, осуществляемой по цифровым каналам с высокой пропускной способностью (интерфейсы V 5.1, V 5.2) или по многочисленным аналоговым двухпроводным линиям. ЦС поддерживает также функции управления системой.

Базовые станции осуществляют радиосвязь со стационарными или ограниченно мобильными абонентами в пределах своих зон обслуживания, величина которых зависит от используемой в системе радиотехнологии (FDMA, TDMA, CDMA и др.) и обеспечивают передачу вызовов центральной станции. Базовая станция состоит из антенно-фидерного тракта, одно- или многоканальной приемопередающей аппаратуры, локальной подсистемы управления, интерфейсов и подсистемы питания.

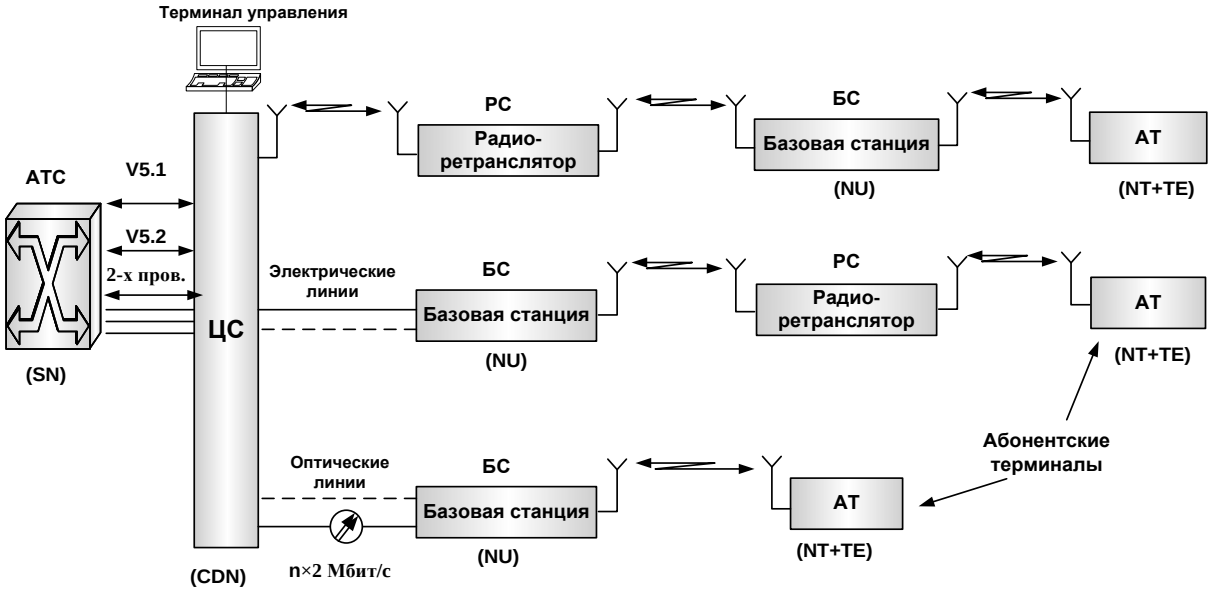


Рис. 15.15. Структура системы абонентского радиодоступа WLL

Абонентские терминалы – это портативные беспроводные телефонные трубки, обеспечивающие ограниченную подвижность связи или специальные настольные аппараты с приемопередатчиком и антенной и стационарными блоками на одну или несколько телефонных линий, к которым подключаются телефоны, факсы, модемы.

Для обеспечения ограниченной локальной мобильности в сельской местности у нас в стране могут использоваться радиоудлинители. Для них выделены полосы частот в диапазонах 160, 330 и 420 МГц.

Системы WLL работают в диапазонах частот от 1,5 до 3,5 МГц в условиях прямой видимости. Для реализации доступа к радиоресурсам используются фирменные разработки технологий множественного доступа с частотным (FDMA), временным (TDMA) и кодовым (CDMA) разделением каналов. Для модуляции информационного сигнала используются различные виды двух- и 4-позиционной модуляции, помехоустойчивое кодирование информации не применяется.

Множественный доступ с частотным разделением (FDMA –Frequency Division Multiple Access) – наиболее простой из трех методов множественного доступа как по своей идее, так и по возможности реализации. В этом методе каждому пользователю на время сеанса связи выделяется своя полоса частот (частотный канал), которой он владеет безраздельно. Метод FDMA используется во всех аналоговых системах сотовой связи (системах первого поколения), при этом полоса одного частотного канала составляет 10...30 кГц. Основной недостаток FDMA, с точки зрения сотовых сетей связи, недостаточно эффективное использование полосы частот.

Множественный доступ с временным разделением (TDMA –Time Division Multiple Access) значительно сложнее в реализации, чем FDMA. Суть метода TDMA заключается в том, что каждый частотный канал (несущая частота) по очереди предоставляется нескольким пользователям на определенные промежутки времени. Благодаря этому в одном частотном канале возможна реализация нескольких физических (информационных) каналов. Одна из сложностей практической реализации метода TDMA заключается в необходимости преобразования сигналов в цифровую форму с последующей обработкой (для сжатия, кодирования, перемежения) и в необходимости сетевой (зоновой) синхронизации. Метод TDMA по эффективности использования спектра превосходит FDMA, а дополнительные резервы открываются при использовании иерархических структур (микро и пикосот) и адаптивного распределения каналов.

Сравнительный анализ, проведенный в [4], показал, что емкость сети, определяющая количество пользователей на одну базовую станцию, наибольшая для CDMA-сетей и наименьшая для FDMA-сетей. Технология CDMA дает возможность получить емкость в 3-4 раза большую, чем TDMA, которая, в свою очередь, во столько же раз превосходит по этому показателю FDMA. К тому же, CDMA – единственная технология, не требующая, как правило, частотного планирования, этого постоянного «бича» FDMA и TDMA-сетей.

По показателю величины зоны покрытия CDMA также в 3-4 раза превосходит TDMA, а меньшее число ячеек в сети означает более быстрое развертывание сети, меньшие начальные капиталовложения и последующие эксплуатационные расходы.

Множественный доступ с кодовым разделением (CDMA –Code Division Multiple Access) предполагает использование широкополосных шумоподобных сигналов. При данном методе большая группа пользователей (например: от 30 до 50), одновременно использует общую относительно широкую полосу частот – не менее 1 МГц. Метод CDMA наиболее сложен как в отношении теоретических принципов построения, так и в плане практической реализации. Как и TDMA, метод CDMA предполагает использование сигналов в цифровой форме.

Радиус зоны обслуживания ЦС и РС и длина линий ЦС-РС и РС-РС зависят от целого ряда характеристик (мощности передатчиков, высоты подвеса и типа применяемых антенн и т. д.) и для систем с TDMA и FDMA составляют соответственно от 30 до 40–45 км. Системы WLL предназначены в основном для применения в малонаселенных районах. Максимальный радиус зоны обслуживания этих систем, определяемый числом последовательно включенных ретрансляторов, может составлять сотни, а в некоторых системах – более тысячи километров.

Системы WLL лучше всего подходят для применения в больших по площади странах с недостаточно развитой телекоммуникационной инфраструктурой и невысоким уровнем телефонизации, в частности, в России. В западных странах, достигших практически всеобщей телефонизации и успешно развивающих мультисервисные сети связи (МСС), операторы все активнее переходят к предоставлению широкополосных услуг. Поэтому некоторые производители систем WLL сворачивают их производство и начинают выпускать системы FBWA.

15.7. Технологии беспроводного доступа к услугам передачи речи, данных и видео (группа FBWA)

15.7.1. Стандартизация технологий FBWA

В соответствии со стандартом IEEE 802.16a системы FBWA предназначены для организации доступа к услугам передачи речи, данных и видео с установленным качеством обслуживания. Первые системы FBWA были созданы в конце 1990-х годов и, по сути, представляли собой логическое продолжение технологий WLL. Активное развитие этих систем было обусловлено почти полным завершением процесса телефонизации в развитых странах и созданием широкого набора высокоскоростных транспортных технологий (FR, ATM, MPLS) обеспечивающих передачу различных видов трафика (речь, данные, видео) с выполнением требований по качеству обслуживания, а также разработкой концепции построения сетей связи следующего поколения (NGN), в которых реализуется единое управление всеми видами трафика.

Современные системы FBWA работают в диапазонах частот от 2,4 ГГц до 40 ГГц и предназначены для предоставления услуг передачи данных (рис. 15.3), услуг мультисервисных сетей (рис. 15.4) и транспортных услуг. В Европе для этих систем выделен достаточно большой частотный ресурс. Так, в диапазоне 10,5 ГГц выделена полоса частот 300 МГц, в диапазонах 26/28 ГГц по 2 ГГц, а для систем MWS (Multimedia

Wireless System) в диапазоне 40 ГГц – 3 ГГц. Для обеспечения высокой пропускной способности, достигающей десятков и сотен мегабит в секунду, в системах FBWA используются: секторный принцип построения базовой станции; полосы частот радиоканала вплоть до 28 МГц; многопозиционные методы модуляции.

Первые системы FBWA разрабатывались по технологиям фирм-производителей. Для обеспечения совместимости оборудования разных компаний при построении беспроводных городских сетей в институте IEEE разработаны стандарты на беспроводные сети WMAN: IEEE 802.16 (2004 г.) – для диапазона частот от 2 до 11 ГГц. На базе этих стандартов создается оборудование для беспроводных сетей Wi-MAX масштаба города.

Стандарт IEEE 802.16–2004 объединяет и дополняет три ранее разработанные версии [5]:

802.16-2001 – стандарт, определяющий параметры радиоинтерфейса фиксированных (стационарных) широкополосных систем радиодоступа в диапазоне 10–66 ГГц;

802.16c-2002 – приложение, расширяющее 12-й пункт «Systemprofiles» и корректирующее погрешности стандарта 802.16 – 2001;

802.16a-2003 – стандарт, описывающий параметры радиоинтерфейса оборудования беспроводного доступа в диапазоне 2–11 ГГц.

В стандарте 802.16–2004 содержатся требования к системам фиксированного беспроводного широкополосного доступа (БШПД), а именно:

к физическому уровню – методом множественного доступа, адаптации, организации дуплекса, модуляции и т. д.;

к MAC-уровню (управлению доступом к среде) – к сервисам между MAC-уровнем и подуровнем конвергенции, форматам фрейма, сервисам и механизмам поллинга, обеспечивающим поддержку качества обслуживания (QoS);

к подуровню конвергенции (CS), предназначенному для организации взаимодействия между MAC-уровнем и более высокими уровнями сети;

к уровню безопасности – к управлению алгоритмами шифрования на участке между базовой и терминальной станциями.

Для обеспечения мобильности средств беспроводного доступа было разработано дополнение IEEE 802.16e–2005, определяющее требования к физическому и MAC-уровням систем радиодоступа. Реализация этих требований позволяет обеспечить обслуживание терминальных (абонентских) движущихся станций с поддержкой режима передачи обслуживания (хэндовера).

Вопросам стандартизации систем FBWA уделяют внимание и в ETSI, где разрабатывался стандарт Hiper MAN (в рамках проекта BRAN) и стандарт на системы MWS для диапазона частот 40,5–43,5 ГГц [5].

Одновременно с разработкой стандарта IEEE 802.16–2004 был запущен европейский стандарт ETSIBRAN (Broadband Radio Access Networks), целью которого также являлось обеспечение совместимости оборудования разных производителей, используемого для создания распределенных городских сетей широкополосного радиодоступа. ETSI BRAN включает в себя стандарты Hiper MAN (High Performance Radio Metropolitan Area Network) и Hiper ACCESS (High Performance Radio Access Network).

Стандарт Hiper MAN определяет функциональные требования и единый интерфейс широкополосных систем фиксированного беспроводного доступа, работающих в диапазоне частот ниже 11 ГГц, а Hiper ACCESS – в диапазоне от 11 до 42 ГГц.

Спецификации Hiper MAN и Hiper ACCESS охватывают физический и канальный (DLC) уровни, а также подуровень конвертации (CL).

В качестве базовой технологии передачи данных в радиоканале на физическом уровне в стандарте Hiper MAN выбрана OFDM с 256 поднесущими, а в стандарте Hiper ACCESS – TDM с одной несущей. Параметры физического уровня стандартов Hiper MAN и Hiper ACCESS во многом соответствуют параметрам стандарта IEEE 802.16–2004.

Для организации доступа к радиоресурсам в современных системах FBWA используются собственные разработки производителей оборудования, представляющие собой усовершенствованные варианты или комбинации классических методов доступа FDMA, TDMA, DSCDMA (Direct Sequence CDMA) и FHCDMA (Frequency Hopping CDMA). При реализации дуплексного режима широко используются оба классических метода: FDD (Frequency Division Duplex) и TDD (Time Division Duplex).

Радиоинтерфейс между базовой (БС) и терминальными (ТС) станциями организуется таким образом, чтобы все ТС, приписанные к определенному сектору БС, могли обслуживаться внутри одного общего радиоканала.

Данная возможность реализуется путем использования технологий множественного доступа, к основным из которых относятся [5]:

1. Множественный доступ с частотным разделением каналов FDMA. Полоса частот, выделенная под радиоканал, делится на более узкие полосы (субканалы), между которыми устанавливаются защитные полосы. При такой организации радиоканала каждому абоненту выделяется свой отдельный частотный субканал.

OFDMA – многостанционный доступ с ортогональным частотным разделением каналов – дальнейшее развитие метода FDMA. При этом ортогональные частотные субканалы могут частично перекрываться, что позволяет более эффективно использовать выделенный частотный ресурс. В современных системах беспроводного доступа, использующих режим OFDMA, на одного абонента может выделяться несколько субканалов, распределенных внутри общего радиоканала (то есть необязательно соседних).

2. Множественный доступ с временным разделением каналов TDMA. Все абоненты работают в общем радиоканале, но в разные (свои) временные интервалы, выделяемые для каждой работающей абонентской станции. Применяются и комплексные методы множественного доступа, например OFDM/TDMA. В этом случае формируется частотно-временная матрица, в которой каждому абоненту выделяются свои частотно-временные слоты.

3. Множественный доступ с кодовым разделением каналов CDMA. Технология кодового доступа основана на применении широкополосных сигналов, сформированных с использованием псевдослучайных последовательностей. При этом методе для каждого абонента в общей полосе частот формируется отдельный кодированный канал.

Эти три метода доступа являются также основой технологий группы WLL.

4. Множественный доступ с распределением по запросу (DAMA – Demand Assignet Multiple Access). Базовая станция в соответствии с принятыми от абонентских станций запросами предоставляет им право доступа в определенные интервалы времени.

5. Множественный доступ с контролем несущей (CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access with Collis Avoidance). Как правило, используется в беспроводных локальных сетях передачи данных. В соответствии с этим методом абонентское устройство ожидает освобождения канала и по истечении дополнительного (определенного по случайному запросу) интервала времени, в случае все еще не занятого канала, передает пакет. Приняв пакет, БС посылает абонентскому устройству короткое подтверждение. Если подтверждение о приеме пакета отсутствует, он считается утерянным и процедура передачи повторяется снова.

Нисходящий (от БС к АС) и восходящий (от АС к БС) потоки информации разделяются между собой посредством частотного (FDD – Frequency Division Duplex) или временного (TDD – Time Division Duplex) дуплекса.

Для повышения устойчивости работы в системах БШПД применяются цифровые антенные решетки, среди которых наиболее известны следующие:

MISO (Multiple Input Single Output) – многоэлементная антенная система на прием, одноэлементная – на передачу;

MIMO (Multiple Input Multiple Output) – многоэлементные антенные системы на прием/передачу;

AAS (Adaptive Antenna System) – адаптивные антенные системы.

Применение цифровых антенных решеток позволяет в соответствии с заложенным алгоритмом формировать требуемые диаграммы направленности (DHA) на прием и передачу.

Для подключения систем FBWA к сетям связи общего пользования используются следующие интерфейсы:

10/100/1000 Base-XX (IEEE 802.3) – с соответствующими скоростями передачи данных (10, 100 или 100 Мбит/с) и средой передачи – как правило, это витая пара – 10/100/1000 Base-T;

STM-1 (G.707–709) – обеспечивает базовую скорость передачи в SDH (Sinchronous Digital Hierarchy) – 155,52 Мбит/с, из которой на передачу служебного трафика расходуется 7 %, то есть скорость передачи информации составляет 149,73 Мбит/с;

E1 (G.703) – обеспечивает скорость передачи 2,048 Мбит/с, соответствующую первому уровню иерархии систем с временным мультиплексированием каналов.

Терминальные станции имеют следующий набор интерфейсов: N×10/100 BaseT; N×E1; N×64 кбит/с; ISDNPRI; a/b; V.35/X.21; 11b, g.

Дополнительные потребительские свойства и функции систем FBWA реализуются многими производителями путем интеграции методов доступа к радиоресурсам с технологиями IP, ATM или DOCSIS.

Радиус зоны обслуживания ЦС систем FBWA, работающих в диапазонах частот 2,4 и 3,5 ГГц составляет 15–20 км, а в диапазоне частот 26/28 ГГц он уменьшается до 3–8 км.

Таким образом, при предоставлении услуг доступа на значительной территории, затраты оператора на организацию сети будут тем выше, чем выше частотный диапазон, в котором работает оборудование. Объясняется это необходимостью установки в сети большого числа ЦС. Однако такая сеть будет обладать высокой масштабируемостью и у оператора может быть меньше проблем с получением разрешений на частоты для эксплуатации оборудования.

Потенциальная емкость современных систем FBWA (максимальное количество ТС, которые может обслужить одна ЦС) достигает 1000, а иногда и больше единиц терминального оборудования. Однако реальная емкость сети на базе систем FBWA будет зависеть от целого ряда факторов, главным из которых является тип реализуемых услуг[6].

Применение систем FBWA позволяет операторам заключать с пользователями соглашения об уровне обслуживания (SLA –Service Level Agreement). Предусмотрены следующие классы обслуживания пользователей услуг передачи данных: равноправное распределение ресурсов между пользователями сети; MIR – максимальная скорость передачи информации; CIR – согласованная (средняя) скорость передачи информации с пропорциональным снижением скорости передачи для всех пользователей CIR при перегрузке сети.

Основными недостатками систем FBWA являются полная несовместимость оборудования разных производителей и его высокая стоимость. Для активного продвижения этой технологии необходима стандартизация оборудования и разработка наборов стандартных микросхем. Работы по стандартизации систем FBWA для построения городских сетей WMAN проводятся как в Европе (институт ETSI, стандарты Hipeer MAN, MWS), так и в США (рабочая группа № 16 института IEEE).

В IEEE продолжаются работы по решению вопросов электромагнитной совместимости и тестирования оборудования, обеспечению дополнительной

функциональности систем FBWA (организация роуминга в сетях разных операторов WMAN, обслуживание мобильных абонентов) и т. д.

15.7.2. Архитектура и протоколы стандарта 802.16

На рис. 15.16 показана техническая основа стандарта 802.16 [7]. Базовые станции соединяются непосредственно с сетью провайдера, которая соединена с Интернет. Базовые станции общаются с абонентскими станциями по беспроводному интерфейсу. Абонентские станции могут быть двух видов: находящиеся в неподвижном местоположении в случае, например, широкополосного доступа к Интернет для домов, и мобильные станции, которые могут обслуживаться в движении, например, в автомобиле, оборудованном WiMax.

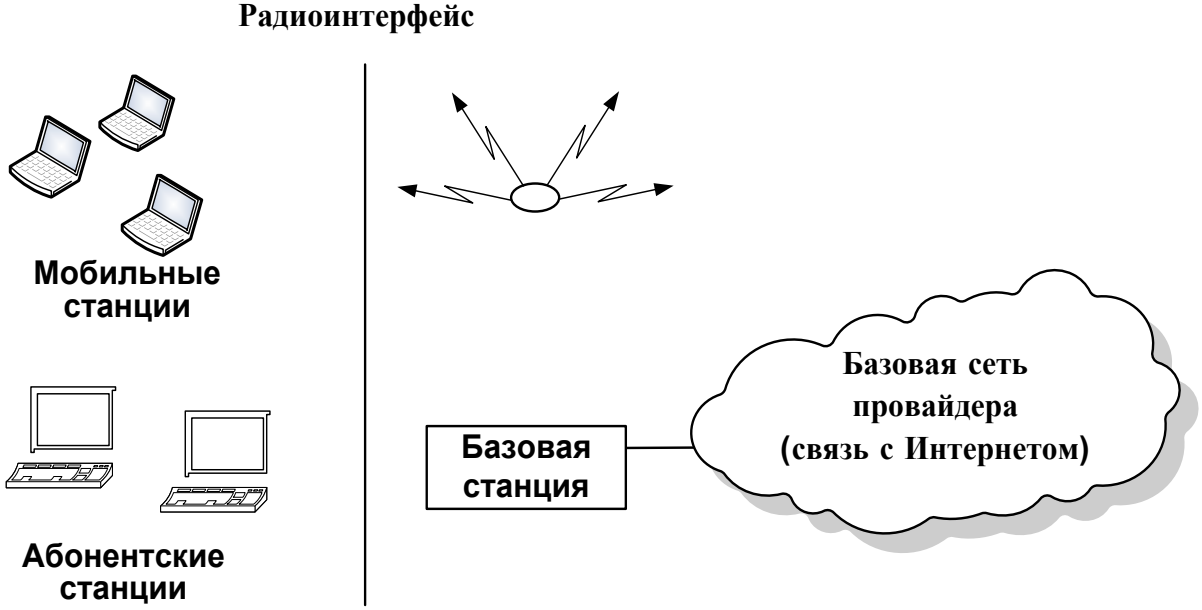


Рис. 15.16. Структура сети по технологии 802.16

Стек протоколов стандарта 802.16, который используется в радиоинтерфейсе, показан на рис. 15.17.

На нижнем физическом уровне показаны только популярные предложения 802.16 – неподвижный и мобильный WiMAX. Оба предложения работают в лицензированном спектре ниже 11 ГГц и используют OFDM, но по разному.

На физическом уровне стандарта 802.16 допускается работа в диапазонах от 2 до 11 ГГц, а также поддерживаются каналы разных размеров, например 3.5 МГц для неподвижного WiMAX и от 1.25 до 20 МГц для мобильного WiMAX.

Передача информации по этим каналам осуществляется с применением метода OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), когда полоса канала разделена на многие поднесущие, которые независимо передают данные (например, с квадратурной амплитудной модуляцией).

Идея OFDM существовала уже давно, но широко метод стал применяться только в прошлое десятилетие в кабельных сетях, сетях линий электропередачи, в 802.11. Планируется его применение в сотовых сетях четвертого поколения.

Канальный уровень 802.16 разделен на три подуровня (рис. 15.17). На нижнем подуровне осуществляется защита информации, т. е. применяется шифрование, причем шифруются только данные, а заголовки не шифруются. Это означает, что злоумышленник может узнать, кто с кем разговаривает, но не может подслушать о чем.

Рис. 15.17. Стек протоколов 802.16

Подуровень MAC ориентирован на соединение по схеме «точка-многоточка», т. е. базовая станция общается сразу с несколькими абонетскими станциями.

Здесь располагаются основные протоколы, в частности, протоколы управления каналом, ориентированные на установление соединения, что гарантирует определенное качество обслуживания.

Последний верхний уровень организует интерфейс для сетевого уровня. Так как IP-протокол без установления соединения, а подуровень MAC строится на основе соединения, то этот подуровень должен осуществить отображение между адресами и соединениями.

В канале нисходящего трафика базовая станция управляет пакетами физического уровня, в которые подуровень MAC упаковывает свои кадры. Эти кадры можно посылать индивидуально или упакованными в группу.

Доступ к восходящему каналу абонентские станции получают на конкурентной основе. Поэтому его распределение тесно связано с качеством обслуживания. Определены четыре класса сервисов [7]:

1 - сервис с постоянной битовой скоростью;

2 - сервис реального времени с переменной битовой скоростью;

3 - сервис, работающий в нереальном масштабе времени с переменной битовой скоростью;

4 - сервис с обязательством предложения максимальных усилий по предоставлению услуг.

Первый сервис предназначен для передачи несжатой речи, какая передается по каналам T1.

Второй сервис применяется при передаче сжатых мультимедийных данных и других программных приложений реального времени.

Третий сервис предназначен для интенсивного трафика, например, передачи файлов большого объема.

Четвертый сервис используется для всех остальных типов передачи. Запрос пропускной способности осуществляется во временных интервалах, помеченных в карте распределения восходящего потока как доступные для конкуренции. Для минимизации числа коллизий используется взятый из Ethernet алгоритм двоичной экспоненциальной выдержки.

Структура кадра подуровня MAC представлена на рис. 15.18.

В поле заголовка кадра бит EC говорит о том, шифруется или нет поле данных. Поле «тип» указывает тип кадра, а поле CI – на наличие либо отсутствие поля финальной

контрольной суммы. Поле ЕК сообщает, какой из ключей шифрования используется. В поле «длина» содержится информация о полной длине кадра, включая заголовок. «Идентификатор соединения» сообщает, какому из соединений принадлежит кадр. В конце заголовка имеется поле «контрольная сумма заголовка», значение которой вычисляется с помощью полинома $x^8 + x^3 + x + 1$.

Рис. 15.18. Структура кадра: *а)* обычный; *б)* запрос канала

На рис. 15.18б показан пример кадра запроса канала. 2-й и 3-й байты говорят о требуемой полосе для передачи соответствующего числа байт. В конце запроса канала отсутствует поле данных, а также контрольная сумма всего кадра.

15.7.3. Технологии WiMAX

Технология широкополосного беспроводного доступа, базирующаяся на семействе стандартов IEEE 802.16 и Hiper Man, получила название WiMAX [8].

Согласно заявлениям представителей WiMAX Forum технология WiMAX необходима для предоставления EoIP в глобальном масштабе.

WiMAX Forum выделяет две продуктовые линейки технологии WiMAX:
фиксированный WiMAX (IEEE 802.16 – 2004);
мобильный WiMAX (IEEE 802.16 – 2005).

WiMAX для фиксированного доступа можно рассматривать как аналог проводного доступа через xDSL или кабель Fast Ethernet. Фиксированная версия WiMAX определена в спецификации IEEE 802.16d для диапазона частот 10-66 ГГц и в IEEE 802.16c для диапазона частот 2-11 ГГц. При этом ширина канала 25-28 МГц позволяет достигать скорости передачи до 120 Мбит/с. Общая стоимость развертывания базовых станций, радиоблоков, антенн в расчете на канал обходится намного дешевле, чем прокладка оптических или медных линий [10]. Этот вариант хорошо подходит при организации доступа в Интернет в удаленных и труднодоступных местах.

WiMAX для мобильного доступа определен в спецификации IEEE 802.16e или 802.16e-2005 и часто называется WiMAX-e. WiMAX-e предусматривает хэндовер между базовыми станциями и поэтому хорошо подходит для доступа в Интернет в движении.

Стандарт IEEE 802.16e-2005 вобрал в себя все ранее выходившие версии и предоставляет следующие режимы [10]:

Fixed WiMAX – фиксированный доступ с шириной канала до 28 МГц и скоростью передачи до 120 Мбит/с;

Nomadic WiMAX – сеансовый доступ, позволяющий свободно перемещать клиентское оборудование между сессиями и восстанавливать соединение уже с помощью других вышек WiMAX. Этот режим разработан в основном для портативных устройств типа ноутбуков, КПК;

Portable WiMAX – доступ в режиме перемещения с возможностью хэндовера клиента от одной базовой станции WiMAX к другой без потери соединения. Скорость движения клиентского оборудования ограничена 40 км/ч;

Mobile WiMAX – полностью мобильный доступ, который позволяет прием многолучевого сигнала, масштабируемость пропускной способности канала, возможность управления ассиметричным трафиком и сложными системами антенн, а также энергосбережением клиентских устройств. Время переключения клиента между каналами не превышает 50 мс.

Развитие стандартовWiMAX показано на рис. 15.19 [10].

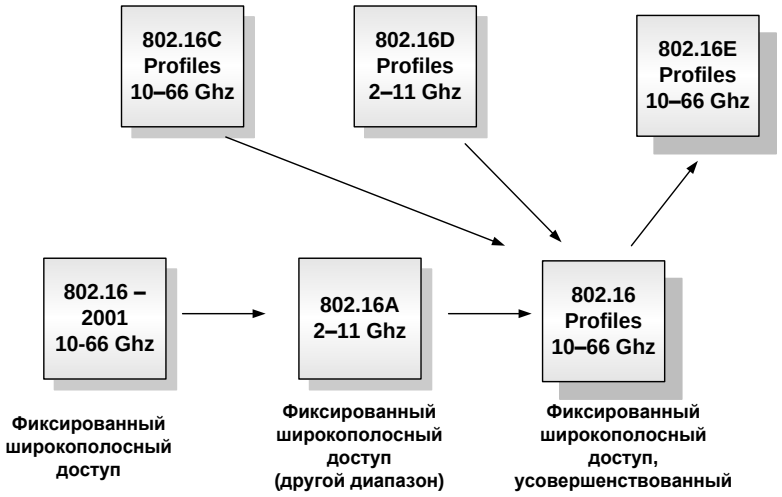


Рис. 15.19. Развитие стандартовWiMAX

Существует еще стандарт IEEE 802.16f. Он определяет те части стандартной базы данных информации управления MIB (managementinformationbase), которые используются в системе WiMAX. Стандарт 802.16g, в свою очередь, определяет процессы управления сетью.

В таблице 15.5 показаны типы широкополосного беспроводного доступа WiMAX.

Представители WiMAX Forum выделяют следующие ключевые элементы технологии WiMAX:

использование недорогих технических решений, обеспечивающих хорошее покрытие территорий;

работа в условиях отсутствия прямой видимости между базовой станцией и абонентским комплектом – радиомодемом;

достаточно простое подключение к услугам путем установки комнатного варианта оконечного абонентского устройства;

высокая пропускная способность сети;

функциональная совместимость оборудования различных производителей;

сравнительно недорогие абонентские комплекты;

поддержка Q_oS в сети;

обеспечение безопасности передаваемой информации;

использование стандартных частотных диапазонов, выделяемых регулирующими национальными органами специально для сетей WiMAX.

Потенциальная целевая аудитория пользователей WiMAX в России показана в таблице 15.6.

Основная идея концепции WiMAX– охват сетью доступа всей территории города независимо от разнообразия его застройки. Для этого в систему заложена возможность

работы на отраженном сигнале, если нет прямой видимости между базовой станцией и абонентским комплектом. Разработчикам удалось увеличить защитный интервал, необходимый для окончания переходных процессов, возникающих на приемной стороне в результате многолучевого отражения переданного сигнала без значительной потери пропускной способности в канале.

Таблица 15.5

Типы широкополосного беспроводного доступа WiMAX

Тип доступа	Тип устройства	Возможность работы при перемещении /в движении	Карманный вариант	802.16 – 2004	802.16 – 2005
Фиксированный	Внешнее и компактный вариант	Нет	Нет	+	+
Для мигрирующих пользователей	Внешнее и компактный вариант	После перемещения	Нет	+	+
Для пользователей с портативным устройством	Laptop PCMCIA	После перемещения	Фактически нет	+	+
Мобильный упрощенный вариант	LaptopPCMCIA, PDA или смартфон	В движении с небольшой скоростью	Реализован частично		+
Полный мобильный доступ	LaptopPCMCIA, PDA или смартфон	В движении с небольшой скоростью	Реализован полностью		+

Таблица 15.6

Потенциальная целевая аудитория пользователейWiMAX в России

Пользователи	Гибкость	Безопасность	Q_oS	SLA	Совместимость	Портативность	Мобильность	Стоимость	Покрытие	Прямая видимость	Скорость
Мелкий и средний бизнес			+			+	+	+	+	+	+
Корпоративные клиенты с большим числом офисов		+	+	+	+	+		+	+	+	+
Банковские сети	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
Образовательные сети	+					+		+	+	+	+
Бизнес-центры	+	+	+	+					+	+	+
Транспортные компании	+	+	+			+	+		+	+	+
СМИ	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
Службы охраны		+	+	+	+				+	+	+
Коттеджные поселки						+	+	+	+	+	+

Основной структурной единицей системы является базовая станция, включающая комплект радиоэлектронных модулей, устанавливаемых в помещении, и антенн, монтируемых на мачте или на башне. Система антенн формирует круговой или секторный (60º, 90º, 120º, 180º) охват окружающей территории в зависимости от частотно-территориального плана. Возможны два типа базовых станций: направленная, для передачи «точка-точка» с дальностью передачи до 50 км и больше, и все направленная, «точка-многоточка» с дальностью передачи до 6–8 км в непрямой видимости.

Сеть базовых станций образует зону доступа, практически в любой точке которой может быть установлено абонентское оборудование. Трафик каждого сектора концентрируется в одной базовой станции и по магистральной сети Ethernet доставляется к серверу доступа. Абонентское устройство может работать только с одной базовой станцией в заранее определенном секторе.

В приемную часть WiMAX входят антенна с приемником либо в виде отдельного модуля, либо в виде PCMCIA-карты, либо устройства USB. Сигнал приемника может поступать по стандартному Ethernet-кабелю непосредственно на компьютер, на точку доступа стандарта 802.11 Wi-Fi или в локальную проводную сеть стандарта Ethernet. Это позволяет сохранить существующую инфраструктуру районных или офисных локальных сетей при переходе с кабельного доступа на WiMAX, а также максимально упростить развертывание сетей.

Соединение между базовой станцией и пользовательским приемником производится в диапазоне 2-11 ГГц и позволяет передавать данные со скоростью до 20 Мбит/с и не требует обязательной прямой видимости между станцией и пользователем.

Между соседними базовыми станциями устанавливается постоянное соединение в диапазоне 10-66 ГГц в прямой видимости LOS (line-of-sight). Данное соединение в идеальных условиях позволяет передавать данные со скоростью до 120 Мбит/с.

Система WiMAX изначально рассчитана на предоставление услуг гарантированного качества. В рамках данной системы может быть организовано четыре основных вида сервиса, рассмотренные в предыдущем разделе. Возможности сервиса обеспечивают организацию целого ряда важных услуг:

телефонные услуги на основе протокола IP (WiMAX VoIP);

услуги высокоскоростной передачи данных со скоростью более 1 Мбит/с для индивидуального пользователя и более 45 Мбит/с для локальной компьютерной сети;

услуги цифрового телевидения с использованием специальных абонентских устройств IP-settop-box (IP-STB);

транспортные услуги E1 over WiMAX путем замены цифровых межстанционных линий E1 или обеспечивая новые линии E1 (расширение емкости);

услуги наблюдения и охраны путем организации систем видеонаблюдения;

существенное снижение затрат на развертывание сетей в сельской местности.

В качестве примера применения системы WiMAX на рис. 15.20 показаны варианты использования WiMAX в городской телефонной сети [11].

Первый вариант – подключение выносных модулей в тех случаях, когда организация тракта до АТС средствами проводной связи не является целесообразной. В качестве такого модуля на рисунке показан мультисервисный абонентский концентратор (МАК) под номером 1. Между ним и АТС1, к которой его логично было бы подключить, находится естественная преграда (например, большой парк). В этом случае, используя транспортные ресурсы WiMAX, МАК1 можно подключить к АТС2, оснастив ее соответствующим оборудованием WiMAX.

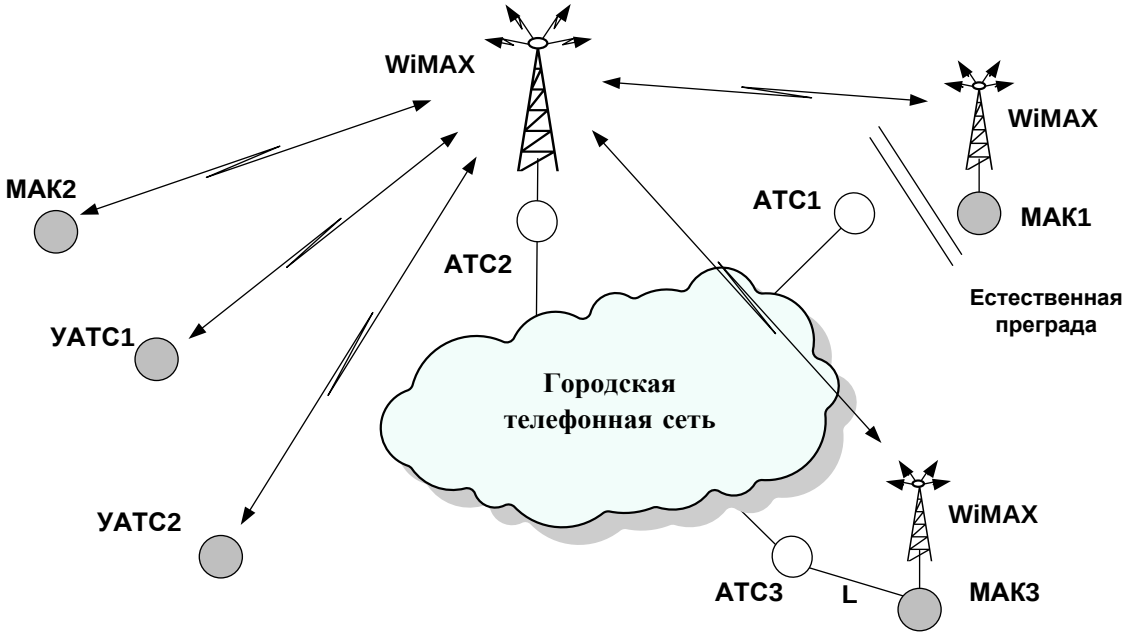


Рис. 15.20. Варианты использования WiMAX в городской телефонной сети

Второй вариант использования технологии – обеспечение быстрого подключения новых клиентов. Такая возможность на рисунке показана для МАК2 и двух учрежденческих АТС (УАТС).

Третий вариант с МАК3 эффективен для обеспечения повышенных требований к надежности доступа для некоторых групп пользователей. Для абонентов МАК3 существует два независимых пути установления соединений: через АТС3 и через АТС2.

Другой пример связан с использованием системы WiMAX и IP-телефонии. Пусть оператор проводной связи, имеющий цифровую АТС, решил расширить свою абонентскую базу за счет использования системы WiMAX. При этом он может сэкономить на следующих компонентах IP-телефонии: IP-АТС, биллинг, автоинформатор и пр. В его сети уже есть ЦАТС с этими функциями, поэтому оператору нужно только подключить пользователей IP-телефонии как абонентов традиционной ЦАТС. Схема реализации такого решения показана на рис. 15.21 [12].

ЦАТС соединяется с IP-сетью с помощью шлюза, работающего по протоколу SIP, позволяющему подключать один поток E1. На абонентской стороне используются шлюзы, которые доступны в различном исполнении (от 2 до 24 телефонных портов).

В этой схеме все абоненты IP-телефонии являются непосредственными абонентами ЦАТС. Поддержка передачи данных (Интернет) и приоритезация трафика на абонентской стороне обеспечиваются с помощью коммутаторов второго уровня.

15.8. Технологии беспроводной высокоскоростной реализации локальной сети Ethernet (группа WLAN)

Современное оборудование WLAN используется для построения как внутриофисных, так и более масштабных беспроводных сетей. В первом случае радиус зоны обслуживании составляет от нескольких десятков до 100–150 метров. Во втором случае используются дополнительные усилители и направленные антенны, увеличивающие зону обслуживания до нескольких десятков километров.

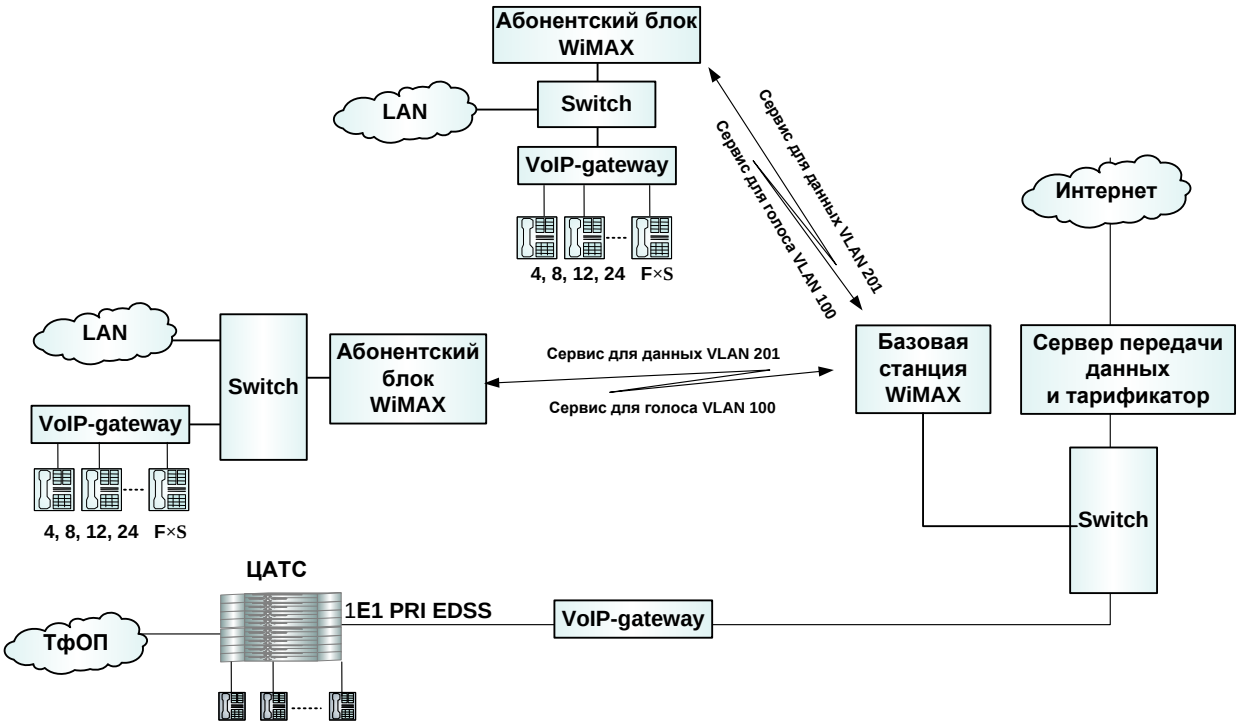


Рис. 15.21. Использование системы WiMAX для расширения абонентской базы ЦАТС

Для развития сетей WLAN в разных странах выделены различные полосы частот в диапазонах 2,4 ГГц и 5 ГГц, являющихся в большинстве стран нелицензируемыми. Разработка оборудования WLAN проводится на основе стандартов, среди которых можно выделить:

серию стандартов, разработанных рабочей группой IEEE 802.11 института IEEE (Institute of Electrical and Electronics Enginees) в США и получивших широкую известность как технологии Wi-Fi;

стандарты Hiper LAN (High Performance LAN), разрабатываемые европейским институтом стандартизации связи ETSI в рамках проекта BRAN (Broadband Radio Access Networks).

Стандарт IEEE 802.11, разработка которого началась в 1990 г., был ориентирован только на предоставление услуг ПД. Скорость передачи информации в радиотракте составляла 1 (2) Мбит/с. Дальнейшее развитие стандартов этой серии велось как по пути увеличения пропускной способности (IEEE 802.11b – 11 Мбит/с, IEEE 802.11a – 54 Мбит/с, IEEE 802.1lg – 54 Мбит/с), так и в направлении обеспечения возможности передачи по сетям WLAN мультимедийных сообщений. Краткая характеристика стандартов IEEE 802.11 представлена в таблице 15.7. Более подробно рассмотрим технологию на базе этих стандартов, известную сегодня под торговой маркой Wi-Fi (Wireless Fidelity).

15.8.1. ТехнологияWi-Fi

Термин WiFi (Wireless Fidelity) в стандартах явно не прописан, поэтому иногда встречаются противоречивые суждения относительно технологий и аппаратуры, которые он объединяет. По мнению авторов [13] технологию Wi-Fi можно описать так, как показано на рис. 15.22.

В соответствии с рис. 15.22 Wi-Fi объединяет технологические решения, применяемые для создания инфраструктуры локальных сетей там, где по каким-либо причинам (техническим или экономическим) это невозможно сделать с помощью кабеля.

Таблица 15.7

Исследовательские группы IEEE по беспроводным локальным сетям

Исследователь-ская группа	Области разработок
802.11j	Рассмотрение проблем совместимости стандартов 802.11a, Hiper LAN2 и HiSWAN
802.11	Разработка стандарта со скоростью 1 и 2 Мбит/с в диапазоне частот 2,4 ГГц с использованием DSSS, FHSS и диффузионного ИК-излучения. Одобрен в 1997 г.
802.11a	Разработка стандарта со скоростью 54 Мбит/с и ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) в диапазоне 5 ГГц. Одобрен в 1999 г.
802.11b	Разработка стандарта со скоростью 1; 2; 5,5 и 11 Мбит/с с использованием технологии DSSS в диапазоне частот 2,4 ГГц. Одобрен в 1999 г.
802.1 Id	Расширение сферы действия стандарта 802.11b на страны (Испания, Франция, Япония) и вопросы использования информационной базы управления (MIB)
802.1 le	Решение вопросов совместимости стандартов 802.11a и 802.11b с другими технологиями, передача высокоскоростных потоков и мультимедиа с гарантированным качеством обслуживания (Qos)
802.1 If	Разработка рекомендаций, регламентирующих механизм хэндовера в беспроводных локальных сетях и создание протокола обмена служебной информацией между точками доступа (1APP)
802.1 lg	Разработка стандарта со скоростью 54 Мбит/с с использованием технологии OFDM в диапазоне частот 2,4 ГГц. Одобрен в 2001 г.
802.1 lh	Разработка требований к управлению частотным ресурсом сети и контроль за излучаемой мощностью
802.1 li	Проблемы обеспечения безопасности передачи данных и использование других технологий, отличных от WEP

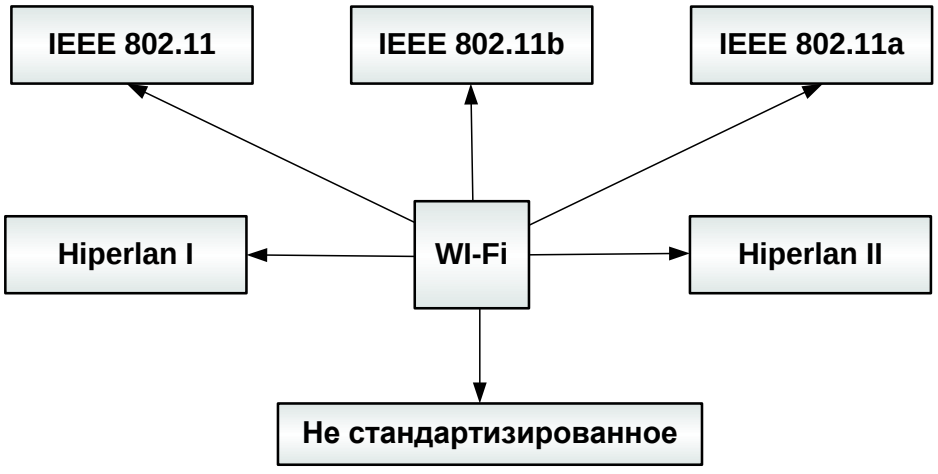


Рис. 15.22. Технология Wi-Fi

Распределение частот для оборудования Wi-Fi, рекомендуемое авторитетными международными организациями и принятое в России, показано на рис. 15.23.

Wi-Fi, появившийся в 1997 г. в виде стандарта IEEE 802.11 для беспроводных локальных сетей (WLAN), регламентировал работу оборудования на частоте 2,4 ГГц со скоростями 1 и 2 Мбит/с. Через два года была разработана следующая версия 802.11b, допускающая работу оборудования на скоростях до 11 Мбит/с. В том же 1999 г. была создана независимая международная организация Wi-Fi Alliance, задачей которой стала сертификация на совместимость WLAN-устройств различных производителей. Стандартизированные (сертифицированные Wi-Fi Alliance) разработки 802.11 объединяются под общим названием «технология».

Точки доступа (Access Point) для организации хот-спотов поддерживают протокол 802.11 в версиях b и g.

Протоколы 802.11a или 802.11g позволяют увеличить скорость до 54 Мбит/с.

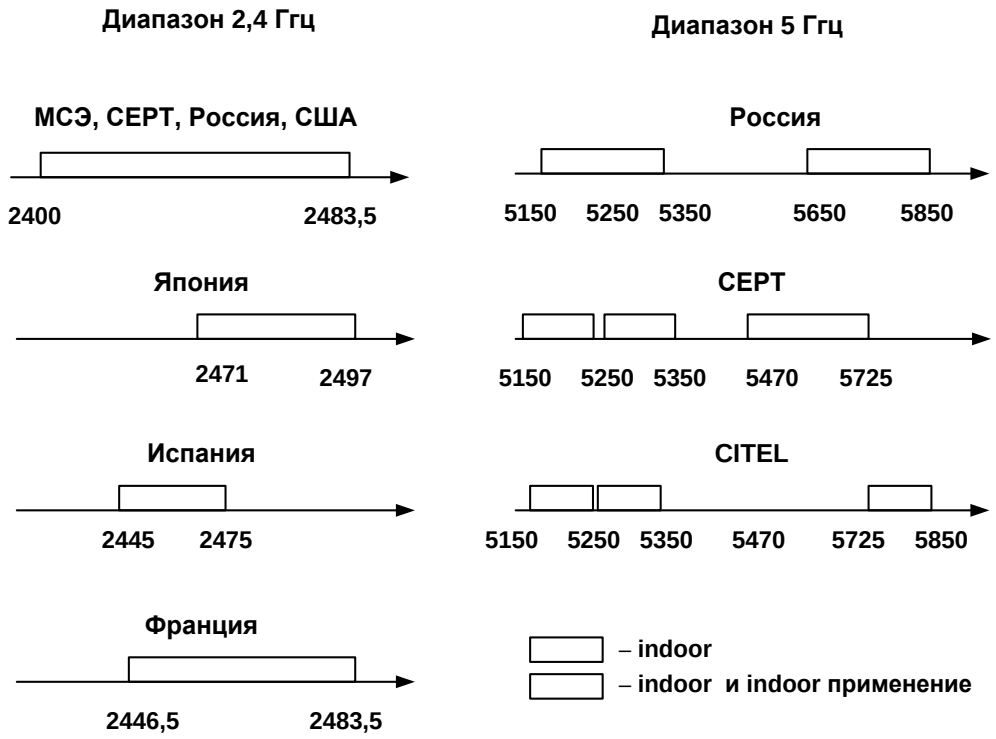


Рис. 15.23. Распределение частот для оборудования Wi-Fi

Параметры действующих Wi-Fi стандартов представлены в таблице 15.8.

Получение разрешений, связанных с диапазонами радиочастот, закупкой и применением радиооборудования, в России традиционно превращается в сложнейший процесс, требующий много времени и существенных затрат. Наиболее сложный порядок получения разрешений установлен для внутриофисных и операторских радиосетей, работающих в диапазоне 5 ГГц. Вместе с разрешением на частоты ГКРЧ ограничил также основные технические характеристики разрешенного к применению оборудования (таблица 15.9).

Для уличных операторских сетей в диапазоне 2,4 ГГц порядок получения частот частично упрощён за счет того, что для эксплуатации оборудования Wi-Fi этой группы, а так же его разработки, производства, закупки за границей или на внутреннем рынке не требуется получать частных решений ГКРЧ. Характеристики такого оборудования ограничены значениями, показанными в таблице 15.10 [13].

Корпоративные сети беспроводного доступа по технологии Wi-Fi условно можно разделить на внешние (Outdoor) и внутриофисные (Indoor).

К внутриофисным системам беспроводной передачи данных относятся радиоэлектронные средства, основные технические характеристики которых соответствуют таблице 15.11

Таблица 15.8

Параметры действующих Wi-Fi стандартов

Параметры	Стандарт		
	IEE 802.11b	IEE 802.11g	IEE 802.11a
Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	11 (в режиме «турбо» – до 22)	54 (в режиме «турбо» – до 108)	54 (в режиме «турбо» – до 108)
Поддержка основного ряда обязательных скоростей, Мбит/с	1; 2; 5,5 и 11	1; 2; 5,5; 6; 11; 12 и 24	6; 12 и 24
Поддержка дополнительного ряда скоростей, Мбит/с	Нет	33, 36, 48 и 54	9, 18, 36, 48 и 54
Число неперекрывающихся каналов	3	3	12 (4 в некоторых странах)
Расстояние/скорость передачи данных, м/ Мбит/с (в закрытых помещениях)	30/11, 91/1	30/54, 91/1	12/54, 91/6
То же, м/ Мбит/с (в открытых помещениях в пределах прямой видимости)	120/11, 460/1	120/54, 460/1	30/54, 305/6
Модуляция	DSSS (широкополосная модуляция с кодированием прямой последовательностью	OFDM (мультиплексирование с разделением по ортогональным частотам	OFDM
Частотный диапазон, ГГц	2,4 (2,4–2,4835)	2,4 (2,4–2,4835)	5 (5,15–5,350 и 5,725–5,825)

Порядок оформления и получения разрешительных документов для этого оборудования также упрощен, что позволило сократить сроки их получения в 6–10 раз, а затраты в 10–15 раз. Кроме того, упрощенный порядок оформления дал возможность открыть рынок для внутренних систем Wi–Fi в тех городах, где радиочастотный ресурс в полосе 2400–2483,5 МГц был полностью исчерпан и новые разрешения уже не выдавались (а это более 70 % крупных и средних городов России).

Можно выделить следующие основные области применения сетей Wi-Fi [14]:

домашние сети;

беспроводный доступ к сети Интернет;

беспроводное расширение корпоративных сетей.

Интенсивное продвижение технологии Wi-Fi на рынок домашних сетей стимулировался большим количеством доступных периферийных устройств. Комплектование адаптерами Wi-Fi современных компьютеров, ноутбуков, смартфонов и карманных компьютеров стало сегодня обычным делом. Предложения в части

беспроводных мостов/маршрутизаторов для домашних сетей исчисляется десятками моделей.

Таблица 15.9

Требования к техническим характеристикам РЭС беспроводного доступа в диапазоне 5 ГГц (Решение ГКРЧ от 23.12.02 № 23/5)

Наименование параметра	5150–5250 МГц	5250-5350 МГц и 5650–5725 МГц
Максимальная спектральная мощность передатчика.	Минус 17 дБ (Вт/1 МГц)	Нет ограничений
Максимальная мощность передатчика	10 log(ΔF, МГц) –17дБВт	0 дБВт
Максимальный коэффициент усиления антенн	АС–33 дБ БС–17 дБ	АС–33 дБ БС–17 дБ
Максимальный угол места	АС – 5 град. БС – 0 град.	АС – 5 град. БС – 0 град.
Максимальный радиус зоны обслуживания базовой станции	6 км	8 км

* – ΔF, МГц – ширина полосы радиосигнала по уровню минус 3 дБ, МГц.

Таблица 15.10

Требования к техническим характеристикам оборудования беспроводной передачи данных диапазона 2,4 ГГц (решение ГКРЧ от 25.08.2000 № 2/7)

Наименование параметра	Величина параметра
Полоса радиочастот	2400–2483,5 МГц
Мощность передатчиков оборудования сетей и линий передачи данных (без дополнительного усиления), не более	100 мВт
Мощность передатчиков оборудования сетей и линий передачи данных (с дополнительным усилием), не более	1 Вт
Класс излучения	G1D (G1W) G7D (G7W)
Относительная нестабильность частоты	5×10^{-6} – 6×10^{-6}
Шаг сетки частот	Не нормируется
Ширина полосы излучения передатчика: на уровне -3 дБ, не более на уровне -30 дБ, не более на уровне -60 дБ, не более	 17 МГц 22 МГц 40 МГц
Относительный уровень побочных излучений передатчика, не хуже	-50 дБ

Таблица 15.11

Требования к техническим характеристикам внутриофисного оборудования беспроводной передачи данных (Решение ГКРЧ от 29.10.2001 № 13/2)

Наименование параметра	Офисные сети WLAN DSSS	Офисные сети WLAN FHSS
ЭИИМ, мВт	Не более 100	Не более 100
Излучаемая спектральная плотность мощности, дБВт/Гц	Не более – минус 72	Не более – минус 67
Рабочие номиналы частот, МГц	2412 МГц + 5 МГц x n, где n = 0…12	2402 МГц + 1 МГц x n, где n = 0…78
Класс излучения	15M0G7D	1M00F7D
Типы антенн	Разрешается использование только интегральных или специализированных антенн и запрещается использование внешних антенн	
Время работы на одной частотной позиции, мкс	-	не более 0,4
Количество частотных позиций	-	не менее 79
Места размещения	РЭС офисных систем БД разрешается использовать только внутри зданий, закрытых складских помещений и производственных территорий	
Меры по повышению помехозащищенности и обеспечению ЭМС	Должны быть реализованы алгоритмы прослушивания радиоэфира, автоматического регулирования скорости передачи информации и включения режима излучения только в случае отсутствия радиопомех	

Беспроводный доступ в Интернет реализуется посредством так называемых хот-спотов – специальных зон беспроводного доступа, разворачиваемых в местах обычного пользования: кафе, ресторанах, гостиницах, вокзалах, аэропортах и т. д. В качестве абонентских устройств применяются, как правило, переносные и карманные компьютеры. Если применяемое решение поддерживает голосовые соединения (VoWLAN), то они могут использоваться для организации внутренней мобильной телефонной связи служебного персонала.

Беспроводные расширения корпоративных сетей позволяют сотрудникам постоянно находиться в зоне корпоративной сетевой среды при перемещениях в пределах обслуживаемой территории. В итоге отпадает необходимость прокладывать объемную кабельную сеть, учитывающую все эти перемещения. Кроме того, технологии Wi-Fi отличаются простотой развертывания, дешевизной оборудования и относительно высокими скоростями передачи данных в радиоканале (до 54 Мбит/с).

В корпоративной среде все более востребованной становится мобильность абонента. Это зачастую является решающим фактором в успешном ведении бизнеса. Интеграция традиционных мобильных стандартов и Wi-Fi-доступа представляется очень перспективным решением. Появились технологии, например, UMA (Unilicensed Mobile Aceess), позволяющие мобильному телефону переключаться с сотовой сети на сеть Wi-Fi, не прерывая разговор. Такие решения обеспечат технологии Wi-Fi хорошие перспективы не только в корпоративных сетях, но и в сетях масштаба города, а также послужат реальным шагом к «глобальной» мобильности абонентов на основе конвергенции сетей сотовой связи и фиксированных сетей передачи данных [15].

Далее дадим краткую характеристику стандартов, поддерживающих технологию Wi-Fi, основной из которых 802.11b.

Стандарт и сети 802.11b – это беспроводная реализация локальной сети Ethernet, ориентированной на предоставление высокоскоростных услуг: пакетная передача данных, речи (VoIP), мультимедиа и др. Наиболее сильные свойства 802.11b – это высокая производительность и уникальная простота сопряжения с персональными компьютерами и с проводной сетью Ethernet. Сети 802.11b можно рассматривать как «эфирное» продолжение LAN, где главные потребители – пользователи локальных сетей [6].

Интерфейс с проводными сетями осуществляется через точки доступа (AP-Access Point), выполняющих функцию базовых станций (рис. 15.24). Мобильные устройства подключаются к точке доступа с помощью встроенного адаптера или интерфейсной карты. Такая конфигурация сети получила название базового набора обслуживания BSS (Basic Service Set).

Сети технологии 802.11b предусматривают работу в диапазоне частот 2.4 ГГц на безлицензионной основе и обеспечивают возможность организации до 14 рабочих каналов с шириной спектра 22 МГц.

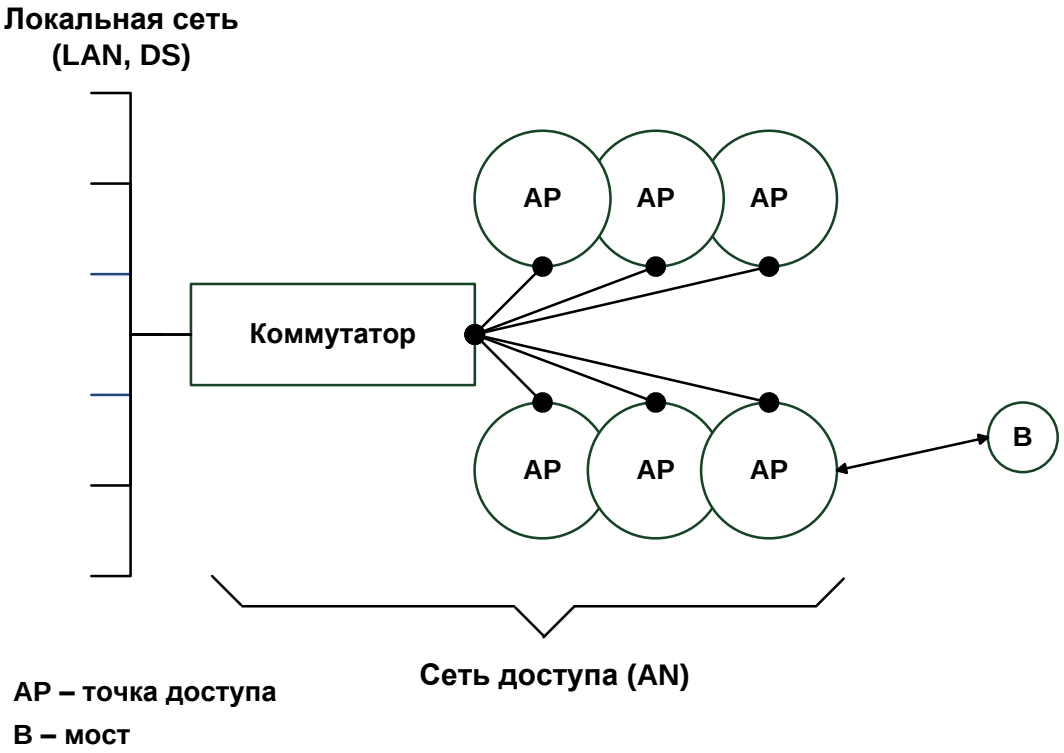


Рис. 15.24. Архитектура сети с многими точками доступа

В технологии используется спектрально-эффективная модуляция DSSS (Direct Sequence Spread Sequence), обеспечивающая устойчивую работу в условиях многолучевого распространения радиоволн. Данные передаются с четырьмя значениями: 1; 2; 5,5 и 11 Мбит/с, что позволяет изменять пропускную способность канала в зависимости от условий распространения радиоволн и других факторов. Стандарт 802.11b реализует коллективную конкурентную среду, в которой использован метод доступа CSMA/CA (DCF – в тексте стандарта он назван Distributed Coordination Function). Основное отличие CSMA/CA от традиционно используемого в Ethernet протокола 802.3 CSMA/CD состоит в снижении уровня внутрисистемных конфликтов за счет добавления некоторого промежутка времени – периода ожидания (listenbeforetalk) – перед началом каждого сеанса. В течение этого времени производится оценка состояния канала связи и лишь затем излучается сигнал «готовьтесь к передаче» (RTS). Процесс передачи полезной информации начинается лишь после получения ответного сигнала (CTS), свидетельствующего о готовности приемника.

Успешный прием пакета автоматически подтверждается. После конфликта отправитель сообщения ожидает в течении некоторого периода времени, а затем начинает прослушивать эфир. Если подтверждения о предыдущей передаче не получено и радиоканал свободен, то он осуществляет повторную передачу.

Время доступа играет важную роль для приложений, работающих в реальном времени, особенно в случае интерактивного речевого обмена. При этом общая задержка зависит, главным образом, от механизма доступа, используемого на MAC-уровне, и определяется как время, необходимое для успешной передачи нового пакета через эфир.

Стандарт 802.11b определяет организацию связи в системах с конфликтами, а поэтому задержка в построенных на его базе сетях зависит от общей загрузки сети. При малой нагрузке задержка, как правило, не превышает нескольких микросекунд, а при интенсивном трафике она может достигать десятков миллисекунд. В действительности же, CSMA/CA в большей степени свойственна зависимость задержки от пропускной способности, чем применяемому в обычных сетях Ethernet методу CSMA/CD, который, как хорошо известно, мало пригоден для приложений, требующих реального времени. Стандарт 802.11b обеспечивает коллективный доступ пользователей к общей среде передачи, а поэтому требуется механизм разрешения адресов (протокол ARP). Доступ вновь подключающихся пользователей контролируется сервером, который распределяет IP – адреса, предоставляя их на ограниченное время, т. е. фактически сдавая их в «аренду» (протокол DHCP). Когда время действия аренды заканчивается, IP-адрес либо возобновляется, либо освобождается. В сетях на базе 802.11b используются линии без установления соединения, а поэтому сеть в принципе «не знает», когда пользователь ее покинет. Это может привести к «замораживанию» части IP-адресов, присвоенных устройствам, уже покинувшим сеть. Чтобы избежать этого эффекта, период владения адресов должен быть относительно коротким. На практике это означает увеличение длины сетевых заголовков.

С точки зрения *обеспечения безопасности* технология 802.11b основана на WEP-шифровании с ключом эффективной длины 40 бит (алгоритм RC4). В более поздних версиях стандарта предусмотрена возможность использования расширенного ключа 128 бит, а так же применение других (отличных от WEP) методов шифрования, в частности, алгоритма AES (Advanced Encryption Standart), который заменил собой самый ранее популярный, но уже устаревший, стандарт DES.

Дальнейшее развитее технологии 802.11b связано с расширением перечня предоставляемых услуг и сферы действия стандарта на другие страны, где существуют проблемы с частотой координацией (Франция, Испания, Япония), введением дополнительного координирования для отдельных видов трафика (с различными QoS), решением вопросов совместимости с другими технологиями, в том числе с новой высокоскоростной версией стандарта 802.11b, с выпуском двухрежимных адаптеров 802.11b/802.11a и др.

В системах стандарта Hiper LAN2, который является одной из самых сложных беспроводных технологий, для передачи информации в радиоэфире используется диапазон частот 5 ГГц. Метод передачи – COFDM. Максимальная скорость передачи информации – 54 Мбит/с (при неблагоприятных условиях предусмотрено автоматическое снижение скорости). С целью улучшения условия совместимости с оборудованием, работающим в том же диапазоне частот, в стандарте предусмотрено автоматическое управление мощностью передатчика TPC (Transmit Power Control) и автоматическое управление выбором каналов DNS (Dynamic Channel Selection).

В стандарте описываются также механизмы управления качеством обслуживания QoS при передаче мультимедийной информации. Сетевая безопасность обеспечивается различными алгоритмами аутентификации и шифрования. Продвижение стандарта осуществляется группой Hiper LAN2 Global Forum.

Рассмотренные стандарты технологии Wi-Fi с точки зрения городских масштабов имели ряд недостатков [8]:

обособленность точек доступа – сеть строится по топологии «звезда», и к каждой точке должен быть обеспечен транспорт до сервера доступа по проводной сети Ethernet;
малый радиус действия – до 100 м без направленной антенны.
Технология Mesh-сетей помогла решить эту проблему.

15.8.2. Концепция Mesh

Технологии Mesh (стандарт 802.11g) позволяет полностью децентрализовать архитектуру сети и увеличить зону покрытия. «Mesh» – в переводе «петля», «сеть», «ячейка», хорошо соответствует описанию топологии Mesh-сетей, как сетей соединенных друг с другом узлов, накинутых на территорию города [8]. Наиболее общее определение звучит следующим образом: «Mesh-сетевая топология, в которой устройства объединяются многочисленными (часто избыточными) соединениями, вводимыми по стратегическим соображениям» [15]. Понятие Mesh определяет принцип построения сети, отличительной особенностью которой является самоорганизующаяся архитектура, реализующая следующие возможности:

создание зон сплошного информационного покрытия большой площади;

масштабируемость сети (увеличение площади зоны покрытия и плотности информационного обеспечения) в режиме самоорганизации;

использование беспроводных транспортных каналов для связи точек доступа в режиме «каждый с каждым»;

устойчивость сети к потере отдельных элементов.

Ясно, что изначально эта концепция разрабатывалась для военных приложений, что, впрочем, характерно для большинства технологий беспроводного доступа.

Топология Mesh основана на децентрализованной схеме организации сети в отличие от типовых сетей 802.11a/b/g, которые создаются по централизованному принципу. Точки доступа в Mesh-сетях не только предоставляют услуги абонентского доступа, но и выполняют функции маршрутизаторов-ретрансляторов для других точек доступа той же сети. Mesh-сети строятся как совокупность кластеров, показанных на рис. 15.25 [9].

Территория покрытия разделяется на кластерные зоны, число которых теоретически не ограничено. В одном кластере размещается от 8 до 16 точек доступа. Одна из таких точек является узловой (Gateways) и подключается к магистральному каналу с помощью кабеля или по радиоканалу (с использованием системы широкополосного доступа). Узловые точки доступа, также как и остальные точки доступа (nodes) в кластере соединяются с ближайшими соседями по транспортному радиоканалу. Они могут выполнять функции ретранслятора (транспортный канал), либо функции ретранслятора и абонентской точки доступа.

Mesh-сети используют специальные протоколы, позволяющие каждой точке доступа создавать таблицы абонентов сети с контролем состояния транспортного канала и поддержкой динамической маршрутизации трафика по оптимальному маршруту между соседними точками. При отказе какой-нибудь из них происходит автоматическое перенаправление трафика по другому маршруту, что гарантирует не просто доставку трафика адресату, а доставку за минимальное время. Процедура расширения сети в пределах кластера ограничивается установкой новых точек доступа, интеграция которых в существующую сеть происходит автоматически. Количество точек доступа в кластере ограничивается некоторым значением, превышение которого приводит к ухудшению качества передачи трафика из-за задержек (например, речи или видео).

Обсудив концепцию Mesh-сетей и их роль в продвижении стандарта 802.11, вернемся к описанию самого стандарта (его спецификации).

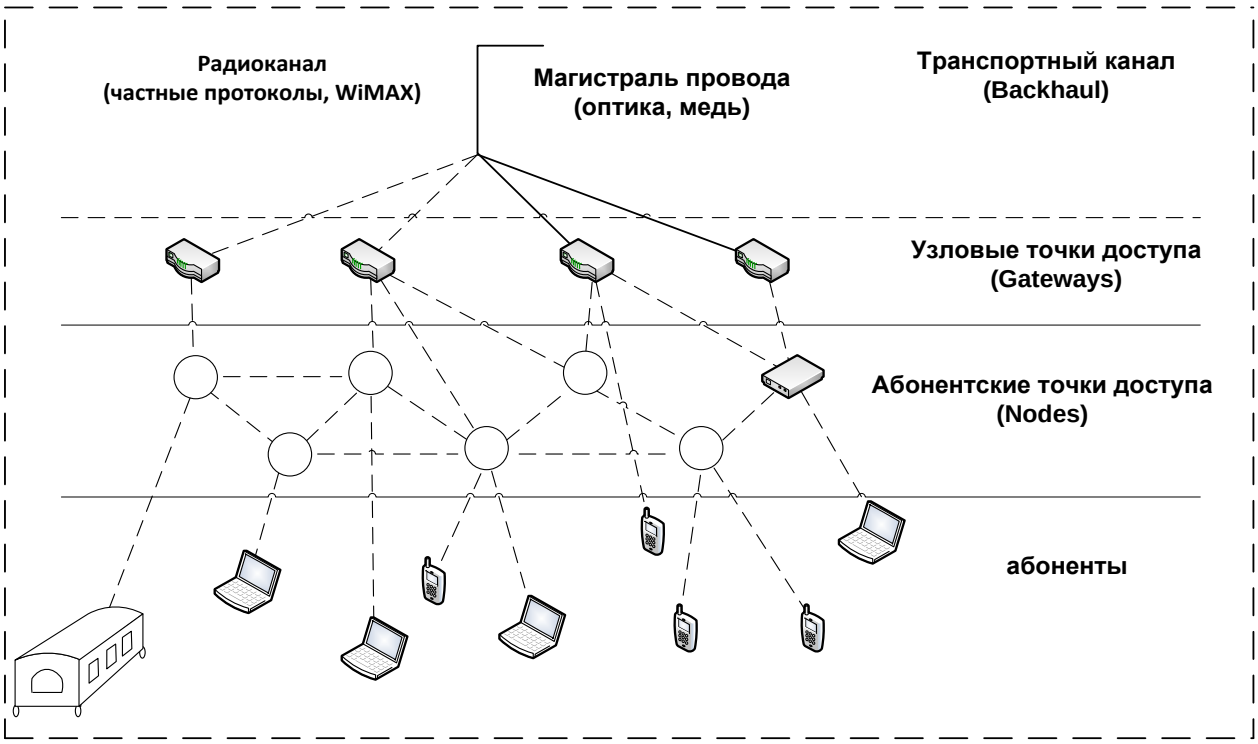


Рис. 15.25. Структурная схема Mesh-сети

15.8.3. Стандарты 802.11 в приложении Wi-Fi Mesh-сетей

*Стандарты 802.11a/b/g.*Эти стандарты обеспечивают передачу информации в двух диапазонах частот:

2.4 ГГц (802.11b – 11 Мбит/с, 802.11g – 54 Мбит/с);

5.8 ГГц (802.11a – 54 Мбит/с).

Основные недостатки – ограничение пропускной способности 54 Мбит/с и снижение пропускной способности при увеличении числа пользователей. Бороться с этим помогают различные механизмы: применение VLAN для сегментирования сети, использование QoS или применение в точках доступа нескольких радиомодулей .

*Стандарт 802.11e***.** Проблемы, присущие беспроводным системам, заключаются в ошибках при передаче данных и переменной скорости передачи (в зависимости от положения абонента относительно точки доступа). Дополнительные трудности создают переменное число абонентов и, соответственно, отсутствие информации о доступном для использования ресурса в данный момент времени.

Спецификация 802.11e предназначена для ограничения передачи аудио-видео информации (три одновременных канала передачи изображения формата DVD MPEG-2 или один поток формата HDTV MPEG-2 для сетей 802.11a) и обеспечения совместимости с уже существующими схемами приоритезации трафика.

Принцип, положенный в основу 802.11e, заключается в использовании маркеров для критических потоков данных. Максимальный приоритет получают голосовые пакеты, далее потоки видеоинформации, а затем пакеты данных в соответствии с протоколом резервирования ресурсов (Resource Reservation Protocol – RSVP) и механизма приоритезации очередей.

Стандарт 802.11i. Базовый стандарт 802.11 включает механизм Wired Equivalent Privacy (WEP), который встроен в протокол 802.11. Хотя данный механизм позволял работать на втором уровне модели OSI и использовать для шифрования 40-разрядный ключ, этого оказалось недостаточною. Для решения проблемы была разработана

спецификация 802.11i, объединяющая подмножества Wi-Fi Protected Access (WPA) и 802.1x. Для усиления шифрования в WPA применен улучшенный протокол, называемый Temporal Key Integrity Protocol (TKIP). При использовании TKIP каждый посылаемый пакет наделяется своим собственным ключом (в отличие от WEP, где ключи одинаковы в течение всей сессии). Для аутентификации пользователя и распределения ключей применяется стандарт 802.1x и протокол Extensible Authentication Protocol (EAP).

Стандарт 802.11i предусматривает использование в продуктах Wi-Fi таких средств, как поддержка алгоритмов шифрования трафика: TKIP, WRAP (Wireless Robust Authenticated Protocol) и CCMP (Counter With Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol). Этих алгоритмов достаточно на уровне абонентского трафика, но на уровне корпоративного пользователя используются дополнительные механизмы, включающие более совершенные способы аутентификации при подключении к сети: более криптостойкие методы шифрования, динамическую замену ключей шифрования, использование персональных межсетевых экранов, мониторинг защищенности беспроводной сети, технологию виртуальных частных сетей VPN и т. д.

Стандарт 802.11к. Спецификация 802.11к призвана обеспечить обратную связь между клиентскими устройствами, точками доступа и коммутаторами WLAN (доступ к параметрам на первом и втором уровнях модели OSI с более высоких уровней), что позволяет реализовать следующие функции:

организация самостоятельного перехода клиента между точками доступа, что обеспечивает повышение пропускной способности сети за счет разгрузки точек доступа с высоким числом обращений;

оптимизация выбора радиоканала (клиент будет передавать сведения об уровне шумов в канале, о загрузке и продолжительности использования данного канала).

В спецификации 802.11к описаны процедуры, позволяющие клиентскому устройству выбрать точку доступа, к которой следует подключиться перед разрывом текущего соединения. Кроме того, использование алгоритма кеширования, предусмотренного спецификацией 802.11i, обеспечивает установление нового защищенного соединения за время, не более 50 мс. Такая задержка не будет замечена пользователем, т. к. она в несколько раз меньше человеческого порога восприятия.

Стандарт 802.11s. Это наиболее значимая для Mesh–технологий спецификация 802.11s, которая призвана стандартизовать организацию сетей подобной топологии.

Целью разработки стандарта IEEE 802.11s является обеспечение автоматической маршрутизации между узлами Wi-Fi-сети, в которой каждый узел способен задействовать для передачи информации соседние узлы, используя многопрыжковый (multi-hop) механизм перераспределения трафика. Стандарт IEEE 802.11s регламентирует протоколы обнаружения, идентификации и установления соединения между соседними устройствами. Совокупность устройств, работающих в сети по стандарту IEEE 802.11s. образует mesh-сеть [9]. Основными компонентами такой сети являются:

Mesh Router – устройство, обеспечивающее интеллектуальную маршрутизацию внутреннего трафика;

Mesh Router/Gate Way – устройство, обеспечивающее интеллектуальную маршрутизацию внутри трафика и являющееся шлюзом доступа в сеть Интернет, подключается по проводной линии;

Mesh Router/Bridge – мостовое устройство, обеспечивающее связь с другими системами доступа (WiMAX, мобильные сети);

Access Point – собственно точка доступа, обеспечивающая подключение абонентов.

Таким образом, реализуется концепция постепенного роста и захвата новых территорий города с помощью распределенной сети. Начав развитие сети в одной точке, можно неограниченно увеличивать зону действия mesh-сети, просто добавляя новые

устройства. Прокладка дополнительных наземных коммуникаций не требуется, но появляется проблема грамотного планирования сети.

Еще одной из основных проблем при организации Mesh-сетей является совместимость оборудования внутри сети, т. к. абонентский доступ организуется в соответствии со стандартами 802.11, а транспортные каналы используют, как правило, частные протоколы и алгоритмы организации сети.

Стандарт 802.11n. Основное технологическое нововведение в стандарте – использование радио-технологии MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), обозначающей способность оборудования обрабатывать множество входящих и исходящих потоков данных.

MIMO использует технику пространственного мультиплексирования и несколько антенн, посылающих и принимающих сигналы одновременно [17]. Данные снабжаются пространственными метками (Spatial Signatures) и передаются по нескольким маршрутам (Multipath Reflection). Принимающие антенны собирают эти потоки воедино и реконструируют их в один «супер сигнал». Этот подход обеспечивает увеличение дальности и пропускной способности. Для увеличения емкости используются радиоканалы шириной до 40 МГц в частотных диапазонах 2 и 5 ГГц. Физическая пропускная способность канала в 40 МГц поднимается до 125 Мбит/с, а установка до четырех антенн на каждый приемник и передатчик в соответствии с технологией MIMO позволит довести этот показатель до 500 Мбит/с.

К отличительным технологическим особенностям стандарта 802.11n относятся [17]:

реализация механизма агрегации кадров и подтверждения приема для блока кадров. Это обеспечивает до 100 % (в зависимости от типа трафика) повышение пропускной способности канала по сравнению с 802.11a/g;

опциально предусматривается возможность удвоения полосы радиоканала до 40 МГц, что также удваивает пропускную способность;

повышение эффективности OFDM за счет увеличения числа поднесущих до 50 вместо 48, благодаря чему скорость передачи информации в одном потоке возрастает приблизительно на 20 %;

опциально возможно уменьшение так называемого «защитного интервала», предшествующего в OFDM-передаче следующего символа с 800 до 400 мс, что дает еще 10 % прироста производительности.

Технология 802.11n позволяет поддерживать ряд решений для предприятий, таких как VoIP поверх WLAN, беспроводное видеонаблюдение и корпоративное потоковое видео, службы, основанные на местоположении и мобильные коммуникации предприятия.

15.8.4. Сравнение технологий Wi-Fi и WiMAX

Технологии Wi-Fi и WiMAX имеют много общего. Как и стандарт 802.11, WiMAX относится к беспроводным технологиям доступа абонентских устройств к Интернет на скоростях порядка нескольких мегабит в секунду, вместо использования кабеля или DSL. Как и 802.11, WiMAX основан на технологии OFDM, чтобы гарантировать хорошую работу, несмотря на ухудшения радиосигнала, такие как многолучевое затухание, и на технологии MIMO, чтобы достигнуть высоких уровней пропускной способности [7]. Фактически WiMAX комбинирует подходы 802.11 и 3G, становясь больше похожей на технологию 4G.

WiMAX отличается от Wi-Fi в нескольких ключевых отношениях. Одна ключевая техническая проблема состоит в том, чтобы достигнуть большой емкости эффективным использованием спектра, так чтобы большое количество абонентов в зоне охвата могли получить высокую пропускную способность. Типичные расстояния, по крайней мере, в 10 раз больше, чем для сетей 802.11, следовательно, базовые станции WiMAX – более мощные, чем точки доступа 802.11. Чтобы обработать более слабые сигналы на больших

расстояниях, базовая станция использует большую мощность и лучшие антенны, а также выполняет больше работы по обработке ошибок. В целом система WiMAX существенно более оптимизирована, чем Wi-Fi [7]. Результат – управляемый и надежный сервис с хорошей поддержкой качества обслуживания.

Эти особенности делают WiMAX наиболее близкой к сети 4-го поколения (4G), которые стандартизируются под именем LTE (Long Term Evolution). Если сотовые сети 3G основаны на CDMA и поддерживают речь и данные, то сети 4G будут основаны на OFDM с MIMO и ориентированы на передачу данных, а передача голоса будет только одним из приложений. Таким образом, WiMAX и 4G имеют много общего, что и не удивительно с учетом того, что Интернет – революционная технология, а OFDM и MIMO – самые известные технологии для эффективного использования спектра.

15.8.5. Стандарты Hiper LAN

Для сетевой поддержки портативных устройств в ETSI был разработан стандарт Hiper LAN/1, основным содержанием которого было использование асинхронного режима передачи и механизма множественного доступа, взятого от семейства локальных сетей шинного типа со случайным доступом (CSMA) с предотвращением конфликтов (CA). Но качество услуг на участке беспроводного звена не контролировалось и не гарантировалось. Это и стало одним из стимулов разработки стандарта Hiper LAN/2, которая шла в рамках проекта BRAN (широкополосные сети доступа по радиоканалу), под эгидой ETSI. Новый стандарт предназначался для развёртывания локальных сетей со скоростью передачи информации до 54 Мбит/с при небольших (до 150 м) расстояниях между терминалами внутри и вне помещения и ограниченной мобильности. Типичная среда применения этого стандарта – офисы, жилые дома, выставочные залы, аэропорты, вокзалы и т. п. Разработка базовых разделов спецификаций стандарта была завершена в 1999 году [18].

Система Hiper LAN/2 опирается на топологию сети сотовой связи в комбинации со специальными сетевыми функциями. Предусмотрены два базовых режима функционирования: централизованный (CM) и прямой (DM).

Централизованный режим ориентирован на топологию сети сотовой связи, в которой управление каждой сотой осуществляется от общей для определенной географической области точки доступа (AP). В этом режиме мобильные терминалы взаимодействуют между собой или опорной сетью через точки доступа. Централизованный режим используется, в основном, для бизнес-приложений внутри и вне помещения в условиях, для которых область покрытия превышает границы соты.

Прямой режим функционирования предназначен для специальной сетевой топологии частного жилого сектора или условий, при которых область обслуживания полностью покрывается одной сотой сети радиопередачи. В этом режиме мобильные терминалы сети могут обмениваться данными непосредственно друг с другом. Выделением ресурсов радиопередачи для мобильных терминалов управляет точка доступа.

Архитектура протоколов Hiper LAN/2 показана на рис. 15.26 [18].

Уровень конвергенции

Возможны два типа уровня конвергенции:

на базе ячеек, на котором обрабатываются элементы протоколов более высоких уровней с фиксированной длиной пакетов, например, опорная сеть на базе ATM;

на базе пакетов, где обрабатываются протоколы более высоких уровней с переменной длиной пакета, например, сеть Ethernet.

Для соответствующей адаптации услуг Ethernet, IEEE1394, PPP и универсальной мобильной связи (UMTS) определены отдельные подуровни конвергенции услуг (SSCS).

Рис. 15. 26. Архитектура протоколов Hiper LAN/2

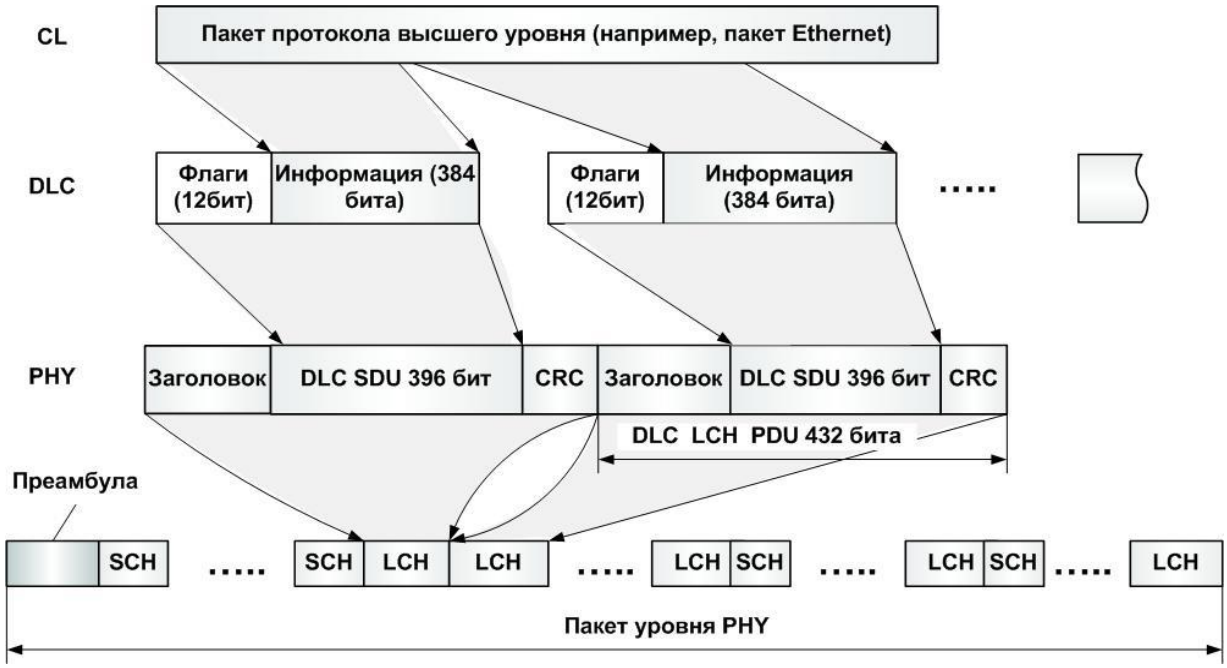


Рис. 15.27. Отображение пакетов высших уровней на уровни Hiper LAN/2

Функция заполнения, сегментации и сборки блоков данных с фиксированной длиной услуги на уровне DLC является ключевой возможностью, позволяющей стандартизировать и реализовывать функции уровней PHY и DLC независимо от типа опорной сети. На рис. 15.27 показано отображение блоков данных протокола высшего уровня на пакеты физического уровня. Для передачи полезной информации блоки данных уровня DLC представляют собой блоки данных протокола (PDU) «длинного» транспортного канала (LCH); для сообщений управления используются блоки PDU «короткого» транспортного канала (SCH).

Уровень DLC. Состоит из подуровня управления радиозвеном (RLC), протокола защиты от ошибок (EC) и протокола MAC.

Подуровень RLC. Поддерживает три главные функции управления:

функция ассоциативного управления процедурой аутентификации, административного управления системой ключей шифрования, ассоциативной связи и ее аннулирования, а также генерации случайной последовательности для шифрования;

функция управления ресурсами радиопередачи (RRC), осуществляющая управление доступом, динамическим выбором частотного канала, определением готовности мобильного терминала;

функция управления соединением пользователя на уровне DLC, выполняющая установление и освобождение соединения пользователя как для многоадресной, так и широковещательной передачи.

В целом подуровень RLC предназначен для обмена данными на плоскости управления между точкой доступа и мобильным терминалом.

Защита от ошибок (EC). Определены следующие режимы работы защиты от ошибок:

режим с подтверждением приема по обратному каналу; базируется на процедурах автоматического запроса избирательного (SR) повтора (ARQ);

режим с повтором, в котором предусмотрена повторная передача блоков протокола DLC PDU (LCH PDU) без обратного канала. Передатчик может повторно передавать блоки PDU в произвольном порядке. Приемник «признает» безошибочными только те блоки PDU, порядковые номера которых с повтором используются для безадресной (широковещательной) передачи данных;

режим без подтверждения позволит поддерживать связь с низким уровнем надежности и задержки без повторной передачи блоков с ошибками.

Протокол MAC. Длительность базовой части кадра для передачи информации в радиоинтерфейсе фиксирована и равна 2 мс. Кадр содержит поле управления: безадресной передачей, структурой кадра, обратным каналом, передачей данных в прямом и в обратном направлениях, а также случайным доступом (рис. 15.28). В процессе передачи в прямом направлении каждый кадр содержит дополнительное поле управления передачей в прямом направлении (на рис. 15.28 не показано). Поле управления безадресной передачей всегда имеет фиксированную длину, в то время как длина других полей динамически адаптируется к текущим характеристикам трафика.

Информация в поле безадресной передачи данных (BCH) посылается в каждом кадре MAC и позволяет поддерживать управление ресурсами радиопередачи.

Поле канала кадра (FCH) содержит точное описание назначения ресурсов в пределах данного канала MAC. Поле канала доступа с обратной связью (ACH) транспортирует информацию о предыдущих попытках при случайном доступе. Трафик нескольких соединений к мобильному терминалу (от мобильного терминала) может быть мультиплексирован в одну последовательность блоков PDU, в которой каждому соединению принадлежат поля LCH длиной 54 байта для данных и поля SCH длиной 9 байт для сообщений управления.

В стандарте Hiper LAN/2 предусмотрена поддержка работы с многовибраторной антенной с целью улучшения использования ресурса и снижения помех при радиопередаче. Для протокола MAC и структуры кода Hiper LAN/2 поддерживается работа с многовибраторной антенной с числом вибраторов до 8.

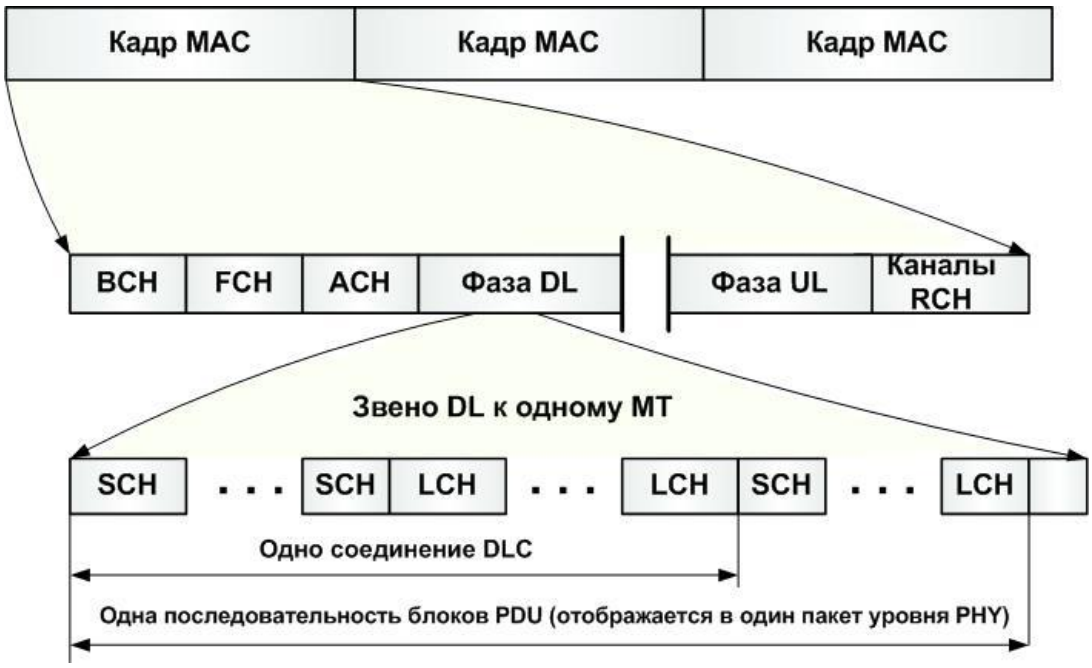


Рис. 15.28. Базовая структура кадра (антенна с одним сектором)

Когда на мобильном терминале есть данные для передачи по определенному соединению DLC, от него сначала должен быть послан запрос ресурса (RR) пропускной способности в точке доступа. Этот запрос содержит данные о числе блоков LCH PDU, ожидающих на мобильном терминале передачи по конкретному соединению DLC. При возникновении конфликта мобильный терминал получает информацию об этом в поле ACH следующего кадра MAC.

После передачи запроса ресурсов к точке доступа мобильный терминал переходит в режим, в котором возможности передачи заранее спланированы. Планирование ресурсов выполняется в точке доступа, из которой может осуществляться опрос мобильного терминала с целью получения информации блоков PDU для передачи. Аналогично от мобильного терминала может передаваться информация о его состоянии посредством посылки запроса ресурсов через RCH.

Физический уровень. Блоки данных, передаваемые на физическом уровне Hiper LAN/2, представляют собой пакеты переменной длины. Каждый пакет состоит из последовательности SCH и блоков LCH PDU, которые передаются или принимаются мобильным терминалом.

В качестве схемы модуляции для Hiper LAN/2 было выбрано мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM). В радиоканалах со сложной помеховой обстановкой и при скорости передачи информации от 25 Мбит/с OFDM в среднем обеспечивает на 2-3 дБ характеристики помехоустойчивости лучше, чем при использование одной несущей.

В качестве стандартного радиоканала был выбран канал с полосой частот 20 МГц. Этот стандартный канал разбивается на 64 поднесущие, которые следуют через 20/64 = 0,3/25 МГц. С целью минимального взаимного влияния соседних каналов из 64 возможных поднесущих реально используются лишь 52 : 48 для передачи информации и 4 пилот-сигнала для управления когерентной демодуляцией.

Ключевой функциональной возможностью физического уровня является поддержка семи режимов работы с различными скоростями кодирования и схемами модуляции (таблица 15.12).

Поддерживается двойная и квадратурная фазовая манипуляция (BPSK, QPSK), 16-квадратурная амплитудная модуляция (16 QAM) для модуляции поднесущих. В качестве базового канального помехоустойчивого кода (FEC) используется сверточный код со скоростью ½ и кодовым расстоянием 7.

Таким образом, стандарт Hiper LAN представляет собой описание системы высокоскоростного (до 54 Мбит/с) радиодоступа на расстоянии до 150 м для диапазона 5 ГГц.

Таблица 15.12

Режимы работы системы Hiper LAN/2 на физическом уровне

Режим	Метод модуляции	Скорость кода	Скорость передачи информации
1	BPSK	1/2	6 Мбит/с
2	BPSK	3/4	9 Мбит/с
3	QPSK	1/2	12 Мбит/с
4	QPSK	3/4	18 Мбит/с
5	16 QAM	9/16	27 Мбит/с
6	16 QAM	3/4	36 Мбит/с
7	64 QAM	3/4	54 Мбит/с

15.9. Технологии создания пикосетей для «интеллектуальных» домов, офисов, автомобилей (группа WPAN)

15.9.1. История и стандарты технологий группы WPAN

Развиваемые в США (IEEE 802.15.3 – Bluetooth) и в Европе (Hiper PAN –High Performance PAN) технологии WPAN рассчитаны на передачу различных видов трафика (речь, данные, мультимедиа) и предназначены для построения «интеллектуального дома», в котором разнообразные устройства (периферия компьютеров, видеокамеры, холодильники и т. д.) объединяются в одну пикосеть с радиусом зоны обслуживания 10-50 м, а также пикосетей в офисах и автомобилях. Краткая характеристика стандартов IEEE этой группы представлена в таблице 15.13 [19].

Более подробно остановимся на характеристиках стандарта 802.15.3.

Технология Bluetooth – название собирательное. Это и система, и беспроводный радиоинтерфейс, и одноименный союз промышленных компаний. Концепция Bluetoothразработана в 1994 г. специалистами компании Ericsson из исследовательского центра в г. Лунд (Швеция). В феврале 1998 г. по инициативе пяти ведущих мировых компаний: Ericsson, IBM, Intel, NokiaиToshibaбыла создана рабочая группа SIG (SpecialInterestGroup), а спустя ровно три года в феврале 2001 г. была разработана первая спецификация v.1.1. Сегодня это стандарт «де факто». Название системе дано в честь короля Дании Харальда Блатанда (по прозвищу Bluetooth – «Голубой зуб»). Он жил в X веке и прославился тем, что объединил раздробленные датские земли в единое государство. Подобно средневековому королю викингов, технология беспроводного

доступа Bluetooth призвана объединить разрозненные элементы локальных информационных сетей в единую систему связи.

Таблица 15.13

Исследовательские группы IEEE по стандартам 802.15

Исследовательская группа	Области разработок
802.15.1	Разработка спецификаций на технологию WPAN/ Bluetoothvlxco скоростью до 1 Мбит/с
802.15.2	Разработка практических рекомендаций по совместимости Bluetoothи WLAN(802.1lb)
802.15.3	Разработка высокоскоростной версии стандарта WPAN-HRco скоростью более 20 Мбит/с для мультимедиа и передачи цифровых изображений
802.15.4	Разработка низкоскоростной версии стандарта WPAN-HRco скоростью передачи от 2 до 200 кбит/с для датчиков, интерактивных игрушек и бытовых приборов

Стандарт и сети Bluetoothотвечают требованиям пользователей, которымнеобходимо беспроводное сопряжение с различным профессиональным и бытовым оборудованием. В качестве источников информации в такой радиосистеме используются портативные компьютеры, PDA, сотовые телефоны, фотоаппараты, видеокамеры, бытовые приборы (микроволновые печи, холодильники), автоматические гаражные двери и даже авторучки, позволяющие передавать сделанные записи по каналам мобильной связи. Фактически, адаптеры Bluetoothмогут встраиваться в любые устройства управления и обмена информацией. Поэтому и круг пользователей услуг необычайно широк. В отличие от 802.11b, где по существу реализован один тип трафика (а именно – IP-трафик, т. е. пакетная передача данных и речи), сети Bluetoothобеспечивают широкий набор услуг и передачу разных типов потоков: IP-трафик, необработанные (не IP) данные(телеметрические сигналы от датчиков, команды управления и др.) и трафик приложений, требующий реального масштаба времени (речь, аудио и видеоданные и др.).

Все эти возможности обеспечили протоколы Bluetooth, которые постоянно развивались в течение последнего десятилетия. После того как стабилизировались начальные протоколы, в 2004 году к Bluetooth 2.0 были добавлены более высокие скорости передачи данных. Версия Bluetooth 3.0 2009 года может использоваться для сопряжения устройств в комбинации с 802.11 для высокоскоростной передачи данных. Версия 4.0 от декабря 2009 года определила работу с низким энергопотреблением. Это будет удобно для людей, которые не хотят регулярно менять батареи во всех устройствах в доме.

В России требования к техническим характеристикам оборудования технологии Bluetooth определены решением ГКРЧ от 31.03.2003 № 25/2 (таблица 15.14).

15.9.2. Структура и характеристики системы Bluetooth

Технология Bluetooth не дополняет, а заменяет проводную инфраструктуру. В идеале радиоканалы Bluetooth должны заменить провода при подключении к компьютеру низкоскоростных периферийных устройств (клавиатуры, принтера, мыши), позволяя создать небольшую офисную, автомобильную или домашнюю сеть. Основным структурным элементом архитектуры Bluetooth является пикосеть, включающая в себя от 2 до 8 устройств, причем одно из устройств обязательно является ведущим. Спецификации Bluetooth предусматривают возможность объединения нескольких

пикосетей (до 10) в одну укрупненную, распределенную (scatternet) сеть. В последней каждая пара пикосетей всегда имеет, как минимум, одно общее устройство, выполняющее роль ведущего в одной сети и ведомого в другой. Одна scatternet может одновременно .обслужить до 70 клиентских устройств (рис. 15.29) [7].

Таблица 15.14

Требования к техническим характеристикам персонального (маломощного) оборудования технологии Bluetooth (решением ГКРЧ от 31.03.2003 № 25/2)

Наименование параметра	Величина параметра
Полоса частот	2400-2483,5 МГц
Характеристики радиопередатчика	
Максимальная ЭИИМ	2.5 мВт
Класс изучения	1M00F7D
Тип модуляции	Частотная манипуляция с Гауссовым фильтром (GFSK с BT=0.5)
Технологии расширения спектра радиосигнала	Псевдослучайная перестройка рабочей частоты
Параметры спектра радиосигнала количество частотных каналов сетка частот	 79 2402+n МГц, где n = 0,E,78
Характеристики антенны	
Тип антенны	Интегральная

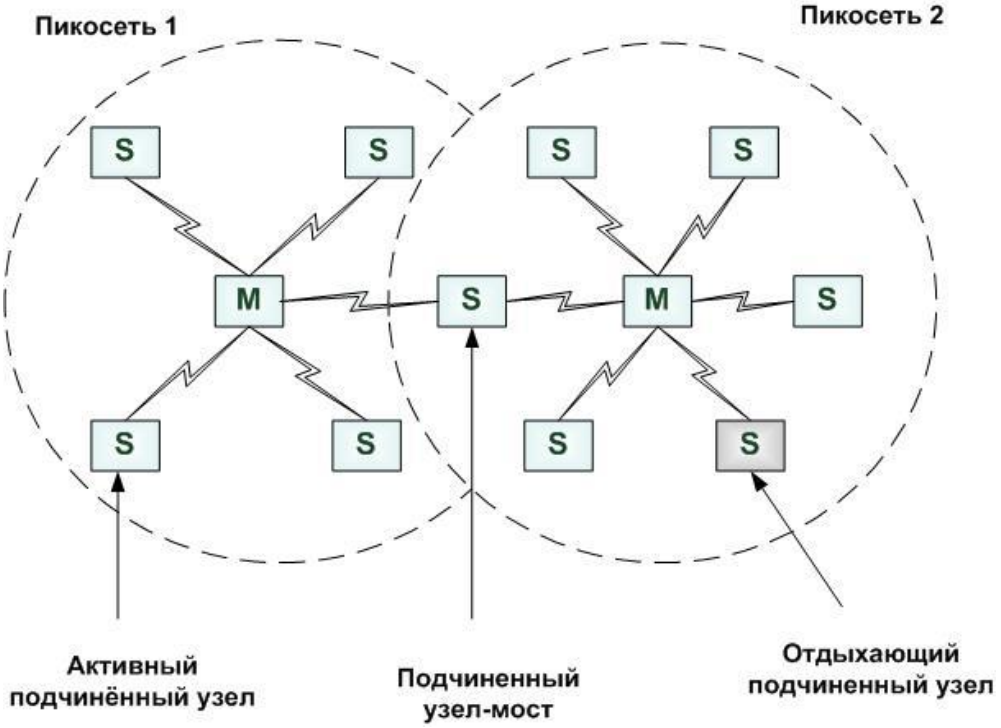


Рис.15.29. Распределенная (scatternet) сеть

Помимо семи активных подчиненных узлов один главный узел может поддерживать до 255 так называемых отдыхающих узлов. Это устройства, которые главный узел перевел в режим пониженного энергопотребления – за счет этого продлевается ресурс их источников электропитания. В таком режиме узел может только отвечать на запросы активации или на сигнальные последовательности главного узла.

Решение с главным и подчинённым узлом оказалось очень простым и дешевым в реализации (вся микросхема Bluetooth стоит менее 5 $). В основе пикосетей лежит принцип централизованной системы с временным управлением. Главный узел контролирует временные интервалы и распределяет очередность передачи каждым из подчиненных узлов. Связь существует только между подчиненным и главным узлами. Прямой связи между подчиненными узлами нет.

По технологии Bluetooth точки доступа могут использовать общую полосу частот от 23 до 79 МГц в зависимости от географического региона (табл. 15.15). Однако, в каждый произвольный момент времени передача в сети Bluetooth происходит в полосе шириной 1 МГц, а частота скачкообразно перестраивается по псевдослучайному закону.

Таблица l5.15

Распределение частот в технологии Bluetooth

Географический район	Разрешенные диапазоны частот, МГц	Выделенная ширина полосы, МГц
США и Канада	2400,0...2483,5	83,5
Европа (кроме Франции и Испании)	2400,0...2483,5	83,5
Франция	2446,5...2483,5	37
Испания	2445,0...2475,0	30
Япония	2471,0...2497,0	26
Россия	2400,0...2483,5	83,5

В технологии Bluetooth применяется гибридный метод доступа, основанный на сочетании скачкообразной перестройки частоты FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) и дуплексной передачи с временным разделением каналов (FHSS/TDD). Пакеты информации транспортируются во временных интервалах длиной 625 мкс с обязательной сменой частоты в каждом интервале. В спецификациях предусмотрено два варианта перестройки частоты: с использованием полного набора из 79 частот и сокращенного набора из 23 частот. Максимальная скорость перестройки частоты равна 1600 скачкам в секунду. Высокая помехоустойчивость и простота реализации системы достигается за счет применения частотной манипуляции с гауссовским сглаживанием G-FSK (Gaussian-shaped Frequency Shift Keying); коэффициент сглаживания формы входных импульсов – 0,35.

Стандарт Bluetooth имеет фиксированную скорость передачи, равную 1 Мбит/с. Предусмотрено несколько режимов информационного обмена. При ассиметричном режиме работы данные передаются со скоростью 723,3 кбит/с, а принимаются с более низкой – 57,6 кбит/с. При симметричной схеме доступа скорость информационного обмена в обоих направлениях одинакова и равна 433,9 кбит/с. Таким образом, скорость

передачи данных в сетях Bluetooth составляет 43 – 72 % от максимальной скорости в радиоканале.

Большие скорости появились, начиная с версии Bluetooth 2.0. Эти скорости используют кодирование со сдвигом фазы, чтобы послать 2 или 3 бита за символ для достижения общей скорости передачи 2 или 3 Мбит/с. Такие более высокие скорости применяются только для кадров, содержащих данные.

В *Bluetooth* основные типы клиентских устройств (класс III) характеризуются величиной максимальной излучаемой мощности в 1 мВт (0 дБм). При использовании приемников с чувствительностью минус 70...80 дБм и антенн размером 1 см типовой радиус действия передатчиков не превышает 10 м. В такой сети может быть обеспечена высокая надежность связи, т. к. при коротких трассах распространения радиоволн многолучевость очень слабо влияет на качество связи. Однако, известны версии Bluetooth с передатчиками, имеющими выходную мощность 100 мВт (класс 1), для которых радиус соты составляет 30...100 м, но такая дальность является скорее исключением, чем правилом для сетей Bluetooth.

С точки зрения *организации радиодоступа* стандарт Bluetooth обеспечивает создание многолинейной бесконфликтной среды, в основе которой лежит механизм опроса. Для этих целей в пикосети всегда имеется одно ведущее устройство, которое опрашивает остальные (ведомые). Поскольку точки доступа обычно соединены между собой через концентратор или коммутатор каналов, то пакеты передаются в сети без конфликтов.

Схема *установления соединения* в технологии Bluetooth отличается от таковой в стандарте 802.11b. Здесь используются линии с опросом, ориентированные на установление соединения. И хотя при таком методе доступа требуются определенные дополнительные сетевые ресурсы, он обладает рядом преимуществ, как то: более эффективная повторная передача и схема адресации. Спецификациями Bluetooth предусмотрен также режим связи без установления соединения, но он используется крайне редко, в основном при многоадресной передаче (multicasting).

Процедура передачи пакетов в стандарте Bluetooth также является функцией уровня MAC протокола. Но прием пакета автоматически подтверждается во временном интервале, следующим непосредственно за передачей. Если квитанция не получена, то пакет автоматически ретранслируется в следующем временном интервале. Данный механизм передачи обеспечивается благодаря использованию механизма опроса. Тайм-аута после неудачи нет. Поэтому, с точки зрения реализации процедуры повторной передачи, стандарт Bluetooth более эффективен, чем 802.11b, где этот процесс зависит от интенсивности конфликтов и более длительный из-за наличия тайм-аутов. Очевидно, что по мере увеличения нагрузки в сети этот эффект усиливается.

В технологии Bluetooth, как и в 802.11b, используется *метод адресации* «вращающейся двери», но отличие этих технологий заключается в применяемом механизме предоставления и освобождения IP-адресов.

Технология Bluetooth использует механизм, ориентированный на установление соединения, т. е. IP-адрес освобождается при каждом разъединении линии – либо мобильным пользователем, либо сетью после относительно короткого тайм-аута. Фактически IP-адрес является частью логической процедуры установления соединения, а поэтому он не может оставаться неиспользованным в течение длительного периода времени. Необходимо отметить, что при установлении соединения физический адрес устройства Bluetooth известен точке доступа, а поэтому никакой идентификации устройств при работе в сети не требуется.

Считается, что Bluetooth с точки зрения электромагнитной совместимости обладает большей *помехозащищенностью*, чем 802.11b. В основном это обусловлено двумя

факторами: использованием более коротких пакетов и более совершенным, по сравнению с CSMA/CA, протоколом доступа.

Для *обеспечения безопасности* в технологии Bluetooth реализована возможность односторонней и двусторонней аутентификации, а также шифрование данных с ключом переменой длины от 8 до 128 бит. По сравнению с 802.11b методы защиты информации в Bluetooth, можно сказать, и более сложные, и более простые. Более сложные, если их рассматривать с точки зрения различных прикладных сценариев использования. А более простые в том смысле, что многие этапы процедуры защиты прозрачны для пользователя. На аппаратном уровне обеспечивается лишь анонимность работающих пользователей. А вот на уровне приложений пользователь сам решает, какие меры защиты информации ему требуются: какой способ шифрования применить и с каким ключом. Считается, что использование Bluetooth не более опасно, чем подключение к сети Интернет, где все узлы соединены с помощью открытых каналов, однако это еще не означает получение безоговорочного доступа к любому ресурсу.

15.9.3. Архитектура и профили Bluetooth

Приложения Bluetooth [7]. Если большинство сетевых протоколов просто предоставляют каналы связи и оставляют прикладное использование этих каналов на усмотрение разработчиков, то Bluetooth, наоборот, специфицирует поддерживаемые приложения и для каждого из них предоставляет свой набор протоколов. Сегодня таких приложений, называемых профилями (profile), больше 25. Шесть профилей предназначены для различного использования аудио и видео. Например, профиль intercom позволяет двум телефонам соединяться друг с другом наподобие раций. Профили наушников и устройств hands-free обеспечивают этим устройствам связь с базовой станцией. Это удобно, например, при управлении автомобилем.

Другие профили предназначены для потоковой передачи стереозвука и видео, например, от портативного аудиоплеера к наушникам или от цифрового фотоаппарата до телевизора.

Профиль HID используется для соединения с компьютером клавиатур и мышей. Другие профили позволяют мобильному телефону или другому компьютеру получать изображение от камеры или посылать изображения принтеру.

Следующая группа профилей имеет отношение к сетям. Профиль доступа к ЛВС позволяет устройству Bluetooth подсоединяться к сети непосредственно или получить удаленный доступ к сети, как в 802.11, через точку доступа. Профиль удаленного доступа позволяет ноутбуку соединяться с мобильным телефоном, имеющим встроенный модем, без использования проводов.

Архитектура Bluetooth. Стандарт Bluetooth включает в себя множество протоколов, разбитых на уровни, как показано на рис. 15.30 [7].

Физический уровень, который вполне соответствует моделям OSI и 802, описывает радиосвязь и методы модуляции.

Уровень управления каналом связи (прямой передачи) близок к уровню MAC, но включает в себя и некоторые элементы физического уровня. Здесь описывается управление временными интервалами из главного узла и как эти интервалы группируются в кадры.

Далее следуют два протокола, которые используют протокол управления каналом связи. Протокол управления соединением устанавливает логические каналы между устройствами, управляет режимами энергопотребления, сопряжением и шифрованием, а также качеством обслуживания. Он находится ниже интерфейса хост-контроллера. Этот интерфейс – удобство для реализации: протоколы ниже линии реализуются на чипе Bluetooth, а протоколы выше линии – на устройстве Bluetooth, где чип размещен.

Протокол канального уровня – L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) – протокол управления логическими каналами и согласования.

Протокол обнаружения сервисов используется для определения местонахождения служб в пределах сети. Протокол RFcomm эмулирует работу стандартного последовательного порта ПК, к которому обычно подключаются клавиатура, мышь, модем и другие устройства.

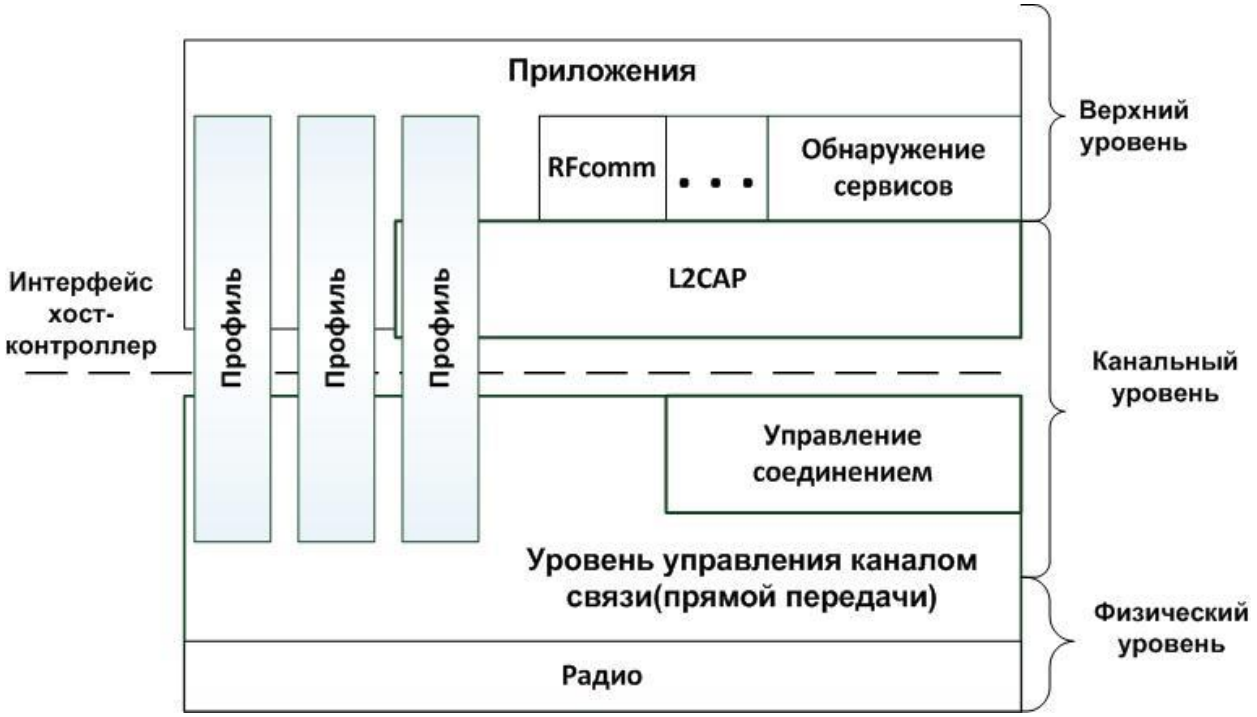


Рис. 15.30. Архитектура протоколов Bluetooth: версия 802.15

На верхнем уровне представлены приложения. Профили охватывают несколько уровней, т. к. каждый из них определяет часть стека протокола для конкретной цели. Так, профили для устройств типа гарнитур используют только те протоколы, которые необходимы для их работы.

Уровень радиосвязи переносит информацию бит за битом от главного узла к подчиненным и обратно. Это маломощная приемопередающая система с радиусом действия порядка 10 м. Она работает в ISM диапазоне 2.4 ГГц, как и 802.11.

Уровень управления каналом связи трансформирует простой поток бит в кадры и определяет некоторые ключевые форматы. В каждом кадре 126 служебных бит уходит на формирование кода доступа и заголовка. Полезные данные могут быть зашифрованы с помощью ключа, который выбирается, когда ведущее устройство соединяется с ведомым. Переключения частоты происходят только между кадрами.

Протокол управления соединениями устанавливает логические каналы, называемые «соединениями» (links), чтобы переносить кадры между главными и подчиненными устройствами, которым необходимо обнаруживать друг друга.

Прежде чем будет использоваться соединение, два устройства проходят процедуру сопряжения. Новый безопасный простой метод сопряжения (secure simple pairing) позволяет пользователям подтвердить, что оба устройства показывают один и тот же ключ, или видеть ключ на одном устройстве и ввести его на втором.

Когда сопряжение завершено, протокол устанавливает соединение, которых может быть два типа. Первый тип – синхронный с установлением связи (Synchronous Connection Oriented, SCO) предназначен для передачи данных в реальном масштабе времени,

например, при телефонных разговорах. Из-за критичной ко времени передачи природы SCO кадры, переданные по данному типу канала, никогда не пересылаются заново.

Другой тип соединения, называемый асинхронный, без установления связи (Asynchronous Connectionless, ACL) используется для коммутации пакетов данных, которые могут появиться в произвольный момент времени, при этом никаких гарантий не дается, а кадры могут теряться и пересылаться повторно. У подчиненного узла может быть только одно ACL – соединение со своим главным узлом.

Данные отправленные по ACL – соединению, приходят с уровня L2CAP. Этот уровень выполняет следующие функции:

принимает пакеты размером до 64 Кбайт с верхних уровней и разбивает их на кадры для передачи по физическому каналу, на приемной стороне кадры объединяются в пакеты;

мультиплексирование и демультиплексирование множества источников пакетов, определение адреса отправки пакета (например, протоколу RFcomm или протоколу обнаружения сервисов);

управляет контролем ошибок и повторной пересылкой кадров;

обеспечивает качество обслуживания, требуемое несколькими соединениями.

Структура кадра. Существует несколько форматов кадров Bluetooth, наиболее важный из которых показан в двух формах на рис. 15.31 [7].

В начале кадра указывается код доступа, который обычно служит идентификатором главного узла. Затем следует заголовок из 54 бит, в котором содержатся поля, характерные для кадра подуровня MAC. Если кадр отправляется с базовой скоростью, далее расположено поле данных размером 2744 бита (для передачи за пять тактов). Если кадр имеет длину, соответствующую одному тактовому интервалу, то формат остается таким же с полем данных 240 бит. Если кадр посылается на увеличенной скорости, часть данных может быть в 2 или 3 раза больше, т. к. каждый символ переносит 2 или 3 бита вместо одного. Этим данным предшествует защитный интервал и образец синхронизации, который используется, чтобы переключиться на более высокую скорость передачи. Таким образом, код доступа и заголовок передаются на базовой скорости, и только часть данных передается на большей скорости. Кадры с большей скоростью заканчиваются короткой меткой конца.

На рисунке 15.31 показан заголовок кадра, в который входят:

поле «Тип» определяет тип передаваемого кадра (ACL, SCO, опрос или пустой кадр), метод коррекции ошибок и количество временных интервалов, из которых состоит кадр;

бит F (Flow – поток) выставляется подчиненным узлом и сообщает о том, что его буфер заполнен;

бит A (Acknowledgement – подтверждение) представляет собой подтверждение (АСК), отсылаемое вместе с кадром;

бит S (Sequence – последовательность) используется для нумерации кадров, что позволяет обнаруживать повторные передачи.

Далее следует 8-битная контрольная сумма заголовка. Весь 18-битный заголовок кадра повторяется трижды, что в итоге составляет 54 бита. На принимающей стороне анализируются все три копии каждого бита. Если они совпадают, бит принимается таким, какой он есть. В противном случае решение принимается по большинству. Таким образом, на передачу 10 бит тратится в данном случае 54 бита. Эта избыточность оправдывает дешевизну и маломощность (2,5 мВт) устройства с невысокими вычислительными способностями. Для ACL- и SCO-кадров применяются различные форматы поля данных. В кадрах SCO с базовой скоростью длина поля данных всегда равна 240 бит. Возможны три варианта: 80, 160 или 240 бит полезной информации. При этом оставшиеся биты поля данных используются для исправления ошибок. В самой надежной версии (80 бит

полезной информации) одно и то же содержимое повторяется три раза (что и составляет 240 бит), как и в заголовке кадра.

Таким образом, технология Bluetooth**,** изначально призванная обеспечить удобную стыковку мобильных телефонов с другими устройствами без использования проводов, постепенно превращается в ключевой интеграционный элемент близко расположенных друг от друга интеллектуальных устройств информационной сети будущего. В данную технологию сразу заложена возможность передачи и речи, и данных (без довесков IP-телефонии), правда, на скорости, не превышающей 1 Мбит/с (реально – значительно меньше).

Рис. 15.31. Типичный информационный кадр Bluetooth

Система передачи данных Bluetooth по радио в диапазоне частот 2.4 ГГц на короткую дистанцию (10...100 м) позволяет осуществлять связь беспроводных телефонов, компьютеров и различной периферии в условиях, когда не выполняется требование прямой видимости LoS (Line of Sight). То есть, наряду с прочими достоинствами данная технология позволяет заменить технологию беспроводной инфракрасной связи (IrDA), требующей наличия прямой видимости. Несмотря на активное использование в последние годы технологии Bluetooth в компьютерах, в периферийном оборудовании и в сотовых телефонах данной технологии предрекают недолгую жизнь в связи с недостаточно высокой скоростью передачи информации. Возможным ее преемником называют технологию WUSB (Wireless USB) – беспроводную версию интерфейса USB. Данная технология основана на новом широкополосном радиоинтерфейсе UWB (Ultra Wide Band). С технологией Wi-Fi технология WUSB пока не конкурирует, поскольку рассчитана на значительно меньшие дальности (от единиц до десятков метров), но со значительно большей скоростью (до 480 Мбит/с на расстоянии 2 м), быстро убывающей с увеличением дальности связи (в частности, до 100 Мбит/с на расстоянии 10 м).

15.10. Группа технологий сотового телевидения

Группа технологий MMDS (Multichannel Microwave Distribution System), LMDS (Local Multipoint Distribution System) и MWS (Multimedia Wireless System) определены в «Концепции развития в России сетей кабельного телевидения и систем широкополосного беспроводного доступа типа MMDS, LMDS и MWS (MVDS)» как общая стратегия развития систем широкополосного беспроводного доступа [20].

Система MMDS – это аналоговая система, получившая значительное распространение, несмотря на присущие ей недостатки – узкую полосу частот (200 МГц), не позволяющую передавать по линии более 24 каналов, малую помехозащищенность и отсутствие обратного канала [21]. Последние модели системы MMDS (производство фирмы UBS, Канада) уже не имеют этих недостатков. Достоинствами же системы MMDS являются [22]:

невысокая стоимость, как самого вещательного оборудования, так и монтажных работ:

короткие сроки запуска системы (не более месяца);

использование там, где прокладка кабеля или невозможна или неэффективна;

простота наращивания передаваемых каналов;

возможность перехода на цифровое ТВ-вещание при использовании оборудования кодирования MPEG-2, сжатия и QAM-модуляции без замены существующего передатчика;

обслуживание до 10 абонентов одной антенной без дополнительного усилителя, а с дополнительным усилителем до 300–500 абонентов.

Типовая конфигурация системы MMDS без обратного канала изображена на рис. 15.32. В передающей части системы каждый из входящих сигналов конвертируется, после чего формируется групповой сигнал с шириной полосы 186 МГц, что позволяет передавать в стандарте SECAM (PAL) до 24 телепрограмм. Далее сигнал фильтруется и конвертируется в диапазоне частот 2,5–2,686 ГГц для передачи по эфиру.

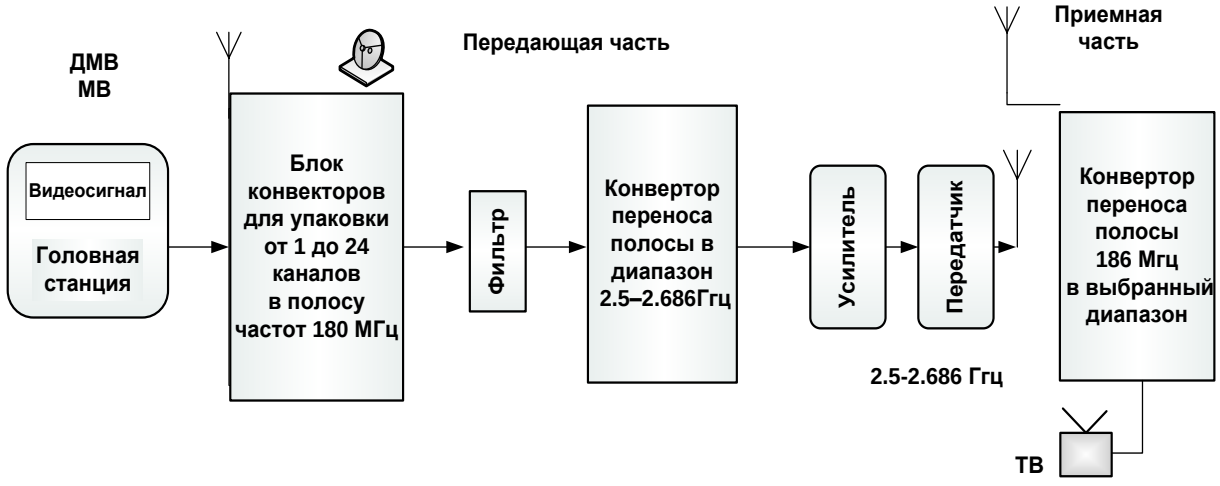


Рис.15.32. Типовая конфигурация системы MMDS без обратного канала

Приемная часть MMDS состоит из конвертора, переводящего частоту группового сигнала, распространяемого по эфиру, в требуемый метровый или дециметровый диапазоны для непосредственной подачи в домовую кабельную сеть или в телевизор. Радиус действия системы зависит от рельефа местности и высоты передающей антенны. Технически возможно обеспечить радиус 50–60 км. В случае нецелесообразности использования передающей антенны с круговой диаграммой направленности можно использовать направленные антенны с облучающим сектором шириной 120°.

Модернизированные системы MMDS – системы с обратным каналом – позволяют создавать беспроводные сети доступа в Интернет для стационарных и подвижных объектов, телефонии, передачи данных и информации с датчиков со скоростью 2 Мбит/с, системы контроля и управления. Упрощенная конфигурация системы MMDS с обратным каналом изображена на рис. 15.33.

В обратном канале при ширине полосы 6 МГц и модуляции 64-QAM достигается скорость передачи 30 Мбит/с. Модуляторы станции поддерживают 16-, 64- и 256-QAM-модуляцию. По требованию заказчика может применяться модуляция QPSK или COFDM.

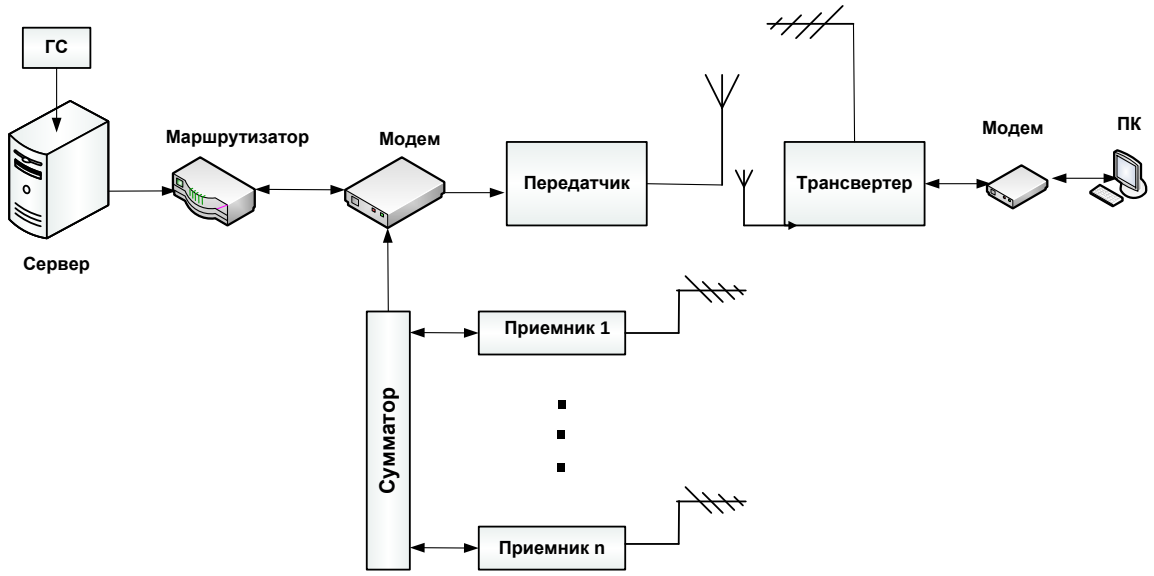


Рис. 15.33. Упрощенная конфигурация системы MMDS с обратным каналом

Системы локальной связи LMDS служат для беспроводной передачи телефонии и данных на частотах выше 20 ГГц (диапазон 25–32 ГГц) [23]. Такие системы строятся по сотовому принципу с малыми размерами сот, что обусловлено быстрым затуханием миллиметровых волн в атмосфере. Размер сот зависит от мощности передатчика и типа используемой модуляции. QPSK-сигнал передается на 8–12 км, а QAM-сигнал на 2–6 км.

Важным преимуществом LMDS перед MMDS является широкий рабочий диапазон частот. Он составляет около 2 ГГц, что в 10 раз больше диапазона, выделяемого для систем MMDS. Однако система LMDS более дорога и для развертывания требует больше времени и финансовых затрат.

Беспроводная система MVDS (Multipoint Video Distribution System) использует диапазон частот 40,5–42,5 ГГц. Ее привлекательным качеством является большая ширина предоставляемого диапазона – 2 ГГц. Однако распространение сигналов в области 40 ГГц имеет свои особенности, которые во многом определяют специфику построения системы MVDS. Затухание миллиметровых волн в атмосфере значительно выше, чем метровых и дециметровых, и сильно зависит от климатических воздействий. Миллиметровые волны не способны огибать даже небольшие предметы, а напротив они отражаются от них без искажений.

Малый радиус распространения миллиметровых волн определил применение техники MVDS в сотовых сетях с маломощными передатчиками. Широкая полоса в сочетании с сотовой структурой делает эту технику подходящей для мультимедийных сетей, включающих телевидение, телефонию, видеоконференции, высокоскоростной доступ к Интернет и передачу данных. Аппаратура MVDS может использоваться самостоятельно или в составе гибридных кабельных сетей для организации «последней мили».

В системах MVDS может применятся как аналоговый, так и цифровой способ передачи информации, а также различные системы модуляции. Однако для построения мультимедийных сетей актуальна разработка чисто цифровых систем, совместимых со стандартами DVB-C или DVB-S. Это позволяет использовать аппаратуру MVDS в гибридных телевизионных сетях вместо коаксиального кабеля для раздачи сигнала абонентам. Кроме того, это дает возможность пользоваться стандартными цифровыми ТВ приемниками.

Система MVDS удобна для организации «последней мили» кабельных сетей. В этом случае нет необходимости проводить демодуляцию и демультиплексирование сигнала. Ширина частотного диапазона MVDS позволяет разом конвертировать весь спектр сигнала, поступающего из кабеля, в область миллиметровых волн. На приемной стороне спектр переносится обратно в полосу 50–860 МГц и подается к стандартному цифровому приемнику.

Мультимедийная сеть MVDS строится на базе головной станции. При формировании информационных потоков могут использоваться самые разнообразные источники: Интернет, эфирные, кабельные и спутниковые телевизионные каналы. Аналоговые сигналы преобразуются в цифровой вид в MPEG-2 кодерах. Формирование сервисной информации, канальное кодирование и модуляция осуществляются в соответствии с одним из двух стандартов – DVB-C или DVB-S.

На рис. 15.34 изображена типичная структурная схема передающей и приемной частей системы MVDS без обратного канала.

После формирования цифровых пакетов сигналы модулируются и объединяются для подачи к широкополосным передатчикам. Возможно также использование индивидуальных передатчиков. В передатчике спектр сигнала переносится в область 40 ГГц, усиливается и передается к антенне. Базовые станции могут оборудоваться набором секторных антенн. Это позволяет усилить мощность предаваемого сигнала, а также увеличить количество абонентов за счет повторного использования частоты и смены поляризации.

В системе MVDS при отсутствии обратного канала затраты на абонентское оборудование относительно невелики. Стоимость наружного блока не превышает 100 долл. К нему добавляется стоимость стандартного кабельного или спутникового цифрового ресивера.

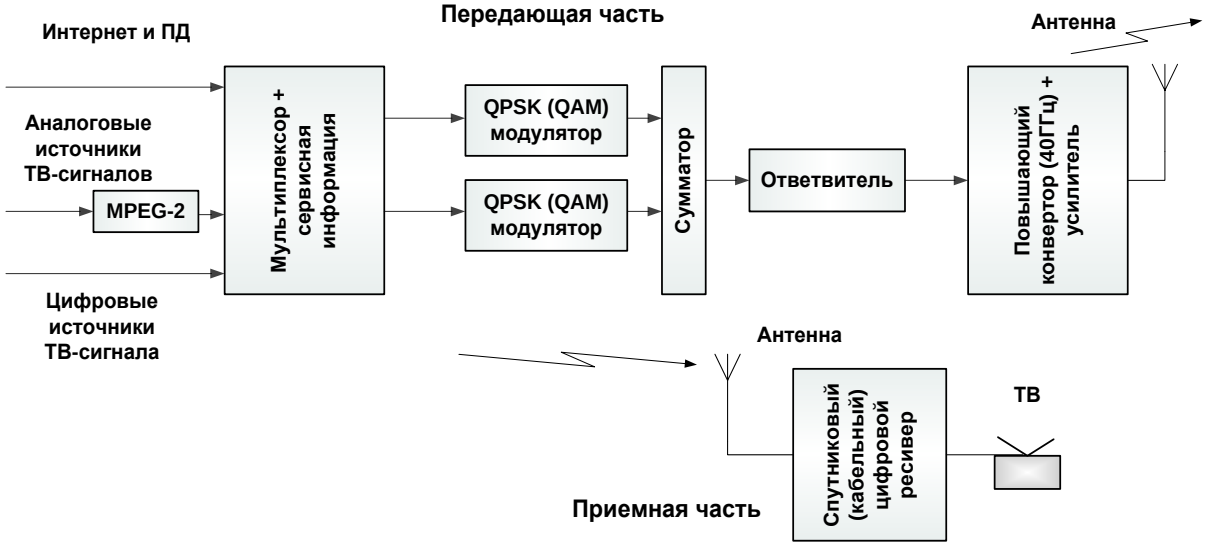


Рис. 15.34. Упрощенная структурная схема системы MVDS без обратного канала

Абонентское оборудование системы MVDS с обратным каналом стоит значительно выше, так как включает стоимость дорогого трансивера – интегрированного внешнего приемопередающего блока.

Подводя итог, можно перечислить достоинства и недостатки систем MVDS.

Главным достоинством является широкий диапазон частот, позволяющий передавать огромные потоки информации. Именно он, в сочетании с небольшим радиусом распространения сигнала, делает системы MVDS наиболее подходящими для организации интерактивных мультимедийных систем. Эффективность использования частотных ресурсов может быть дополнительно повышена за счет применения секторных передающих антенн.

Другой положительной особенностью MVDS является возможность использования пассивных и активных ретрансляторов, позволяющих гибко формировать зону уверенного приема в условиях городской застройки.

По сравнению с кабельными системами сети на базе MVDS имеют и ряд организационных и экономических преимуществ. Их отличает простота, скорость и относительная дешевизна начального развертывания. В дальнейшем они легко наращиваются и при необходимости сворачиваются без серьезных материальных потерь. Следует также отметить экологическую безвредность систем MVDS, поскольку они оперируют с высокочастотными, маломощными сигналами, не опасными для человеческого организма.

К недостаткам систем MVDS следует отнести сильную зависимость дальности действия от погодных условий, в первую очередь от влажности. Другим недостатком системы является дороговизна абонентского оборудования системы с обратным каналом. А если принять во внимание немалую стоимость предоставляемых системой услуг, то становится ясно, что пользоваться ее услугами могут только довольно состоятельные абоненты.

15.11. Группа спутниковых технологий

При создании перспективных систем спутниковой связи (ССС) используются все технологические возможности космических аппаратов (КА), расположенных на геостационарных (GEO), высокоэллиптических (HEO), средневысотных (MEO) и низковысотных (LEO) орбитах, конфигураций орбитальных группировок КА, а также наземного радиотехнического комплекса.

Среди спутниковых технологий, служащих для предоставления телекоммуникационных услуг стационарным пользователям, наиболее широкое распространение получили технологии VSAT. В ряду оборудования VSAT следует выделить системы, предназначенные для предоставления услуг телефонии абонентам, находящимся на расстоянии в несколько тысяч километров от АТС ТфОП, а также аппаратуру, обеспечивающую предоставление услуг ПД и доступа в Интернет. Пропускная способность современных VSAT-станций в прямом канале составляет от одного до нескольких десятков мегабит в секунду, а в обратном канале, являющимся общим для всех пользователей – от 64 кбит/с до нескольких мегабит в секунду.

Принцип работы системы спутниковой связи представлен на рис.15.35 [24].

В основе систем лежит использование геостационарных спутников в качестве радиочастотного ретранслятора и терминалов с малым размером антенны VSAT (Very Small Aperture Terminal).

Сеть доступа VSAT строится обычно по топологии «звезда».

На одну центральную станцию ЦС может приходиться до нескольких десятков тысяч терминалов VSAT. Обмен данными в системе доступа осуществляется по двум каналам: по прямому каналу от ЦС к терминалам передается запрашиваемая

информация, по обратному каналу – запросы на предоставление информации. Наличие обратного канала делает систему спутникового доступа интерактивной.

Центральная станция сопрягается с любыми наземными магистральными линиями связи и имеет возможность коммутации информационных потоков, благодаря чему поддерживается информационное взаимодействие пользователей сети между собой и с абонентами других сетей.

Малогабаритные терминалы VSAT относятся к классу станций фиксированной спутниковой связи (ФСС) и должны удовлетворять требованиям Регламента радиосвязи на земные станции (ЗС) данного класса. Прежде всего, это касается выбора рабочих диапазонов частот: С (6/4 ГГц), Ки (14/11 ГГц) и Ка (20/30 ГГц), принятых для фиксированной спутниковой службы. И хотя терминалы VSAT не предназначены для работы при движении объекта, однако, по технологическому исполнению, по своим возможностям и назначению их можно отнести к средствам персональной связи.

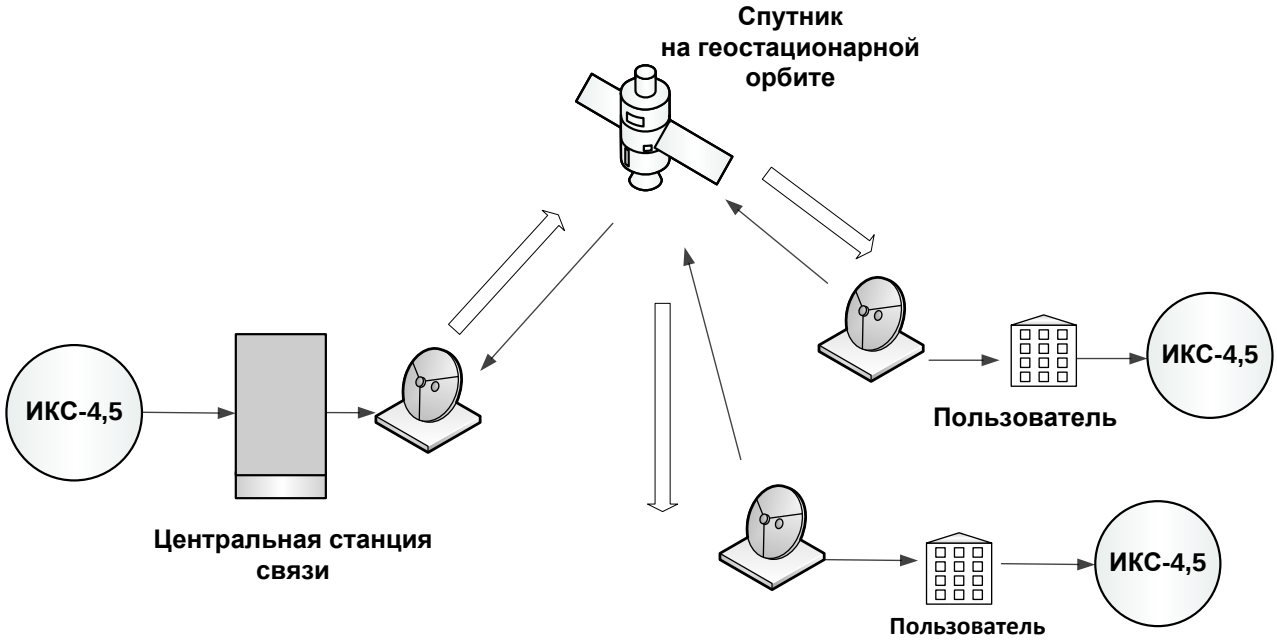


Рис. 15.35. Спутниковые системы доступа на основе технологии VSAT

Современные технологии позволяют создавать терминалы VSAT, которые вполне достойны называться портативными, не говоря уже о настольных, размещаемых вблизи рабочих мест пользователей. Наличие у VSAT-терминалов разнообразных интерфейсных портов допускает подключение различного оконечного оборудования, в том числе компьютеров, принтеров и т. п. Важным достоинством VSAT-станций является то, что типовой режим их работы – автоматический, и обычно они не нуждаются в обслуживании.

Терминал VSAT состоит из трех основных элементов: антенной системы, наружного блока (Out Door Unit, ODU), размещаемого непосредственно на антенне, и внутреннего (In Door Unit, IDU), устанавливаемого в помещении пользователя (рис. 15.36).

Производители станций VSAT выпускают широкую номенклатуру антенн, диаметр которых определяется скоростью передачи информации, диапазоном частот, энергетикой радиоканала (ЭИИМ и G/T) и условиями эксплуатации.

Наружный блок ODU обычно состоит из двух элементов: малошумящего усилителя (МШУ) с преобразователем частоты и передатчика. Для уменьшения потерь в антенно-фидерном тракте МШУ размещается непосредственно на облучателе, а приемопередатчик – на элементах конструкции антенны.

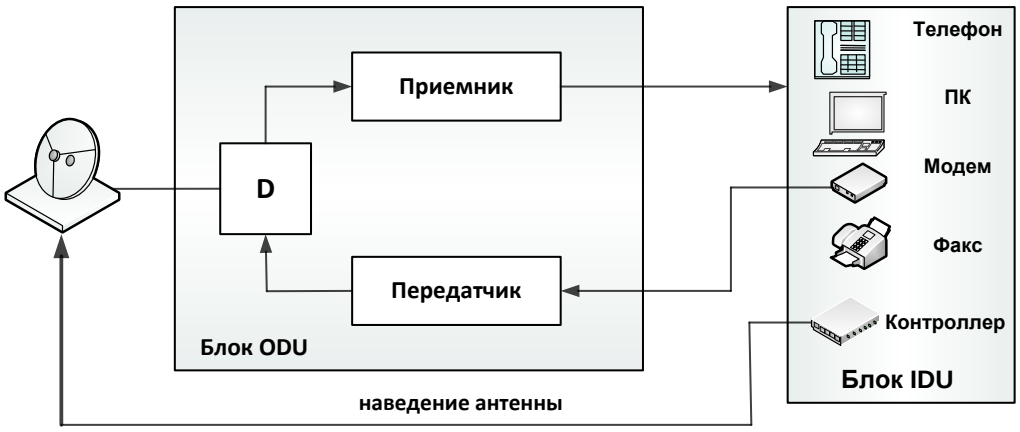


Рис. 15.36. Типовой состав оборудования абонентской станции VSAT

В абонентских станциях обычно используется маломощный передатчик на 5–20 Вт; скорость передачи может изменяться в пределах от 1,2 кбит/с до 2,048 Мбит/с. Внутренний блок IDU включает спутниковый модем, контроллер и интерфейсные платы. Разнообразие поддерживаемых протоколов позволяет подключить к такой ЗС различное оборудование обработки данных, компьютеры или обеспечить ее связь с телефонной сетью общего пользования (ТфОП).

При современных энергетических показателях бортовых комплексов терминалы VSAT могут быть оснащены антеннами диаметром 0,5–0,6 м (Ка-диапазон); 1–1,5 м (Ku-диапазон) и 1,2–1,8 м (С-диапазон), а также твердотельными усилителями мощности 2–5 Вт. Земные станции с диаметром антенн менее 0,5 м обычно называются USAT (Ultra Small Aperture Terminal).

Описание VSAT-оборудования было бы неполным без упоминания о мультимедийных терминалах. Они обеспечивают своих абонентов целым спектром услуг от простой электронной почты до организации видеоконференций и интерактивного телевидения. Термин «мультимедиа» указывает на конвергенцию услуг связи и вещания, когда-то очень далеких друг от друга. По прогнозам аналитиков рынка, слияние связи и вещания неизбежно приведет к созданию широкополосных VSAT-технологий.

Сегодня разработкой мультимедийных терминалов, способных объединить традиционную телефонную связь, низкоскоростную передачу информации, телевидение, радиовещание, IP и DVB-потоки данных в мире занят не один десяток фирм.

С появлением мультимедийных VSAT-терминалов возникла и новая аббревиатура MMV (Multimedia VSAT). Терминалы MMV предназначены для высокоскоростной передачи информации, телевизионного и звукового вещания. Их базовой областью применения является доступ в Интернет, работа в корпоративных интрасетях, интерактивное дистанционное обучение, а также однонаправленные передачи типа циркулярных широковещательных трансляций, деловое телевидение, широковещательное распространение файлов.

До недавнего времени одним из главных препятствий на пути создания корпоративных мультимедийных сетей являлась низкая пропускная способность спутниковых станций, не позволяющая доставлять удаленным пользователям Web-страницы или организовывать видеопросмотры. Решение проблемы было предложено компанией HNS в виде малогабаритной VSAT-станции IP-Advantage с антенной диаметром 1 м.

На удаленные станции данные передаются через центральную со скоростью до 24 Мбит/с с помощью исходящего канала IP-Advantage (рис. 15.37). В обратном направлении короткие запросы транспортируются со скоростью в 3 раза выше, чем в ISDN-канале – до 200 кбит/с.

ССС на базе технологии VSAT имеют большие рыночные перспективы благодаря своим техническим возможностям интеграции с высокоскоростными наземными сетями и экономичной реализации многих приложений Интернет. В качестве самостоятельного класса ССС сети VSAT развиваются в направлениях:

сетевые архитектуры и протоколы передачи данных;

технологии спутниковой связи (транспондеры для новых диапазонов частот, земные станции, мультимедийные терминалы и др.).

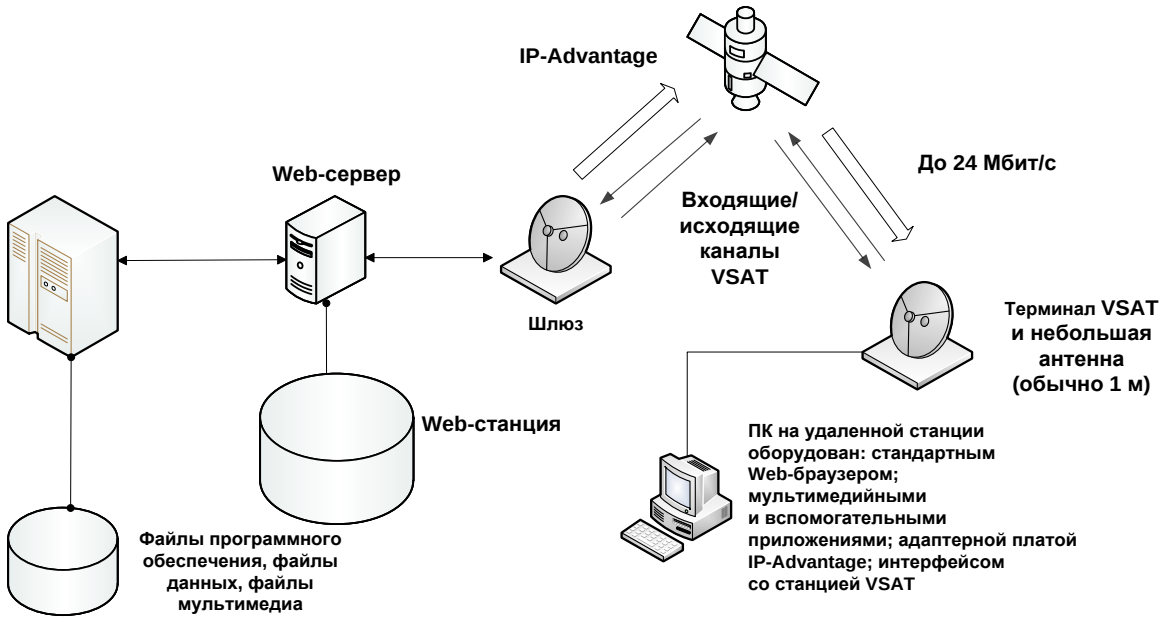


Рис.15.37. Сеть мультимедийной связи на базе терминала IP-Advantage

В архитектурном плане для перспективных VSAT-сетей большое значение имеет внедрение новых системных концепций:

экономичных двунаправленных каналов связи;

прозрачных протоколов выделения частотных полос по запросу (BOD);

адаптивных протоколов управления режимами передачи данных с учетом перегрузки трафика и погодных эффектов замирания сигналов.

В недалекой перспективе развитие интерактивных VSAT-технологий может получить новый импульс за счет создания спутников связи с обработкой и коммутацией информационных потоков на борту. В этом случае преимущества централизации сети будут сочетаться с возможностью произвольного создания выделенных небольших подсетей без строительства дорогостоящей центральной станции. В связи с этим рассматриваются и уже внедряются открытые стандарты на оборудование интерактивных VSAT-сетей, например EN 301 790 (DVB-RCS) и др. Выбор стандарта, по-видимому, будет определяться реализацией спутника связи.

Литература

1. Котиков И. М. Классификация и сравнительный анализ технологий проводного доступа // Технологии и средства связи. Спец. выпуск «Системы абонентского доступа». 2004. – С. 16–19.

2. Нагорский М. Мультисервисный радиодоступ для абонентов фиксированных сетей // Технологии и средства связи. 2008, № 4. – С. 46–48.

3. Нагорский М. DECT как оптимальное решение задач «последней мили» // Системы абонентского доступа. Специальный выпуск. 2007. С. 12.

4. Савичев В. Перспективы использования абонентского радиодоступа WLL // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2003, № 2. – С. 46–48.

5. Котиков И. М. Системы радиодоступа WLL и FBWA // Технологии и средства связи. Спец. выпуск «Системы абонентского доступа». 2004. – С. 66–73.

6. Спичихин А. С. Системы беспроводного абонентского доступа // Технологии и средства связи. 2006, № 2. – С. 59–62.

7. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – Спб.: Питер, 2012. – 960 с.

8. Макарова О. В. Широкополосный беспроводный доступ – потребности и возможности // Широкополосные мультисервисные сети. 2007. – С. 52–57.

9. Алпатов Ф. В. Wi-Fi Mesh и WiMAX – беспроводный доступ современного города // Системы абонентского доступа. 2006. – С. 54–58.

10. Шалагинов А. Станет ли WiMAX «могильщиком» 3G? // Технологии и средства связи. 2008, № 2. С. 94–103.

11. Соколов Н. А. Применение технологии WiMAX для развития местных сетей электросвязи// Технологии и средства связи. Отраслевой каталог. 2006. – С. 60–63.

12. Туманян А. А. IP-Телефония в сетях WiMAX // Системы абонентского доступа. 2007. – С. 25– 26.

13. Волкова Ю., Коваль В, Стадинчук А. Каковы права Wi-Fi в России // Broadband. Кабельное телевидение и мультисервисные сети. 2004, № 1. – С. 7–11.

14. Балков В. П. Где применим Wi-Fi // Технол. и средства связи. 2006, № 4. – С. 95.

15. Осипов И. Е.. Mesh-сети: технологии, приложения, оборудование // Технологии и средства связи. 2006, № 4. – С. 38–45.

16. Камайкин А. Г., Осипов И. Е., Шумарин О.Е. Корпоративные сети Wi-Fi // Технологии и средства связи. 2006, № 1. – С. 46–51.

17. Горнак А. Переход к беспроводным сетям 802.11n. // Технологии и средства связи. 2008, № 2. – С. 80–81.

18. Дж. Хун-Джали, Г. Маямгрен, П. Шрамм, Й. Торснер. Стандарт Hiper LAN типа 2 для широкополосного беспроводного доступа // ТелеМультиМедиа, 2000, № 3. – С. 19–26.

19. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в Глобальной информационной инфраструктуре. – СПб.: Наука, 2008. – 552 с.

20. Зубарев Ю. Б. Концепция развития в России сетей кабельного телевидения и систем широкополосного беспроводного доступа типа MMDS, LMDS и MWS (MVDS) // Технологии и средства связи. 2000, № 6.

21. Атрашкевич А. Применение MMDS для распространения телевизионных программ // Телеспутник. Кабельное телевидение: Справочник. 1999, 2000.

22. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В. С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. 2-е изд.– СПб.: Наука. 2004. – 405 с.

23. Портной С. Доступная система // ИнформКурьерСвязь. 2001, № 6.

24. Бакланов И. Г. NGN: Принципы построения и организации.– М.: Эко-Трендз, 2008. – 400 с.

ЧАСТЬ 5
СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

ГЛАВА 16. ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Среди технологий беспроводного абонентского доступа особое место занимают технологии построения *сетей подвижной радиосвязи* (СПР), позволяющие своим подвижным абонентам иметь в любом месте, а также в движении доступ к информационным и телекоммуникационным услугам, близкий по объему и качеству к услугам, доступным фиксированным абонентам. Фактически только сети подвижной и, прежде всего, «*персональной*» радиосвязи способны в полном объеме реализовать один из основных принципов перспективных ТКС: «связь всегда и везде».

16.1. Принципы построения и направления развития сетей подвижной радиосвязи

Основные принципы построения современных СПР базируются на рациональном учете особенностей распространения радиоволн в высокочастотных диапазонах волн, эффективных методах формирования и обработки радиосигналов и использовании новых информационных и сетевых технологий для образования разветвленной сетевой инфраструктуры.

Исторически радиосвязь первоначально использовалась автономно и ограниченно в служебных интересах узкого круга лиц (за исключением радиовещания). Массовое использование систем радиосвязи как систем общего пользования (прежде всего, как систем беспроводного доступа) началось относительно недавно – в 60–70 годы за рубежом и со сдвигом на 10–20 лет позже – в России. В итоге в настоящее время сложилось достаточно гармоничное сочетание функциональных потребностей различных групп абонентов и функциональных возможностей различных технологий построения СПР.

16.1.1. Классификация и тенденции развития сетей подвижной радиосвязи

Под сетями подвижной радиосвязи (СПР) обычно понимают совокупность технических средств (радиооборудование, коммутационное оборудование, соединительные линии и сооружения), с помощью которых подвижным абонентам (ПА) предоставляется связь между собой и с абонентами глобальной телекоммуникационной сети общего пользования. В роли глобальной сети чаще всего выступает ТФОП, но в последние годы все более популярным становится также подключение подвижных абонентов к сети Internet.

С целью удовлетворения возрастающих потребностей подвижных пользователей в новых видах услуг электросвязи развитие подвижной радиосвязи идет в направлении создания *сети персональной связи*. Общепринятого определения сети персональной связи пока не сформулировано, но чаще всего этот термин означает предоставление услуг связи не *по месту* нахождения оконечного устройства, а *по номеру*. При этом часто общую тенденцию развития СПР определяют двумя словами «*глобализация*» и «*персонализация*».

Современные СПР по функциональному (целевому) назначению можно классифицировать следующим образом:

1 – радиотелефонные системы общего пользования (РСОП);
2 – технологические диспетчерские сети (ТДС);
3 – системы персонального вызова (СПВ);
4 – системы аварийной связи (САС).

Радиотелефонные системы общего пользования предназначены для обеспечения дуплексной связи между подвижными абонентами, а также для их выхода в ТФОП или другие сети ОП (в частности, Интернет)

Технологические диспетчерские сети (профессиональные системы связи) предназначены для управления производственными операциями и технологическими процессами в строительстве, сельском хозяйстве, на транспорте, системах управления работой нефтепроводов, линий электропередачи, общественным порядком и т. п. К данным сетям условно можно отнести и системы радиосвязи военного назначения.

Системы персонального радиовызова служат, как правило, для односторонней передачи сигналов и сообщений подвижным абонентам. Они позволяют любому абоненту телефонной сети общего пользования осуществить вызов абонентов СПВ. Для ответа подвижный абонент должен был воспользоваться телефоном или любым другим доступным каналом. Существуют системы не только для индивидуального, но и для группового вызова подвижных абонентов.

Системы аварийной связи наиболее развиты в морской и воздушной службах, где используются для передачи сигналов бедствия, в том числе в автоматическом режиме. К данным системам можно также отнести беспроводные охранные системы сигнализации.

Формальным отличительным признаком указанных групп СПР может служить направленность информационных потоков (см. рис. 16.1). В РСОП преобладает исходящая и входящая нагрузка в направлениях: ПА – ТФОП и ТФОП – ПА. В ТДС преобладает внутренняя нагрузка в направлении ПА – ПА. В СПВ циркулирует преимущественно односторонняя входящая нагрузка в направлении ТФОП – ПА, а в САС – исходящая нагрузка в обратном направлении ПА – ТФОП (WAN).

Указанные выше группы СПР могут быть построены на базе как одинаковых, так и различных технологических принципов. В последние годы как самостоятельные выделились следующие технологии:

1 – технологии беспроводного доступа;

2 – сотовые технологии;

3 – транкинговые технологии (от слова trunk – пучок, ствол);

4 – пейджинговые технологии (от слова to page – вызывать);

5 – спутниковые технологии.

Первая из указанных технологий имеет, в сущности, название, обобщающее все остальные, но в узком смысле данное название используется преимущественно для описания технологий беспроводного доступа фиксированных абонентов. При этом часто используется сотовый принцип образования зон доступа, что роднит первую технологию со второй. Следует отметить, что и остальные технологии не используются автономно, а сочетаются при создании конкретных СПР в определенной пропорции. В частности, перечисленным выше группам СПР, отличающимся целевым предназначением, можно поставить в соответствие следующие предпочтительные при реализации технологии (см. рис. 16.1):

РСОП реализуются преимущественно на базе сотовых технологий (реже – на базе технологий беспроводного доступа, транкинговых и спутниковых технологий);

ТДС реализуются преимущественно на базе транкинговых технологий (реже – на базе сотовых или спутниковых технологий);

СПВ реализуются преимущественно на базе пейджинговых технологий (реже – на базе всех других);

САС при отсутствии сетевой инфраструктуры реализуются на базе спутниковых технологий (иначе – на базе беспроводных, сотовых или транкинговых технологий).

В развитии перечисленных выше технологий построения СПР различают три этапа (поколения) развития – *generation* (G):

1G – поколение аналоговых СПР (80-е годы XX века);

2G – поколение цифровых СПР (90-е годы XX века);

3G – поколение интегральных СПР (первое десятилетие XXI века).

На рис. 16.1 представлены названия наиболее известных технологий каждого этапа. В настоящее время уже вырисовывается облик 4-го и 5-го поколений (4G и 5G), отличительной особенностью которых является широкополосность радиоканалов и предоставление обширного набора мультимедийных услуг.

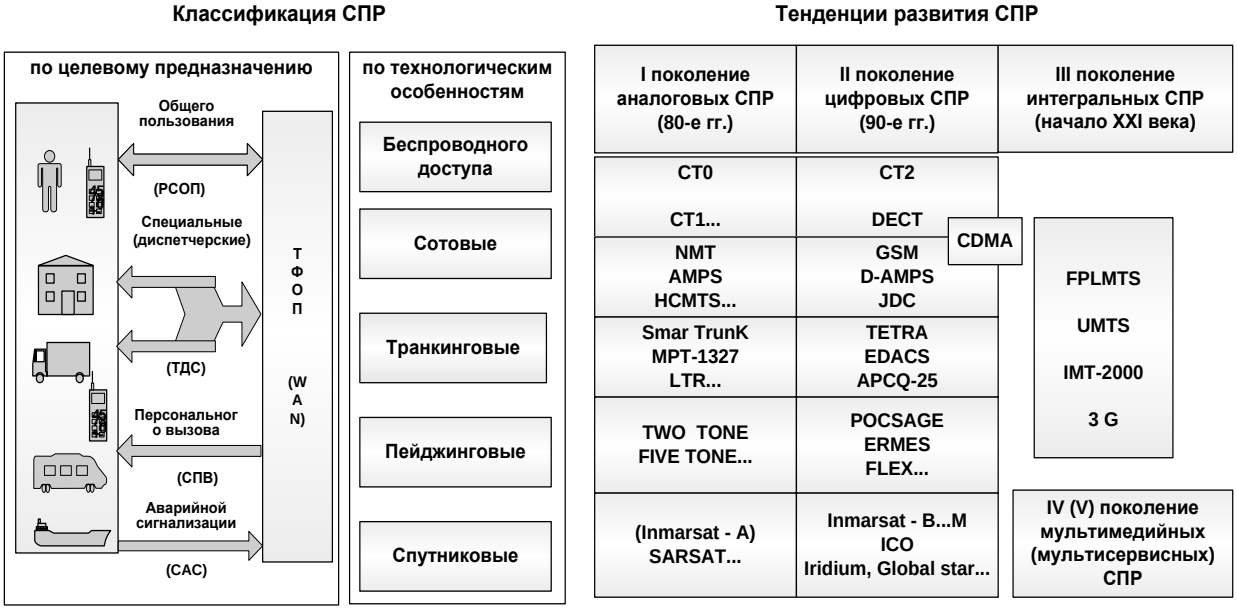


Рис. 16.1. Классификация и тенденции развития СПР

16.1.2. Концептуальная модель зоновых сетей подвижной радиосвязи

Современная ситуация такова, что потребность в подвижной радиосвязи растет быстрее, чем количество доступных частотных каналов. Экстенсивный путь простого расширения рабочего диапазона подвижной радиосвязи за счет дополнительных частот практически исчерпал себя, так как радиоспектр используется и другими радиосредствами – радиорелейными линиями, радиолокационными системами и вещательными службами. Поэтому одной из основных тенденций развития сетей радиосвязи вообще и подвижной радиосвязи в частности является поиск наиболее эффективных путей использования ограниченного частотного диапазона. Одним из способов решения данной проблемы и является использование *зоновых сетей радиосвязи* с ячеистой (*сотовой*) структурой (в англоязычной литературе соты чаще называют ячейками – *cell*).

Под сотовой технологией будем понимать совокупность технических и программных решений (стандартов, протоколов, интерфейсов и т. д.), разработанных международными организациями и принятых для реализации в СПР, имеющих сотовую структуру. Наиболее широко сотовые технологии используются в *сотовых системах подвижной связи* (ССПС) общего пользования, имеющих размеры сот от единиц до десятков километров [1].

В целом сотовые технологии могут применяться в гигасотовых спутниковых сетях (с радиусом зон до сотен – тысяч км), в макросотовых (или просто сотовых), микросотовых и пикосотовых РСОП (с радиусом, соответственно, единицы – десятки км, сотни и десятки метров), а также в транкинговых сетях связи и в системах персонального радиовызова.

На рис. 16.2 приведена обобщенная концептуальная модель зоновых СПР с выделенными характерными особенностями беспроводных, сотовых, транкинговых, пейджинговых и спутниковых сетей [2].

Рассмотрим более подробно концептуальную модель ССПС как основного типа зоновых СПР.

При рассмотрении концептуальной модели ССПС целесообразно выделить три аспекта:

топологический;

функциональный;

технический.

Топологический аспект отражает основное правило построения системы сотовой связи в виде совокупности ячеек, или сот, покрывающих обслуживаемую территорию. Ячейки обычно схематически изображают в виде одинаковых правильных шестиугольников, что по сходству с пчелиными сотами и послужило поводом назвать систему сотовой. Ячеечная или сотовая, структура системы является следствием реализации *принципа повторного использования частот* – основного принципа сотовой системы, определяющего эффективное использование выделенного частотного ресурса и высокую канальную емкость системы.

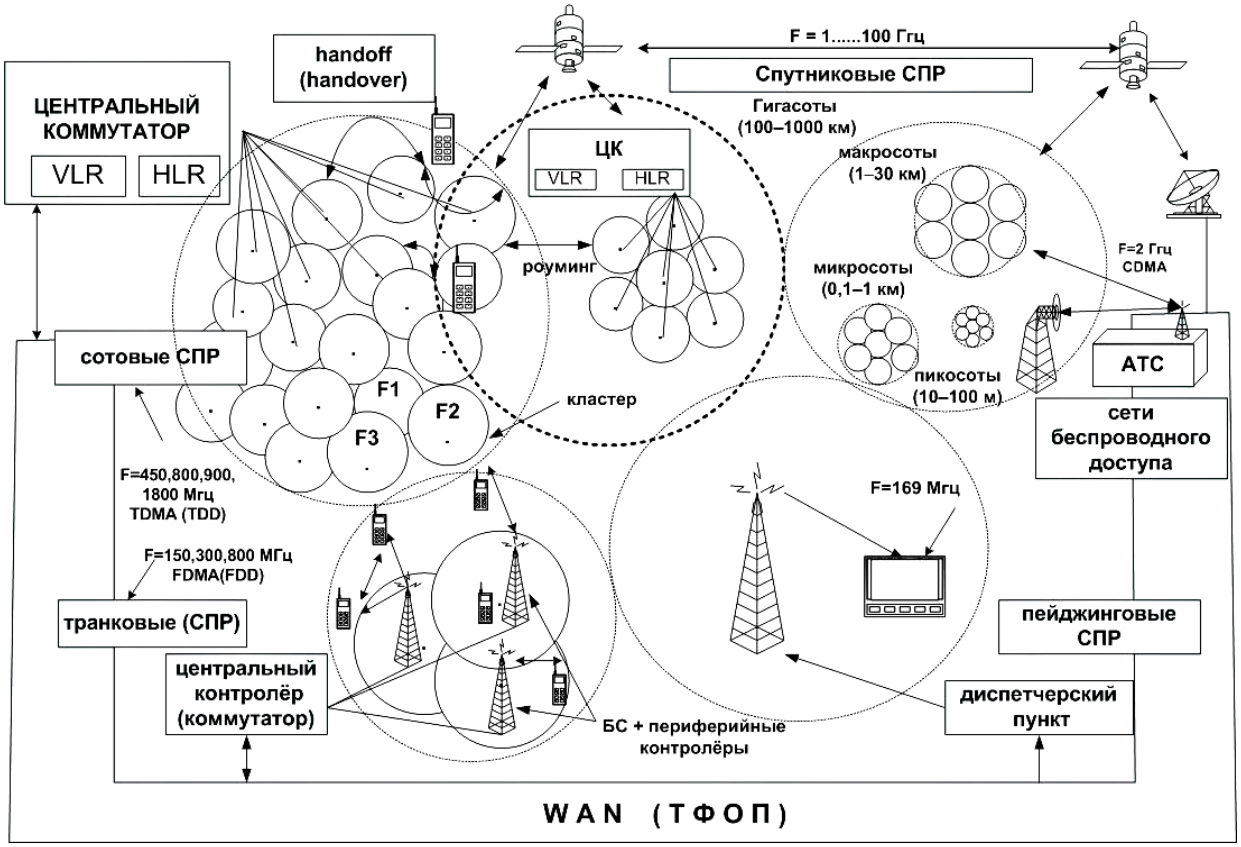


Рис. 16.2. Концептуальная модель зоновых СПР

В странах СНГ для работы систем подвижной связи выделено 10 полос частот: I (1,6–30 МГц); II (33–48,5 МГц); III (57–57,25 МГц); IV (74–74,6 МГц); V (75,4–76 МГц); VI (146–174 МГц); VII (300–308 МГц); VIII (336–344 МГц); IX (451–466 МГц) и X (890–960 МГц). Указанные полосы частот используются не только сетями подвижной радиосвязи, но и другими радиосредствами. Приведенные 10 полос разделены преимущественно между видами подвижной связи следующим образом:

IX–X используется в РСОП;

I–VIII используются в технологических диспетчерских сетях;

I–VI – в системах персонального вызова.

В последние годы активно осваиваются и более высокочастотные диапазоны от 2 ГГц до 60 ГГц (преимущественно для малоподвижных и фиксированных абонентов).

Деление всей территории обслуживания подвижных абонентов на отдельные ячейки является своеобразной реализацией метода множественного доступа с пространственным разделением.

В целом понятие множественного доступа (английский эквивалент multipleaccess) связано с организацией совместного использования ограниченного участка спектра частот многими пользователями.

Напомним основные варианты множественного доступа:

1. Множественный доступ с частотным разделением (МДЧР).
2. Множественный доступ с временным разделением (МДВР).
3. Множественный доступ с кодовым разделением (МДКР).
4. Множественный доступ с пространственным разделением (МДПР).

Наряду с разделением сигналов различных пользователей (абонентов) отдельные из указанных методов могут использоваться также для разделения уплотняемых каналов в одном соединении, а также для реализации дуплексной работы. В последнем случае также используется разделение по поляризации.

Первые три варианта доступа используются внутри отдельных зон, а также в смежных зонах с недостаточным пространственным разделением. При этом само деление территории на отдельные зоны реализуется преимущественно за счет пространственного разделения, которое и позволяет использовать принцип повторного использования частот в различных (как правило, несмежных) зонах. При этом в качестве физических границ пространственно различаемых зон доступа могут выступать области ослабления радиоволн ниже допустимого уровня из-за:

рассеяния в свободном пространстве;

влияния закрывающих препятствий;

влияния диаграмм направленности антенн.

Краткая характеристика этих вариантов дана в главе 15.

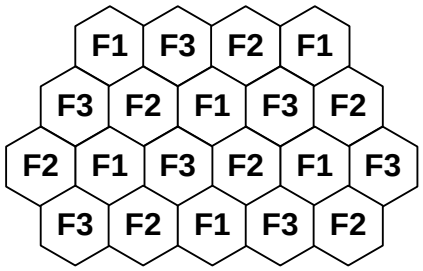
Множественный доступ с пространственным разделением (SDMA –Space Division Multiple Access) предполагает использование антенных систем с большим количеством фиксированных или «прыгающих» лучей, что наиболее характерно для сложных спутниковых систем. Для наземных зоновых СПР более характерно использование секторных антенн, разделяющих круговые зоны доступа на несколько секторов. Как уже отмечалось, способом пространственного разделения также является использование пространственно разнесенных зон доступа и естественного ослабления радиоволн между ними.

Принцип повторного использования частот радикально отличает сотовые системы связи от других систем подвижной радиосвязи (в частности, от простейших транкинговых) и позволяет теоретически до бесконечности повышать емкость (пропускную способность) ССПС. Суть данного принципа тривиальна: с целью экономного расходования частотного ресурса обеспечить как можно более частое повторное использование одинаковых частот за счет ограниченной дальности распространения взаимно мешающих сигналов. В соответствии с данным принципом в соседних ячейках сотовой системы связи используются разные полосы (группы) частот, а через несколько ячеек эти полосы повторяются. Теоретически бесконечное повышение пропускной способности ССПС определяется возможностью дробления ячеек на более и более мелкие.

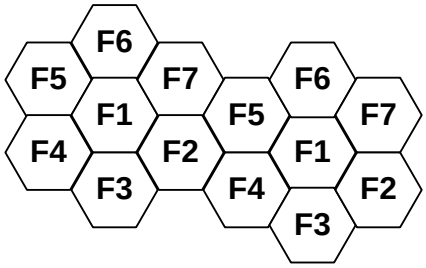
Кластер – это совокупность ячеек, частотные каналы в которых не повторяются (или повторяются по определенному регулярному правилу). В более общем смысле под кластером понимается некоторая часть системы, обладающая определенными локально выраженными особенностями. Из подобных частей можно выложить (составить) всю систему (сеть), накрывающую зонами доступа заданную территорию (см. рис. 16.3).

Имея трехэлементный кластер (см. рис. 16.3*а*) в каждой из N ячеек можно использовать не 1/N, а 1/3 от полного частотного диапазона, отведенного системе. При трехэлементном кластере ячейки с одинаковыми полосами частот повторяются очень часто, что может привести к высокому уровню взаимных помех по основному каналу, т. е. помех от станций системы, работающих на тех же частотных каналах, но в других ячейках. В этом отношении более выгодны кластеры с большим числом элементов (ячеек), например 4-х или семиэлементный кластер, показанный на рис. 16.3*б*.

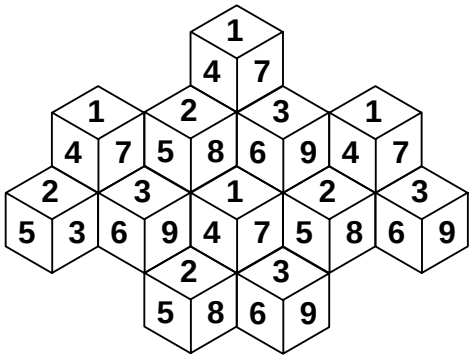
На базовых станциях (БС), расположенных в центрах ячеек, могут использоваться не только всенаправленные (точнее, с круговой направленностью в горизонтальной плоскости) антенны (английское *omnidirectionalantennas*, или просто *omni*), но и направленные (секторные) с шириной диаграммы направленности, как правило, 120 или 60 градусов. При этом шестиугольная ячейка разбивается на 3 или 6 секторов, в каждом из которых используется своя полоса частот (см. рис. 16.3*в* и 16.3*г*). Возможны и другие варианты дробления ячеек, которые широко используются для участков сети с интенсивным трафиком в интересах обеспечения необходимой емкости системы.



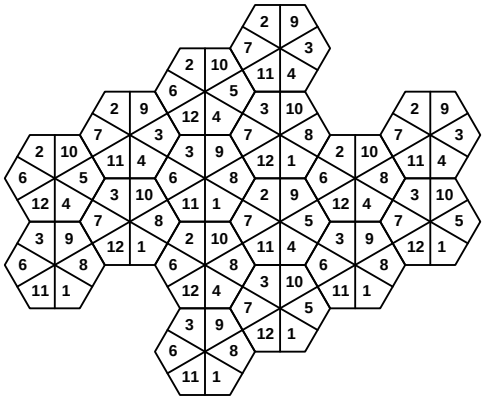
а) 3-частотный кластер



б) 7-частотный кластер



в) 9-частотный кластер



г) 12-частотный кластер

Рис.16.3. Примеры повторного использования частот

16.1.3. Частотно-территориальное планирование зоновых сетей связи

Представленная схема, поясняющая идею принципа повторного использования частот, естественно не отражает всех сложностей реального *частотно-территориального*

планирования (ЧТП) зоновых сетей связи. На практике из-за неоднородности рельефа и наземных объектов форма ячеек (зон доступа) далеко не всегда совпадает с правильными шестиугольниками. Точный прогноз конфигурации каждой ячейки является весьма сложной задачей. При этом точность прогноза определяется, с одной стороны, точностью исходных данных об условиях распространения радиоволн (РРВ) и о пространственно-временном распределении информационной нагрузки (трафика) подвижных абонентов (ПА), а с другой стороны – точностью используемых моделей РРВ и обслуживания ПА. Кроме того, качество беспроводной связи и реальная конфигурация зон доступа существенно зависит от взаимного влияния различных относительно близко расположенных радиоэлектронных средств (РЭС).

Обычно при ЧТП различают три этапа расчетов в рамках решаемых задач анализа и синтеза.

Анализ – расчет конфигурации зон (электромагнитного) покрытия (радиосигналами с достаточной для связи мощностью $P_{\text{с}} \geq P_{\text{с.тр}}$). Синтез – выбор мест размещения, высот и ориентации антенн, а также мощности передатчиков базовых станций, при которых удается обеспечить заданную степень (в идеале – полную) электромагнитного покрытия заданной территории размещения ПА.

Анализ – расчет конфигурации зон обслуживания ПА с заданными вероятностно-временными характеристиками (ВВХ) информационного обмена. Синтез – выбор необходимого количества трафиковых каналов (приемо-передатчиков – ПП) БС, при котором удается обеспечить заданные ВВХ для заданной доли (в идеале – для всех) ПА на заданной территории их размещения.

Анализ – расчет конфигурации зон электромагнитной совместимости (ЭМС), в пределах которых выполняются требования к достоверности и своевременности, несмотря на одновременную работу множества относительно близко расположенных РЭС. Синтез – выбор необходимого количества и распределения частот между всеми ПП всех БС СПР, при которых в пределах заданной территории размещения ПА выполняются требования к ЭМС (сохраняется неизменной конфигурация зон обслуживания, не смотря на взаимное влияние РЭС). При использовании технологий с МДЧР и адаптивным выбором свободных частот (подобныхDECT) или с МДКР и одной несущей (подобных IS-95) указанная задача синтеза не решается, но анализ ЭМС все равно выполняется, иногда совместно с решением задач анализа и синтеза на первых двух этапах.

При решении задач определения конфигурации зон покрытия (1 этап) и ЭМС (3 этап) используются три класса моделей РРВ, отличающиеся составом используемых исходных данных о земной поверхности, а также сложностью и точностью расчетов затухания (loss-потери) радиоволн $L_{[\text{дБ}]}$ между БС и мобильными станциями (МС) ПА на расстоянии $R_{[\text{км}]}$ на частоте $F_{[\text{Мгц}]}$ при высотах антенн БС $H_{[\text{м}]}$ и МС $h_{[\text{м}]}$:

Первый класс – модели РРВ, чувствительные только к дальности R между БС и МС и к обобщенному типу земной поверхности вокруг БС, независимо от конкретного направления от БС к МС. Конфигурация зоны покрытия одной БС при этом имеет форму круга (см. рис. 16.4*а*). Можно выделить три типа данных моделей, отличающиеся степенью чувствительности к реальной земной поверхности вокруг анализируемой БС:

модель РРВ в свободном пространстве, совершенно не учитывающая наличие земной поверхности:

$$L_1 \approx 32.44 + 20\lg R + 20\lg F; \qquad (16.1)$$

модель РРВ в околоземном пространстве, учитывающая абсолютное экранирующее влияние идеальной сферической земной поверхности с эквивалентным радиусом $R_{\text{зем}}$:

$$L_2 = \begin{cases} L_1 \ , \ R \le R_{ïð} \\ \infty \quad , \ R > R_{ïð} \end{cases}, \qquad (16.2)$$

где $R_{пр}$ – максимальная дальность прямой видимости:

$$R_{ïð} = \sqrt{0.002 R_{çåì}} \ (\sqrt{H} + \sqrt{h}) \ . \qquad (16.3)$$

В условиях нормальной рефракции при коэффициенте рефракции $K_{рефр}$=1,33 эквивалентный радиус Земли равен $R_{зем}$= 6400×$K_{рефр}$ ≈ 8500 км. В этом случае формулу (16.3) можно записать в виде

$$R_{ïð} = 4.12(\sqrt{H} + \sqrt{h}) ; \qquad (16.4)$$

модели РРВ в приземном слое атмосферы, учитывающие статистические свойства неоднородности земной поверхности (включая наземные объекты)

$$L_3 = A + B \lg R \ , \qquad (16.5)$$

где параметры A и B зависят от типа земной поверхности, а также от частот $F_{[Мгц]}$ и высот антенн БС $H_{[м]}$ и МС$h_{[м]}$. Например, в модели Окамура-Хата для городских районов при F = 150…1000 МГц, H = 30…200 м, h = 1… 10 м:

$$A = 69.55 + 26.16 \lg F - 13.82 \lg H - a(h),$$
$$B = 44.9 - 6.55 \lg H, \qquad (16.6)$$

где $a(h)$ – поправочный коэффициент для высоты антенны МС, равный, например, для небольших и средних городов величине

$$a(h) = (1.1 \lg F - 0.7) \cdot h - (1.56 \lg F - 0.8) \ . \qquad (16.7)$$

При известных коэффициентах усиления антенн БС $G_{бс}$ и МС $G_{мс}$ (во встречном направлении), а также мощности передатчика $P_{прд}$ и чувствительности приемника $P_{прм}$ (с заданным запасом на замирания), можно определить максимальное допустимое затухание сигналов $L_с$:

$$L_с = P_{прд} + G_{бс} + G_{мс} - P_{прм} \quad . \qquad (16.8)$$

Задавая в качестве $P_{прм}$ не минимально допустимый уровень сигнала, а максимально допустимый уровень помех, можно определить минимальное допустимое затухание помех $L_п$.

Зная максимальное (минимальное) допустимое затухание сигналов $L_с$ (помех $L_п$) путем несложных обратных преобразований формул (16.1), (16.2) или (16.4) несложно определить радиус зон покрытия $R_с$ (зон ЭМС или помех $R_п$). Причем всегда при прочих равных условиях $R_с < R_п$.

Второй класс - модели РРВ, чувствительные не только к дальности R между БС и МС, но и к усредненному виду земной поверхности между ними в виде среднего перепада высот Δh. Примером такой модели является модель, описанная в Рекомендации 370 МСЭ-Р.

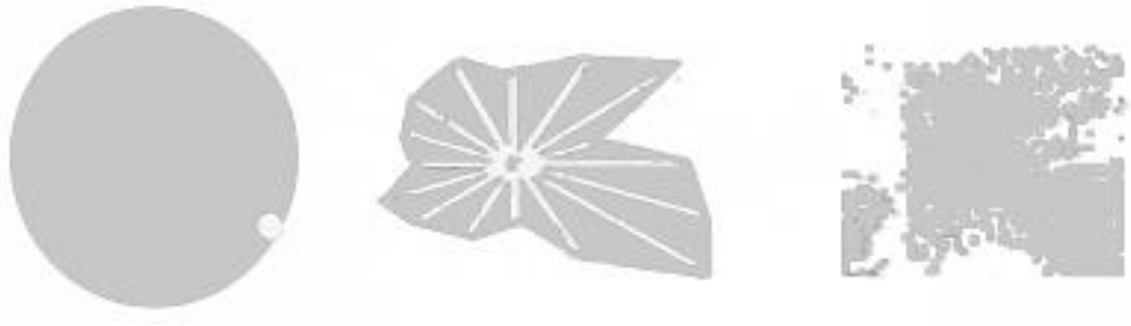
Используя обратный пересчет с помощью такой модели, можно для известного значения $\Delta h(\alpha)$ в направлении от БС к МС с азимутом α (при заданных остальных параметрах радиолинии, приведенных выше в моделях первого класса) более точно определить максимальную дальность связи R(α). Если определить значения $R(\alpha_i)$ при i=1…N в N направлениях, следующих с равномерным угловым шагом по азимуту 360 / N [град.], то можно построить зону покрытия (или ЭМС) в виде N-угольного многогранника (см. рис. 16.4*б*).

Третий класс - модели РРВ, чувствительные к реальному виду земной поверхности между БС и МС с точностью, соответствующей способу получения и учета исходных данных об этой поверхности (включая наземные объекты). Подобные достаточно точные

модели, основанные на классических моделях дифракции, отражения и интерференции радиоволн, широко используются при расчетах радиорелейных линий связи.

Однако при расчете зон покрытия СПР вида точка-многоточка такие двуточечные радиорелейные модели оказываются слишком громоздкими, поскольку их приходится многократно применять для всех возможных мест размещения МС (при выбранном или заданном размещении БС). Поэтому для ручных расчетов зон покрытия (или ЭМС) СПР модели третьего класса не применимы. Однако при использовании специальных компьютерных программ и *цифровых карт местности* (ЦКМ) или *электронных карт* (ЭК) земной поверхности (совместно образующих специализированные *геоинформационные системы* – ГИС) подобные модели позволяют получать результаты прогноза конфигурации зон покрытия и ЭМС, достаточно близкие к реальности.

При использовании матричных электронных карт данная конфигурация зон покрытия (ЭМС) имеет вид множества отмеченных (определенным цветом) пригодных для связи клеток, образующих сплошное покрытие поблизости от БС, чередующихся с неотмеченными (непригодными для связи) клетками при некотором удалении от БС и совсем исчезающих на значительном удалении от БС (см. рис. 16.4*в*).



а) б) в)

Рис. 16.4. Примеры конфигурации зон покрытия,
полученных с помощью разных моделей РРВ

После построения зон покрытия многих БС с помощью перечисленных выше моделей при планировании СПР формируются карты границ зон обслуживания разных БС, представляющие собой множество элементарных площадок разрешения (ЭПР), помеченных условным номером той БС, от которой уровень сигнала превышает уровни сигналов от других БС. Именно карта границ при определенном регулярном размещении БС и однородных условиях РРВ имеет вид шестигранных сот (см. рис. 16.3).

Определив по карте границ величину радиуса зоны связи R_o как минимальное расстояние до границы отдельной зоны обслуживания (соты) и определив максимальный радиус зоны ЭМС (помех) $R_п$ (см. выше) можно оценить минимально необходимое количество групп частот (размер кластера) N_F, необходимое для ССПС:

$$N_F = \left\lceil \frac{(\rho + \gamma)^2}{3} \right\rceil , \qquad (16.9)$$

где $\rho = R_n / R_o$ – относительный радиус зоны помех, $\gamma \in [-1,1]$ – смещение относительного расстояния до центра зоны обслуживания наиболее удаленной БС от радиуса зоны помех, учитывающее влияние разбиения зон доступа на секторы с помощью направленных антенн.

В частности, при использовании круговых антенн $\gamma = 1$. При использовании секторных антенн допустимое расстояние до центра зоны доступа наиболее удаленной БС

уменьшается, что отражается на величине $\gamma < 1$. В предельном случае (наиболее полно проявляющемся при использовании 6-секторных антенн) за счет использования направленных антенн можно получить $\gamma = (-1)$. Используя обратный пересчет с помощью формулы (16.9), можно оценить максимальный относительный радиус зоны помех, при котором допустимо использование того или иного количества групп частот. В частности, при $N_F = 3;\ 4;\ 7$ (для круговых антенн) и $N_F = 9/3;\ 12/6$ (для трех- и шестисекторных антенн), получим соответственно $\rho \approx 2;2.46;3.58$ (γ □= 1); 3 ($\gamma = 0$); 3.45 ($\gamma = -1$).

Таким образом, топологический аспект имеет важное значение для планирования (проектирования) зоновых СПР и определяет особенности выбора мест размещения базовых станций, вычисления конкретной конфигурации (размеров) ячеек (зон доступа) и распределения частот с учетом окружающей земной поверхности, требований трафика ПА и влияния мешающих РЭС.

Функциональный аспект концептуальной модели ССПС отражает особенности взаимодействия основных функциональных элементов сети (см. левую верхнюю часть рис. 16.2):

– центркоммутации (MobileSwitchesCenter – MSC);

– базовые станции (БС) (BaseStation – BS);

– подвижные (мобильные) станции (МС) или абонентские радиотелефонные аппараты (MobileTerminal – MT).

Базовая станция сотовой системы связи обслуживает все подвижные станции (абонентские радиотелефонные аппараты) в пределах своей ячейки, при этом ресурс для установления соединения базовая станция предоставляет по требованию подвижных абонентов, как правило, на равноправной основе (метод транкинга). При перемещении абонента из одной ячейки в другую происходит передача его обслуживания от одной базовой станции к другой. Все базовые станции системы, в свою очередь, замыкаются на центр коммутации, с которого имеется выход во внешние сети, например, в ТФОП.

Простейшая система сотовой связи обслуживает определенную относительно небольшую территорию и содержит один центр коммутации, при котором имеются *домашний* (HLR – *homelocalregister*) и *гостевой* (VLR – *visitlocalregister*) *регистры* – базы данных о собственных абонентах и абонентах других систем. ССПС высокой емкости включает несколько центров коммутации, один из которых условно можно назвать «ведущим». «Ведущим» является центр коммутации, при котором имеется домашний регистр. Наращивание числа центров коммутации обеспечивает возможность эволюционного развития системы.

При перемещении абонента между ячейками одной системы происходит «*эстафетная передача*» обслуживания между базовыми станциями (*handoff или handover*) и установление соединения осуществляется через центр коммутации своей системы. При перемещении абонента на территорию другой системы, у которой имеется свой центр коммутации со своим домашним регистром, осуществляется функция автоматической передачи обслуживания абонента в другую систему – *роуминг* (от английского слова *to roum* – блуждать). Для автоматического роуминга прежде всего необходима аппаратурная совместимость систем (принадлежность их к одному и тому же стандарту сотовой связи), а также наличие соответствующих соглашений между компаниями-операторами разных сетей. Рассмотренная архитектура системы сотовой связи в принципе позволяет построить глобальную сеть, которая предусматривает персонификацию предоставления услуг связи (телекоммуникационного сервиса) с вызовом абонента не по месту, а по номеру.

Технический аспект концептуальной модели ССПС отражает особенности технической реализации ее функциональных элементов.

Подвижная станция (мобильная станция или абонентский терминал) – оконечное устройство, обеспечивающее доступ подвижного абонента сети к телекоммуникационным ресурсам. Особенностью такого радиотелефона по отношению к обычным носимым радиостанциям является наличие логического блока, являющегося, по сути, микрокомпьютером со своей оперативной и постоянной памятью, осуществляющим управление работой подвижной станции. Для обеспечения конфиденциальности передачи информации в некоторых системах возможно использование режима шифрования. В этих случаях передатчик и приемник подвижной станции включают соответственно блоки шифрования и дешифровки сообщений.

В радиотелефоне системы GSM предусмотрен специальный съемный модуль идентификации абонента (*Subscriber Identity Module* – SIM). Радиотелефон системы GSM включает также детектор речевой активности (*Voice Activity Detector* – VAD), который в интересах экономного расходования энергии источника питания (уменьшения средней мощности излучения), а также снижения уровня помех (неизбежно создаваемых для других станций при работающем передатчике) включает работу передатчика на излучение только на те интервалы времени, когда абонент говорит. В необходимых случаях к радиотелефону через специальные адаптеры с использованием соответствующих интерфейсов могут подключаться отдельные терминальные устройства (например: факсимильный аппарат, компьютер).

Радиотелефоны цифровых ССПС, как правило, не имеют частотного дуплексера, что существенно упрощает и облегчает их конструкцию. Это оказывается возможным за счет временного разделения приема и передачи (TDD – time duplex division).

Базовая станция – комплекс технических средств, предназначенный для соединения подвижного абонента с центром коммутации системы сотовой связи. Это самое общее понятие БС, но в различных системах сотовой связи существует ряд особенностей. Так, например, в стандарте GSM используется понятие система базовой станции (СБС), в которую входит контроллер базовой станции (КБС) и несколько, например, до шестнадцати, блоков приемопередатчиков (БПП).

Три БПП, расположенные в одном месте и замыкающиеся на общий КБС, могут обслуживать каждый свой 120-градусный азимутальный сектор в пределах ячейки (соты) или шесть БПП с одним КБС – шесть 60-градусных секторов.

В стандарте D-AMPS в аналогичном случае могут использоваться соответственно три или шесть независимых базовых станций, каждая со своим контроллером, расположенных в одном месте и работающих каждая на свою секторную антенну; для обозначения такой «строенной» или «ушестеренной» конфигурации иногда употребляется термин позиция ячейки или позиция соты (cell site), хотя чаще наименование cell site является синонимом базовой станции.

Часто встречающейся особенностью базовой станции, которую следует отметить, является использование разнесенного приема, для чего БС должна иметь две приемные антенны. Кроме того, базовая станция может иметь раздельные антенны на передачу и на прием.

Вторая особенность – наличие нескольких приемников и такого же числа передатчиков, позволяющих вести одновременную работу на нескольких парах частот (дуплексных частотных каналах). Приемники и передатчики имеют общие перестраиваемые опорные генераторы, обеспечивающие их согласованную перестройку при переходе с одного канала на другой; конкретное число M приемопередатчиков зависит от конструкции и комплектации базовой станции.

Для обеспечения одновременной работы M приемников на одну приемную и M передатчиков на одну передающую антенну между приемной антенной и приемниками устанавливается делитель мощности на M выходов, а между передатчиками и передающей антенной – сумматор мощности на M входов.

Контроллер базовой станции, представляющий собой достаточно мощный и совершенный компьютер, обеспечивает управление работой станции, а также контроль работоспособности всех входящих в нее блоков и узлов. В состав контроллера входит блок сопряжения с линией связи, который осуществляет объединение информации, поступающей от базовых станций для передачи её по линии связи на центр коммутации, и разделение принимаемой от него информации. В качестве линии связи базовой станции с центром коммутации обычно используются радиорелейная или волоконно-оптическая линия.

Для обеспечения достаточной степени надежности многие блоки и узлы базовой станции резервируются (дублируются), в состав станции включаются резервные источники бесперебойного питания (аккумуляторы). Поскольку аппаратура базовой станции потребляет значительную мощность, и соответственно выделяет заметное количество тепла, в ней предусматриваются специальные устройства охлаждения.

Центр коммутации является «мозговым центром» и одновременно диспетчерским пунктом СПР, который предназначен для перераспределения потоков между базовыми станциями и установления соединения между подвижными абонентами и абонентами ТФОП.

В состав центра коммутации входит несколько процессоров (контроллеров), и он является типичным примером многопроцессорной системы. Собственно коммутатор осуществляет переключение потоков информации между соответствующими линиями связи. Он может, в частности, направить поток информации или от одной базовой станции к другой, или от базовой станции к стационарной сети связи, или, наоборот – от стационарной сети связи к нужной базовой станции.

Коммутатор подключается к линиям связи через соответствующие контроллеры связи (концентраторы нагрузки), осуществляющие промежуточную обработку потоков информации. Общее управление работой центра коммутации и системы в целом производится центральным контроллером, который имеет мощное математическое обеспечение.

Центр коммутации одновременно выполняет функции центра управления системой, поэтому в состав центра входят соответствующие автоматизированные рабочие места операторов. В частности, операторами вводятся данные об абонентах и условиях их обслуживания, исходные данные о режимах работы системы, в необходимых случаях оператор выдает требующиеся по ходу работы команды на перестройку параметров сети.

16.2. Технологии построения сотовых сетей связи

16.2.1. Классификация стандартов сотовой связи

Как уже отмечалось, в развитии систем сотовой связи (даже более отчетливо, чем в других СПР) можно выделить три поколения, два из которых (аналоговые и цифровые сети) уже состоялись, а реализация третьего (интегральные сети) происходит в настоящее время (в перспективе ожидается появление 4-го и 5-го поколений). Причем отдельные черты третьего поколения присутствуют в последних усовершенствованиях цифровых средств радиосвязи второго поколения. Первое поколение аналоговых средств ССПС пока еще пытается конкурировать с цифровыми средствами за счет своей дешевизны и широкого распространения, но все менее и менее успешно.

Обычно выделяют девять основных стандартов аналоговых сетей сотовой связи. Основные характеристики девяти аналоговых стандартов сотовой связи, наиболее широко распространенных в мире, представлены в табл. 16.1.

Анализ данной таблицы показывает, что аналоговые сотовые стандарты сходны по виду модуляции в разговорном канале, по виду манипуляции в канале сигнализации, по размерам «сот». Различия проявляются в использовании частотных диапазонов,

в ширине и разносе частотных полос на передачу и прием, в ширине одного частотного канала и, следовательно, в максимальном количестве каналов, а также в алгоритмах функционирования ССПС [3].

Таблица 16.1

Аналоговые стандарты ССПС

Характеристика системы связи	AMPS (США)	HCM TS (Япония)	NMT-450 (Сканд. страны)	NMT-900 (Сканд. страны)	C-450 (Германия)	TACS (Англия)	ETACS (Англия)	RTMS-101H (Италия)	Radiocom-200 (Франция)
Полоса частот на передачу, МГц:									
базовая станция	870–890	925–940	463–467,5	935–960	461,0–465,74	935–950	917–933	460–465	202,7–205,1 194,7–197,1; 424,8–427,9
подвижная станция	825–845	870–885	453–457,5	890–915	451,3–455,74	890–905	872–888	450–455	418,8–421,9
Разнос дуплексных каналов, МГц	45	55	10	45	10	45	45	10	8; 10
Разнос каналов, кГц	30	25 (12,5)	25(20)	25 (12,5)	20	25	25	25	12,5
Общее число каналов	666	600 (1200)	180 (225)	1000 (1999)	222	600		200	192; 256
Треб. отношение сигн./шум, дБ	10	17	15			10	10		
Время переключения каналов на границе ячеек, мс	250	800	1250	270	300	290	290	570	
Типичный радиус ячейки, км	2–20	5–10	1–40	0,5–20	2–30	2–20	2–10	5–20	20

Практическая эксплуатация выявила следующие наиболее совершенные стандарты AMPS (США), NMT-450 (900) (Скандинавия), TACS/ETACS (Англия). Причем стандарт NMT-450 был принят в России в качестве одного из федеральных стандартов.

Для данных стандартов характерно:

использование диапазонов частот практически свободных от индустриальных помех и обеспечивающих большое число частотных каналов;

наличие цифровых каналов управления соединением;

относительно малое время переключения каналов на границе сот;

наличие помехоустойчивого кодирования передаваемой по каналу управления информации и, как следствие, относительно низкое требуемое отношение сигнал/шум на входе приемника.

Однако аналоговые ССПС уже не удовлетворяют современному уровню развития информационных технологий из-за многочисленных недостатков, главные из которых:

несовместимость параметров частотных каналов;

недостаточное качество связи;

сложность засекречивания передаваемых сообщений и взаимодействия с цифровыми сетями с интеграцией служб (ISDN) и пакетной передачи данных (PDN).

Исследования принципов построения цифровых ССПС, начатые в 80-х годах в Европе, Северной Америке и Японии, завершились разработкой трех стандартов систем связи с макросотовой топологией и радиусом сот около 35 км:

общеевропейский стандарт GSM-900, принятый Европейским институтом стандартов в области связи (ETSI);

американский стандарт IS-136 (D AMPS, ADC, TDMA), разработанный Промышленной ассоциацией в области связи (TIA);

японский стандарт JDC, принятый министерством почт и связи Японии (во многом похожий на стандарт IS 136).

Указанные стандарты на цифровые ССПС отличаются отдельными характеристиками, но в основе имеют единые принципы использования цифровой обработки сигналов и отвечают требованиям современных информационных технологий (см. табл. 16.2).

Таблица 16.2

Цифровые стандарты ССПС

Характеристика системы связи	D-AMPS (ADC) (США)	JDC (Япония)	GSM (Европа)	DCS-1800 (Европа)	IS-95 (CDMA) (США / Корея)
Полоса частот на передачу, МГц		940–956 910–926; 1477–1489			
базовая станция	870–890	1429–1441	935–960	1805–1880	869–894
подвижная станция	825–845	1501–1513 1453–1465	890–915	1710–1785	824–849
Разнос дуплексных каналов, МГц	45	30; 48; 48	45	95	45
Разнос каналов, кГц	30	25	200	200	1250
Количество каналов на несущую	3	3(6)	8(16)	8(16)	32 (62…55)
Скорость в речевом канале, кбит/с	8	11,2 (5,6)	13 (6,5)	13 (6,5)	9,6
Общая скорость передачи, кбит/с	48	42	270	270	
Треб. отношение сигнал / шум, дБ	16	13	9	9	6,5

Стандарт GSM принят в России в качестве федерального стандарта на цифровые ССПС. Общеевропейский стандарт GSM – первый в мире стандарт на цифровые ССПС, который предусматривает их создание в диапазоне 900 МГц. Дальнейшим его развитием является стандарт ССПС DCS-1800 (диапазон 1800 МГц) с микросотовой структурой, принятый для реализации концепции персональной связи (PCN) в Европе (в США аналогичный стандарт реализован в диапазоне 1900 МГц).

Хотя указанные региональные стандарты на цифровые ССПС и отличаются своими характеристиками, они построены на единых принципах и концепциях, использованных в стандарте GSM. Поэтому на примере данного стандарта можно разобраться с особенностями всех цифровых ССПС.

16.2.2. Технологии построения сотовых сетей связи стандарта GSM

Стандарт GSM – результат фундаментальных исследований ведущих научных и инженерных центров Европы. Разработанные в GSM системные и технические решения могут служить примером аналогичных решений во всех цифровых ССПС.

В начале 1980-х гг. в Европе и США стремительно распространялись аналоговые системы сотовой телефонии. Каждая страна строила собственную, несовместимую с любой другой, систему. Но если на американском континенте система стандарта AMPS стала надолго доминирующей, что в сочетании с большим потенциальным объемом абонентской базы позволило обеспечить как снижение цен на оборудование за счет массового характера его выпуска, так и роуминг в пределах больших территорий, то в Европе отсутствие единого стандарта стало неудобным. Во-первых, был невозможен свободный роуминг между государствами, который становился все более важным в объединяющейся Европе, во-вторых, был очень ограничен рынок для каждого типа оборудования, что являлось экономически невыгодным и не позволяло снижать цены. Таким образом, возникла необходимость в создании единого общеевропейского стандарта, и в 1982 г. CEPT (*Conference of European Posts and Telegraphs*) в целях изучения и разработки общеевропейской системы сотовой мобильной связи общего пользования создала рабочую группу, получившую название GSM (*Groupe Special Mobile*).

Разрабатываемая система должна была удовлетворять следующим критериям: высокое качество передачи речевой информации; низкая стоимость оборудования и предоставляемых услуг; возможность поддержки портативного оборудования пользователя; поддержка ряда новых услуг и оборудования; спектральная эффективность; совместимость с ISDN, поддержка международного роуминга.

В 1989 г. ответственность за GSM была передана в Европейский институт телекоммуникационных стандартов (ETSI – *European Telecommunication Standards Institute*), и первая фаза спецификации GSM была опубликована в 1990 г. Коммерческое использование началось в 1991 г., и к 1993 г. насчитывалось уже 36 сетей GSM в 22 странах.

GSM является не только Европейским стандартом. Сети GSM (включая DCS-1800 и PCS-1900) функционируют более чем в 100 странах. В 1999 г. число абонентов сетей GSM в мире превысило 200 миллионов. Если учесть, что Северная Америка хоть с опозданием, но вступила в содружество GSM (в варианте PCS1900), то эта система существует на каждом континенте, а аббревиатура GSM приобрела новое значение – *Global System for Mobile communications*.

Разработчики GSM выбрали новую для того времени цифровую систему, противопоставив ее стандартизованным аналоговым системам сотовой мобильной связи, таким, как AMPS (Advanced Mobile Phone Service), NMT (Nordic Mobile Telephone), TACS

(Total Access Communications System). Они верили в то, что усовершенствование средств цифровой обработки сигналов позволит удовлетворить первоначальные требования к системе, и она будет развиваться по пути улучшения соотношения качество/стоимость.

С самого начала разработчики GSM стремились обеспечить совместимость сетей GSM и ISDN по набору предлагаемых услуг. В соответствии с определениями ITU-T сеть GSM может предоставлять следующие типы услуг: услуги по передаче информации (bearer services – основные службы); услуги предоставления связи (teleservices – телеслужбы); дополнительные услуги (supplementary services).

Основные службы – это, по существу, организация синхронных и асинхронных каналов передачи данных на скоростях от 300 до 14000 бит/с. При передаче данных со скоростью 9,6 кбит/с и 14,4 кбит/с (с отключенным помехоустойчивым кодированием) всегда используется канал связи с полной скоростью передачи. В случае передачи на скоростях ниже 9,6 кбит/с могут использоваться полускоростные каналы связи. Предусматривается дальнейшее повышение скорости передачи данных за счет объединения нескольких каналов трафика. Абоненты GSM могут осуществлять обмен информацией с абонентами ISDN, обычных телефонных сетей, сетей с коммутацией пакетов и сетей связи с коммутацией каналов, используя различные методы и протоколы доступа, например IP или X.25.

Основным телесервисом GSM является телефония, т. е. передача речи, включая тональную сигнализацию в полосе частот речи. Так как GSM является цифровой системой передачи данных, речь кодируется и передается в виде цифрового потока. Возможна передача факсимильных сообщений, реализуемых при использовании соответствующего адаптера для факсимильного аппарата.

В качестве дополнительных стандартизован широкий спектр особых услуг (передача вызова, оповещение о тарифных расходах, включение в закрытую группу пользователей). Особое внимание уделяется аспектам безопасности и качеству предоставляемых услуг.

К дополнительной услуге передачи данных относится и новый вид служб, используемый в GSM – служба передачи коротких сообщений (SMS – Short message service). К ней относится и служебная информация для отдельных групп пользователей.

При передаче коротких сообщений используется пропускная способность каналов передачи данных между подвижной станцией и центром ОМС, то есть каналов управления. Для передачи коротких сообщений могут использоваться общие каналы управления. Сообщения объемом 160 символов (70 при использовании кириллицы) могут передаваться и приниматься подвижной станцией в течение текущего вызова либо в нерабочем цикле. В пределах соты короткие сообщения передаются циклически и несут информацию, например, о дорожном движении, рекламу и т. п.

Основная часть дополнительных сервисов не является специфичной для сотовой сети и в значительной степени аналогична услугам сетей ISDN (например, перенаправление вызова в случае недоступности подвижного абонента, идентификация вызова, постановка вызова в очередь, переговоры сразу нескольких абонентов и др.). Однако в связи с тем, что сеть ISDN так и не стала массовой глобальной ТКС, а GSM фактически таковой уже является (в глазах сотен миллионов подвижных абонентов), то именно GSM является в настоящее время «проповедником» многих удобных дополнительных услуг, отлично сочетающихся с особенностями мобильной связи. В части дополнительных услуг сети GSM намного превосходят обычные ТФОП. Неслучайно в последнее время, не смотря на еще относительно высокую стоимость подвижной связи, спрос на мобильные телефоны даже для домашнего применения заметно превышает спрос на обычные проводные телефоны. И, главное, этот спрос оперативно удовлетворяется без многолетних ожиданий в очереди на установку телефона.

Идеологическое влияние ISDN наложило заметный отпечаток на функциональное построение сетей GSM. В целом структура ССПС стандарта GSM соответствует

концептуальной модели, приведенной на рис. 16.2 (вверху слева). Более подробно типовая структура и состав сети GSM показаны на рис. 16.5 [4].

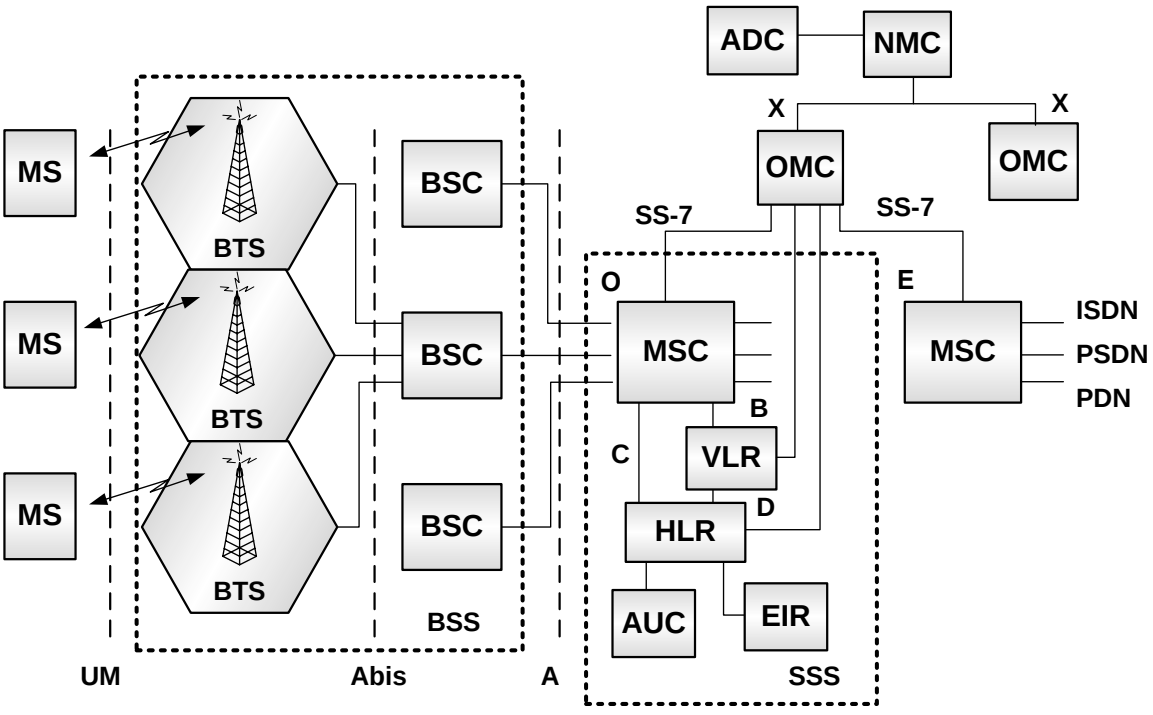
Центр коммутации подвижной связи MSC обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений между подвижными и стационарными пользователями. MSC аналогичен коммутационной станции ISDN, но включает дополнительный интерфейс между фиксированными сетями (PSTN, PDN, ISDN и т. д.) и сетью подвижной радиосвязи. Он обеспечивает:

маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами (функция обычной ISDN коммутационной станции);

функции коммутации радиоканалов, к которым относятся «эстафетная передача» для достижения непрерывности связи при перемещении подвижной станции из соты в соту и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностях;

постоянное «слежение» за подвижными станциями, используя регистры положения (HLR) и перемещения (VLR) (по другому именуемые как домашний и гостевой локальные регистры).

В составе подсистемы коммутации SSS обычно вместе с MSC (со стороны BSS) находится транскодер TCE (на рис. 16.5 не показан, т. к. в ряде источников его изображают в составе BSS), который обеспечивает прямое и обратное преобразование ОЦК 64 кбит/с в сжатый речевой сигнал 13 кбит/с, передаваемый по радиоканалу.



MS – мобильная станция
BTS – базовая станция
BSC – контроллер базовой станции
BSS – оборудование базовой станции
MSC – центр коммутации подвижной сети
VLR – гостевой локальный регистр
HLR – домашний локальный регистр
AUC – центр аутентификации
EIR – регистр идентификации оборудования
SSS – подситема коммутации
ADC – административный центр
NMS – центр управления сетью
OMC – центр управления и обслуживания
ISDN – цифровые сети с интеграцией служб
PSTN – телефонная сеть общего пользования
PDN – сети пакетной передачи данных

Рис. 16.5. Типовая структура и состав сети GSM

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

Второе основное устройство, обеспечивающее контроль за передвижением подвижной станции из зоны в зону, – регистр перемещения VLR. С его помощью достигается функционирование подвижной станции за пределами зоны, контролируемой HLR. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контроллера базовой станции BSC, объединяющего группу базовых станций, в зону действия другого, она регистрируется новым BSC, и в VLR заносится информация о номере области связи, которая обеспечит доставку вызовов подвижной станции. Для сохранности данных, находящихся в HLR и VLR, в случае сбоев предусмотрена защита устройств памяти этих регистров.

Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы связи вводятся механизмы аутентификации – удостоверения подлинности абонента.

Центр аутентификации состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента и осуществляется его доступ к сети связи. AUC принимает решения о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи шифрования абонентских станций на основе базы данных, сосредоточенной в регистре идентификации оборудования (EIR – Equipment Identification Register). Каждой подвижной станции присваивается свой международный идентификационный номер (IMEI). Этот номер используется для предотвращения доступа к сетям GSM похищенной станции или станции без полномочий.

Каждый подвижный абонент на время пользования системой связи получает стандартный модуль подлинности абонента (SIM), который содержит: международный идентификационный номер (IMSI), свой индивидуальный ключ аутентификации, алгоритм аутентификации. С помощью заложенной в SIM информации, в результате взаимного обмена данными между подвижной станцией и сетью, осуществляется полный цикл аутентификации и разрешается доступ абонента к сети.

Основное оборудование базовой станции состоит из контроллера базовой станции (BSC) и приемопередающих базовых станций (BTS).

Контроллер базовой станции может управлять несколькими приемопередающими блоками. BSS управляет распределением радиоканалов, контролирует соединения, регулирует их очередность, обеспечивает режим работы с прыгающей частотой, модуляцию и демодуляцию сигналов, кодирование и декодирование сообщений, кодирование речи, адаптацию скорости передачи для речи, данных и вызова, определяет очередность передачи сообщений персонального вызова.

BSS совместно с MSC, HLR, VLR выполняет ряд функций: освобождение канала, главным образом под контролем MSC, но при этом MSC может запросить базовую станцию, обеспечить освобождение канала, если вызов не приходит из-за радиопомех. BSS и MSC совместно осуществляют приоритетную передачу информации для некоторых категорий подвижных станций.

Центр управления и обслуживания (OMC) обеспечивает распределение функций и организацию взаимодействия между BSS и MSC. Его функции совпадают с функциями OMC в обычных сетях связи. Отличие заключается в том, что в сетях стандарта GSM центр OMC обслуживает управление работой радиоподсистемы.

Функциональное сопряжение элементов сети GSM осуществляется через стандартные интерфейсы, ряд из которых напоминает по своим однобуквенным обозначениям контрольные точки (стыки) ISDN.

В стандарте GSM предусмотрены интерфейсы трех видов:

для соединения с внешними сетями;

между различным оборудованием сетей GSM (интерфейсы A, B, C, D, E, O, A_{bis}, U_m, рис. 16.5);

между сетью GSM и внешним оборудованием GSM (интерфейсы SC, X; рис. 16.5).

Стандарт GSM предусматривает работу передатчиков МС в диапазоне частот 890..915 МГц, а передатчиков БС в диапазоне 935..960 МГц. Таким образом, между диапазонами приема и передачи предусмотрен постоянный разнос 45 МГц. Каждый из указанных поддиапазонов разбит на 124 частотных канала с шагом 200 кГц.

В стандарте GSM используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов (TDMA). В структуре TDMA-кадра содержится 8 временных позиций (слотов) для передачи физических (информационных) каналов. С учетом наличия 124 несущих общая канальная емкость стандарта равна 992 канала. Передача и прием в МС ведется со сдвигом на три слота, что соответствует реализации временного дуплекса (TDD) в дополнение к указанному выше частотному дуплексу (FDD).

Для защиты от ошибок в радиоканалах при передаче информационных сообщений применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением. Для борьбы с явлением многолучевости распространения радиоволн в условиях города в процессе сеанса связи применяются медленная программная перестройка рабочих частот (SFH) со скоростью 217 скачков в секунду, а также эквалайзеры, обеспечивающие выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратическим отклонением времени задержки до 16 мкс.

Система синхронизации обеспечивает компенсацию абсолютного времени задержки сигналов до 233 мкс, что соответствует максимальной дальности связи (радиусу ячейки) 35 км.

Обработка речи осуществляется в рамках принятой системы прерывистой передачи речи (DTX), которая обеспечивает включение передатчика только при наличии речевого сигнала и отключение передатчика в паузах и в конце разговора.

В качестве речепреобразующего устройства выбран речевой кодек с регулярным импульсным возбуждением/долговременным предсказанием и линейным предикативным кодированием с предсказанием (RPE/LTP-LPC-кодек). Кодируемые сегменты речи имеют длительность 20 мс. Общая скорость преобразования речевого сигнала – 13 кбит/с.

В стандарте GSM обеспечивается высокая степень безопасности передачи сообщений за счет кодирования сообщений по алгоритму шифрования с открытым ключом (RSA).

16.2.3. Технологии построения сотовых сетей связи стандарта IS-95

Особым стандартом среди ССПС второго поколения, не имеющим аналогов в первом поколении, является стандарт IS-95 или, как его чаще именуют, CDMA – по типу используемого метода множественного доступа с кодовым разделением каналов. Данный стандарт является прообразом основных технологий, предполагаемых в качестве базовых для построения СПР третьего поколения, поэтому его иногда считают уже реализованным представителем данного третьего поколения. Метод CDMA широко используется в военных системах связи и поэтому заслуживает особого внимания.

Основателем и разработчиком стандарта CDMA является фирма Qualcomm, в 1989 г. предложившая коммерческий вариант сотовой системы связи с кодовым разделением каналов и к 1993 г. добившейся стандартизации этой системы в TIA (стандарт IS-95) и принятия ее ITU.

Стандарт IS-95 лег в основу целого семейства стандартов (cdma One family), в частности, J-STD-008 Personal Communications Services (PCS) и др. Особо следует

отметить перспективные стандарты IS-707 Data Services (Packet, Async and Fax); IS-127 Enhanced Variable Rate Codec (EVRC) 8.5 Kbps speech coder; IS-637 Short Message Services (SMS).

Ведущие телекоммуникационные фирмы стали разрабатывать и выпускать оборудование CDMA. Первая коммерческая сеть была запущена в 1995 г. в Гонконге на базе оборудования фирмы Motorola. К концу XX века численность абонентов сетей CDMA составила несколько десятков миллионов ПА и, не смотря на жесткую конкуренцию, постоянно растет, что свидетельствует о безусловной перспективности технологии CDMA и ее способности обеспечивать все возрастающие потребности в телекоммуникационных услугах.

Разрабатываются и альтернативные (отличающиеся от IS-95) технологии CDMA, например CODIT в Европе, но коммерческого признания они не получили. Наиболее перспективным считается переход к еще более широкополосным системам связи третьего поколения – B-CDMA (Broadband CDMA) или W-CDMA (Wideband CDMA).

В целом структура ССПС стандарта IS-95 соответствует концептуальной модели, приведенной на рис. 16.2 (вверху слева). Будучи неевропейской разработкой, функциональное построение сети IS-95 в меньшей степени, чем GSM, оказалось подвержено влиянию формальной идеологии ISDN. Однако фактический набор основных и дополнительных услуг, предоставляемых подвижным (и фиксированным) абонентам сетей обоих стандартов, а также набор внешних интерфейсов примерно совпадает.

Состав оборудования сетей стандарта CDMA во многом сходен с составом оборудования сетей стандарта GSM (см. рис. 16.3) и включает в себя МС и БС, центральный коммутатор, центр управления и обслуживания, различные дополнительные системы и устройства. Функциональное сопряжение элементов системы осуществляется с помощью ряда интерфейсов. Важной отличительной особенностью сетей IS-95 является тесное взаимодействие БС, синхронизируемое с помощью спутниковой системы навигации GPS.

В сетях CDMA обеспечивается более высокое качество речи, чем в стандарте GSM, не говоря уже об аналоговых стандартах. Это во многом определяется технологией кодирования речи. Для преобразования аналогового речевого сигнала в цифровой используется вокодер с переменной скоростью кодирования QCELP. Важной особенностью вокодера с переменной скоростью кодирования является использование адаптивного порога для определения требуемой скорости кодирования данных. Уровень порога изменяется в соответствии с фоновым шумом. Результатом этого является подавление фона и улучшение качества речи даже в шумной обстановке. Вокодер позволяет «подмешивать» в речевой канал вторичный трафик, т. е. служебную информацию.

Внутреннее взаимодействие элементов сети стандарта CDMA тесно связано с особенностями функционирования широкополосных радиоканалов, поэтому далее сконцентрируем внимание именно на этих особенностях.

Ряд характеристик используемых радиоканалов IS-95 был приведен в табл. 16.2. Рассмотрим основные из этих характеристик более подробно.

Как видно из табл. 16.2, частотный диапазон CDMA (869–894 МГц на линии от БС к МС и 824–849 МГц на линии от МС к БС) практически совпадает с частотным диапазоном AMPS и DAMPS. Это позволило в странах, в которых уже был выделен данный диапазон для ССПС, относительно безболезненно выделить часть частотного ресурса под новый стандарт. Существуют даже двухмодовые мобильные телефоны, поддерживающие и стандарт AMPS (IS-54) или DAMPS (IS-136), и стандарт CDMA (IS-95). Однако в России (из-за занятости данного диапазона другими радиослужбами) для IS-95 на региональном уровне был выделен только диапазон 873–876 / 828–831 МГц, что наряду с другими административными ограничениями значительно сдерживало

освоение стандарта CDMA (пока ему на смену не пришел новый стандарт CDMA-2000, внедряемый в России в диапазоне 450 МГц).

В отличие от других цифровых систем, которые делят отведенный диапазон на узкополосные каналы, различаемые по частотному (FDMA) и (или) временному (TDMA) признаку, в стандарте CDMA IS-95 передаваемую информацию кодируют и преобразуют в широкополосный шумоподобный сигнал таким образом, чтобы его можно было выделить, только располагая таким же кодом на приемной стороне. При этом одновременно в широкой полосе частот можно передавать и принимать множество сигналов, которые почти не мешают друг другу.

В качестве вывода необходимо отметить, что сети стандарта CDMA потенциально имеют большую абонентскую емкость (пропускную способность). Кроме того, они позволяет отказаться от частотного планирования, хотя при этом предполагается проведение тщательного баланса мощностей излучений станций. Объективное сравнение абонентской емкости систем, использующих различные методы доступа (CDMA, FDMA, TDMA), трудно реализуемо, поскольку для них почти невозможно сделать одинаковые предположения. Большинство сравнений проводится между системами на разных этапах реализации, но не между системами с различными методами доступа. Можно ожидать, что при сравнении двух оптимизированных систем, использующих различные методы доступа, их абонентские емкости окажутся приблизительно одинаковыми. Однако потенциальные возможности стандарта CDMA все же намного превышают возможности других методов доступа и разделения сигналов, поэтому именно подобные стандарты составляют основу технологий построения ССПС следующих поколений 3G…5G.

16.3. Технологии построения транкинговых сетей связи

16.3.1. Особенности технологий транкинговой связи

Под термином «транкинг» понимается метод (принцип) равного доступа абонентов к общему выделенному пучку каналов, при котором конкретный канал закрепляется для каждого сеанса связи индивидуально в зависимости от распределения нагрузки в системе (само слово «транк» происходит от английского *trunk* – пучок, ствол, в телефонии этот термин означает «магистраль»).

В широком смысле этот метод применяется практически во всех современных системах радиотелефонной связи, в том числе и в рассмотренных выше сотовых, и позволяет при равном частотном ресурсе обеспечивать более высокую емкость таких систем по сравнению с системами, использующими фиксированные каналы.

Однако в узком смысле определение «транкинговые системы» изначально закрепилось за системами подвижной радиотелефонной связи, ориентированными на организацию ведомственной, внутрипроизводственной и технологической диспетчерской связи (ТДС), т. е. некоммерческого назначения (в смысле продажи услуг связи). Иногда особо подчеркивается специфика наличия в таких системах иерархии пользователей (с разными приоритетами), которым могут быть доступны разные услуги ТДС. К подобным ведомственным системам связи можно отнести и некоторые военные системы подвижной связи. В принятой за рубежом классификации подобные системы относятся к специальным или профессиональным системам подвижной связи, соответственно – SMR (Special Mobile Radio) или PMR (Porfessional Mobile Radio). Иногда обозначение PMR трактуют как частные системы подвижной связи – Private Mobile Radio.

Таким образом, в самом общем виде *назначение транкинговых систем подвижной связи* (ТСПС) заключается в обеспечении оперативной связи между подвижными абонентами, выполняющими общие служебные задачи, и предоставлении им при необходимости (в зависимости от полномочий и приоритетов) ограниченного выхода в глобальную сеть общего пользования.

Фактически появившись раньше сотовых, транкинговые системы подвижной связи развивались автономно в виде множества узковедомственных технологий и стандартов (даже «не зная», что они являются «транкинговыми»). После активного распространения ССПС и появления открытых стандартов ТСПС появилась возможность сравнения данных технологий между собой. В частности, как показано на рис. 16.1, в развитии стандартов ТСПС, как и в развитии стандартов ССПС, можно выделить этапы (поколения) аналоговых и цифровых технологий.

В настоящее время наблюдается активное сближение классических транкинговых и сотовых систем как по принципам построения, так и по набору предоставляемых услуг. Поэтому ряд транкинговых систем из чисто технологических перешли в разряд систем общего пользования. Наблюдается и обратная тенденция – предоставление специальных узковедомственных услуг ограниченной группе абонентов на базе ССПС общего пользования.

Множество различных услуг, требуемых отдельным группам подвижных абонентов в ограниченном количестве, привело к большому разнообразию технологий построения ТСПС. Реализация таких ограниченных по функциям технологий в конкретной аппаратуре является относительно дешевой. Поэтому такие СПР могли приобретать в личное пользование (для решения внутренних служебных задач) не только крупные государственные организации, но и относительно небольшие компании и фирмы. В регионах, не охваченных ССПС, такие ТСПС иногда использовались коммерческими организациями для развертывания СПР общего пользования. Однако ограниченные функциональные возможности таких систем не позволяют им конкурировать с быстро распространяющимися по всему миру ССПС.

Обобщенно структура ТСПС различных стандартов соответствует концептуальной модели, приведенной на рис. 16.2 (внизу слева). Данный рисунок, в частности, отражает три основных *принципа топологического построения* транкинговых сетей:

радиальный (однозоновый);

радиально-зоновый (несколько перекрывающихся зон);

квазисотовый (большое количество непересекающихся зон).

В ТСПС, построенных по *однозоновому принципу*, весь канальный ресурс закрепляется за одной центральной базовой станцией. Антенна такой станции обычно располагается по принципу маяка – в наиболее высокой точке предполагаемой зоны обслуживания. Классической в этом смысле является отечественная система «Алтай», созданная еще в начале 60-х годов. Среди подобных зарубежных ТСПС можно назвать систему SmarTrunk, получившую большую популярность в нашей стране. Несмотря на сравнительную простоту таких систем как при установке, так и в эксплуатации, они имеют ряд существенных недостатков:

единственным способом увеличения числа обслуживаемых абонентов является увеличение числа рабочих каналов, а любой экстенсивный путь имеет свои границы;

для увеличения зоны обслуживания необходимо увеличивать мощность абонентских станций, что, в свою очередь, повышает общий уровень помех.

При небольшом количестве абонентов увеличения зоны обслуживания можно добиться, используя *радиально-зоновый принцип* или как его еще называют *односотовую систему* с несколькими точками размещения антенн. В данном случае наряду с главным пунктом размещения антенны имеется ряд вспомогательных пунктов, соединенных линией связи с главным. При этом на разных базовых станциях могут использоваться одновременно только разные частотные каналы, что снижает эффективность использования частотного спектра и производительность системы.

Для решения этих проблем было предложено использовать сотовый принцип при построении *квазисотовых систем транкинговой связи*. Речь идет об обеспечении

возможности повторения частот в транкинговых системах, как это делается в системах сотовой связи.

При квазисотовом построении транкинговой системы применяется *централизованное* и *децентрализованное управление*.

При централизованном управлении главную роль играет основной контроллер системы (MSC – Main System Controler), который соединен с контроллерами базовых станций. В основном контроллере сосредоточены все сетевые функции системы: функции управления радиоканалами, функции сигнализации и установления соединения, интерфесы для стыковки с сетью общего пользования или учрежденческой АТС.

При децентрализованном управлении сетевые функции системы распределены на три уровня:

на первом уровне каждый ретранслятор (приемопередатчик) имеет контроллер управления радиоканалом, что позволяет ретранслятору работать автономно;

на втором уровне все контроллеры управления радиоканалами многоканального ретранслятора подключены к базовому контроллеру, обеспечивающему управление зоной (сотой). На этом уровне реализуются такие функции, как постановка в очередь, проверка абонентов на принадлежность к данной сети связи, подключение к телефонной сети общего пользования;

на третьем уровне региональный контроллер и НЧ коммутатор размещаются на региональном транкинговом узле. К региональному контроллеру подключены базовые станции данного региона. Для объединения отдельных региональных сетей используются межрегиональный контроллер и соответствующий НЧ коммутатор.

В целом, как показано на рис. 16.2, в отличие от единственного способа соединения МС в ССПС – через центральный коммутатор, в транкинговых системах можно различить, как минимум, пять вариантов соединений:

напрямую между МС (вырожденная транкинговая связь, часто именуемая термином *conventional*, без использования промежуточной БС);

через одну БС, выступающую в роли ретранслятора (как с использованием контроллера, управляющего доступом, так и без его использования – в режиме прямой ретрансляции);

через две БС с контроллерами, связанными друг с другом через внешнюю глобальную сеть общего пользования (как правило, ТФОП);

через две БС с индивидуальными контроллерами, связанными специальными межбазовыми каналами связи (транспортными магистралями);

через одну (или две) БС, соединяемые через центральный (региональный и/или межрегиональный) контроллер (коммутатор).

На рис. 16.6 для примера показана обобщенная структурная схема многозоновой ТСПС. В состав такой многозоновой ТСПС [5] и даже простейшей однозоновой сети кроме радиочастотного оборудования (ретрансляторы, устройство объединения радиоканалов, антенны) обычно входят также коммутатор, устройство управления и интерфейсы к различным внешним сетям.

Ретранслятор – набор приемопередающего оборудования, обслуживающего одну пару несущих частот. Антенны БС, как правило, имеют круговую диаграмму направленности. При расположении БС на краю зоны применяются направленные антенны. БС может располагать как единой приемопередающей антенной, так и раздельными антеннами для приема и передачи. В некоторых случаях на одной мачте может размещаться несколько приемных антенн для борьбы с замираниями, вызванными многолучевым распространением.

Устройство объединения радиосигналов позволяет использовать одно и то же антенное оборудование для одновременной работы приемников и передатчиков

на нескольких частотных каналах. Ретрансляторы работают обычно только в дуплексном режиме, разнос частот приема и передачи составляет от 3 до 45 МГц.

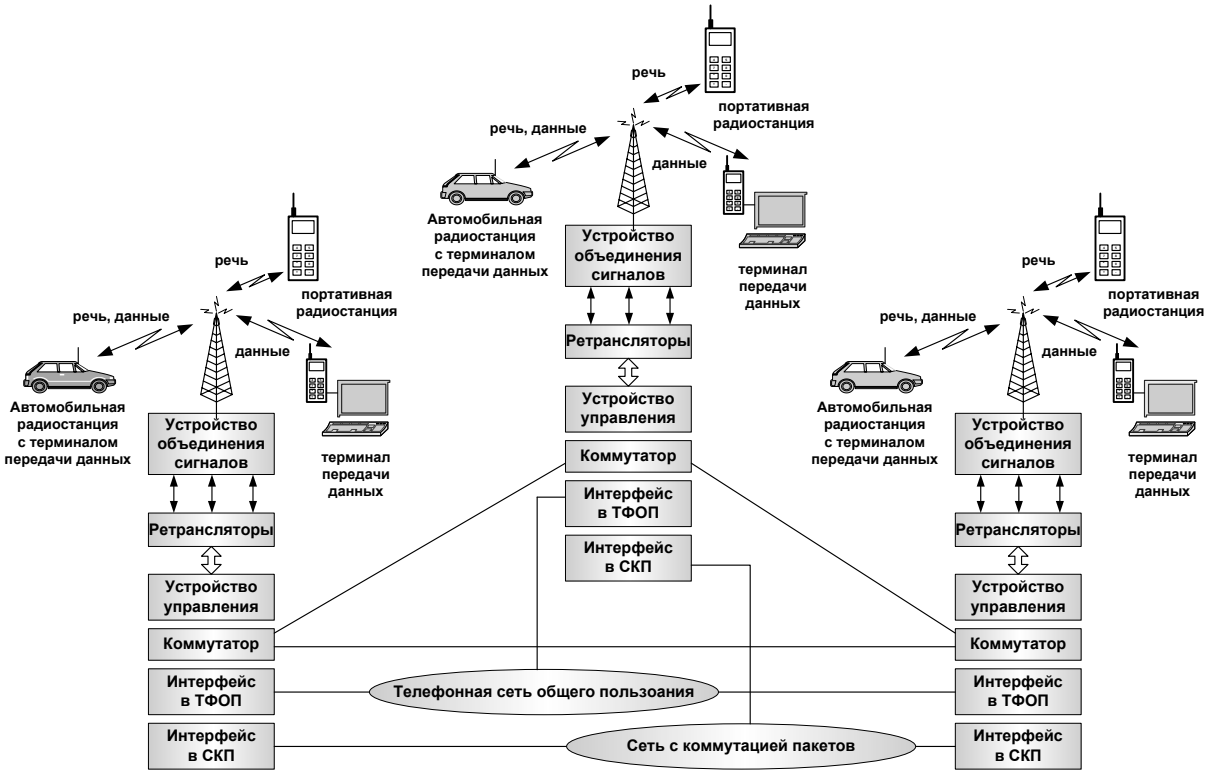


Рис. 16.6. Типовая структура многозоновой ТСПС с распределенной межзональной коммутацией

Коммутатор в однозоновой транкинговой ТСПС обслуживает весь ее трафик, включая соединения ПА с ТФОП и ПА с ПА. Устройство управления (контроллер) обеспечивает взаимодействие всех узлов БС. Оно же обрабатывает вызовы, осуществляет аутентификацию ПА, ведение очередей вызовов, учет состоявшихся соединений (для оплаты). В некоторых системах контроллеры регулируют максимально допустимую продолжительность соединений (например, в системе «Гранит-В» стандарта МРТ-1327).

В составе одной транкинговой сети может быть организовано несколько независимых ТСПС. Пользователи каждой из таких сетей не будут замечать работу соседей и не смогут вмешиваться в работу других сетей.

Таким образом, можно выделить следующие особенности технологий построения ТСПС:

использование метода «trunking» – свободного выбора незанятого канала из выделенного в каждой зоне обслуживания пучка каналов. Выбор свободного канала может осуществляться как с помощью канала управления доступом, так и без него;

обеспечение связи для преобладающей части абонентов только внутри сети (без выхода в ТФОП);

наделение базовых станций функциями локального управления соединениями МС, находящихся в зоне обслуживания;

использование относительно небольшого количества базовых станций для покрытия больших территорий (в пределе – одной БС);

как правило, отсутствие обеспечения непрерывности связи при пересечении абонентами границ зон обслуживания разных базовых станций («эстафетная передача» или handover) и отсутствие автоматического «роуминга»;

реализация иерархически упорядоченного приоритетного обслуживания с различным набором услуг;

обеспечение группирования абонентов, совместно выполняющих общие служебные задачи;

использование коротких адресных комбинаций внутри группы основных абонентов;

обеспечение небольшого времени соединения абонентов (что позволяет реализовать не только транкинг сообщений, но и транкинг передач отдельных фрагментов за счет автоматического отслеживания активности абонентов).

поддержка многообразных режимов работы и способов построения сети: от простейшей открытой связи группы пользователей на общей группе частот до уникальных услуг засекреченной многозоновой связи с поддержкой выполнения специальных служебных функций, связанных с конкретным профессиональным использованием.

16.3.2. Характеристики стандартов транкинговой связи

Транкинговые системы связи используют практически 5 из 10 выделенных для подвижной связи полос частот: VI (146–174 МГц); VII (300–308 МГц); VIII (336–344 МГц); IX (451–466 МГц) и X (890–960 МГц). В разных странах разработаны и используются различные варианты классических радиотелефонных систем с «транкингом», для которых выпускается специально разработанная аппаратура. Ключевым вопросом при создании и развитии всех сетей подвижной радиосвязи является выбор стандарта на аппаратуру и управление соединением. Часто при выборе стандарта во главу угла ставится его открытость.

В настоящее время число стандартов транкинговой связи достаточно велико. В таблице 16.3 представлены основные характеристики шести наиболее популярных транкинговых систем связи различных стандартов (три аналоговых: SmarTrunk, MPT-1327, LTR и три цифровых: EDACS, TETRA, APCO25) [6].

Начиная с середины 90-х годов, в Россию начали продвижение новые цифровые стандарты, претендующие отчасти на совмещение функций сотовой и транкинговой радиосвязи. Это построенные на базе TDMA система TETRA (Terrestrial European Trunked Radio), продвигаемая под эгидой Европейского института телекоммуникационных стандартов (ETSI) в качестве единой европейской технологии для специальных систем подвижной связи с расширенным набором услуг, любимое детище Motorola – iDEN (Integrated Digital Enhanced Network), а также стандарт – APCO-25 (Association of Public-Safety Communications Officials), являющийся проектом международной Ассоциации представителей связи общественной безопасности.

Следует отметить, что отсутствие в России координирующего ведомства привело к тому, что в основных мегаполисах РФ – Москве и Санкт-Петербурге – были развернуты корпоративные сети, использующие закрытые стандарты – iDEN и EDACS.

В настоящее время уже многими пользователями (организациями) признается предпочтительность использования открытых стандартов, позволяющих развертывать ТСПС на базе отечественного оборудования. В роли таких стандартов в основном рассматриваются технологии MPT-1327, TETRA и APCO-25, понемногу осваиваемые отечественной промышленностью и внедряемые в различные ТДС.

16.3.3. Технологии построения транкинговых сетей связи стандартов MPT-1327, TETRA, APCO-25

Протокол MPT-1327 (MPT – Ministry of Postand Telegraph) был разработан в начале 80-х годов в связи с необходимостью более эффективной организации радиотелефонной связи в диапазоне частот 174-225 МГц (расширенном в дальнейшем до 450 МГц),

выделенном для сухопутной подвижной службы Великобритании. Протокол MPT-1327 определяет правила обмена между транкинговыми контроллерами (ТК) системы и МС.

Таблица 16.3

Характеристики стандартов транкинговых сетей связи

Система, протокол	Тип связи	Вид связи	Частоты, МГц	Колич. каналов БС	Число абонентов	Управление	Типы вызовов, услуги
SmarTrunk, SmarTrunk II	аналоговый	ТФ	146–174, 403–470 (300–344, 800 –проект)	2–16	50–4000	децентрализ. сканирование раб. каналов	индивидуальн., групповой, общесистемный, экстренный
MPT-1327	аналоговый, цифровой – управление (1200 бит/с)	ТФ, ПД	410–430, 146–147, 174–225, 300–344, 400–512, 800 – (возможно)	3–8 до 24	от 1–2 тыс. до 1 млн.	выделенный закрепленный канал управления	голосовая связь, переадресация, аварийный вызов, короткие блоки данных
LTR	аналоговый	ТФ	806–825, 851–870, 896–901, 935–940, 400 (вариант)	20	250 на БС	распределенный канал управления на поднесущей 150 Гц	индивидуальн., групповой, общесистемный
EDACS	аналоговый цифровой, 9600 бит/с	ТФ	815–820, 860–865	20	До 16000	выделенный канал управления	групповой, индивидуальн., экстренный
APCO-25	цифровой, 9600 бит/с, аналоговый	ТФ, ПД	VHF,UHF, 800			распределенный канал управления	стандартный набор, открытая архитектура
TETRA	цифровой, 7200 бит/с,	ТФ, ПД	410–430, 870–875, 915–921, (450–470, 385–399, 395–399,9) – вариант	наращи-вание до треб. кол-ва		распределенный канал управления	стандартный набор, интерфейс с терминалом ПД

В настоящее время протокол MPT-1327 стал не только общеевропейским стандартом для ТСПС, но и получил широкое распространение в странах Британского Содружества (Австралия, Новая Зеландия, Гонконг), а также во многих других странах мира.

Протокол MPT-1327 определяет только протокол обмена между ТК и МС и не накладывает жестких ограничений на инфраструктуру ТСПС. Также разработаны еще нескольких протоколов стандарта MPT, содержащие дополнительные требования к ТСПС общего пользования.

Системы протокола MPT-1327 строятся с выделенным каналом управления (КУ), в качестве которого используется один из каналов БС. На этом канале в цифровом виде со скоростью 1200 бит/с передаются команды управления и некоторые виды данных. Остальные каналы БС являются рабочими и предназначены для речевой связи и передачи данных (ПД). В ТСПС MPT-1327 передача речевых сообщений на рабочих каналах осуществляется, как правило, в аналоговом виде, а служебная информация и короткие блоки данных передаются по КУ в цифровой форме.

При создании многозоновых ТСПС протокол МРТ-1327 предусматривает для МС возможность информировать главный ТК системы о своем местонахождении при перемещении из зоны в зону. Тем самым реализуется роуминг.

Стандарт трансевропейской транкинговой системы радиосвязи TETRA (Trans-European Trunked Radio) разрабатывался ETSI с 1994 г. Первые версии спецификаций появились в 1995 г. С апреля 1997 г. принятая аббревиатура трактуется иначе – наземная транкинговая радиосистема (Terrestrial Trunked Radio). Стандарт TETRA базируется на технической идеологии GSM.

Стандарт TETRA включает в себя две спецификации: PETRE Vouce + Data (DETRQ V+T) и TETRA Packet Data Optimized (TETRA PDO). TETRA V + D – это стандарт на интегрированную систему передачи речи и данных, а TETRA PDO – стандарт, описывающий специальный вариант ТСС, ориентированный только на ПД.

Одной из особенностей TETRA как транкинговой системы связи, отличающей ее от сотовых систем связи, является способность двух и более терминалов мобильных пользователей поддерживать связь между собой без помощи сетевой инфраструктуры. В стандарте TETRA данный вариант работы сети получил наименование «прямая связь» (Direct Mode – DM), а сама сеть – TETRA DMO.

Радиоинтерфейс стандарта TETRA предполагает работу в стандартной сетке частот с шагом 25 кГц. Для систем стандарта TETRA могут использоваться диапазоны от 150 МГц до 900 МГц, однако реально в странах Европы выделены частоты в диапазонах частот 410–430 МГц, 870–876/915–921 МГц и в диапазонах частот 450–470 МГц, 385–390/395–399,9 МГц. Дуплексный разнос для систем стандарта TETRA должен составлять 10 МГц.

В радиоканале используется относительная фазовая модуляция типа π/4-DQPSK с постоянной огибающей. Таким образом, каждому символу модуляции соответствует передача двух бит информации. Для преобразования речи в стандарте TETRA V+D используется кодек с алгоритмом CELP. Скорость цифрового речевого потока на выходе кодека составляет 4,8 кбит/с. До поступления на вход модулятора, к речевому потоку добавляется корректирующий код, после чего производится межблочное перемежение.

Полная пропускная способность одного канала в системе стандарта TETRA V+D составляет 7200 бит/с. Стандарт TETRA PDO обеспечивает ПД со скоростью 28,8 кбит/с. ПД может производиться по схемам «точка-точка» и «точка-многоточка». Кроме того, стандарт TETRA предусматривает поддержку протокола X.25 для пользовательских приложений. Наличие в стандарте спецификаций на шлюз с ISDN и PDN обеспечивает возможность взаимодействия с внешними СПД (включая IP-сети).

Спецификация стандарта TETRA не накладывает ограничений на архитектуру сети связи. Благодаря модульному принципу построения могут быть реализованы разнообразные конфигурации сетей с различной географической протяженностью.

Стандарт TETRA обеспечивает два уровня безопасности передаваемой информации: *стандартный,* использующий шифрование радиоинтерфейса (обеспечивается уровень защиты информации, аналогичный системе сотовой связи GSM); *высокий*, использующий сквозное шифрование (от источника до получателя).

Средства защиты радиоинтерфейса стандарта TETRA включают механизмы аутентификации абонента и инфраструктуры, обеспечения конфиденциальности трафика за счет потока псевдоимен и специфицированного шифрования информации. Определенная дополнительная защита информации обеспечивается возможностью переключения информационных каналов и КУ в процессе ведения сеанса связи.

Стандарт транкинговой связи APCO-25 при поддержке TIA предложен Ассоциацией официальных представителей служб связи органов общественной безопасности APCO (Association of Publicsafety Communications Officials International). Является цифровым развитием аналогового стандарта APCO-16.

В нем предусмотрены возможность использования широкого класса радиостанций при организации как обычной, так и транкинговой цифровой радиосвязи. В состав ассоциации входят представители правоохранительных органов около 70 стран. Основную роль в продвижении стандарта на мировой рынок выполняют американские фирмы, поддерживаемые правительством США, его государственными организациями (ФБР, Министерство обороны, Секретная служба США, федеральные комитеты связи, полиции). Комплект спецификаций стандарта предоставляется членам APCO, другие страны могут получить их через TIA.

Разработка APCO-25 ведется с конца 1989 г. В 1995–1998 гг. были приняты базовые спецификации стандарта и начато производство и продажа оборудования APCO-25, фаза 1. Основными производителями оборудования стандарта APCO-25 являются американские компании Motorola, EF Johnson, RACAL, RELM, а также австралийская ADI Ltd. Из тридцати двух спецификаций стандарта опубликовано тридцать, в том числе спецификации по радиоинтерфейсу; речевому кодеку; модемам и т. д. В России стандарт активно лоббируют Motorola и ADI Ltd, планируется организация выпуска МС в интересах МВД РФ.

Стандарт APCO-25 в части основных спецификаций является открытым и ориентирован на конфигурацию сетей в интересах служб общественной безопасности и в меньшей мере в интересах систем общего пользования. Стандарт имеет ограничения по емкости и связности сети, не рассчитанной на большое число разнородных групп пользователей.

Для пакетной передачи информации используются протоколы X.25, SNA, а также TCP/IP (через специальный сетевой шлюз).

Конфиденциальность связи основана на криптографическом шифровании передаваемой по радиоинтерфейсу информации, аутентификации абонентов и сообщений, а также продуманной системе управления ключевой информацией.

16.4. Технологии построения пейджинговых сетей связи

16.4.1. Особенности технологий пейджинговой связи

Технологии пейджинговой связи (от английского глагола «*to page*» – «*вызывать*») в отличие от технологий сотовой, транкинговой и спутниковой связи, получили свое название в соответствии с их предназначением, а не в соответствии с ключевой особенностью их технической реализации. При этом довольно точным эквивалентом названия «пейджинговая система» является русскоязычное название «система персонального вызова» (СПВ) или, с оттенком технической особенности, «система персонального радиовызова» (СПРВ). Будем далее для однообразия с названиями ранее рассмотренных сетей подвижной радиосвязи, ССПС и ТСПС – называть СПВ также «пейджинговыми системами подвижной связи» (ПСПС) [7].

Основная проблема реализации ПСПС заключается в обеспечении передачи для ПА требуемых сообщений с заданным качеством (достоверно и своевременно) и с минимальными затратами. Изначально невысокие требования к объему и своевременности пейджинговых сообщений позволили создать относительно недорогие и для пользователей и для операторов СПВ, пик спроса на которые пришелся на середину-конец 90-х годов. Однако в дальнейшем по мере удешевления услуг сотовой связи, позволяющей передавать не только короткие буквенно-цифровые сообщения (SMS), но и графику, и видео, и, естественно, речь, причем в обе стороны, спрос на пейджинговую связь несколько угас. Однако вряд ли ПСПС исчезнут совсем, в крайнем случае, они будут интегрированы в другие технологии или займут свою нишу среди непритязательных пользователей, а также среди пользователей, решающих

специфические задачи с использованием услуг персонального вызова. К последним можно отнести и пользователей военных ТКС.

Примерный состав и структура типовой пейджинговой системы показан в составе концептуальной модели зоновых СПР на рис. 16.2 внизу справа. На рисунке показана структура простейшей однозоновой ПСПС, включающая диспетчерский пункт с пейджинговым терминалом и пейджинговый передатчик (мощностью более 100 Вт) с антенной, размещаемой на высокой мачте (более 100 м), чаще всего, телевизионной. Пейджеры (абонентские радиоприемники) размером со спичечный коробок без внешних антенн имеют обычно чувствительность от 5 до 10 мкВ/м в зависимости от скорости принимаемых сообщений (от 512 бит/с до 2,4 кбит/с и более).

Пейджинговый терминал – это основное интеллектуальное устройство диспетчерского пункта, получающее из ТФОП (вручную с устройства ввода оператора) или из сети Интернет (автоматически с входного устройства связи) адрес абонента и сообщение и выдающее сформированный сигнал в определенном формате непосредственно на передачу. Пейджинговый терминал является главной частью системы персонального радиовызова и определяет ее основные параметры.

Характеристиками терминала являются:

количество поддерживаемых системой абонентов;

пейджинговые протоколы передачи;

возможность управления одним или несколькими передатчиками;

подключение вынесенного места оператора.

Функциональное назначение терминала – хранение в энергонезависимой памяти базы данных абонентов и преобразование поступающей от устройства ввода данных информации в низкочастотный сигнал пейджингового формата. Большинство пейджинговых терминалов в качестве устройства ввода используют персональный компьютер или сервер локальной сети персональных компьютеров. Обычно информация на терминал передается с персонального компьютера через стык RS232. Простейшие терминалы рассчитаны на работу с одним передатчиком, находящимся в непосредственной близости от терминала, а при наличии дополнительных устройств – и с удаленным, управляемым по каналу связи.

Современные пейджинговые технологии позволяют построить систему любого размера – от локальной офисной до национальной.

Локальные пейджинговые системы предназначены для организации связи внутри зданий и на прилегающих к ним территориях. Типичные области их применения: гостиницы, больницы, аэропорты. Они позволяют быстро передать информацию сотруднику независимо от места его нахождения, что намного повышает эффективность работы. Состав оборудования такой системы диктуется ее масштабами. Сердце системы – пейджинговый терминал. Он преобразует передаваемую информацию в специальные сигналы и управляет маломощным передатчиком с выходной мощностью до 5 Вт (иногда терминал и передатчик объединяют в одном корпусе). Для ввода сообщений в простейших моделях терминалов используют встроенную клавиатуру. Более совершенные модели позволяют подключать персональный компьютер. Все оборудование, как правило, размещают у секретаря или диспетчера. Эффективность использования локальной системы будет еще больше, если приобрести сетевое программное обеспечение и установить его на все персональные компьютеры организации. Это позволит отправлять сообщения, не прибегая к помощи оператора.

Многие предприятия имеют свою собственную АТС и телефоны с тональным набором номера. В этом случае сообщения (правда, только цифровые) можно отправлять с клавиатуры телефона. Городские пейджинговые системы имеют больший радиус действия (десятки километров) и большее количество абонентов (несколько тысяч), чем локальные. Как правило, это коммерческие системы, хотя до такого уровня могут вырасти

и ведомственные системы крупных предприятий. Выходная мощность передатчиков таких систем 150–300 Вт. Они оборудуются эффективными антеннами с большой высотой подвеса (телевышки и т. п.). Сообщения принимаются операторами по телефону и вводятся при помощи пультов, связанных между собой локальной сетью. Специальное программное обеспечение передает все сообщения на терминал. Система может также иметь специальные входы для автоматической отправки сообщений без оператора, путем приема сообщений по электронной почте или связи с другими такими же системами.

Региональные пейджинговые системы. Не смотря на значительную стоимость оборудования, городская система в рассмотренной выше конфигурации является очень простой. Основной проблемой при построении многозоновой системы является интерференция сигналов соседних передатчиков. Для устранения этого эффекта применяется либо *синхронное вещание* (simulcast-системы), либо *временное разделение*.

В simulcast-системах передатчики работают синхронно и пейджер «не замечает» их взаимного влияния. Это позволяет достичь максимальной емкости. Платой за это является высокая цена аппаратуры и очень высокие требования к каналам связи. Существует также вариант построения simulcast-систем при управлении передатчиками на частоте служебного канала, но это требует наличия самой частоты и ограничивает размеры системы зоной прямой радиовидимости с места установки центральной станции системы.

При временном разделении цикл работы системы разбивается на несколько временных окон, и каждому передатчику выделяется свое окно. Благодаря этому в зоне действия нескольких передатчиков пейджер в каждый момент времени принимает сигнал только одного из них. Это упрощает требования к аппаратуре и к каналам связи, но снижает максимальную емкость системы.

Существует также вариант построения региональной системы – с *применением пейджинговых репитеров* (повторителей). В этом случае каждая базовая станция оборудуется не только передатчиком, но и приемником пейджинговых сообщений. Во время передачи сигналов соседними станциями сообщения принимаются приемником и накапливаются в специальном буфере, а во время своего временного окна базовая станция передает их дальше. Благодаря этому отпадает необходимость в дополнительных каналах связи.

16.4.2. Характеристика стандартов пейджинговой связи

Характеристики основных стандартов пейджинговой связи приведены в табл. 16.4.

Отдельное направление развития технологий ПСПС связано с использованием сигналов радиовещательных станций в УКВ-диапазоне. Для этих целей специально разработан многоцелевой пейджинговый стандарт RDS для аналоговых систем радиовещания и многофункциональный стандарт DAB для цифровых систем.

16.4.3. Технологии построения пейджинговых сетей связи стандартов POCSAG, ERMES, FLEX, RDS

Стандарт POCSAG (Post Office Code Standardisation Advisory Group) был разработан Почтовым ведомством Великобритании в 1978 г. В 1982 г. он был утвержден МККР и МСЭ как международный стандарт, получивший официальное название в документах МККР – протокол RPC 1 (Radio Paging Code № 1). Первоначально стандарт предназначался для передачи тональных сообщений со скоростью 512 бит/с, но уже через год (в 1979 г.) он был адаптирован для передачи цифровых и буквенно-цифровых сообщений. Для кодирования передаваемых сообщений применяется частотная манипуляция (FSK).

Таблица 16.4

Характеристики стандартов пейджинговой связи

Протокол	Вид связи	Рабочая частота, МГц	Скорость передачи	Полоса канала, кГц	
				в прямом направле-нии	в обратном направлении
POCSAG	односторонний пейджинг: цифровой и буквенно-цифровой	любая пейджинговая частота	512, 1200, 2400 бит/с	25	-
ERMES	односторонний пейджинг: цифровой и буквенно-цифровой	169,425 ... 169,800	6250 бит/с	25	-
FLEX	односторонний пейджинг: цифровой и буквенно-цифровой	любая пейджинговая частота	1600, 3200, 6400 бит/с	25	-
ReFLEX 25 Двусторон-ние сообщения	двусторонний пейджинг: короткие сообщения	прямой канал: 930...932, 940...941; обратный канал: 901...902	1600, 3200, 6400 бит/с	25	12,5
InFLEXion VOICE 7подкана-лов	двусторонний речевой пейджинг с подтвержде-нием	прямой канал: 930...931, 940...941; обратный канал: 901...902	компрессионная цифровая речь	50	12,5
InFLEXionDA TA 7подкана-лов	двусторонний пейджинг: передача данных	прямой канал: 930...931, 940...941; обратный канал: 901...902	4; 8; 12; 16 кбит/с в одном подканале	50	12,5

Большая популярность стандарта POCSAG объясняется преимуществами разработанного протокола, который имеет относительно большую скорость передачи информации и эффективный алгоритм исправления ошибок. Впоследствии протокол был адаптирован для скоростей 1200 бит/с, а в начале 90-х годов – для скоростей 2400 бит/с. Для повышения скорости передаваемых сообщений и увеличения числа пользователей был разработан более совершенный вариант данного стандарта – Super POCSAG (S-POCSAG), которым в последнее время пользуется большинство пейджинговых компаний [7].

В однонаправленной сети POCSAG-сообщения передаются пакетами, при формировании которых используется метод прямого исправления ошибок на основе избыточности с помощью специального циклического блочного кода.

Когда сообщение в нем отсутствует, то вместо адреса передается «незанятое» кодовое слово, имеющее определенный формат. Адресная емкость протокола POCSAG равна 2 097 152 адресам.

В соответствии с алгоритмом передачи информации пейджеры не анализируют все передаваемые сообщения, а лишь читают заголовки и обрабатывают сообщения, адресованные им. Это значительно снижает энергопотребление пейджеров, работающих в стандарте POCSAG.

Благодаря широкому применению стандарта POCSAG во многих странах легко решается проблема роуминга, так как используется единый стандарт, что позволяет работать на несущей частоте диапазона метровых (146–174 МГц) и дециметровых (403–470 МГц) радиоволн.

Широкое распространение и освоенность отечественной промышленностью открытого стандарта пейджинговой связи POCSAG позволили использовать его в СПР военного назначения при создании оборудования локальной пейджинговой связи в составе КТС Р-169 «Гранит-В».

Стандарт ERMES (European Radio Message System) был утвержден ETSI в 1992 г. в качестве общеевропейского стандарта ETS 300-133. В 1994 г. МСЭ рекомендовал использовать ERMES в качестве международного стандарта пейджинговой радиосвязи. Основное достоинство стандарта ERMES состоит в том, что он полностью совместим с европейским стандартом GSM сотовой радиосвязи.

В соответствии с Концепцией развития систем персонального радиовызова в России решением ГКРЧ в 1995 г. протокол ERMES рекомендован в качестве единого на всей территории страны. Этот протокол позволяет осуществить роуминг (возможность принимать сообщения на один и тот же пейджер) с любой системой, использующей ERMES в пределах Европейского сообщества (ЕС).

Данный стандарт поддерживает буквенно-цифровой пейджинг с использованием символов кириллицы, а также режим прозрачной ПД. СПР на основе высокоскоростного протокола ERMES предоставляют пользователям возможность передачи: цифровых сообщений (20–1600 знаков); буквенно-цифровых сообщений (400–900 символов); произвольного набора данных объемом до 64 кбит.

В цифровых сетях ERMES передача сообщений осуществляется пакетами со скоростью 3 или 6,4 кбит/с. Для этих целей ЕС выбран единый частотный диапазон 169,425–169,800 МГц, который позволяет организовать 16 радиоканалов с разносом несущих частот 25 кГц.

Стандарт FLEX (Flexible Wide-area Protocol) был разработан в 1993 г. компанией Motorola с целью повышения пропускной способности СПВ. Благодаря рациональному распределению информационных пакетов во времени передача сообщений осуществляется на трех скоростях: 1600, 3200, 6400 бит/с, что позволяет увеличить количество абонентов в одной системе до 3,5 млрд.

Максимальная скорость передачи сообщений в стандарте FLEX составляет 6400 бит/с, что в пять раз больше, чем в стандарте POCSAG.

В последние годы на основе стандарта FLEX создается семейство высокоскоростных протоколов ReFLEX и InFLEXion, которые расширяют возможности СПР.

Протокол ReFLEX предназначен для организации двухсторонней цифровой передачи сообщений, т. е. передача сигналов подтверждения осуществляется пейджером на частоте 901-902 МГц. Предусмотрена также высокоскоростная передача сообщений (от 12 800 до 25 600 бит/с). Пейджеры, поддерживающие подобный двухсторонний режим работы называют твейджерами.

Протокол InFLEXion предусматривает еще большую скорость передачи сообщений – 112 кбит/с, что позволяет более чем в 10 раз увеличить пропускную способность системы и, соответственно, число абонентов. Кодирование сообщений в протоколах производится при помощи четырехуровневой FSK. Сообщения формируются в пакеты фиксированной длины и передаются в режиме РВ.

Стандарт RDS (Radio Data System) предназначен для передачи пейджинговых сообщений по каналам радиовещания ЧМ в диапазоне УКВ. В 1983 г. стандарт RDS был принят членами Европейского радиовещательного союза (EBU) в качестве единого

многоцелевого стандарта, используемого при передаче в сетях радиовещания и телевидения (радиовызов на поднесущей вещательного диапазона).

Для передачи информации в диапазоне 87,5–108 МГц со скоростью 1187,5 бит/с используется специальная поднесущая частота 57 кГц – третья гармоника пилот-сигнала в стереоканале на частоте 19 кГц. На частотно-модулированной поднесущей передаются несколько потоков двоичной информации, каждый из которых соответствует определенному режиму.

Технология RDS задумывалась, в первую очередь, как цифровой канал сопровождения радиопередач. Но возможности существующего стандарта RDS значительно шире, и в его рамках могут быть реализованы по меньшей мере 15 различных видов услуг. Среди них идентификация радиопрограмм, прием информации о дорожном движении, радиотекст, прозрачный канал данных для передачи сообщений непосредственно на компьютер и многое другое. Одной из служб на основе RDS-технологии является радиопейджинг.

Для передачи сообщений от диспетчерских узлов до передатчиков используется протокол TNPP (Telocator Network Paging Protocol), используемый и в сочетании с другими пейджинговыми технологиями.

В стандарте RDS используются специальные пейджеры, имеющие внутренний сканер, отслеживающий сигналы, передаваемые в УКВ-диапазоне. Такие пейджеры позволяют очень просто осуществлять роуминг в любом городе, если там имеется RDS-оператор. Во всех пейджерах данного стандарта заложена функция автоматического поиска сигналов БС. Поэтому после включения такой пейджер начинает свою работу с пошаговой перестройкой по частоте во всем доступном диапазоне для отыскания RDS-сигнала и после его нахождения сразу готов к приему сообщений. Таким образом, передача сигналов в СПР на различных радиочастотах не является помехой для реализации автоматического роуминга.

Для пользователя RDS-пейджинг обходится несколько дороже, чем избирательный вызов на основе кода POCSAG. Он имеет более широкие функциональные возможности и легче реализуем, если вещательная сеть сформирована. Но, к сожалению, RDS-пейджинг внедряется, отставая на шаг от развития сети радиовещания. В этом заключается один из недостатков этой технологии. Ведь сети на основе POCSAG, ERMES и FLEX развиваются независимо.

16.5. Технологии построения спутниковых сетей связи и навигации

16.5.1. Особенности технологий спутниковой связи и навигации

Стремительный прогресс в развитии спутниковой связи и навигации впервые позволил реализовать на практике идею поистине глобального информационного обмена в масштабе всей Земли. Несомненные преимущества систем спутниковой связи (ССС) – большая пропускная способность, глобальность действия и высокое качество связи – обусловили интенсивное развитие ССС. А удобство и простоту использования спутниковых систем навигации по достоинству оценили не только моряки и летчики, но и водители автомобилей и пешеходы. Поэтому дальнейшее развитие информатизации общества без спутниковой связи и навигации видится просто немыслимым.

Однако в данном подразделе нас в основном будет интересовать спутниковая связь (и навигация) не вообще, а как одно из средств решения проблемы обеспечения связью подвижных абонентов. При этом в центре внимания будут технологии построения сетей глобальной персональной подвижной спутниковой связи (СГППСС). Подобная громоздкая, но точная по смыслу аббревиатура есть и в англоязычной литературе по данной тематике [8]: GMPCS (*Global Mobile Personal Communications by Satellite*) – глобальная персональная система мобильной спутниковой связи.

Наряду с дублированием наземных систем связи существуют ситуации, в которых без спутниковой связи (и навигации) не обойтись:

связь с морскими объектами и навигация на всей поверхности Земли;

связь в районах с низкой плотностью населения (при слаборазвитых наземных сетях);

связь между удаленными районами при отсутствии (или пропадании) наземной связи.

В настоящее время имеется несколько десятков крупных спутниковых систем, располагающих собственными спутниками. Конфигурация систем СС существенно зависит от типа искусственных спутников Земли (ИСЗ), параметров земных станций (ЗС), ведомственной принадлежности ССС и вида связи.

Для построения систем СС используются в основном следующие разновидности ИСЗ: на высокой эллиптической орбите (HEO), на геостационарной орбите (GEO, высота орбиты H = 36 тыс. км), на средневысотной орбите (MEO, высота орбиты H = 10 … 20 тыс. км) и на низковысотной орбите (LEO, высота орбиты H = 700 … 2000 км).

В зависимости от типа ЗС ССС делятся на стационарные и подвижные. В стационарных ССС ЗС расположены в определенных пунктах, а в подвижных – на сухопутных, морских, воздушных транспортных средствах или имеют вид обычного радиотелефона.

ССС по обслуживаемой территории, размещению и принадлежности земных станций (ЗС), структуре управления подразделяются на международные (глобальные или региональные), национальные и ведомственные.

По виду передаваемой информации ССС подразделяются на телевизионные, радиовещательные, навигационные, передачи данных, многоканальной телефонии и др.

В зависимости от назначения системы СС и типа земных станций регламентом МСЭ различаются следующие службы спутниковой радиосвязи:

фиксированная спутниковая служба для связи между станциями, расположенными в определенных фиксированных пунктах, а также для распределения телевизионных программ;

радиовещательная спутниковая служба для непосредственного приема радио и телевизионных программ на терминалы, находящиеся у населения;

подвижная спутниковая служба для связи между подвижными станциями, размещаемыми на транспортных средствах (самолетах, морских судах, автомобилях и др.).

Технологии спутниковых систем связи до середины 80-х годов развивались в направлении обеспечения телевизионного вещания и организации магистральных линий телефонно-телеграфной связи с использованием крупных стационарных ЗС, аналоговых методов передачи информации и прямой ретрансляции без коммутации сигналов на борту.

Со второй половины 80-х годов в развитии спутниковой связи наметились новые тенденции:

переход к системам непосредственного телевизионного вещания. С их помощью передача ТВ программ осуществляется непосредственно в места расположения пользователей на малые приемные антенны, установленные, например, на крышах и стенах зданий;

создание в рамках служб фиксированной связи сетей малоапертурных станций типа VSAT, рассчитанных на расширение пользовательской аудитории (корпоративные и частные сети деловой связи), в т. ч. предоставление асимметричного доступа в Интернет (передача на низкой скорости «по земле» и прием на большой скорости с ИСЗ);

создание служб подвижной связи (морская, воздушная и сухопутная);

переход к цифровым методам передачи информации и расширение видов предоставляемых услуг (телефон, телефакс, передача данных, электронная почта, видеоконференцсвязь) на скоростях 1,2–9,.6 кбит/с, реже – до 64 кбит/с и больше;

повышение использования ресурса геостационарной орбиты по пропускной способности путем применения многолучевых ретрансляторов и многократного использования частот в диапазонах 4/6 и 11/14 ГГц;

освоение диапазона частот 20–30 ГГц с дополнительным увеличением пропускной способности;

повышение качества и оперативности связи благодаря межствольной (межлучевой) коммутации сигнала на борту спутника и т. д.

Следует отметить, что для радиосвязи с малогабаритными подвижными персональными ЗС специфическими проблемами использования ИСЗ, удаленных от Земли до 40 тыс. км, является низкий уровень сигналов и малое пространственное разрешение.

Данные проблемы в последние годы решаются следующими технологическими способами:

использование высокоэффективных методов формирования и обработки сигналов, позволяющих работать при низких отношениях сигнал/шум (до 3–6 дБ);

создание спутников-ретрансляторов с многолучевыми активными фазированными антенными решетками (АФАР). Применение АФАР позволяет формировать узкие диаграммы направленности лучей с электронным управлением их конфигураций и практически мгновенным перенацеливанием на различные зоны обслуживания. Таким образом, обеспечивается высокая энергетика лучей, облегчающая создание небольших абонентских станций с минимальными массогабаритными характеристиками, и многократное использование частот;

развертывание ССС на базе низкоорбитальных космических аппаратов (КА). Это направление открывает огромные возможности для включения в мировое информационное пространство многомиллионного контингента пользователей, нуждающихся в портативных индивидуальных средствах связи, особенно в удаленных и труднодоступных районах со слаборазвитыми наземными средствами связи. Интерес к системам на основе низколетящих спутников вызван актуальностью персональной связи и создания СГППСС.

В состав любой спутниковой системы связи (см. рис. 16.7) входят следующие составляющие:

космический сегмент, состоящий из нескольких спутников-ретрансляторов;

наземный сегмент, состоящий из технологического сегмента (центра управления системой, центра запуска космических аппаратов, командно-измерительных станций, центра управления связью) и сегмента сопряжения;

пользовательский (абонентский) сегмент, осуществляющий связь при помощи персональных спутниковых терминалов;

наземные сети связи, с которыми через интерфейс связи сопрягают шлюзовые станции спутниковой связи.

Быстрое развитие спутниковых систем связи потребовало разработки и принятия ряда международных конвенций, соглашений и норм. Технические вопросы, связанные с использованием частот и расположением спутников-ретрансляторов на орбитах, обеспечивающих отсутствие взаимных помех друг другу, решаются в рамках Международного консультативного комитета по радио (МККР) и Международного комитета по регистрации частот (МКРЧ). Для спутниковых систем выделены полосы частот, представленные в табл. 16.5. Причем для навигации используется в основном диапазон L.

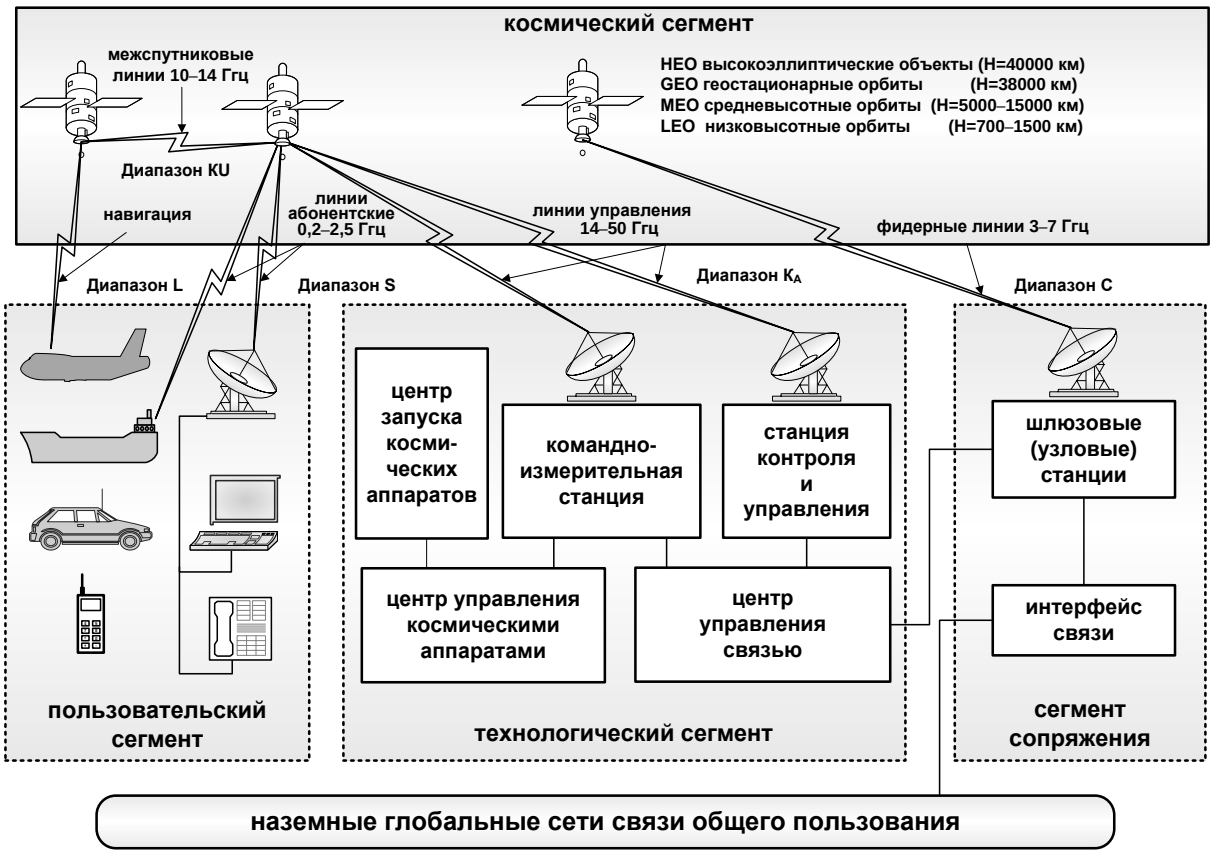


Рис. 16.7. Структура и элементы СГППСС

Успехи в космических технологиях последних лет, а также достижения в микроэлектронике, в сжатии спектра речевых сигналов и разработке лазерных линий межспутниковой связи вызвали большой интерес к использованию легких низколетящих ИСЗ для построения СГППСС.

Таблица 16.5

Диапазоны частот спутниковых систем связи

Наименование диапазона	Полоса частот, ГГц
L	1,452–1,500 и 1,61–1,71
S	1,93–2,70
C	3,40–5,25 и 5,725–7,075
Ku	10,70–12,75 и 12,75–14,80
Ka	14,40–26,50 и 27,00–50,20
K	84,00–86,00

Интерес к ним обусловлен тем, что запуск легкого ИСЗ на низкую орбиту может быть осуществлен в срок до 48 ч с нестационарных пусковых установок (без дорогостоящего обслуживающего персонала) с помощью недорогих ракетных носителей. Ожидается, что основными потребителями легких ИСЗ станут страны, которым в короткие сроки необходимо развернуть недорогую ССС, обеспечивающую связь с портативными абонентскими станциями, имеющими ненаправленные антенны, а также системы связи с подвижными объектами.

Известно, что системы связи с использованием спутника на низких орбитах (НО), имеют благодаря существенно меньшему (в 50 раз) расстоянию от Земли до спутника

некоторые преимущества перед системами на геостационарных спутниках: меньшее запаздывание и затухание сигнала на трассе и более простой вывод спутника на орбиту.

В тоже время необходимо отметить основные недостатки:

во всех случаях для глобального и регионального покрытия необходимо изготовить и вывести на орбиту несколько десятков спутников;

зона обслуживания каждого спутника невелика, что создает проблему соединения между абонентами разных зон.

Энергетические преимущества НО-систем позволяют решать с их помощью задачу подвижной персональной спутниковой связи, т. е. расширить действие сотовых систем, вывести их за пределы действия наземных. Рассматривается и возможность использования НО-систем для фиксированной спутниковой службы с передачей цифровых потоков высокой скорости (система Teledesic, США).

В 90-е годы создание НО-систем шло полным ходом. В США (с участием европейских фирм) наиболее активно реализовывались системы Iridium и Globalstar. В России также активно велись работы по созданию собственных НО-систем: «Гонец», «Сигнал» и др.

16.5.2. Характеристика стандартов спутниковой связи

В настоящее время существует большое множество (несколько десятков) проектов (как отечественных, так и зарубежных) систем спутниковой связи, включая проекты СГППСС. Однако большая часть данных проектов из-за технической сложности и (или) из-за экономических проблем так и осталась на бумаге. Эйфория 90-х годов от предчувствия близости широкомасштабного использования низкоорбитальных СГППСС после банкротства компаний, предоставляющих услуги двух крупнейших ССС Iridium и Globalstar, сменилась пессимистическими настроениями в части перспектив глобальных СГППСС и надеждой на региональные системы персональной спутниковой связи типа: ACeS (Asia Cellular Satellite, Индонезия), APMT (Asia Pacific Mobile Telecommunications, Сингапур, Индонезия), AGRANI (Afro-Asia Satellite Communications Ltd., Великобритания, Индия), Celstar (Celstar Inc., США), THURAYA (Thuraya Satellite Telecommunications Co., Объединенные Арабские Эмираты), японского ИСЗ ETS-VIII и др. Все указанные проекты ориентируются на использование геостационарных спутников над «обслуживаемой» территорией с увеличенным энергетическим потенциалом радиолиний за счет антенных систем с большим количеством узких лучей.

На фоне неудач и задержек реализации новых проектов продолжает развиваться ССС морской спутниковой связи Inmarsat (International Maritime Satellite Telecommunications), которая была создана еще в 1979 году, и в настоящее время предлагает современные услуги цифровой спутниковой связи на базе геостационарных спутников для любых мобильных абонентов.

Предпринимаются попытки пойти на компромисс между высокими и низкими орбитами и создать СГППСС на базе средневысотных ИСЗ. Примерами таких систем являются проекты Inmarsat-ICO, Odissey и др.

В табл. 16.6 приведены характеристики шести наиболее известных и уже опробованных на практике зарубежных и отечественных стандартов СГППСС, построенных на базе низко- и среднеорбитальных ИСЗ.

16.5.3. Технологии построения спутниковых сетей связи стандартов Inmarsat, Iridium, Globalstar, GMR

Одной из первых систем спутниковой связи, предназначенной для работы подвижных (морских) объектов, является *система спутниковой связи Инмарсат (Inmarsat).*

Таблица 16.6

Системы глобальной подвижной персональной спутниковой связи (с КА на низких и средневысотных орбитах)

Параметры системы	**Iridium**	**Globalstar**	**Inmarsat-ICO**	**Thuraya**	**Odyssey**	**«Сигнал»**	**«Гонец»**
Число КА	66	48	10	2	12	48	45
Число орбит	6	8	2	2	3	8	5
Число КА на орбите	11	6	5	1	4	6	9
Тип орбиты	LEO	LEO	MEO	GEO	MEO	LEO	LEO
Высота орб., км	780	1389	10335	36000	10354	1500	1400
Наклон., град	86	52	45	44; 86	55	74	83
Масса КА, кг	317	250	1400	3200	1900	300	225
Зона обслуж. (по широте), град	0…90	0…72	0…90		0…90	27…90	0…90
Предостав-ляемые услуги	ТЛФ, ПД	ТЛФ, ПД	ТЛФ, ПД	ТЛФ, ПД, SMS, GPS	ТЛФ, ПД	ТЛФ, ПД	ПД, эл. почта, ТЛФ (в зоне)
Сумм. мощн. ПРД на КА, Вт	120	1000	600	8000	200	150	40
Число лучей	48	16	85	300	61	11	1
Число каналов на КА	2500	2600	4000	13750		220	
Метод доступа	МДВР-МДЧР МДПР	МДКР-МДЧР МДПР	МДВР-МДПР	МДВР-МДЧР	МДКР-МДПР	МДКР-МДЧР	МДВР-МДЧР МДПР
Связь между зонами	меж-спутни-ковая	через станцию сопряжения	через станцию сопряжения	комму-тация на борту КА; через станцию сопряже-ния	через станцию сопряже-ния	через станцию сопряже-ния	перенос на КА с запоми-нанием
Число станций сопряжения	25	200	12	2	7	6	

Организация морской спутниковой связи Inmarsat (International Maritime Satellite Telecommunications Organization) была создана в 1979 году. Первая глобальная спутниковая система подвижной связи Inmarsat-A была введена в эксплуатацию организацией Inmarsat в 1982 году. Россия является полноправным членом этой влиятельной международной организации. Первоначальное предназначение системы заключалось в обеспечении надежной связью морских судов, находящихся в плавании. Позднее ее стали использовать также сухопутные и воздушные службы. Однако уже тогда было очевидно, что вследствие использования дорогостоящей специальной аппаратуры и высоких тарифов, число коммерческих пользователей этой системы будет ограничено.

Международная организация Inmarsat предоставляет на коммерческой основе услуги глобальной радиотелефонной, телексной, факсимильной связи, обмена данными и персонального радиовызова. Организация Inmarsat имеет статус международной. Предоставляемыми системой услугами широко пользуются во многих странах исключительно в мирных целях.

Интересы стран в международной организации Inmarsat представляют уполномоченные правительствами ведущие государственные организации. В России

уполномоченным представителем организации Inmarsat является государственное предприятие Морсвязьспутник. Центр управления российского сегмента находится в Москве, а его филиал – в Санкт-Петербурге. Земные станции сопряжения на территории России размещены в Московской области (н. п. Нудоль) и в г. Находка.

В 1993 г. международная организация Inmarsat решила строить систему связи с использованием MEO и GEO орбитальных группировок. Решение было основано на результатах фундаментальных исследований факторов типа: стоимость, взаимодействие с системой, относительные сложность и риск, связанные с производством, внедрением и управлением большим количеством спутников.

В 1994 г. после всестороннего анализа было принято решение положить в основу системы связи концепцию MEO и провести дальнейшие исследования с целью разработки перспективной системы Inmarsat-P (ICO – см. табл. 16.6).

Система Inmarsat включает в себя несколько (5–6) постоянно действующих спутников-ретрансляторов, размещенных на геостационарной орбите, что позволяет полностью обслуживать акватории Атлантического, Тихого и Индийского океанов.

Число абонентов сети превышает 350 тыс. (морские – 58 %, наземные – 41 %, воздушные – 1 %). Стоимость абонентского терминала составляет 4,5–6 тыс. долл. США, цена трафика – 3–4 долл. США за одну минуту [10].

В состав сети Inmarsat входят:

наземный сегмент земных станций сопряжения (ЗСС);

мобильные абонентские терминалы (подвижные и носимые);

системы управления техническими средствами;

космический сегмент в составе действующих и резервных космических аппаратов (КА).

Космический сегмент сети включает девять КА на геостационарной орбите (ГСО), пять из которых обслуживают территорию Земли (за исключением приполярных районов), а четыре находятся в резерве или аренде. Высота размещения КА на ГСО 35 786 км. Зона покрытия сети подразделяется на четыре района:

восточная часть Атлантического региона (АОР-В) – код региона 871;

западная часть Атлантического региона (АОР-З) – код региона 874;

регион Индийского океана (ИОР) – код региона 873;

Тихоокеанский регион (ТОР) – код региона 872.

Наземный сегмент состоит из абонентских терминалов и земных станций сопряжения (ЗСС). ЗСС обеспечивают выход абонентов сети на наземные коммутируемые и арендованные линии связи.

В абонентских терминалах используется параболическая антенна диаметром 1,2 м (усиление антенны 20 дБ).

В процессе функционирования могут использоваться 339 частот с шагом 25 кГц.

В начале XXI века действовали пять систем связи, использующих геостационарные КА для обеспечения коммерческого обслуживания морских и сухопутных подвижных объектов: Inmarsat-A, Inmarsat-B, Inmarsat-C, Inmarsat-M и Inmarsat-D. Ожидается, что проектируемая система Inmarsat-P будет полностью интегрирована в наземные сотовые радиосистемы, что значительно повысит гибкость использования космического сегмента.

Принцип построения отдельных однозоновых систем СС на основе геостационарных спутников системы «Инмарсат» проиллюстрирован на рис. 16.8 [4].

В создании *системы глобальной спутниковой подвижной связи «Иридиум» (Iridium)* ведущая роль принадлежит фирме Motorola. В создании системы участвовал также ряд других крупных фирм, среди которых есть и отечественная организация – Государственный космический научно-производственный центр Хруничева.

Первоначально низкоорбитальные спутники использовались очень мало, т. к. они появлялись и исчезали из зоны видимости передатчика слишком быстро. Ситуацию

изменила новая идея фирмы Motorola, которая состояла в том, что на место исчезающего из вида спутника будет тотчас приходить следующий. Однако коммерческий спрос на большие и тяжелые телефоны спутниковой связи оказался незначительным, и в 1999 году Iridium объявили банкротом.

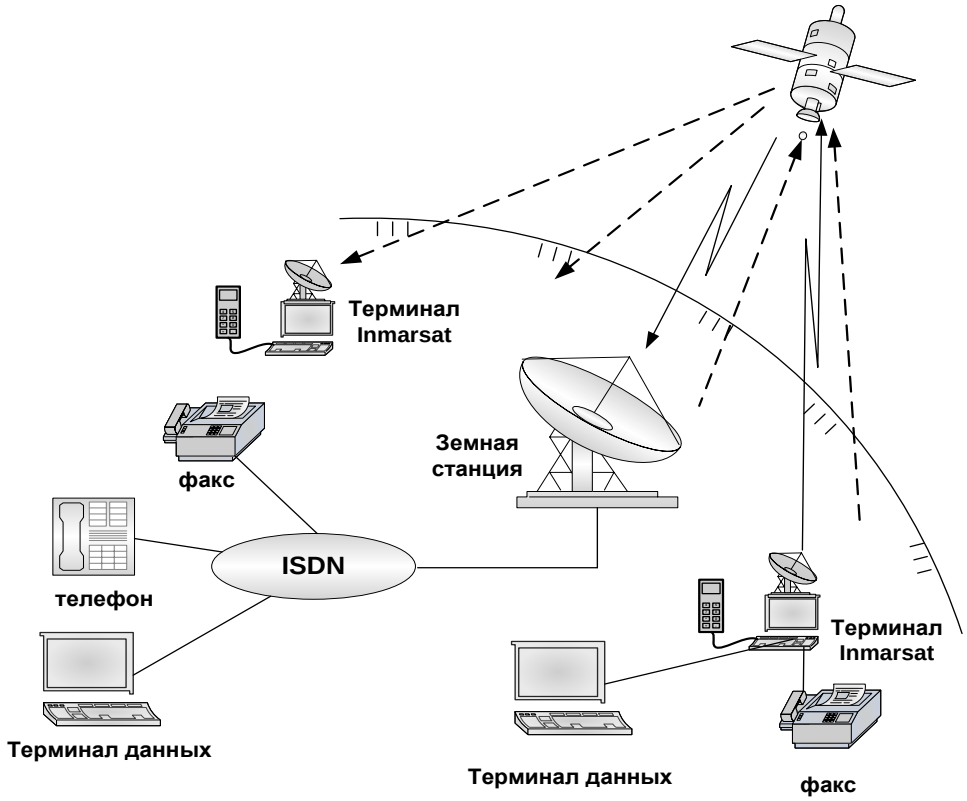


Рис. 16.8. Принцип построения ССС «Инмарсат»

Спутники, как и другое имущество (стоимостью $ 5 миллиардов), были проданы инвестору за $ 25 миллионов [11].

Проект Iridium был снова запущен в 2001 г. и продолжает расти. Система предоставляет связь с любой точкой земного шара при помощи ручных устройств, связывающихся напрямую со спутниками. На суше, на море, в воздухе можно передавать речь, данные, факсы, а также навигационную информацию. Основными клиентами Iridium являются судоходные, авиационные компании, фирмы, занимающиеся поиском нефти, а также частные лица.

В системе «Иридиум» реализован ряд сложнейших технологий: синхронно движущихся ИСЗ, межспутниковых линий передачи, многолучевых антенн; комбинированного доступа с разграничением сигналов по частоте, времени и пространству; обработки сигналов на борту, телефонной связи и передачи данных с помощью карманной абонентской радиостанции с персональным вызовом и др.

Основные характеристики системы «Иридиум» приведены в табл. 16.6.

Принцип построения многозоновых систем СС «Иридиум» проиллюстрирован на рис. 16.9. Особенности распределения частотных, временных и пространственных ресурсов сети показаны на рис. 16.10.

В системе Иридиум принят многостанционный доступ с частотно-временным разделением каналов FDMA/TDMA, для межспутниковых линий и станций сопряжения предусматривается диапазон частот 19...29 ГГц, для абонентских линий «Земля-ИСЗ» и «ИСЗ-Земля» – использование двух полос в диапазоне частот 1610...1626,5 МГц.

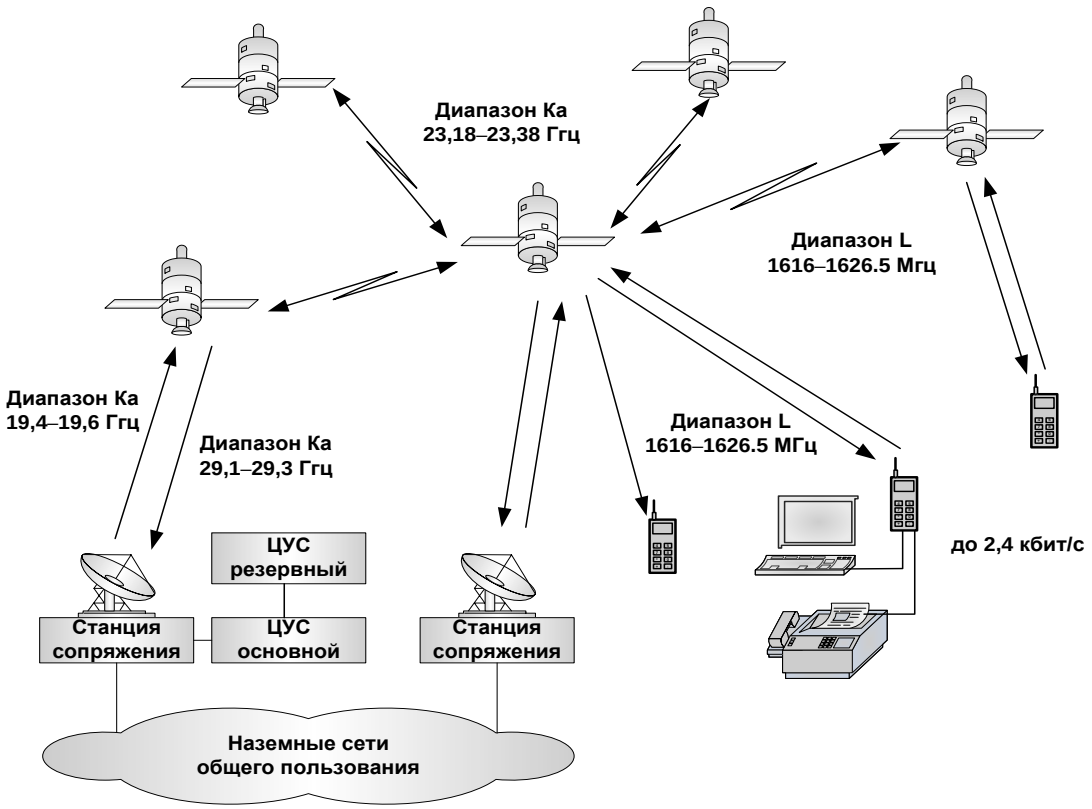


Рис. 16.9. Принцип построения ССС «Иридиум»

Система обеспечивает глобальный охват потребителей за счет использования большого количества малых ИСЗ-ретрансляторов, применения аппаратуры межспутниковой связи, а также сопряжения с наземными системами связи общего пользования. Кроме того, система может быть использована для определения местоположения потребителей с точностью около 2 км. Система может охватить связью до 1,5 млн. абонентов.

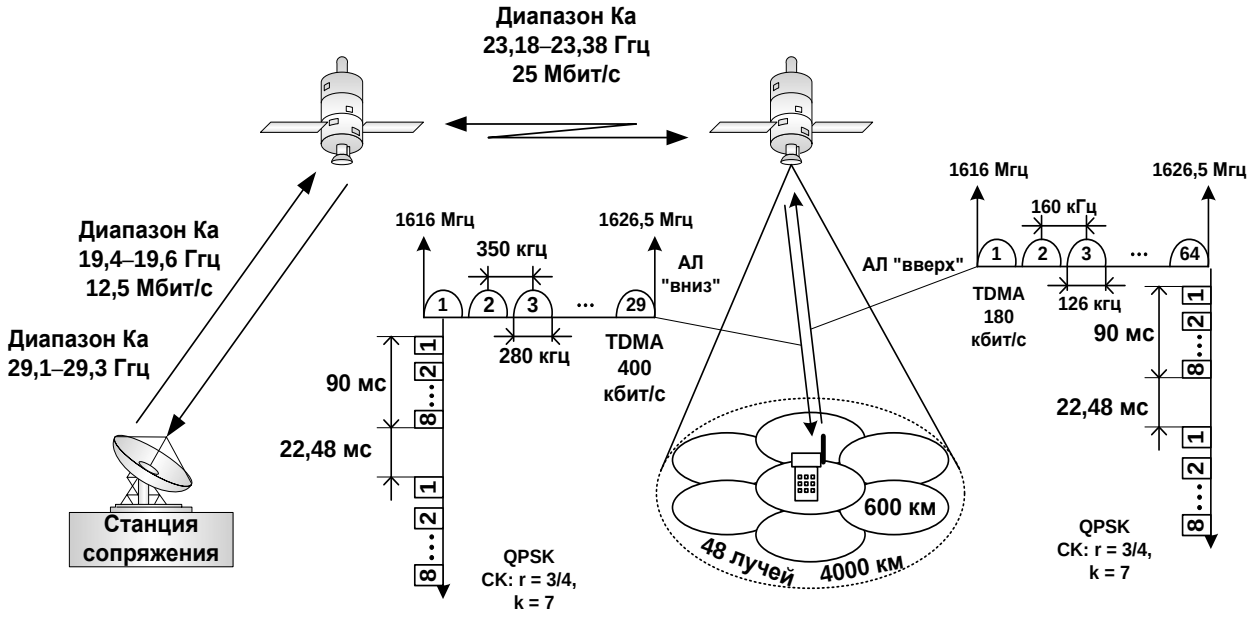


Рис. 16.10. Особенности распределения частотных, временных и пространственных ресурсов

Каждый ИСЗ на орбите связан радиолиниями с четырьмя соседними спутниками, находящимися с ним в одной и той же орбитальной плоскости, и в двух ближайших орбитальных плоскостях справа и слева.

Для этого используются радиолинии межспутниковой связи диапазона 22,25–23,55 ГГц с установкой на ИСЗ антенн типа «волноводно-щелевая решетка» с коэффициентом усиления 36 дБ и диаграммой направленности около 5,5 дБ.

Каждая межспутниковая линия с учетом статистического уплотнения (коэффициент сжатия – 2,2) имеет емкость 1300 телефонных каналов. Скорость передачи данных 25 Мбит/с, вероятность ошибки менее 10^{-5}.

В радиолинии «пользователь-ИСЗ» и обратно диапазона 1616–1626,5 МГц используется квадратурная фазовая манипуляция со сглаживанием спектра, режимы многостанционного доступа с временным и частотным разделением сигналов.

Средняя пропускная способность одного луча антенны ретранслятора (то есть «сотового» участка) составляет 174 полных дуплексных телефонных канала. Так, территория континентальной части США покрывается 40 «сотовыми» участками, что составляет 40×174 или 6960 дуплексных каналов. Максимальная емкость системы «Иридиум» составляет 283272 полных дуплексных телефонных канала из расчета, что вся поверхность Земли покрывается 1628 «сотовыми» участками.

Наземный элемент системы состоит из оперативного центра управления всей системой (Чэндлер, шт. Аризона), замыкающегося на станции непосредственного управления процессом организации связи и маневрированием ИСЗ на орбитах, сети контроля за работой бортовой аппаратуры спутников и наземных коммутационных узлов связи.

Станции контроля размещаются в Северном полушарии вдоль 52-й широты для обеспечения охвата максимально большого количества спутников и контроля работы их бортовой аппаратуры практически на каждом витке.

В системе планировалось использовать до 250 наземных коммутационных УС (НКУС), размещенных в различных районах земного шара и обеспечивающих связью абонентов через ИСЗ и сопряжение с локальными коммутаторами АТС общего пользования. На начальном этапе предполагается развернуть до 20 таких НКУС, из них два на континентальной части США и два в Канаде (три в России). Каждый НКУС оснащается 2 антеннами: параболической диаметром 3,5 м и типа «пассивная антенная решетка». Обе антенны осуществляют сопровождение ближайших 2 ИСЗ по командам, поступающим от комплекса управления системой.

Абонентское оборудование выполнено в виде портативных телефонных трубок с кнопочным номеронабирателем или телефонных терминалов, монтируемых на транспортных средствах, а также на объектах, в зданиях и т. п. Связь уверенно устанавливается при выходной мощности портативного телефонного аппарата-трубки порядка 7 Вт. Скорость передачи по радиолинии «пользователь-ИСЗ» – 180 кбит/с, «ИСЗ-пользователь» – 400 кбит/с. Практически все абонентское оборудование системы после небольшой доработки может быть использовано для определения местоположения пользователя с точностью около 2 км, в перспективе – до 100 м, при сопряжении с навигационной системой Navstar. Организация системы предусматривает установление уверенной связи за период времени 7,3 с. Среди услуг связи, предоставляемых абонентам системы: речевая связь, вызывная служба (пейджинг), факсимильная связь, передача цифровых данных и служба определения положения на местности.

Таким образом, развертывание системы «Иридиум» позволило бы мобильным абонентам использовать портативные радиотелефоны, поддерживающие связь через «созвездие» низкоорбитальных спутников, без мощных ретрансляторов и дорогостоящих наземных станций, либо через станции сотовой связи, если они присутствуют в данном месте.

Система глобальной спутниковой подвижной связи «Глобалстар» (Globalstar) разработана корпорациями Qualcomm и Loran, а также рядом других известных производителей телекоммуникационного оборудования.

Система основана на более простых (чем в системе «Иридиум») технических решениях.

В системе использован региональный принцип построения связи – выход каждого абонента на ближайшую земную станцию сопряжения и далее на существующую фиксированную сеть (в основном наземную). Этот принцип позволяет сделать систему частью национальной сети каждой страны, что привлекает администрацию связи, позволяя им получать доход от системы, а также делает трассу короткой для основной массы региональных (местных) соединений. С другой стороны, межрегиональные и международные соединения становятся зависящими от состояния наземных сетей. Такой принцип используется и в системе «Сигнал».

Основные характеристики системы «Глобалстар» приведены в табл. 16.6.

Принцип построения многозоновых систем СС на основе низкоорбитальных спутников системы «Глобалстар» проиллюстрирован на рис. 16.11. Особенности распределения частотных, временных и пространственных ресурсов сети показаны на рис. 16.12.

Система включает 48 ИСЗ на восьми орбитах высотой 1414 км и наклонением 52,5°. Межспутниковая связь не применяется, поэтому ИСЗ более просты и имеют вес 390 кг. Бортовая антенна формирует 16 лучей. Многостанционный доступ на спутник основан на кодовом разделении каналов CDMA. Радиосвязь между абонентами, находящимися в зонах обслуживания различных спутников, осуществляется с помощью сети ретрансляторов, находящихся на земных шлюзовых станциях. Последние соединены с сетями связи общего пользования. Для работы абонентских станций задействуется для линии «Земля–ИСЗ» участок диапазона частот в полосе 1610...1626,5 МГц, а линии «ИСЗ-Земля» – 2483...2500 МГц.

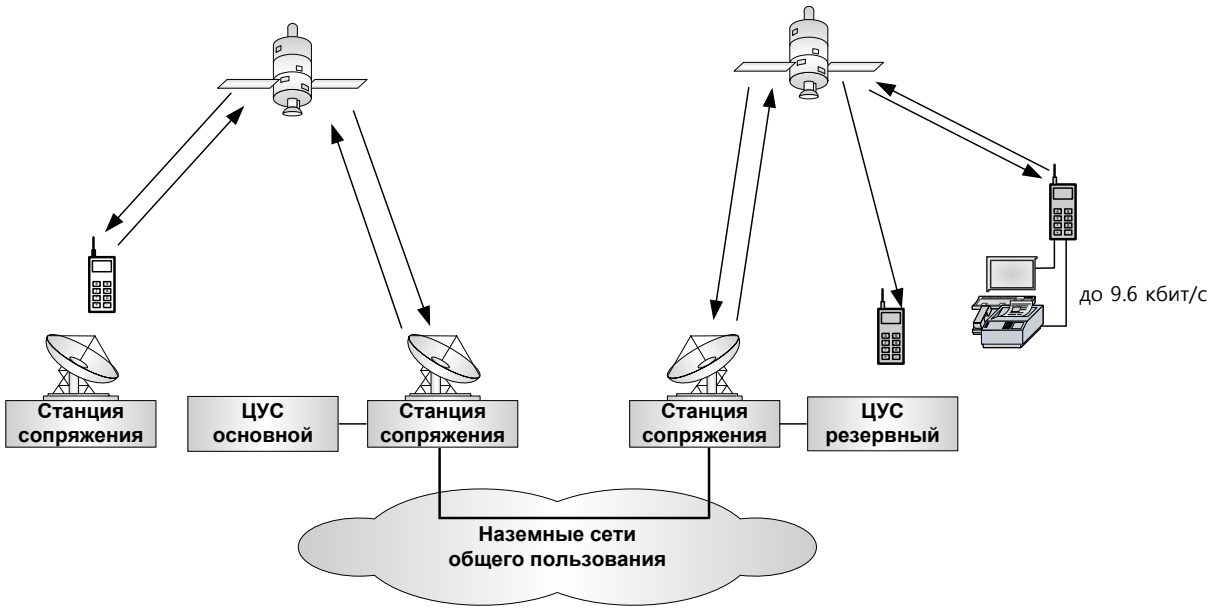


Рис. 16.11. Принцип построения ССС «Глобалстар»

Преимуществом технических решений Globalstar является то, что наиболее сложное оборудование устанавливается на поверхности Земли, а здесь с ним работать намного проще, чем на орбите. Использование мощных наземных антенн позволяет принимать слабый сигнал со спутника; значит можно уменьшать потребную мощность телефонов.

В результате телефоны передают сигналы с мощностью всего в несколько милливатт, которой тем не менее хватает для нормальной работы.

Однако, упрощение системы привело к потере важного ее качества – глобальности связи (исключаются полярные области и океанские районы, не имеющие шлюзовых станций).

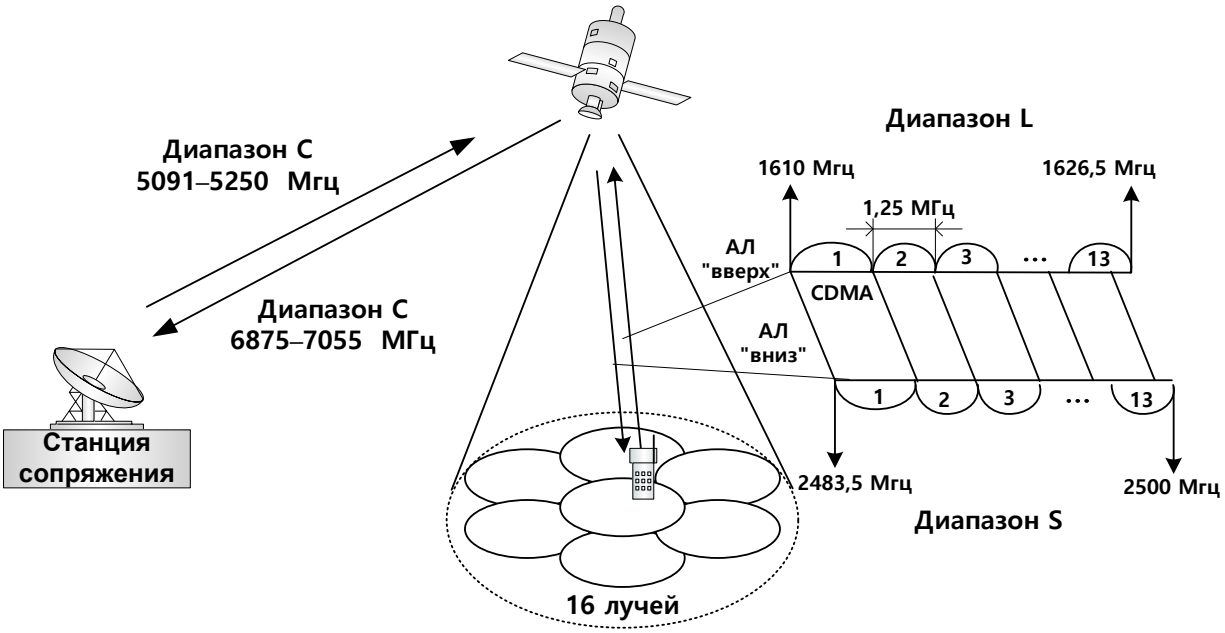


Рис. 16.12. Особенности распределения частотных, временных и пространственных ресурсов

В системе Globalstar исходный речевой сигнал преобразуется в цифровую форму с помощью адаптивного вокодера, создающего поток со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с. Переменная скорость на выходе адаптивного вокодера приводит к снижению средней скорости в канале до 2,4 кбит/с и к увеличению емкости системы.

Космическая группировка Globalstar построена так, чтобы обеспечить наилучшее обслуживание в средних широтах (США, Европа); 48 спутников на 8 орбитах с наклонением 52,5°. В районах севернее 65,5° с. ш. большую часть времени виден только один спутник, что лишает систему ряда ее преимуществ. После ряда неудач и не оправдавшихся надежд, связанных с низкоорбитальными системами спутниковой связи, альтернативу им составили геостационарные системы, компенсирующие низкую энергетику наземных персональных терминалов высокими коэффициентами усиления множества лучей бортовых антенных систем.

В первой половине 2001 года Европейский институт по стандартизации в сфере телекоммуникаций (ETSI) опубликовал первый выпуск полного набора спецификаций для систем персональной связи с использованием геостационарных спутников на базе стандарта *GMR (Geo-Mobile Radio).* Требования к интерфейсу GMR разработаны на основе стандарта GSM совместно с американской организацией TIA (Telecommunications Industry Association). Основной чертой нового стандарта является развитие технологии GSM-радиоинтерфейса, позволяющее осуществлять прямые звонки через геостационарные спутники.

GMR-стандарт представлен в двух вариантах: GMR-1, принятом в системе «Турайя» («Thuraya» в переводе на русский язык – «абажур»), охватывающей связью 99 стран в Европе, Северной и Центральной Африке, Ближнем Востоке, Центральной Азии и Индостане, и GMR-2, разработанном для системы ASIA Cellular Satellite (ACeS), действующей в Индии, Китае, Индонезии и Юго-Восточной Азии.

Это уникальная бортовая антенная система, которая способна «посылать» на земную поверхность большое число «узких» лучей (свыше 250) с изменяемой интенсивностью и конфигурацией областей «освещенности». Излучаемая мощность может гибко перераспределяться между лучами (допускается сосредоточить в любом из них до 20% общей мощности), что обеспечивает гибкое адаптивное изменение пропускной способности ретрансляторов в зависимости от реальной нагрузки в той или иной зоне обслуживания.

Компания Thuraya была основана в 1997 году в Объединенных Арабских Эмиратах (ОАЭ). Акционеры Thuraya – восемнадцать операторов связи и инвестиционных компаний стран Ближнего Востока. Система связи Thuraya совмещает спутниковую связь, GSM и GPS в одном телефонном аппарате. Один из первых телефонных аппаратов весит 212 г и стоит от 1000 до 1100 долл. Он обеспечивает такие возможности, как передачу данных, голоса, факсимильную передачу, обмен текстовыми сообщениями и определение местоположения.

16.5.4. Технологии построения спутниковой системы навигации стандартов Navstar, «Глонасс»

Начало спутниковой навигации приходится на первую половину 60-х годов, когда возникла система Transit, первоначально предназначаемая для американской флотилии подводных лодок с ракетами Polaris на борту. В 1967 г. доступ к ней был предоставлен торговому флоту и она быстро стала популярным и надежным средством определения местоположения судов. В 1973 г. был разработан новый проект глобальной системы спутниковой навигации Navstar GPS (Global Positioning System).

Примерами отечественных систем спутниковой навигации (аналогичных по основным характеристикам указанным выше иностранным) могут служить системы «Цикада» и «Глонасс», являющиеся с недавних пор системами двойного применения и использующиеся совместно с другими международными системами навигации.

К навигационным можно также отнести низкоорбитальные системы сбора данных с помощью радиомаяков: «Коспас-Сарсат», ARGOS, «Курс» [9].

Система Navstar GPS использует 24 навигационных спутника, равномерно размещенных на шестикруговых субсинхронных орбитах, наклоненных под углом 55°, значения долготы восходящих узлов которых смещены с интервалом номинально 60°, с периодом обращения 12 часов на высоте около 20 183 км (в системе «Глонасс» тоже 24 спутника, но на трех более устойчивых орбитах, наклоненных под углом 64,8 градусов с периодом обращения 11 час. 15 мин. 44 сек. на высоте 19 100 км). Они беспрерывно передают навигационную информацию по двум каналам в L-диапазонах 1 600 и 1 250 МГц (примеры несущих: 1 575,42 и 1 227,60 МГц).

Определение местоположения в системе GPS состоит в измерении расстояния от приемной антенны до трех избранных спутников. Значение расстояния до одного спутника позволяет определить местоположение площади (позиционную поверхность) в виде сферы, на которой находится пользователь. Известное расстояние до второго спутника дает определение второго местоположения площади также в виде сферы. Пересечение двух этих поверхностей образует линию положения в сфере окружности. Пересечение этой окружности с третьим местоположением площади, определенным на основании изменения расстояния до третьего спутника, позволяет определить две точки, в которых может находиться пользователь. Одну из этих точек можно отклонить как маловероятную, и таким образом пользователь однозначно определяет свое местоположение.

Система Navstar GPS обеспечивает трехмерное определение местоположения любого объекта в глобальном масштабе. Погрешность определения местоположения оценивается как 30...75 м при применении общедоступного кода C/A и менее 10 м при применении точного кода P.

Система «Глонасс» предназначена для глобальной оперативной навигации приземных подвижных объектов: наземных сухопутных, морских, воздушных низкоорбитальных космических. Термин «глобальная оперативная навигация» означает, что подвижной объект, оснащенный навигационной аппаратурой потребителей (НАП), может в любом месте приземного пространства в любой момент времени определить (уточнить) параметры своего движения: три координаты и три составляющие вектора скорости.

Система разработана по заказу и находится под управлением Министерства обороны России (РВСН).

В интересах мирового сообщества Россия предоставляет систему в стандартном режиме для гражданского, коммерческого и научного использования без взимания за это специальной платы.

В «Глонасс» применяются навигационные космические аппараты (НКА) на круговых геоцентрических орбитах с высотой около 20 тыс. км над поверхностью Земли. Благодаря использованию в бортовых эталонах времени и частоты (БЭВЧ) НКА атомных стандартов частоты (АСЧ) в системе обеспечивается взаимная синхронизация навигационных радиосигналов, излучаемых орбитальной группировкой НКА.

Радионавигационное поле СРНС «Глонасс» наряду с основной функцией (глобальная оперативная навигация приземных подвижных объектов) позволяет проводить:

локальную высокоточную навигацию наземных подвижных объектов (сухопутных, морских, воздушных) на основе дифференциальных методов навигации с применением стационарных наземных корректирующих станций и НКА;

высокоточную взаимную геодезическую «привязку» удаленных наземных объектов;

взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удаленных наземных объектах;

неоперативную автономную навигацию низко- и среднеорбитальных космических объектов;

определение ориентации объекта на основе радиоинтерферометрических измерений на объекте с помощью навигационных радиосигналов, принимаемых разнесенными антеннами.

Литература

1. Ламекин В. Р. Сотовая связь. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1997.

2. Ратынский М. В. Основы сотовой связи. – М.: Радио и связь, 1998.

3. Громаков Ю. А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 1997.

4. Лихачев А. М., Курносов В. И. Тенденции технического и технологического развития телекоммуникационных сетей. – СПб.: Абрис, 1997. – 440 с.

5. Карташевский В. Г., Семенов С. Н., Фиретова Т. В. Сети подвижной связи. – М.: Эко-Трендз, 2001.

6. Тамаркин В. Транкинговые системы радиосвязи – М.: Эко-Трендз, 1997.

7. Соловьев А., Смирнов С. Техническая энциклопедия пейджинга. – М.: Эко-Трендз, 1997.

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

9. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации – М.: Эко-Трендз, 2000.

10. Ломовицкий В. В., Михайлов А. И. и др. Системы и сети передачи информации: учебник под общей редакцией В. М. Щекотихина. – Орел: академия ФСО России, 2009 – 573 с.

11. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.

ГЛАВА 17. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСПЕКТИВНЫМ СЕТЯМ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ

17.1. Из истории развития технологий подвижной радиосвязи

В основе развития технологий радиосвязи (радиотехнологий) лежат достижения микроэлектроники, а также разработанные исследователями разных стран принципиально новые методы и алгоритмы доступа к радиоканалам, сжатия информации, модуляции и кодирования сигналов, адаптивной настройки антенн на радиоканалы и т. п. Когда же на узлах сетей связи и абонентских устройствах логика управления каналами (адресация, коммутация, маршрутизация, сигнализация и др.) и организация потоков информации повсеместно стали реализовываться на базе компьютеров, значительный прогресс был достигнут в новой технологической дисциплине – анализе и синтезе телекоммуникационных протоколов. Способы построения протоколов связи, их взаимосвязь с услугами связи, алгоритмы распределения протоколов и сервисных механизмов между узлами сети, общая сетевая архитектура протоколов и частные протоколы для отдельных режимов связи образуют в настоящее время важный инструментарий обслуживания действующих сетей и разработки систем связи новых поколений.

Принципиальная особенность текущего момента состоит в том, что *новые радиотехнологии, представляющие собой совокупность протоколов, методов доступа и физических принципов передачи информации по радиоканалам,* развиваются как открытые технологии.

Такое свойство радиотехнологий определяется статусом стандартов (открытых или корпоративных), по которым они создаются и внедряются в практику. Корпоративные (закрытые) стандарты являются собственностью их разработчиков. Приобретение оборудования возможно только у ограниченного круга производителей. Можно организовать производство отдельных компонентов, например, систем стандарта IDEN, однако все нити по развертыванию крупномасштабных сетей данного стандарта все равно будут находиться в руках крупных компаний-разработчиков.

Открытые стандарты, по которым строятся системы GSM, IS-95, ITM-2000, TETRA и APCO 25 обеспечивают создание конкурентной среды, привлечение большого количества производителей базового оборудования, абонентских радиостанций, тестовой аппаратуры для выпуска совместимых радиосредств, что способствует снижению их стоимости. Доступ к спецификациям стандартов предоставляется любым организациям и фирмам, вступившим в соответствующую ассоциацию. Пользователи, выбирающие открытый стандарт радиосвязи, не попадают в зависимость от единого производителя и могут менять поставщиков оборудования. Открытые стандарты пользуются поддержкой со стороны государственных и правоохранительных структур, крупных компаний многих стран мира, а также поддержаны ведущими мировыми производителями элементной и узловой базы.

Все это позволяет говорить о том, что открытые стандарты и радиотехнологии, развитие которых координируется широким международным сообществом под эгидой МСЭ, с большей вероятностью в перспективе завоюют рынок систем подвижной радиосвязи.

Вместе с тем, огромное влияние на процесс развития технологий этого типа оказывают политические и экономические решения. Первая мобильная система была предложена американской компанией AT&T, которая установила мобильную связь на всей территории США. В результате страна обрела единую (аналоговую) систему связи, и мобильный телефон, купленный, например, в Калифорнии, успешно работал

в Нью-Йорке. А в Европе все получилось наоборот: когда туда пришла мобильная связь, страна стала разрабатывать собственные системы, в результате чего проиграли все.

С появлением цифровых систем государственные телефонные службы Европы, учтя предыдущие ошибки, объединились для создания единого стандарта GSM, так что теперь любой европейский мобильный телефон работает везде в Европе. А в США к тому времени государство вышло из бизнеса, связанного со стандартизацией, и новые цифровые мобильные системы стали заботой коммерческих структур. В результате разные производители стали выпускать разнотипные мобильные телефоны и в США появились две основные абсолютно не совместимые цифровые мобильные телефонные системы и несколько небольших систем [1].

17.1.1. Первое поколение мобильных телефонов

Первая система автомобильных телефонов была установлена в Сент-Луи еще в 1946 году. Она имела один большой передатчик, расположенный на крыше высокого здания и единственный канал передачи–приема информации. Чтобы начать разговор, нужно было нажать на кнопку для включения передатчика и отключения приемника. Такие системы, получившие название тангентные, существовали до конца 50-х годов.

В 1960-х годах появилось усовершенствованная система мобильной телефонной связи (IMTS, Improved Mobile Telephone System). Она также использовала мобильный (200 Вт) передатчик, установленный на вершине горы, но имела уже два частотных канала для передачи и приема информации.

Емкость IMTS составляла всего 23 канала в диапазоне 150-450 МГц, поэтому пользователям приходилось долго ждать освобождения линии. Из-за этого и других недостатков система была признана непрактичной. Многое изменилось с внедрением системы усовершенствованной мобильной телефонной связи (AMPS, Advanced Mobile Phone System), установленной в США в 1982 году. В Англии она использовалась под названием TACS, в Японии – под именем MCS-L1. Система работала более 25 лет и формально перестала использоваться лишь в 2008 году [1].

AMPS была аналоговой сотовой системой с размером сот от 10 до 20 км. Каждая сота работала на своей частоте, причем одни и те же частоты использовались в различных (но не соседних) сотах, что значительно повысило эффективность частотного ресурса. Если в IMTS на территории диаметром 100 км для каждого звонка требовалась своя частота, то система AMTS в той же области могла состоять из 100 десятикилометровых сот и поддерживать от 5 до 10 звонков на одной и той же частоте в системе удаленных друг от друга ячейках. Кроме того, небольшие размеры сот означают меньшую мощность передатчиков, а значит и меньшую стоимость аппаратуры.

Для разделения каналов в системе AMPS применяется частотное уплотнение (FDM). Система использует 832 дуплексных канала, каждый из которых состоит из пары симплексных каналов. Такую структуру называют FDD (Frequency Division Duplex – дуплексный режим с разделением частоты). 832 симплексных канала занимают диапазон от 869 до 894 МГц. Ширина каждого канала составляет 30 кГц.

Для управления резервируется 21 канал. Поскольку одни и те же частоты не могут использоваться в соседних сотах, то число голосовых каналов, доступных в пределах одной ячейки, значительно меньше 832 – обычно около 45.

17.1.2. Второе поколение мобильных телефонов: цифровая передача голоса (G2)

Если первое поколение сотовых телефонных систем было аналоговым, то второе поколение стало уже цифровым. Второе поколение обеспечило увеличение пропускной

способности телефонной системы, научилось отцифровывать, сжимать и шифровать голосовые сигналы. Это улучшило безопасность передачи информации и позволило предоставить пользователю новые сервисы. Однако в плане стандартизации ничего не изменилось. Как в первом поколении не было никаких четких стандартов, так они не появились и ко второму поколению.

Разработали несколько различных систем, три из которых были широко распространены. D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System – цифровая усовершенствованная система мобильного телефона) была цифровой версией AMPS которая сосуществует с AMPS и использует уплотнение с разделением времени, чтобы поместить несколько вызовов в один и тот же частотный канал. Она описана в Международном стандарте IS-54 и следующем за ним IS-136.

GSM (Global System for Mobile Communications – глобальная система для мобильной связи) стала доминирующей системой, которая используется фактически во всем мире. Как и D-AMPS, GSM основан на соединении частотного и временного уплотнения. CDMA (Code Division Multiple Access – множественный доступ с кодовым разделением каналов), описанный в международном стандарте IS-95, является абсолютно другим видом системы и не основан ни на частотном, ни на временном уплотнении. Хотя CDMA не является доминирующей системой второго поколения, эта технология стала основанием для систем третьего поколения.

GSM появилось в 1980-х годах как попытка создать единственный европейский стандарт второго поколения. Первые системы GSM начали разворачиваться с 1991 года и имели быстрый успех.

Структура, основанная на сотах, повторное использование частоты в сотах и мобильность передач при перемещении пользователей – все это перешло в системы второго поколения из первого. Структура GSM подобна структуре AMPS, как это показывает рис. 17.1, хотя многие компоненты имеют другие названия. Мобильный телефон в новой системе разделен на телефонную трубку и сменный чип с информацией об учетной записи и абоненте, названной сим-картой (SIM-card, что является сокращением для Subscriber Identity Module – модуль идентичности абонента). Сим-карта активирует телефонную трубку и содержит секретную информацию, которая позволяет мобильному телефону и сети идентифицировать друг друга и шифровать переговоры.

Мобильные телефоны по радиоинтерфейсу связываются с сотовыми базовыми станциями, которые соединены с BSC (Base Station Controller – контроллер базовой станции), управляющими радиоресурсами сот. Контроллер базовой станции соединен с мобильным коммутационным центром (как в AMPS), который направляет звонки и связывается с PSTN (Public Switched Telephone Network – коммутируемая телефонная сеть общего пользования).

Цифровые системы подвижной связи (ЦСПС) второго поколения, реализуя свой скрытый потенциал относительно дешевым для операторов и пользователей способом, длительное время, предлагая все новые и новые услуги, делали мало востребованными преимущества стандартов поколения 3G.

Внедряемые новые возможности систем второго поколения, являющиеся промежуточными решениями на пути к третьему поколению, позволяют данные системы относить уже ко «второму с половиной поколению» или 2,5 G.

Одним из первых стандартов, который начал подвергаться существенной доработке, оказался стандарт GSM.

Бурное развитие сети Интернет резко повысило спрос на услуги передачи данных (ПД). При этом в роли АПД стал все чаще выступать персональный компьютер (ПК). Но пока не появились мобильные ПК, возник спрос на передачу данных непосредственно с клавиатуры мобильного телефона (МТ). Тем более что прием данных на портативное

устройство типа пейджера уже существовал. Технология GSM довольно быстро прореагировала на данную потребность, внедрив почти на заре своего развития дополнительную услугу коротких сообщений SMS.

Рис. 17.1. Структура мобильной сети GSM

Следующим шагом в совершенствовании услуг ПД в сети GSM стало внедрение технологии высокоскоростной передачи данных с коммутацией каналов HSCSD (High Speed Circuit Switched Date). Первоначально данная технология предусматривала ПД со скоростью 19,2 кбит/с (путем объединения двух канальных интервалов по 9,6 кбит/с) или 28,4 кбит/с. При занятии двух канальных интервалов в одном кадре временной сдвиг между приемом сигналов БС и последующей их передачей мобильной станции (МС) не превышает четырех интервалов, что в принципе поддерживается существующими протоколами GSM и не требует изменения инфраструктуры сети.

Развитие HSCSD предполагает дальнейшее увеличение скорости за счет объединения четырех временных интервалов и передачи информации со скоростью до 38,4 кбит/с (4×9,6 кбит/с) или до 57,6 кбит/с (4×14,4 кбит/с). Такой режим уже не поддерживается обычными мобильными телефонами GSM (требуется изменение временного разноса окон передачи и приема).

Что же касается еще большего увеличения скорости до 76,8 кбит/с (115,2 кбит/с) путем объединения до 8-ми каналов по 9,6 кбит/с (14,4 кбит/с), то реализация такой возможности требует доработки магистральной сети, поскольку скорость обмена информацией между оборудованием базовой станции (BSS) и центром коммутации подвижной связи (MSC) ограничена величиной 64 кбит/с (А-интерфейс), пропускающей только 4 канала.

Несмотря на возможность увеличения в несколько раз скорости ПД, технология HSCSD не позволяет избавиться от главного недостатка режима коммутации каналов – неэффективной обработки небольших по объему прерывистых потоков данных и, соответственно, нерационального управления радиоресурсами. При этом соответствующий коммутации каналов метод начисления оплаты за время соединения, а не за объем переданной информации, тоже никак не способствует популярности режима HSCSD.

Одним из важных шагов на пути эволюции GSM к поколению 3G стало внедрение услуг пакетной передачи GPRS (General Packed Radio Service). В режиме GPRS каждому абоненту может выделяться от 1 до 8 канальных интервалов. При этом скорость «вверх» и «вниз» может быть разная. Реализованная на практике максимальная скорость ПД в GPRS составляет 115,2 кбит/с (8×14,4 кбит/с), однако теоретически она может быть увеличена до 171,2 кбит/с (8×21,4 кбит/с) при использовании другой схемы кодирования (всего существует четыре схемы кодирования: CS1, CS2, CS3 и CS4, отличающиеся соотношением скорость/достоверность).

Внедрение GPRS предполагает добавление в развернутую сеть GSM как минимум двух базовых узлов для поддержки службы пакетной передачи данных: сервисного узла SGSN (Serving GPRS Support Node) и шлюзового узла GGSN (Gateway GPRS Support Node). Кроме того, необходима модернизация контролеров БС (BSC) и доработка программного обеспечения.

Следующим шагом на пути эволюции GSM к поколению 3G является внедрение технологии высокоскоростного радиодоступа EDGE (Enhanced Date Rates for GSM Evolution), позволяющей увеличить реальную скорость пакетной передачи данных до 384 кбит/с. Теоретически пропускная способность на несущую при этом может быть увеличена до 553,5 кбит/с.

Данная технология была предложена группой ETSI SMG еще в 1997 г. Позднее разработка EDGE велась параллельно в ETSI и UWCC (Universal Wireless Communications Consortium) для обеспечения максимальной совместимости двух стандартов GSM и IS-136 (DAMPS). В США основные положения концепции EDGE легли в основу проекта стандарта UWC-136.

К основным преимуществам EDGE следует отнести использование спектральной эффективной модуляции и адаптивной настройки канала в зависимости от требований абонента и реальной помеховой обстановки. Первоначально в качестве базового метода модуляции в EDGE была предложена квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом (8 OQPSK), однако затем предпочтение было отдано 8-позиционной фазовой модуляции (8 PSK), которая приводит к меньшему снижению средней мощности (около 2 дБ).

Фактически благодаря новым возможностям, обеспечиваемым режимами передачи HSCSD, GPRS и EDGE, GSM-система приобретает функциональность систем третьего поколения во всех диапазонах данного стандарта: 400, 900, 1800 и 1900 МГц. Правда, диапазон 400 МГц, освобождаемый аналоговыми стандартами типа NMT-450, не получил активной поддержки производителей оборудования GSM и был «перехвачен» производителями оборудования CDMA-2000.

Расширение возможностей технологии GSM затронуло не только область услуг классической сотовой связи, но и вторглось в области услуг, традиционно предоставляемых другими типами СПР.

Уже давно существуют сети беспроводного фиксированного доступа на основе GSM (без поддержки эстафетной передачи и роуминга, что больше соответствует не расширению, а сужению возможностей GSM).

Служба SMS GSM основательно потеснила стандарты пейджинговой связи.

Известно применение доработанной технологии GSM для образования транкинговых СПР, например, GSM-Pro и GSM-R (последняя была опробована на Российских железных дорогах).

На основе технологии GSM были разработаны новые стандарты спутниковой связи: стандарт GMR-1 и GMR-2.

Несмотря на перечисленные выше успехи развития систем второго поколения, ряд новых требований к СПР третьего поколения лежит за пределами их возможностей. К их числу можно отнести предоставление услуг мультимедиа и ассиметричную передачу

со скоростью до 2048 кбит/с с гибким перераспределением трафика в прямом и обратном направлении, а также обеспечение глобального роуминга.

17.1.3. Третье поколение мобильной связи

Образование и развитие универсальных мобильных систем связи (УМСС) осуществляется по двум направлениям. Первое (эволюционное) – совершенствование существующих стандартов СПР путем внедрения новых видов услуг. Второе (революционное) – создание новых стандартов СПР, обеспечивающих все современные услуги и возможность введения новых. На западе эти подходы получили обозначение N (Narrowband) и W (Wideband) стратегии (рис. 17.2) [2].

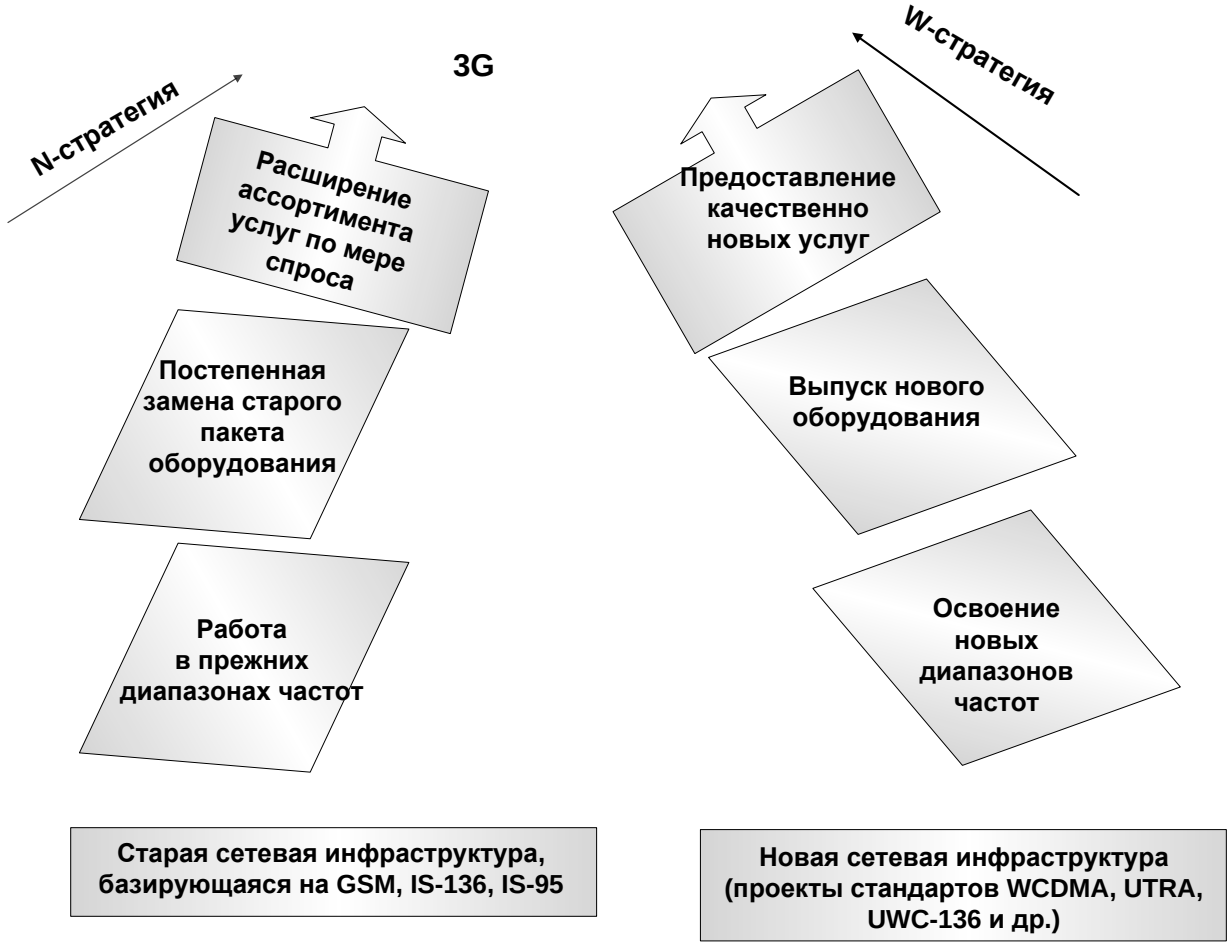


Рис.17.2. Две стратегии перехода к системам третьего поколения

Приверженцы двух наиболее массовых технологий второго поколения DAMPS и GSM встали на эволюционный путь развития. Однако и революционный путь, запланированный в ITU на начало нового тысячелетия еще во второй половине 80-х гг., несмотря на затягивание переходного периода, понемногу вырисовывается, хотя и не в том виде, в котором он изначально задумывался.

Основной движущий мотив создания единого международного стандарта на мобильную систему связи, охватывающую беспроводный доступ, наземную сотовую и спутниковую связь – обеспечение глобального покрытия земного шара с предоставлением услуг массовому потребителю вне зависимости от его местоположения, типа сети и используемого терминала (наземный или спутниковый).

Основная идея создания единого международного стандарта – предоставление услуг с помощью недорогого портативного терминала с высокими эксплуатационными характеристиками (энергопотреблением, качеством связи, уровнем безопасности). С системных позиций единый стандарт означает гибкий радиоинтерфейс с однотипной сигнализацией и расширенным набором услуг, варьируемых в зависимости от требований пользователя и сценариев организации связи.

К ключевым требованиям, предъявляемым ITU к единому стандарту, относятся: высокая степень преемственности оборудования наземных и спутниковых систем в пределах всего земного шара, возможность конвергенции услуг типа «мобильный – мобильный» (для разных мобильных сетей) и «мобильный – стационарный» (при связи с абонентами ТфОП), а также обеспечение услуг мультимедиа в рамках глобальной информационной инфраструктуры. Терминалы третьего поколения должны обеспечивать высокое качество передачи речи, небольшие размеры и возможность передачи асимметричных потоков данных в линии «вверх» и «вниз».

Первая концепция единого стандарта называлась «Перспективная сухопутная мобильная телекоммуникационная система общего пользования» или кратко – FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications Systems). По мере разработки требований к системам нового поколения стало ясно, что одной наземной (сухопутной) связью (без спутниковой) третье поколение обойтись не сможет. Начиная с 1996 г. изменение взглядов ITU на концепцию развития мобильной связи нашло отражение в ее названии: IMT-2000 (International Mobile Telecommunications). Число 2000 в новом названии весьма символично: во-первых, это диапазон частот (в МГц),в котором будет работать новая система, во-вторых, это предполагаемый год начала внедрения системы, в-третьих, это максимальная доступная каждому абоненту информационная скорость (2 048 кбит/с). К 2000 году ни один из пунктов не был выполнен. Но была проведена большая работа, выдвинуто много технических предложений, многие из которых отсеялись, и остались две основные технологии. Первая из них называется WCDMA – широкополосный CDMA (Wideband CDMA), была предложена фирмой Ericsson, поддержана Европейским союзом, который назвал ее UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems – универсальная система мобильной связи). Вторым претендентом стала система CDMA-2000, предложенная Qualcomm. У этих систем большее сходств, чем различий. Базовый принцип обеих систем – CDMA. WCDMA используют полосу пропускания 5 МГц, а WCDMA-2000 – 1,25 МГц.

С организационной точки зрения IMT-2000 объединяет две предшествующие программы ITU: FPLMTS и GMPCS, которые в дальнейшем получили обозначение T-IMT-2000 и S-IMT-2000 (T – terrestrial, S – satellite).

Структура IMT-2000 должна эволюционировать от сегодняшних фиксированных и подвижных сетей связи в направлении к идеальной глобальной системе связи, доступной потребителям независимо от того, где они находятся – дома, в автомобиле, поезде, на корабле, самолете (в метро) и т. п. Потребители IMT-2000, свободно передвигаясь, смогут выходить в любую из наземных или подвижных спутниковых систем, причем вхождение в подвижные спутниковые системы автоматическое, когда потребитель будет выходить за пределы зон обслуживания наземных систем.

Наиболее перспективной иерархической структурой сети персональной связи является зонтичная, которая предполагает вложенность сот различного размера и управляемый перевод абонента из одной соты в другую в зависимости от условий функционирования сети.

При слаборазвитой инфраструктуре предполагается использование маловысотных летательных аппаратов с ретрансляторами на борту, позволяющих существенно

расширить зону обслуживания отдельных БС и снизить время развертывания системы связи.

Другие технические решения, в частности, иерархическая сотовая структура, адаптивная антенная решетка и когерентная демодуляция также позволяют наращивать емкость сети. Двух-трехуровневая (и более) архитектура сети может быть реализована в парных полосах 2×5...2×20 МГц, где каждый из уровней занимает 2×5 МГц.

При высокоплотной инфраструктуре сети с большим числом базовых станций, обслуживающих малые зоны в пределах ограниченной территории, подвижные абоненты могут полностью использовать ресурс одной базовой станции для реализации высокоскоростного обмена, в это время остальные пользователи могут обслуживаться соседней базовой станцией или в следующей по иерархии соте.

Одним из перспективных и уже внедряемых направлений развития мобильной связи является интеграция сотовой связи с автономной (наземной) или глобальной (спутниковой) системой навигации, такой как GPS.

В процессе перехода от этапа разработки концепции к конкретным проектам стало очевидным, что интересы различных международных и региональных организаций невозможно объединить в рамках единого стандарта. В связи с этим была выдвинута идея создания семейства систем третьего поколения IFS (IMT-2000 Family of Systems). А к проблеме создания единого глобального стандарта, человечество еще вернется во втором десятилетии XXI в. в ходе разработки и реализации систем четвертого поколения (рис. 17.3).

Провозгласив концепцию семейств IFS, МСЭ активизировал свои усилия на детализации рамочной структуры (ограничений) стандартов третьего поколения. Рамочная структура IMT-2000 содержит следующие базовые компоненты:

эталонную модель протоколов и межсетевых взаимодействий (по типу ЭМВОС и стека протоколов TCP/IP);

частотный ресурс, выделенный на конференции WARC-92 и уточненной на WARC-2000;

рекомендации ITU по совместному функционированию различных радиоинтерфейсов и их эволюции с учетом требований IMT-2000;

рекомендации по принципам регулирования, обеспечивающим свободное перемещение мобильных терминалов в глобальном масштабе;

рекомендации по взаимодействию наземных и спутниковых сетей в рамках программы IMT-2000.

Поколение	**2G**	**2.5G**	**3G**	**4G**
Базовые услуги	речь	речь, данные	речь, данные, видеоданные, мультимедиа	речь, данные, видеоданные, мультимедиа, мобильное телерадиовещание
Скорость передачи кбит/с	9.6–14.4	115 (фаза 1) 384 (фаза 2)	2048 (фаза 1) 10.000 (фаза 2)	10000–44000
Тип коммутации	Коммутация каналов	смешанная (преимущест-венно каналов)	смешанная (преимущест-венно каналов)	?
Базовые технологии радиодоступа	GSM, IS136, PDC, CDMA one	GPRS, EDGE, IS136+	IMT-2000	?

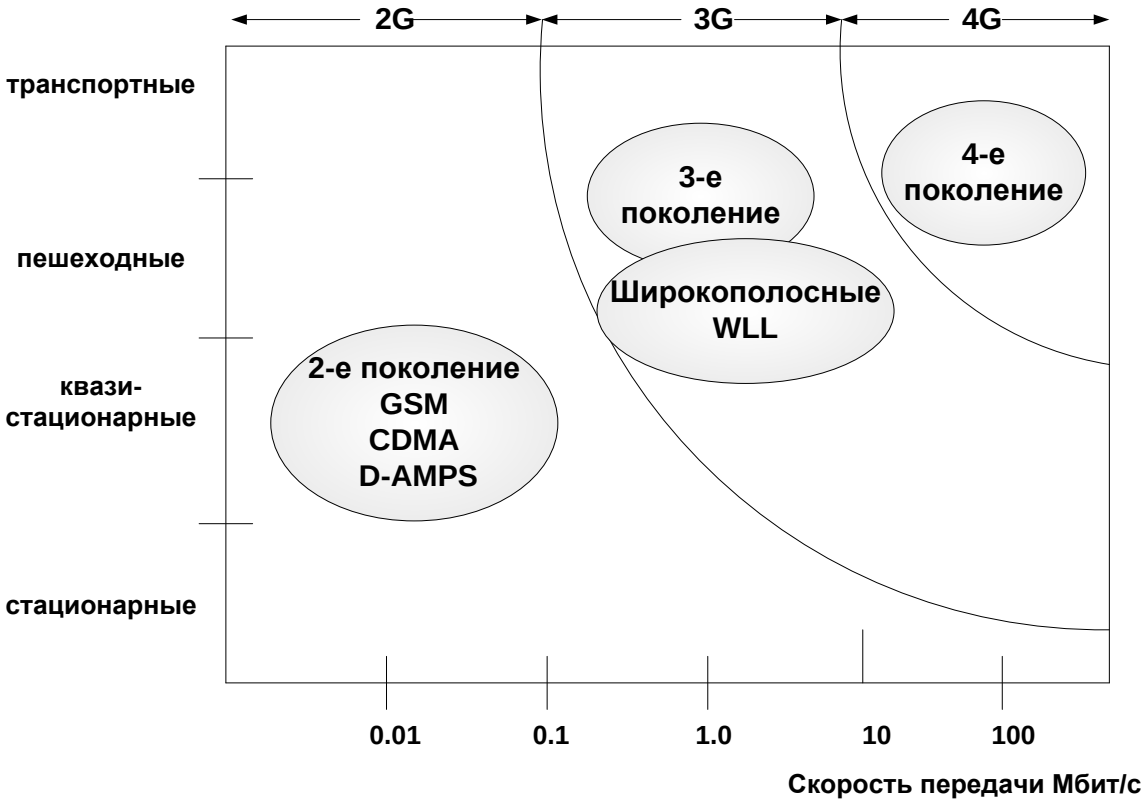


Рис. 17.3. Соотношение характеристик технологий мобильной связи разных поколений

В процессе разработки радиоинтерфейсов, в который были вовлечены все желающие страны и крупные компании, выделились три основные тенденции: 1) сохранить упор на TDMA-стандарты; 2) взять за основу существующий стандарт CDMA (IS-95); 3) разработать новый WCDMA-стандарт.

В начале 90-х гг. на волне успехов европейской экономической интеграции и успешной реализации в короткие сроки международного проекта GSM возникла идея создания UMTS (Universal Mobile Telecommunication System): универсальной мобильной телекоммуникационной системы (УМТС).

Концепции UMTS и IMT-2000 во многих чертах сходны, однако с точки зрения реализации UMTS имеет ряд преимуществ. UMTS разработана с участием крупных производителей оборудования (Nokia, Ericsson, Alcatel, Siemens, Italtel) как глобальная система, включающая как наземные, так и спутниковые сети. При этом UMTS позволяет организовать полное взаимодействие с системами GSM и ее модификациями (GPRS, EDGE и др.), чтобы не потерять уже вложенные инвестиции.

Технология радиодоступа UMTS основана на трех методах: TDMA, TDMA/CDMA и WCDMA. Последний метод лег в основу наиболее популярного и перспективного проекта UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access).

Чтобы внедрять новую технологию W-CDMA с меньшими капитальными затратами, ETSI рекомендует создавать глобальную инфраструктуру для систем UMTS на базе инфраструктуры существующих сетей GSM.

В основу управления UMTS положена современная концепция сетевого управления TMN/TINA. Для реализации данной концепции разрабатываются специальные программно-аппаратные средства, входящие в состав основного оборудования UMTS. Современные протоколы установления соединения в перспективных сетях подвижной

радиосвязи позволяют достаточно просто наделить UMTS функциями интеллектуальной сети IN.

Согласно концепции IMT-2000 общая архитектура системы нового поколения подразделяется на две составные части (рис. 17.4):

сети радиодоступа;

базовые сети трех типов – GSM MAP (Европа), ANSI-41 (США) и универсальные сети с IP-протоколом.

Глобальный роуминг между тремя типами базовых сетей будет осуществляться через межсетевой интерфейс NNI. Причем глобальный роуминг в IMT-2000 может быть реализован только в том случае, если радиодоступ будет производиться с использованием многорежимных терминалов, а базовые сети будут содержать конверторы или межсетевые шлюзы.

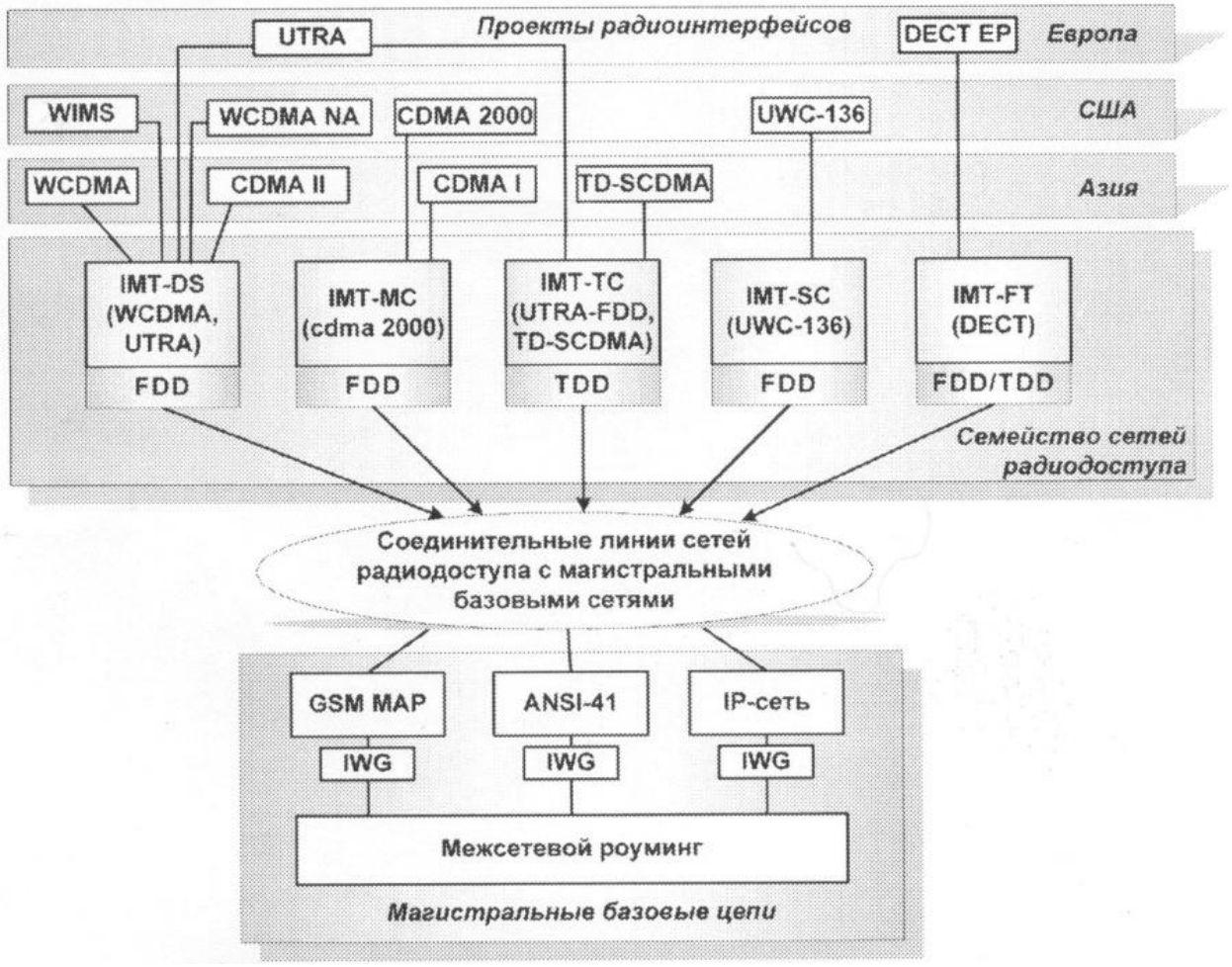


Рис. 17.4. Укрупненная архитектура наземной сети IMT–2000

В Европе практическая реализация технологий WCDMA началась в 1999 г. в рамках программы RACE. В Японии коммерческая эксплуатация первых сетей WCDMA началась в 2001 г. под руководством их будущего оператора – компании NTT DoCoMo. Фирма Ericsson также имеет экспериментальную систему WCDMA, созданную в рамках работ по освоению стандарта IMT–2000. Система позволяет демонстрировать и отрабатывать функциональные возможности служб подвижной связи третьего поколения, соответствующие технические решения и технико-экономические характеристики.

Во всем мире 10-15 % абонентов мобильной связи уже используют технологию 3G. В Северной Америке и Европе приблизительно одна треть мобильных абонентов – 3G, в Японии почти все мобильные абоненты пользуются 3G. Однако у них появились мощные конкуренты в нише беспроводных локальных сетей WLAN. По минимальной предлагаемой скорости 10 Мбит/с (пусть и со служебными издержками) технологии WLAN намного превосходят максимальный предел сетей 3-го поколения 2 Мбит/с. А новые версии технологий WLAN уже обещают скорости до 100 Мбит/с и более. При той же глобальности и многообразии услуг (на базе сети Интернет) данные технологии беспроводного доступа, не требуя особой инфраструктуры, по стоимости развертывания (по частям) намного дешевле системы IMT-2000. Правда, пока они уступают даже технологиям 2G в размерах зон покрытия и в мобильности.

Даже при том, что сети 3G еще далеко не полностью развернуты, многие исследователи расценивают 3G как решенное дело. Они уже работают над системами четвертого поколения под названием LTE (Long Term Evolution). Отмечаются некоторые особенности 4G:

высокая пропускная способность;

вездесущность (связь всюду);

плавная интеграция с другими проводными и беспроводными IP-сетями, включая точки доступа 802.11;

адаптивный ресурс и управление спектром;

высокое качество сервиса для мультимедиа.

В то же время уже доступны беспроводные сети с уровнем пропускной способности 4G – это сети стандарта 802.16, известные как Wi-MAX.

В России проведены исследования по формированию требований к перспективным сетям подвижной связи, которые мы рассмотрим в следующем разделе.

17.2. Общие требования к перспективным радиотехнологиям

Перечень этих требований определяет разработку спецификаций универсальной мобильной телекоммуникационной системы (Universal Mobile Telecommunication Sistem – UMTS) и был принят ETSI в качестве исходного нормативного документа.

Абонентские скорости передачи информации

Диапазоны требуемых скоростей определяются в зависимости от условий эксплуатации и режимов обслуживания операторами связи:

внутриофисные и прилегающие к зданиям участки: не менее 2 Мбит/с; максимальная скорость абонента – 10 км/ч;

городские районы: не менее 384 кбит/с (в перспективе – 512 кбит/с); максимальная скорость абонента – 120 км/ч;

пригородные и малонаселенные районы: не менее 144 кбит/с (в перспективе – 384 кбит/с); максимальная скорость абонента – 500 км/ч.

Для каждого режима обслуживания (условия эксплуатации, размер соты, тип сотовой структуры) оператор связи должен обеспечить требуемую скорость передачи во всей зоне обслуживания.

Гибкость режимов связи и предоставляемых услуг

Радиотехнология должна обеспечить предоставление услуг мобильной связи в широком диапазоне режимов работы и параметров радиоканалов:

параметры радиоканалов должны согласовываться в процессе установления соединений (тип радиоканала, скорость передачи, отношение сигнал/шум (BER), уровень асимметричности каналов «вверх» и «вниз», метод защиты данных);

радиоканалы должны обеспечивать различные режимы связи (коммутация каналов, коммутация пакетов, ATM и др.);

выделение радиоканалов для организации сеансов связи на основе приоритетов, планирования и других механизмов динамического распределения ресурсов;

адаптация радиоканала к требованиям качества связи, с учетом трафика и сетевой нагрузки, радиоусловий и других параметров окружающей среды;

обеспечение различных скоростей передачи данных в широком диапазоне и при гибком квантовании предоставляемой скорости радиоканала;

предоставление радиоканала типа VBR (переменная скорость передачи в режиме реального времени);

обеспечение высокого качества голосовой связи.

Обработка хэндовера

Должны обеспечиваться различные режимы переключения (хэндовера) радиоканалов при смене абонентом зоны обслуживания, сети или оператора связи. Операции хэндовера должны выполняться «бесшовно» для абонента и обеспечивать:

хэндовер между сотами одного оператора;

хэндовер между различными операторами или сетями доступа;

хэндовер между UMTS и сетями мобильной связи 2-го поколения.

Требования совместимости

Должны обеспечиваться различные режимы межсетевого взаимодействия с действующими сетями фиксированной и мобильной связи. В частности, радиоканалы UMTS должны обеспечивать реализацию транспортных протоколов и предоставление соответствующих канальных услуг: ATM; GSM; IP (Internet-протоколов); B/N – ISDN.

Следует отметить, что глобальный характер связи на базе Internet и массовые рынки Internet-приложений создают уже сейчас для будущей мобильной связи многочисленные прототипы и прообразы новых структур телекоммуникаций.

Таким образом, для мобильной связи нового поколения необходимо разработать эффективную систему телекоммуникационных протоколов, в которой следует использовать как успешный опыт проектирования действующих сетей, так и новые идеи построения сетевых архитектур. В качестве примеров новых решений, появившихся в последние годы, назовем следующие протоколы:

Mobile IP – адаптированный протокол IP в сетях мобильной связи;

WAP (Wireless Access Protocol) – протокол беспроводного доступа, реализующий упрощенный механизм HTML/HTTP радиодоступа к Internet-ресурсам;

Java-протоколы, реализующие высокий уровень переносимости (мобильности) программ, передаваемых из одного узла Internet в другой; Java-протокол может использоваться для загрузки в мобильный терминал абонента по радиоканалу программ управления связью;

протоколы семейства MPEG для передачи по каналам связи мультимедийной информации;

протоколы типа VEMMI, реализующие в мобильном терминале пользовательские интерфейсы интерактивного взаимодействия абонента с удаленной информационной системой.

Требования операторов связи

Для операторов общедоступных сетей связи мобильная связь 3-го поколения должна гарантировать требуемый уровень качества услуг связи. При этом на базе одной сети может функционировать несколько операторов связи (имеющих соответствующие лицензии), параллельная работа которых не должна приводить к ухудшению качества связи. Для операторов связи, обслуживающих профессиональные, корпоративные или районные сети, должны обеспечиваться специальные условия доступа:

должны быть созданы схемы радиодоступа, пригодные для низких по стоимости применений (например, для клиентов торговых центров), где размеры зоны, степень мобильности и скорость перемещения абонентов ограничены;

различные системы мобильной связи, не синхронизированные и ориентированные на различные задачи связи, должны иметь возможность совместного функционирования в одних и тех же условиях;

должна быть обеспечена возможность установки базовых станций без их взаимной координации;

частотное планирование должно быть исключено из обязательных условий развертывания базовых станций.

Эффективность использования спектра

Для нескольких операторов должна быть обеспечена возможность частотного разделения, т. е. совместного использования частотной полосы в одной и той же полосе без координации.

Покрытие/емкость

Радиотехнология должна обеспечивать разнообразные начальные конфигурации покрытия/емкости и позволять гибко развивать соотношение покрытия/емкости.

В качестве критерия гибкости при выборе конфигурации должны использоваться:

возможность построить иерархическую сотовую структуру (микросоты внутри офисов, иерархические макросоты) при экономном использовании радиоресурсов;

возможность построить сотовую структуру с эффективным покрытием малонаселенных районов.

Практичность и удобство мобильных терминалов

Ручные радиотелефоны, «карманные» коммуникаторы и компьютеры должны в различных модификациях служить удобными мобильными терминалами. Критериями практичности являются: габариты, масса, время работы, эффективность, мощность излучения радиосигнала, стоимость, удобство интерфейса и другие характеристики.

Сложность и стоимость сети

Стоимость разработки и сетевого оборудования должна поддерживаться на приемлемом уровне. Базовые станции и программно-аппаратные средства управления сетью не должны быть сложными по конструкции и эксплуатационным процедурам.

Общие организационные и эксплуатационные требования

Архитектурные принципы и радиотехнологии различных сетей 3-го поколения должны удовлетворять международным рекомендациям ITU, в частности стандартам IMT-2000. Сети, использующие разные технологии, отвечающие рекомендациям IMT-2000, должны совместно функционировать в той же самой или соседних частотных полосах. Все эти сети должны удовлетворять общим эксплуатационным условиям:

сети должны развертываться и работать в ограниченной полосе частот;

уровни пиковой и средней мощности излучения должны быть не выше, чем для действующих сетей 2-го поколения; то же самое относится к уровню интерференции и общим параметрам электромагнитной совместимости (ЭМС);

степень защиты радиоканалов должна быть не ниже, чем у современных сетей типа GSM;

мобильные терминалы должны работать в многорежимных конфигурациях, например, в режимах UMTS/GSM.

17.3. Место радиотехнологии в системе связи

Напомним, что термином «радиотехнология» обозначается набор протоколов, методов доступа к радиоканалу и физических принципов организации радиопередачи

информации. В понятиях сетевой архитектуры радиотехнология описывает механизмы управления и передачи информации на трех нижних уровнях – физического канала, логического канала и сетевого уровня.

Место радиотехнологии в общей структуре системы связи представлена на рис. 17.5.

Схемы, приведенные на рис. 17.5 и 17.6, характеризуют в общем виде любые радиотехнологии. Для более тонкой и детальной оценки на рис. 17.7 выделены основные функциональные блоки и зависимости между ними.

Рис. 17.5. Место технологий радиопередачи в общей структуре телекоммуникационной системы

В дальнейшем при анализе различных радиотехнологий (например, технологии UTRA) следует учитывать, что общая эффективность конкретной радиотехнологии определяется параметрами каждого функционального блока на рис. 17.7.

17.4. Критерии оценки радиотехнологии

Ряд важных характеристик радиотехнологии имеют достаточно точно определяемые значения: эффективность использования спектра, покрытие зоны обслуживания, емкость голосового трафика и т. п. Другие характеристики, например, гибкость настройки на режим работы, сложность управления радиоресурсами, совместимость с действующими системами радиообмена и т. п., имеют более качественную природу и часто оцениваются экспертными методами. Также необходимо отметить, что все количественные и качественные оценки действительны только в определенных условиях применения конкретной радиотехнологии, например, для микросотовых структур внутри зданий.

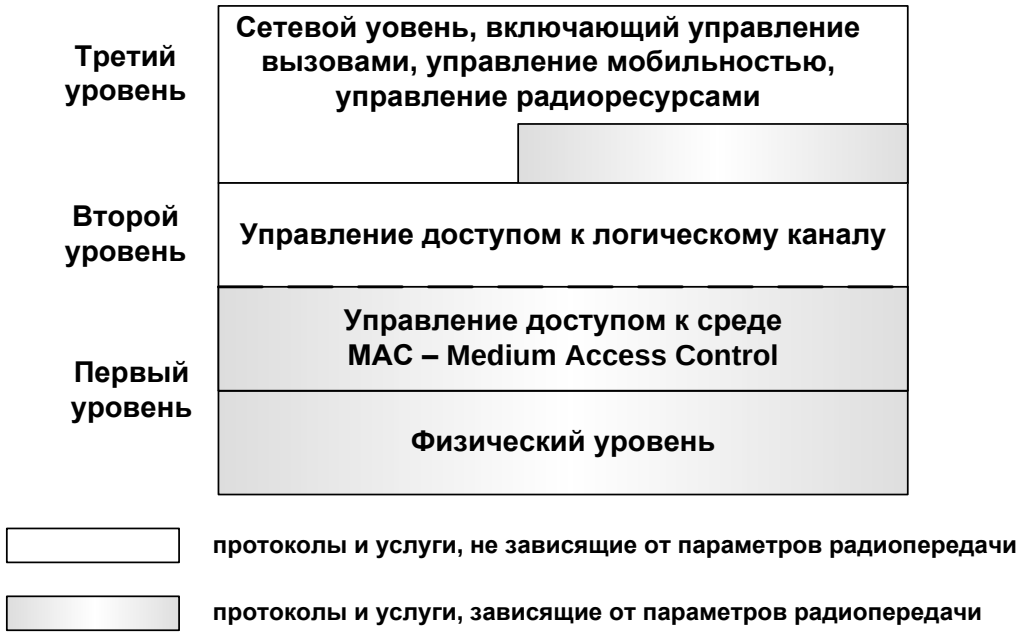


Рис. 17.6. Уровневая структура радиоинтерфейса

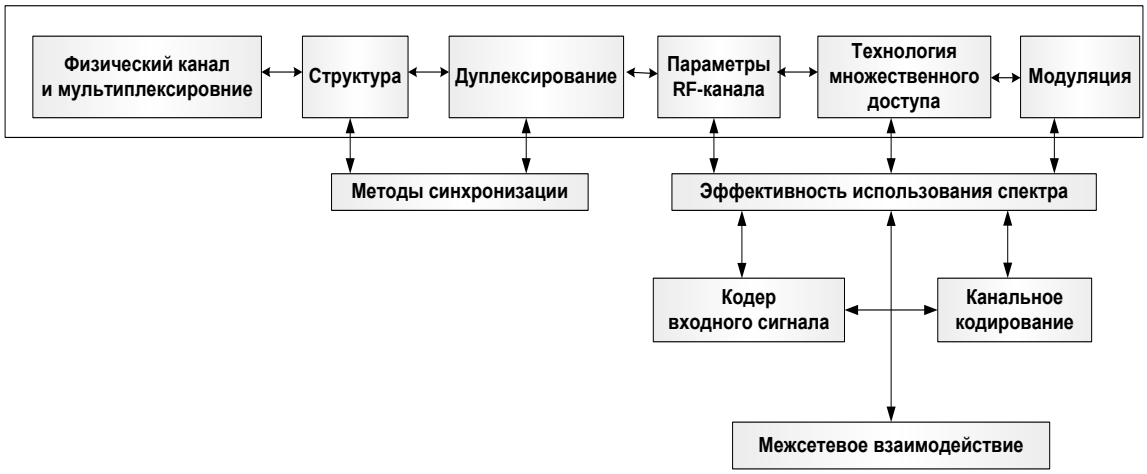


Рис.17.7. Функциональные блоки радиотехнологий

Спектральная эффективность

Является одной из главных характеристик радиоинтерфейса. Для данной частотной полосы определяет максимально возможный трафик радиообмена. Эффективность использования спектра может быть повышена рядом специальных мер – повторным использованием частоты, снижением роли управляющих данных, уплотнением радиоканала и др.

Сложность реализации технологии

Характеризует стоимость оборудования, внедрение новой сетевой инфраструктуры, установки и эксплуатации базовых станций.

Качество услуг связи

Параметры качества обслуживания (QoS) важны как общие оценки предоставляемых абонентам услуг (задержка передачи, уровень эхо, помехоустойчивость), так и показатели

работоспособности системы в экстремальных ситуациях – при перегрузках, отказе оборудования, высокой интерференции и т. п.

Гибкость радиотехнологий

Одна из наиболее важных характеристик для операторов сетей. Гибкость определяется возможностью изменять системные параметры в различных задачах: внедрение системы, планирование радиоресурсов, совместное использование спектра, предоставление услуг абонентам. К основным факторам, влияющим на гибкость радиотехнологии, можно отнести:

возможность оптимизации соотношения «качество RF-сигнала/емкость канала» для конкретных применений;

адаптируемость к различным требуемым скоростям радиообмена и допустимым задержкам сигнала;

простота управления радиоресурсами;

возможность простой настройки на требуемую скорость передачи, асимметричность трафика, одновременную передачу голосовых и других типов данных, пакетный режим передачи и т. п.;

простота реализации межсетевых взаимодействий и режимов совместимости «назад», например, простота реализации двухрежимных радиотелефонов;

возможность сосуществовать и не влиять взаимно на работу действующих сетей;

возможность гибко настраиваться на смешанную структуру зон: пико-, микро-, макро и мегасотовую организацию зон обслуживания;

возможность функционирования нескольких операторов в тех же (или перекрывающихся) зонах, т. е. эффективная реализация:

разделения общего спектра;

использования общей сетевой инфраструктуры (например, при низкой плотности абонентов);

выполнении хэндовера при переключении абонента между системами, обслуживаемыми различными операторами.

Влияние радиотехнологии на сетевые интерфейсы

Важным критерием является сопрягаемость с фиксированными сетями. Например, сопряжение офисной беспроводной УАТС с телефонной сетью общего пользования (ТФОП) может потребовать включения в состав коммутатора ТФОП дополнительных функциональных блоков. Следовательно, радиосеть должна быть спроектирована таким образом, чтобы минимизировать свое влияние на стандартные интерфейсы действующих фиксированных сетей типа ТФОП, ISDN и других.

Производительность /экономичность радиотелефонов

Новые мобильные терминалы должны работать в широком диапазоне спектральных характеристик и режимов предоставления абонентских услуг. Портативность, экономичность и простота использования терминалов непосредственно определяют важные параметры – спрос, проникновение, объем потребляемых услуг. Поэтому при выборе радиотехнологии необходимо учитывать в качестве наиболее существенных характеристик радиотелефонов: мощность передатчика, габариты и вес терминала, качество интерфейсных элементов (клавиатура, экран, перьевой ввод, речевое управление и т. п.), общая сложность и др.

Эффективность покрытия

Определяется как минимальное число базовых станций (БС) на квадратный километр, требуемых для обеспечения данного трафика и качества услуг в некоторой зоне обслуживания. При низкой абонентской нагрузке, когда влияние взаимных радиопомех ограничено, количество требуемых БС непосредственно определяется диапазоном действия радиосигнала. При высокой нагрузке более существенны параметры

спектральной эффективности и емкости радиоканала. Обычно считается, что эффективность покрытия выше у тех технологий, где требуемый уровень покрытия обеспечивается меньшим числом БС. Этот критерий действителен только для наземных сетей, так как для спутниковых систем эффективность покрытия определяется в большей степени общими параметрами спутниковой группировки.

Общая методика оценки радиотехнологий

Большое разнообразие оценочных критериев приводит к необходимости их анализа по группам и различным методикам для каждой группы критериев. Наиболее общая группировка по классам критериев дана в табл.17.1.

Таблица 17.1

Объективные и субъективные критерии

Объективные критерии	**Субъективные критерии**
Спектральная эффективность	Технологическая сложность
Эффективность покрытия	Качество услуг Гибкость радиотехнологии Влияние на сетевые интерфейсы Производительность/экономичность радиотелефонов

С технической точки зрения различные радиотехнологии, (такие как, например, технология UTRA), могут быть определены своими функциональными и технологическими параметрами. Такие параметры, определяемые на достаточно детальном уровне, характеризуют основные технические решения и ожидаемые показатели производительности систем радиосвязи, использующих конкретные радиотехнологии. Для анализа и сравнения радиотехнологий ITU и ETSI разработаны специальные методики (например, рекомендация M.1225 ITU), в которых определяются более двухсот конкретных сравнительных параметров и способы их оценки.

17.5. Требования ITU к радиотехнологиям подвижных систем ITM-2000

Новая концепция «семейства подвижных систем» была принята на рабочей группе SGI1 ITU-T в качестве идеологической основы объединения существующих систем 2-го поколения и будущих систем 3-го поколения. Концепция семейства систем ITM-2000 получила краткое обозначение IFS (ITM-2000 Family of Systems) и развивается в соответствии с базовыми принципами:

отдельные сети подвижной связи 3-го поколения, создаваемые фирмами стран/регионов или международными корпорациями, должны регистрироваться при заключении в IFS-семейство, в частности, проходить проверку на соответствие международным стандартам ITM-2000. Регистрация может проходить не на уровне конкретных сетей, а на уровне общих стандартов, например, для систем стандарта UMTS;

общие свойства членов IFS (сетей подвижной связи) должны быть зафиксированы явным образом, чтобы обеспечить глобальный роуминг, высокое качество услуг связи, обслуживание массовых абонентов, предоставление мультимедийных услуг, интеграцию наземных и спутниковых систем и другие функции;

ITU должен организовать разработку базовых (общесистемных) стандартов;

детальные технические стандарты должны разрабатываться региональными и национальными организациями – ETSI, ARIB и т. п.

Концепция IFS предполагает использование многорежимных терминалов. При этом мобильный терминал (MT) может обслуживаться единственной сетью доступа (однорежимный MT) или работать с несколькими сетями доступа (многорежимный MT). Концепция IFS допускает для однорежимного MT работу через одну сеть доступа (например, через сеть GSM) со многими базовыми транспортными сетями (Core Networks), т. е. реализацию глобального роуминга через взаимодействие нескольких базовых сетей (например, по схеме GSM-UMTS-CDMA-2000). Естественно, что в этой цепочке речь идет о сетях, зарегистрированных в IFS, а не существующих сетях 2-го поколения.

Таким образом, архитектура IFS должна обеспечить как общие международные стандарты на радиоинтерфейс, сигнализацию, адресацию абонентов и другие протоколы, так и высокий уровень унификации межсетевых взаимодействий: протоколы хэндовера при переходе абонента из одной сети в другую, межсетевое управление, межсетевая адресация и т. п. Базовые интерфейсы, которые должны быть регламентированы в IFS, определяются в соответствии с рис. 17.8.

Требования к «некоторой сети» для включения в состав членов IFS определены в рабочем документе Q.F N ITU. Таблица базовых функций и параметров мобильной связи ITM-2000, определяемая как «эталонный» шаблон соответствия (ЭШС), приведена на сервере ITU.

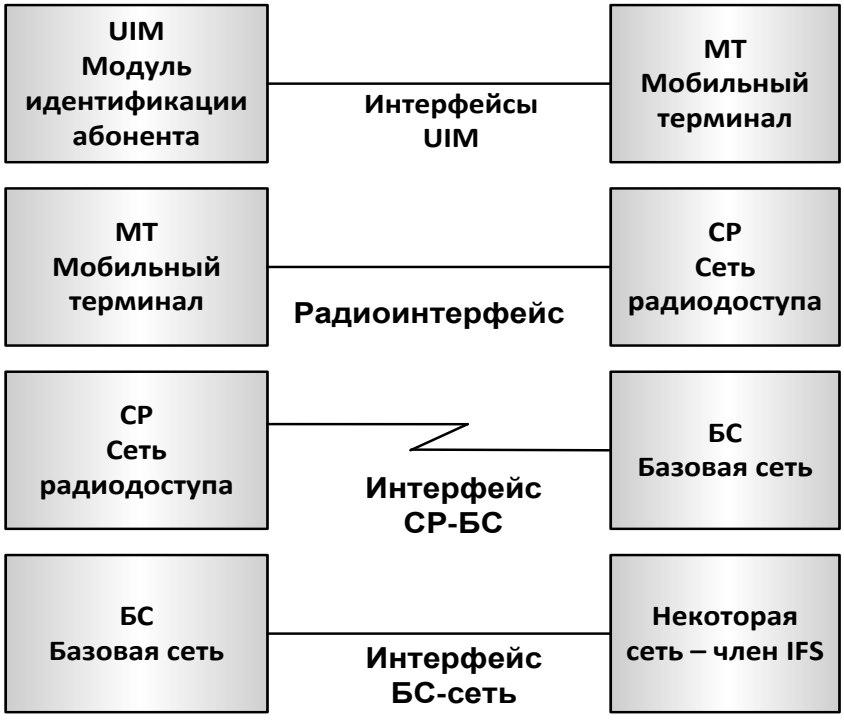


Рис. 17.8. Базовые интерфейсы IFS

Программа ITM-2000 является рамочной программой разработки новых стандартов. Принятие концепции «семейства систем» и разнообразие поступивших в ITU проектов-кандидатов на роль стандарта 3-го поколения создают достаточно неопределенный сценарий дальнейшего хода событий. Очевидно, что конкуренция различных региональных подходов с одной стороны и фирменных технологических решений с другой не будет ослабевать и приведет, видимо, к перегруппировке сил и концентрации вокруг трех-четырех базовых технологий. Провозгласив концепцию IFS и отказавшись

тем самым от принципа единого международного стандарта, ITU активизирует свои усилия на детализации рамочной структуры стандартов 3-го поколения. Рамочная структура будет развиваться по уже хорошо отработанной логике многоуровневых эталонных моделей взаимодействия систем OSI/ISO. Как известно, 7-уровневая модель OSI/ISO допускает большое разнообразие технологических решений на двух нижних уровнях (физического и логического каналов) и множества прикладных протоколов на верхних уровнях (представление данных и прикладных служб). Наиболее жестко определены протокольные механизмы межсетевого и транспортного уровней эталонной модели ISO, где фактически приняты два стандарта: формальный стандарт ISO/ITU (ISO 8573) и стандарт «де-факто» TCP/IP.

Рамочная структура ITM-2000 определяет общие транспортные и сетевые протоколы, а также механизм адаптации к тем новым технологическим решениям, которые будут появляться в действующих сетях, таких как GSM++, CDMA (IS-95)++, TDMA++ и т. п. (Отметим, что суффикс «++» – условное обозначение и означает только новые версии технологий: высокоскоростные, TCP/IP-совместимые, программно настраиваемые и т. п.).

Рамочная структура ITM-2000 содержит, следующие базовые компоненты:

эталонная модель уровневых протоколов и межсетевых взаимодействий;

общее частотное распределение;

рекомендации ITU по совместному функционированию различных радиоинтерфейсов и их эволюции к частотным требованиям ITM-2000;

рекомендации по принципам регулирования, обеспечивающим свободное перемещение (в глобальном масштабе) мобильных терминалов ITM-2000;

рекомендации по частотным и радиоинтерфейсным процедурам взаимодействия наземных сетей 3-го поколения и спутниковых сетей персональной связи.

Эталонная модель ITM-2000 определяет общую (рамочную) архитектуру будущей глобальной сети подвижной связи, включая ее следующие функциональные элементы:

сетевая инфраструктура на базе единой (или нескольких) сети радиодоступа (Access Network – сеть радиодоступа) и единой (или нескольких) базовой сети (Core Network – базовая сеть);

различные сети радиодоступа могут быть определены по функциональному принципу среды доступа, например, спутниковая сеть, наземная сеть, наземная сотовая сеть, беспроводные телефоны, сеть фиксированной связи и т. п.;

различные базовые сети могут быть определены с точки зрения требований эволюционного развития действующих сетей, и фактически эти сети будут соответствовать наиболее распространенным сетям – GSM, D-AMPS, IS-95 и т. п.;

функциональный элемент VHE (Virtual Home Environment – виртуальная домашняя среда) должен входить составной частью (как локальная радиосеть) в общую архитектуру ITM-2000;

несущественные различия между базовыми сетями должны быть устранены в максимальной степени, чтобы упростить технологию многорежимных мобильных терминалов;

архитектура ITM-2000 должна содержать четко специфицированные функциональные блоки для эксплуатационных служб сервис-провайдера и оператора сети;

функциональный блок, регламентирующий радиодоступ к фиксированным сетям и объединенные режимы работы «фиксированный / подвижный», должен быть полностью определен в терминах эталонной модели ITM-2000.

Следует отметить, что разработка архитектурных компонентов ITM-2000 тесно координируется с деятельностью других групп SG, действующих в рамках ITU-T и ITU-R

по ряду смежных направлений. Среди наиболее важных смежных областей можно выделить:

сетевые службы (ITU-T SG2) – услуги, адресация и маршрутизация, защита от неправомочного доступа;

мультимедиа (ITU-T SG16) – мультимедийные услуги, стандарты типа MPEG, кодеки голосовой связи;

управление спектром (ITU-R SGI) – планирование частотных распределений, оценка эффективности использования спектра, совместное использование спектра, мониторинг, инженерное обеспечение;

регулирование процедуры (ITU-R – Специальный комитет по вопросам регулирования и процедур) – подготовка всемирных радиоконференций WRC и другие задачи.

С целью оценки проектов стандартов в рамках сектора ITU-R определены функционально-технические требования к предлагаемым технологиям, получившие статус методических (M) рекомендаций. В документе «Recommendation ITU-R M.1225» сформулированы основные функционально-технические требования к подвижной связи 3-го поколения, учитывающие также общие требования к достижению в сетях подвижной связи качественных характеристик и параметров производительности на уровне аналогичных стандартов фиксированной связи (рекомендации серии G для голосовой связи, рекомендации серии F для служб телеконференций, рекомендации серии M для общих принципов международных систем связи и технологий их обслуживания).

Проект W-CDMA подготовлен специалистами Ericsson (отделение фирмы в США) на основе UTRA. ETSI UTRA во многом совпадает с W-CDMA (ARIB), так как разработан с участием японских специалистов на базе ранней версии японского проекта.

Проблемных вопросов в области стандартизации W-CDMA остается еще достаточно много, однако стратегические направления выбраны в рамках ITM-2000 с большой определенностью, что позволяет сделать вывод о перспективности новых технологий W-CDMA. Рассмотрению одной из них посвящается следующий раздел.

17.6. Радиотехнология UTRA

17.6.1. Обобщенная архитектура и интерфейсы сети

Концепция построения системы UMTS на базе широкополосного многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (W-CDMA) разработана в рамках ETSI рабочей группой SMG2. Проект стандарта радиоинтерфейса, обеспечивающий наземный радиодоступ в UMTS, получил название UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access).

На рис. 17.9 представлена обобщенная архитектура UMTS-системы, которая в общих чертах отражает концепцию построения. Разработанная на основе системного подхода, архитектура содержит два укрупненных уровня декомпозиции:

верхний, который не связан непосредственно с предоставлением доступа (non-access stratum);

нижний, который обслуживает все элементы системы, в той или иной степени связанные с организацией радиосвязи и обеспечением доступа (access stratum).

Для верхнего уровня услуги предоставляются через так называемые точки доступа к услугам SAP (Service Access Point), которые на рис. 17.9 показаны в виде овалов.

Кроме горизонтальных уровней (верхнего и нижнего) существуют три вертикальных сетевых слоя: абонентский, наземная сеть UTRAN (UTRA network) и базовая сеть CN (core network). На рис. 17.9 двумя вертикальными пунктирными линиями показаны интерфейсы между этими сетевыми элементами.

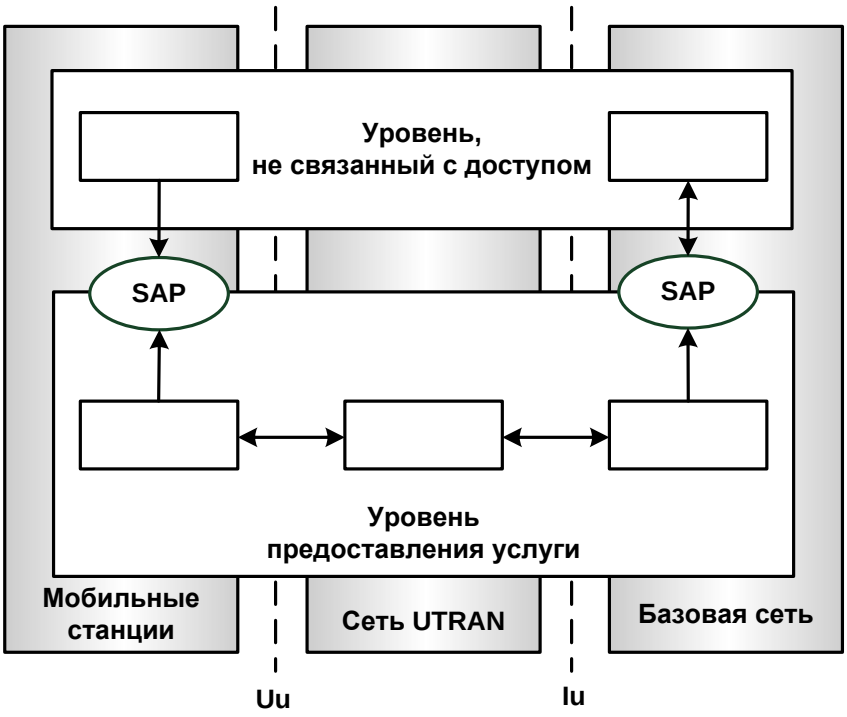


Рис. 17.9. Обобщенная архитектура UMTS (SAP – точка доступа к услугам)

Отличительными особенностями предлагаемой архитектуры являются:

логическое разделение сигнализации и сетей транспортировки данных;

макроразнесение, которое полностью обрабатывается в сети UTRAN;

функции сети UTRAN и базовой сети CN непосредственно не связаны с транспортировкой данных, хотя принципиально они могут быть реализованы в одном и том же оборудовании.

Состав сети UTRAN

Сеть UTRAN состоит из нескольких подсистем – RNS (Radio Network Subsystem), соединенных с сетью через интерфейс Iu и связанных друг с другом через интерфейс Iur. Каждая RNS подсистема ответственна за предоставление ресурсов, необходимых для установления соединения между определенной подвижной станцией и сетью UTRAN. Если подвижная станция связана с двумя RNS (что возникает в процессе ее перемещения), то одна из них является обслуживающей (serving RNS), а другая – пассивной (drift RNS). Хотя пассивная RNS непосредственно не связана с базовой станцией, но, взаимодействуя через обслуживающую RNS, она способна оперативно предоставлять ресурсы для установления соединения с подвижным абонентом.

Важную роль в RNS выполняет контроллер RNC (Radio Network Controller), который обеспечивает рациональное использование радиоресурсов и осуществляет хэндовер. К каждому контроллеру подключены от одного до нескольких логических узлов B, которые соединены с RNC через интерфейс Iub. В задачу логических узлов входит контроль за сложением и разделением разнесенных сигналов, обеспечение макроразнесения в пределах одного узла B.

Режимы FDD и TDD

В соответствии с концепцией UMTS радиоинтерфейс UTRA должен обеспечивать работу в режиме частотного (FDD) и временного (TDD) дуплексного разделения каналов. Минимальная необходимая полоса для работы системы равна 2x5 МГц в режиме FDD и 5 МГц в режиме TDD.

При чиповой скорости 4,096 Мчип/с (базовая скорость) полоса частот равна 5 МГц.

При переходе на более высокие скорости 8,192 или 16,384 Мчип/с ширина полосы увеличивается до 10 и 20 МГц соответственно.

Трафик в сети может быть симметричным или асимметричным. При частотном дуплексном разделении назначение каналов в линиях «вниз» и «вверх» осуществляется независимо, т. е. можно выделить разное число несущих в каждом из направлений связи. В режиме TDD асимметричный трафик обеспечивается за счет выделения различного числа временных интервалов в линиях «вниз» и «вверх».

Основные характеристики радиоинтерфейса UTRA в режимах FDD и TDD приведены в табл. 17.2.

Таблица. 17.2

Основные характеристики радиоинтерфейса UTRA

Режим работы системы	**Режим FDD**	**Режим TDD**
Диапазон частот, МГц	1 920–1 980 (вверх) 2110–2170 (вниз)	1 900–1 920 или 2 010–2 025
Метод многостанционного доступа	DS-CDMA	DS-CDMA+TDMA
Ширина полосы частот, МГц	2×5; 2×10; 2×20	5
Разнос между несущими, кГц	200	н/д
Дуплексный разнос приема передачи, МГц	130	не требуется
Скорость передачи информации, Мбит/с	до 2,048	до 2,048
Скорость в радиоканале, кбит/с *	16; 32; 64; 128; 256; 512;1 024;2 048	512; 1 024; 2 048; 4 096
Чиповая скорость, Мчип/с	4,096; 8,192; 16,384	4,096
Модуляция в канале данных	QPSK	QPSK
Расширяющая модуляция	QPSK/BPSK	QPSK
Коэффициент расширения SF	4–256	2–16
Длина кадра, мс	10	10
Нестабильность частоты	$0{,}05\ 10^{-6}$ (базовая станция) $3\ 10^{-6}$ или $0{,}05\ 10^{-6}$ (подвижная станция)	

* Скорости в радиоканале определены с учетом канального кодирования, согласования скоростей и сигнализации. В случае необходимости передачи с более высокой скоростью могут использоваться составные каналы и мультикодовая передача.
IuI – определяет точку взаимодействия между подсистемой RNC и базовой сетью;
Iur – предназначен для соединения между двумя RNS (обслуживающей и пассивной RNC);
Iub – определяет стык между контроллером RNC и узлом B

Интерфейсная структура

В сети UTRA используются три типа интерфейсов, каждый из которых выполняет определенные функции:

Интерфейс Iu

Сигнализация через интерфейс Iu осуществляется с помощью протокола RANAP (Radio Access Network Application Part), который определяет все процедуры взаимодействия между базовой сетью и UTRAN. Протокол RANAP также обеспечивает возможность конвейерной передачи сообщений в прозрачном режиме между базовой сетью и абонентским оборудованием, т. е. без промежуточной интерпретации и обработки в радиосети UTRAN.

С помощью протокола RANAP обеспечивается выполнение ряда общих процедур в сети UTRAN (таких как пейджинг и др.), распознавание конкретного абонентского оборудования на протокольном уровне, что необходимо для управления сигнализацией.

Протокол обеспечивает передачу в прозрачном режиме управляющей информации верхних уровней (не связанных с обеспечением радиодоступа и определенных как выделенная SAP),трансляцию различных типов запросов о выделении ресурсов, а также выполнение функций выбора оптимальной конфигурации.

Интерфейс Iur

Интерфейс Iur является открытым. Он определяет характеристики взаимодействия между двумя подсистемами (обслуживающей и пассивной RNS). Функции, выполняемые интерфейсом Iur, зависят от вида обслуживания (информационный обмен, сигнализация). Информационные потоки включают в себя кадры данных, текущие оценки качества, синхропараметры и др. Потоки сигнализации содержат сведения об удалении/добавлении ячейки в пассивную RNS, используемых радиоресурсах и т. д.

Между обслуживающей и пассивной RNS регулярно передаются так называемые Iur-потоки данных (Iurdatastream), с помощью которых обеспечивается макроразнесенный прием. Так, если пассивная RNS выполняет сложение разнесенных сигналов, то все необходимые данные она получает от обслуживающей RNS и наоборот.

Сигнализация через интерфейс Iur осуществляется с помощью протокола RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part), который определяет все процедуры взаимодействия между обслуживающей и пассивной RNS.

Интерфейс Iub

Данный вид интерфейса регламентирует характеристики стыка межу контроллером RNC и узлом B (логический узел ответственен за обеспечение радиообмена с подвижной станцией).

Можно выделить три группы потоков, передаваемых через интерфейс Iub и определяющих процедуры взаимодействия контроллера RNC и узла B:

прикладные аспекты, связанные с сигнализацией (добавление или исключение ячеек, контролируемых узлом B и др.);

блоки данных радиообмена в линиях «вниз» и «вверх»;

оценки качества канала «вверх» и синхропараметры.

Между контроллером и узлом B передаются Iub-потоки данных, которые обеспечивают макроразнесенный прием. Их характеристики такие же, как и ранее описанного Iur-потока данных.

17.6.2. Трехуровневая архитектура радиоинтерфейса

Полная структура протоколов

Архитектура сети UTRA является трехуровневой и включает в себя:

L1 – физический уровень;

L2 – уровень звена данных;

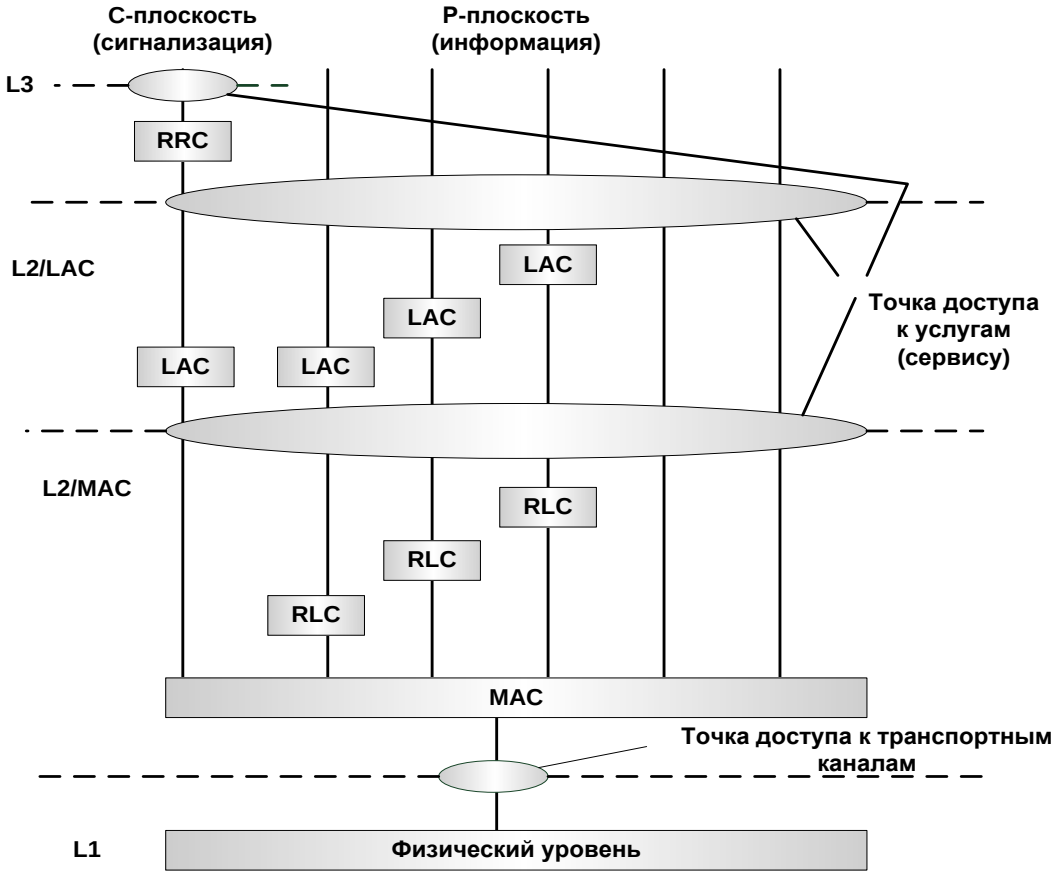
L3 – сетевой уровень.

Уровень L2 подразделяется на два подуровня: управление доступом к каналу (L2/LAC) и управление доступом к среде (L2/MAC).

На сетевом уровне (L3) и LAC-подуровне совокупность протоколов разделяется на две области управления или сигнализации (C-plane) и абонентскую (U-plane). В C-области (L3) имеется несколько подуровней, самый нижний из которых обозначается как RRC (Radio Resource Control) – управление радиоресурсами. Подуровень RRC имеет непосредственный интерфейс с LAC-подуровнем.

Полная структура протоколов приведена на рис. 17.10. Уровни и подуровни на рисунке представлены в виде блоков, а точки доступа к услугам SAP (Service Access Point) показаны в виде овалов.

Каждый из перечисленных уровней и подуровней имеет четко определенный интерфейс. Протоколы более высоких подуровней (L3), таких как управление мобильностью (MM – Mobility Management) и управление вызовами (CC – Call Control) на рисунке не отображены.



LAC – управление доступом к каналу;

MAC – управление доступом к среде;

LAC – Radio Resource Control (управление ресурсами)

RLCP – Radio Link Control Protocol (управление радиоканалами)

Рис. 17.10. Архитектура радиоинтерфейса UTRA

Транспортные каналы

Транспортные каналы предоставляют услуги физического уровня для более высоких уровней. Они подразделяются на две группы:

общие каналы (в которых не требуется идентификация мобильных станций в рабочей полосе частот);

выделенные каналы (в которых мобильная станция однозначно идентифицируется физическим каналом, т. е. определенным кодом и частотой).

Существуют следующие типы каналов (четыре общих и один выделенный):

RACH Random Access Channel – канал произвольного доступа;

FACH Forward Access Channel – канал прямого доступа;

BCCH Broadcast Control Channel – широковещательный канал управления;

PCH Paging Channel – пейджинговый канал;

DCH Dedicated Channel – выделенный канал.

Канал произвольного доступа

Канал доступа RACH является однонаправленным. Он предназначен для обеспечения произвольного доступа в линии от мобильных станций к базовой. В канале возможны конфликты при доступе. Управление мощностью осуществляется по схеме с разомкнутой петлей управления. Данные, необходимые для идентификации мобильной станции, передаются в рабочей полосе частот.

Канал прямого доступа

Канал FACH является однонаправленным. Он предназначен для передачи управляющей информации от базовой станции к мобильным. Канал может быть использован также для управления диаграммой направленности антенны. Возможно использование медленной и быстрой регулировки мощности, однако в первом случае возможны задержки. Запрос об идентификации мобильной станции передается в рабочей полосе.

Широковещательный канал

Канал типа «точка-многоточка» организуется в направлении от базовой станции к мобильным. По широковещательному каналу BCCH передается низкоскоростная информация, которая может динамически изменяться во времени (номер кадра, уровень мощности в линии «вверх» и др.). Для обеспечения широковещательного режима требуется полное покрытие обслуживаемой территории.

Пейджинговый канал

Канал PCH является однонаправленным и предназначается для передачи вызывных сигналов от базовой станции к мобильным. Для организации пейджингового режима также требуется полное покрытие географической зоны. Вызывные сигналы передаются после того, как определено местоположение абонента. Прием пейджинговых сообщений осуществляется в дежурном режиме (sleep mode).

Выделенные каналы

Каналы DCH организуются в обоих направлениях связи и обеспечивают режим обмена данными типа «точка-точка». По каналам DCH передаются данные и сигнализация. Различаются три типа выделенных каналов:

DTCH Dedicated Traffic Channel – выделенный канал трафика;

SDCCH Stand-alone Dedicated Control Channel – автономный выделенный канал;

ACCH Associated Control Channel – ассоциативный канал управления (определен в соответствии с рекомендациями ITU-R M.1035).

17.6.3. Услуги и функции канального и сетевого уровней

MAC- и LAC-подуровни

В соответствии с приведенной на рис. 17.10 структурой радиоинтерфейса L2/MAC- и L2/LAC-подуровни являются границей раздела между физическим и сетевым уровнями. Разделение уровня L2 на два подуровня позволяет разграничить их функции: LAC обеспечивает организацию логических каналов между равноправными объектами сетевого уровня, а MAC обеспечивает доступ к радиоканалам и координирует использование радиоресурсов между различными логическими каналами LAC-подуровня.

В число основных задач, решаемых на MAC уровне, входят все процедуры, связанные с доступом к физическому уровню. Основные из них следующие:

Мультиплексирование/демультиплексирование

MAC управляет процессом мультиплексирования потоков данных, по крайней мере передаваемых по общим транспортным каналам, и объединяет все рабочие процедуры, которые являются специфическими для физического уровня. Таких процедур несколько: уплотнение и разуплотнение потоков данных, объединение служебных сообщений

с информационными потоками и др.

Выбор транспортных форматов

В течение сеанса связи MAC обеспечивает выбор транспортного формата для каждого транспортного канала в зависимости от скорости источника и ограничений по радиоресурсам. Выбор осуществляется на длине одного или нескольких кадров длиной 10 мс. В зависимости от выбранного формата один или более протокольных блоков (PDU) верхних уровней могут быть отображены в один или несколько транспортных блоков, состоящих из одного или более кадров (10 мс). Процесс установления или модификации транспортных каналов и, соответственно, выбора транспортных форматов обрабатывается RRC-протоколом.

Обработка приоритетов

В процессе отображения данных в транспортные каналы и выбора транспортных форматов MAC может присваивать сообщениям различные категории срочности. Выбор приоритета будет зависеть от вида обслуживания, требований по допустимым задержкам и др.

Идентификация мобильных станций

Идентификация производится при передаче данных по транспортным каналам общего пользования. Когда адрес мобильной станции содержится в сообщении, передаваемом по каналу вниз, или когда МС использует канал доступа RACH.

Разрешение конфликтов

При работе нескольких мобильных станций в общем канале доступа RACH неизбежно возникают конфликты. Их обработку также осуществляют MAC-протоколы.

Представленный перечень выполняемых функций, конечно, не является полным, в функции MAC-уровня также входят динамическое распределение радиоресурсов и т. п.

Управление радиоресурсами осуществляется с помощью протокола RLCP (Radio Link Control Protocol), который поддерживает три режима взаимодействия мобильной станции с сетью:

достоверный режим, в котором RLCP использует специальные протоколы с защитой от ошибок (ARQ и др.), что гарантирует надежную доставку сообщений;

недостоверный режим, характеристики которого, в основном, определяются радиоканалом и в меньшей мере сетевыми процедурами;

прозрачный режим, при котором RLCP пропускает поток данных без обработки и добавления служебных символов.

Услуги и функции подуровня управления ресурсами (RRC)

На сетевом уровне управление ресурсами обеспечивает подуровень RRC (C-область на рис. 17.10). Он выполняет все сетевые процедуры, связанные с обработкой управляющей информации, циркулирующей между мобильными абонентами и сетью UTRAN.

В число основных функций, обеспечиваемых сетевым протоколом RRC, входит установление, переконфигурирование и разъединение соединений в каналах сигнализации и радиодоступа, включая процедуры, связанные с перемещением мобильных станций. Протокол RRC должен обеспечивать поддерживание режимов управления мобильностью (MM – Mobility Managment) и управления вызовами (CC – Call Control). Построение базовой сети на основе протоколов CC и MM, уже используемых в GSM, является одним из основных вариантов в UMTS.

Сетевые процедуры предусматривают два режима управления: общий и выделенный. В режиме общего управления обеспечивается обработка широковещательной информации (не связанной с предоставлением доступа конкретной станции) в определенной географической зоне. Широковещательная информация передается в непомехозащищенном режиме, т. е. без подтверждения приема, а улучшение вероятности

доставки обеспечивается за счет многократной передачи одних и тех же сообщений. Протокол RRC может реализовать различные алгоритмы повторной передачи.

В выделенном режиме управления обеспечиваются услуги, связанные с установлением/разъединением соединения и обработки сообщений, передаваемых по этим соединениям. По сравнению с общим режимом управления для выделенных каналов должны использоваться более надежные линии связи, гарантирующие, что сообщения типа CC и MM передаются в пункт назначения с заданной достоверностью и что они не будут потеряны, например, в процессе хендовера.

Наряду с вышеперечисленными функциями сигнализации и управления доступом протокол RRC будет обеспечивать управление мощностью с помощью внешней схемы регулирования.

17.6.4. Структура и параметры каналов в режимах FDD и TDD

Структура выделенных каналов в режиме FDD

Радиоинтерфейс UTRA позволяет образовывать два типа выделенных каналов:

DPDCH Dedicated Physical Data Channel – выделенный физический канал данных;

DPCCH Dedicated Physical Control Channel – выделенный физический канал управления.

Первый из них предназначен для передачи данных, генерируемых на уровне 2 и выше, т. е. с использованием логического транспортного канала DCH. На каждое соединение может приходиться один или несколько каналов DPDCH.

Другой канал DPCCH предназначен для передачи управляющей информации: пилот-сигнала, команд управления мощностью TPC (Transmit Power Control) и указателя транспортного формата TFI (Transport Format Indicator). Указатель транспортного формата используется для оповещения приемника о текущем состоянии и параметрах транспортных каналов, передаваемых в DPDCH.

Структура кадра для выделенных каналов DPDCH и DPCCH приведена на рис. 17.11 (линия «вверх») и рис. 17.12 (линия «вниз»). Кадр длиной $T_{frame} = 10$ мс разделен на 16 временных интервалов (слотов). Длина каждого интервала равна $T_{slot} = 0{,}625$ мс. Суперкадр образуется из нескольких кадров ($T_{super} = 720$ мс).

Основное различие в структуре кадров DPDCH и DPCCH состоит в том, что в первом случае каналы передаются с кодовым уплотнением (рис. 17.11), а во втором – с мультиплексированием во времени (рис. 17.12). На рисунках число передаваемых бит в слоте обозначается индексами: N_{pilot} (пилот-сигнал), N_{TPC} (биты управления мощностью) и N_{TFI} (указатель формата кадра).

Параметр k (указан на рисунках) определяет общее число бит на временной интервал. Он связан с коэффициентом расширения спектра соотношением $SF=256/2^k$, k=0...6, т. е. коэффициент расширения SF может изменяться в пределах от 256 до 4.

Заметим, что DPDCH и DPCCH каналы могут передаваться с различными скоростями и иметь различные коэффициенты расширения SF. В случае, когда требуемая скорость передачи по одному каналу «вниз» превышает пропускную способность одного физического канала, может применяться мультикодовая передача, при которой организуется несколько параллельных каналов в том же временном интервале длиной $T_{slot} = 0{,}625$ мс. При мультикодовой передаче коэффициенты расширения SF в различных каналах могут отличаться.

Структура общих каналов

В линии «вниз» организуются два типа общих каналов: первичные и вторичные. Первичный канал используется для передачи широковещательной информации (BCCH) с фиксированной скоростью 32 кбит/с (SF = 256). Кадр имеет аналогичную структуру, что

и выделенный канал (см. рис. 17.12), причем размеры временного интервала являются фиксированными. В одном интервале передаются пилот-сигнал (8 бит) и данные (12 бит), т. е. отсутствуют биты TPC и TFI.

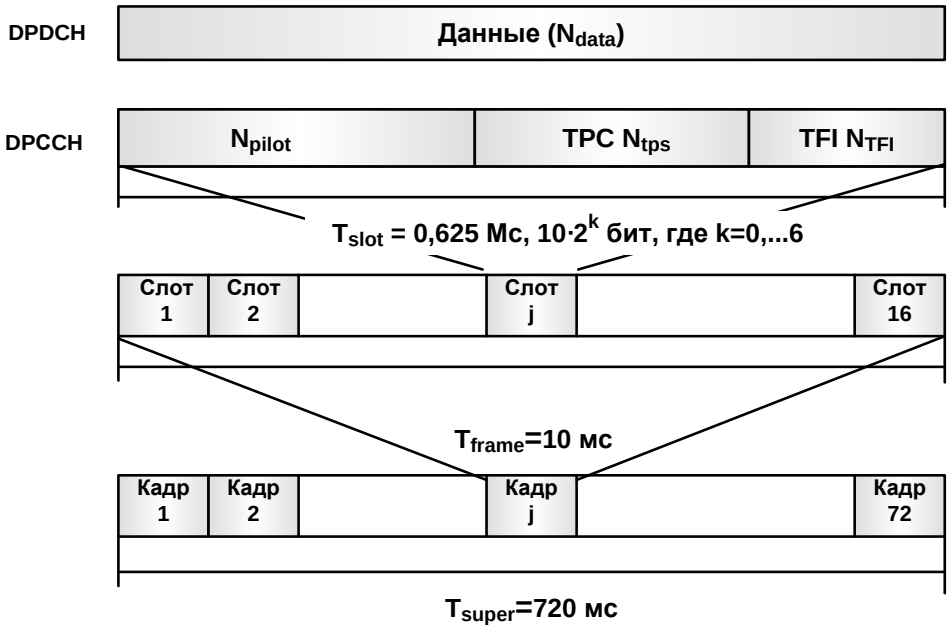


Рис. 17.11. Структура кадра для каналов DPDCH/DPCCH (линия «вверх»)

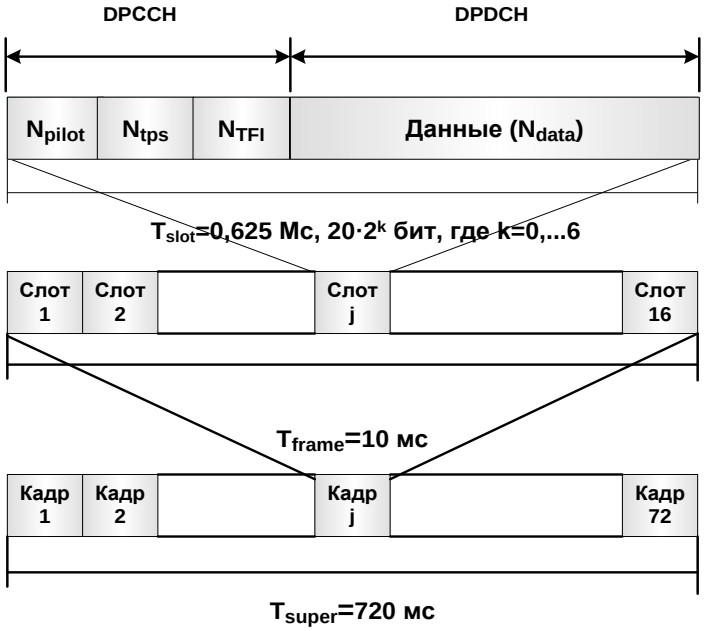


Рис. 17.12. Структура кадра для каналов DPDCH/DPCCH (линия «вниз»)

Вторичный общий канал используется для передачи вызывных и служебных сигналов (FACH и PCH). В отличие от первичного канала скорость передачи в нем может быть переменной. Структура канального интервала совпадает с ранее описанной, однако

длина передаваемого сегмента может быть переменной, т. е. 20×2^k, где k=0...6.

Расширение спектра и модуляции

Модуляция в канале данных осуществляется с использованием QPSK. Каждая пара битов отображается в один символ в I и Q каналах. Расширение спектра осуществляется с использованием двух различных кодов c_d и c_c. После сложения действительной и мнимой части сообщения осуществляется операция скремблирования кодов c_s.

Для расширения спектра также используется QPSK-модуляция, но со сглаживанием. Фильтры p(t) обеспечивают коэффициент сглаживания, равный 0,22. Упрощенная схема, поясняющая принципы расширения спектра и модуляции для выделенных каналов DPDCH и DPCCH, приведена на рис. 17.13.

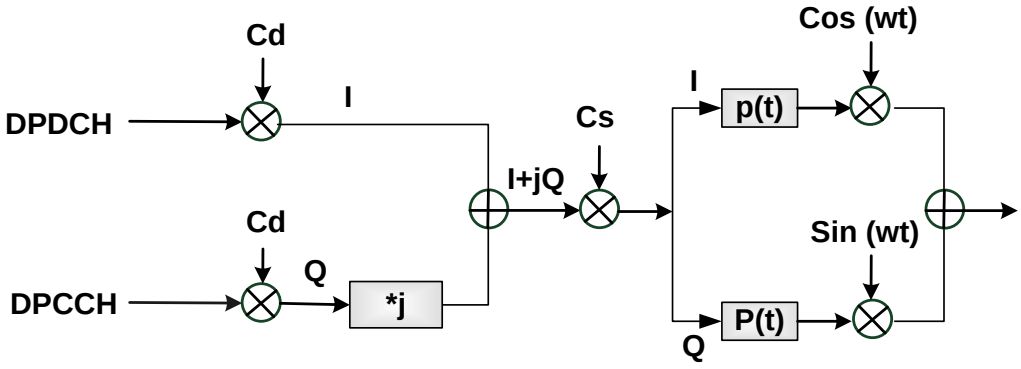


Рис. 17.13. Схема расширения спектра и модуляции для каналов DPDCH и DPCCH (линия «вверх»)

Каналы доступа и синхронизации

Многостанционный доступ обеспечивается с использованием протокола типа «сегментированная Алоха» по физическому каналу PRACH (Physical RACH). Различные каналы доступа сдвинуты относительно начальной границы кадра на произвольное число временных интервалов. Длительность элементарного интервала доступа (access slot) равна 1,25 мс.

Пакет доступа состоит из преамбулы длиной 1 мс и информационной части сообщения длиной 10 мс. Между преамбулой и сообщением предусмотрен защитный временной интервал длиной 0,25 мс.

Код преамбулы является признаком, по которому можно отличить одну базовую станцию от другой, т. е. любые две соседних ячейки должны использовать различные коды преамбулы. Такой принцип организации доступа требует введения кодового планирования в сети.

Преамбула состоит из 16-символьной сигнатуры, каждый символ которой {Pi} является комплексным числом вида (±l±j). Символы {Pi} расширяются с использованием 256-элементного ортогонального кода Голда. Информационная часть пакета доступа генерируется аналогичным образом, что и в выделенном канале «вверх» (рис. 17.11), т. е. включает два подканала, передаваемые параллельно. По синфазному I-каналу передаются данные, по квадратурному Q-каналу чередуется передача пилот-сигнала и полезной информации (запросный пакет или короткие абонентские сообщения). Коэффициент расширения SF подканала данных может принимать значения {256, 128, 64, 32}, которые однозначно определяют скорость передачи 16, 32, 64 или 128 кбит/с. Управляющая часть пакета, содержащая пилот-сигнал и информацию о скорости, передается с коэффициентом расширения SF = 256. Пакет содержит следующие поля данных:

идентификатор мобильной станции (MSID) – 16 бит;

запрашиваемый вид услуг – 3 бита;
исходный абонентский пакет;
проверочные символы – 8 бит.

Синхронизирующий канал SCH

Синхронизирующий канал создается в линии «вниз» и используется для поиска ячеек. Выполнен он в виде двух синхронизирующих каналов: первичного и вторичного SCH. Первичный SCH состоит из немодулированного ортогонального кода Голда длиной 256 бит и передается один раз в течение временного интервала (длина 2 560 бит). Синхрокод первичного канала SCH выбирается одинаковым для всех базовых станций сети.

Вторичный синхрокод состоит из 16-ти периодически повторяющихся последовательностей немодулированных ортогональных кодов Голда, каждый длиной 256 символов. Он передается параллельно с первичным синхронизирующим каналом. Каждый вторичный синхрокод выбирается из 17-ти различных кодов Голда.

Кодирование TFI

Для передачи кодовых слов транспортного формата (TFI) используется биортогональный блочный код (32,6). Кодовое слово TFI длиной 32 бита равномерно распределяется по 16 слотам в пределах одного кадра, т. е. два самых старших разряда (бита) передаются в первом слоте, следующие два бита – во втором слоте и т. д.

Структура и параметры каналов в режиме TDD

Структура кадра

Основные параметры кадра в режиме TDD такие же, как и в FDD, т. е. длина кадра равна 10 мс. Полный кадр разбивается на 16 временных интервалов (слотов) по 0,625 мс. В каждом интервале можно передать 2 560 элементов CDMA сигнала (чипов).

Режим TDD обеспечивает большую гибкость, т. к. позволяет адаптироваться под различные источники сообщений и сценарии развертывания. Распределение интервалов может быть произвольным, однако в любой конфигурации по крайней мере один интервал должен быть отведен в каждом направлении связи. Примеры организации кадра с многоточечной и одноточечной конфигурацией для симметричных и асимметричных линий в прямом и обратном направлениях приведены на рис. 17.14.

Внутри каждого из 16-ти интервалов возможно дальнейшее разделение абонентских сигналов за счет использования мультикодовой передачи.

Пакеты для каналов трафика и управления

В режиме TDD применяется два вида пакетов трафика. Каждый пакет состоит из четырех полей: двух полей данных, обучающей последовательности (midample) и защитного интервала. Основное различие между пакетами в том, что в первом из них используется в два раза более длинная обучающая последовательность (512 элементов сигнала). Пакет с такой обучающей последовательностью предназначен для линий «вверх», т. к. позволяет оценивать до 8-ми различных импульсных характеристик многолучевых каналов. Другой пакет из 256-ти элементов рекомендован для линии «вниз» и позволяет обслуживать до 4-х активных абонентов в одном интервале. Структура пакетов обоих типов указана в табл. 17.3.

Структура TDD кадра для каналов управления BCCH и RACH содержит три типа полей: для пакета радиомаяка, каналов RACH (линия «вверх») и канала BCCH (линия «вниз»).

Пакет радиомаяка излучается в начале кадра и передается с максимальной мощностью, что обеспечивает возможность покрытия всей географической зоны. Для того чтобы мобильная станция могла одновременно принимать сигналы от 8-ми разных базовых станций, необходимо использовать более длинную обучающую последовательность, позволяющую оценивать характеристики каналов при наличии

временных сдвигов между базовыми станциями.

Рис. 17.14. Структура TDD кадра

Таблица 17.3

Структура пакетов данных 1-го и 2-го типов

Содержание полей пакета		Номер чипа	Длина поля		
			чипы	симв.	мкс
Пакет 1	Поле данных 1	0–976	976	61	238,3
	Обучающая последовательность	1 488–2 464	512		125,0
	Поле данных 2	975–1 487	976	61	238,3
	Защитный интервал	2 463–2 559	96	–	23,4
Пакет 2	Поле данных 1	0–1 104	1 104	69	269,55
	Обучающая последовательность	1 360–2 464	256	–	62,5
	Поле данных 2	1 103–1 359	1 104	69	269,55
	Защитный интервал	2 463–2 559	96	–	23,4

С учетом задержки на распространение, погрешностей установления синхронизации и запаздывания сигнала в согласованном фильтре общая задержка при приеме сигнала одной БС может достигать 20-25 мкс. Когда требуется обнаружить сигналы восьми базовых станций одновременно, длина обучающей последовательности должна быть не менее 200 мс.

Для передачи пакета радиомаяка всегда отведен первый временной интервал в кадре. Если этого недостаточно, то могут быть выделены дополнительные интервалы, что позволяет гибкая структура кадра.

Мобильная станция передает пакеты доступа по RACH каналу в случайные моменты времени, что связано с возникновением конфликтов.

Чтобы снизить вероятность конфликтов и увеличить пропускную способность RACH канала в каждом временном интервале дополнительно используется восемь

ортогональных кодов. Дальнейшее улучшение состоит в разделении одного временного интервала (625 мкс) на два подинтервала, каждый длительностью 312,5 мкс. В каждом подинтервале передается свой пакет доступа. Структура пакетов доступа приведена в табл. 17.4.

Таблица 17.4

Структура пакетов управления 1-го и 2-го типов

Содержание полей пакета		Номер чипа	Длина поля		
			чипы	симв.	мкс
Пакет 1	Поле данных 1	0–336	336	21	82,0
	Обучающая последовательность	848–1 184	512	–	125,0
	Поле данных 2	1 279–335	336	21	82,0
	Защитный интервал	847–1 183	96	–	23,4
	Расширенный защитный интервал	1 279–2 559	1 280	–	312,5
Пакет 2	Поле данных 1	0–1 280	1280	–	312,5
	Обучающая последовательность	1 616–2 128	336	21	82,0
	Поле данных 2	2 464–1 279	512	–	125,0
	Защитный интервал	1 615–2 127	336	21	82,0
	Расширенный защитный интервал	2 463–2 559	96	–	23,4

Все базовые станции передают сигналы BCCH на жестко закрепленных позициях в кадре (слоты для радиомаяка), причем каждая из них использует один из восьми выделенных системных кодов. Передача BCCH осуществляется с повышенным уровнем мощности. Остальные интервалы, которые не задействованы для BCCH, могут быть использованы для передачи PCH, SCH и FACH сигналов. Положение этих каналов в кадре обычно указывается в сообщении BCCH.

Высокая эффективность режима TDD обеспечивается при использовании мультикадровой или суперкадровой структуры. Такое решение не только упрощает реализацию двухрежимного FDD/TDD терминала, но и позволяет обеспечить совместимость с GSM. Пакетная структура, свойственная TD-CDMA кадру, позволяет мобильной станции использовать свободные позиции в мультикадре для оценки характеристик GSM и FDD сетей.

Примеры канального кодирования при передаче речи и данных

Чтобы оценить те конкретные преимущества, которые обеспечивает реализация режима CDMA/TDD для различных видов обслуживания, рассмотрим несколько конкретных примеров.

Передача речи

Речепреобразующее устройство формирует цифровой сигнал со скоростью 8 кбит/с. Речевой поток данных разбивается на блоки по 1 600 бит, которые генерируются кодером каждые 20 мс. К ним добавляются восемь проверочных символов, «X» бит сигнализации (генерируются на LAC уровне) и конечные биты (tailbits). Кодирование исходного потока

бит осуществляется сверточным кодером (R = l/3). Далее групповой поток (528 + 3X) бит разбивается на два типа пакетов. В каждом из них на сигнализацию затрачивается разное число бит: (3X + 40) или (3X – 24) бит. В канале данных используется QPSK модуляция, отображающая каждые 2 бита в один модулированный символ. Процедура канального кодирования и модуляции данных иллюстрируется на рис. 17.15.

Передача данных

В отличие от режима передачи речи, где требуемая вероятность ошибки на бит равна 10^{-3}, в канале передачи данных используются каскадные коды (внутренний код Рида-Соломона, внешний код – сверточный) или турбо-коды, что позволяет снизить вероятность ошибки до 10^{-6} . Кадр при передаче данных равен 10 мс.

Принципы канального кодирования данных со скоростью 144 и 384 кбит/с иллюстрируются на рис. 17.16 и рис. 17.17.

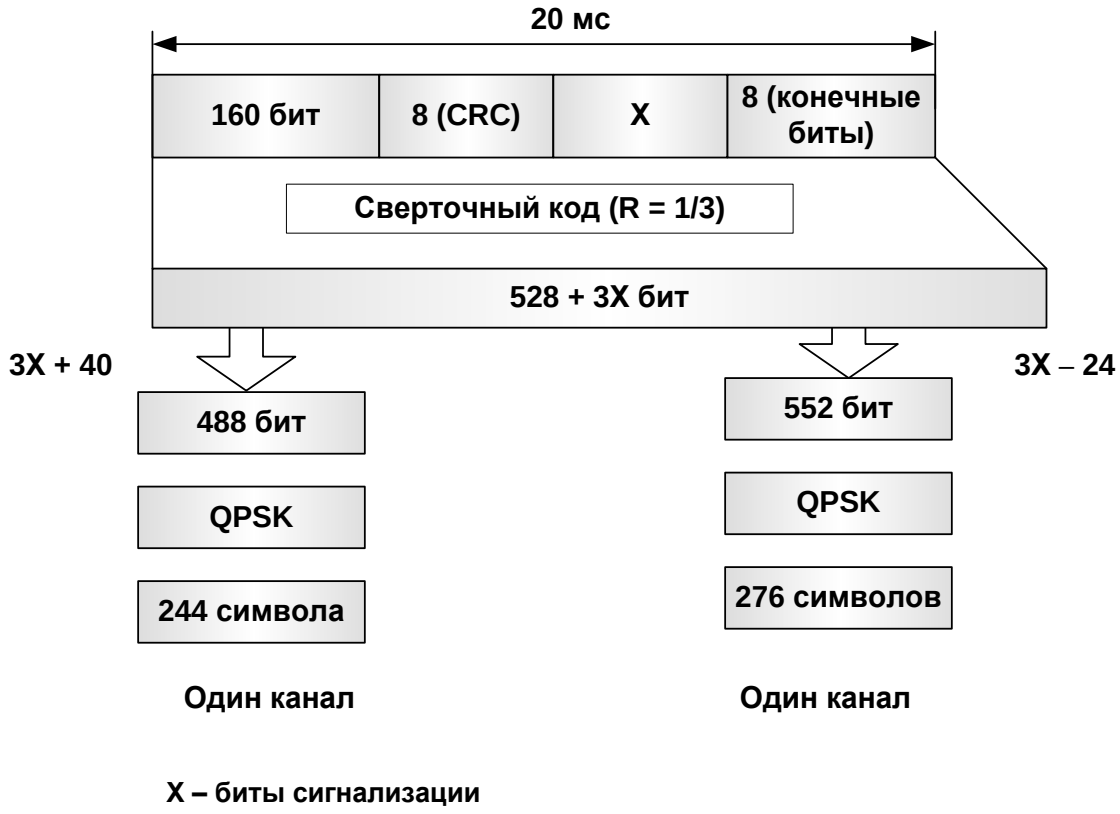


Рис. 17.15. Канальное кодирование при передаче речи со скоростью 8 кбит/с (режим TDD)

В первом случае информационный поток со скоростью 144 кбит/с разбивается на блоки по 1 440 бит в каждом. После этого осуществляется кодирование кодом Рида-Соломона (225, 180). В результате кодирования размеры блока данных увеличиваются до 1 800 бит. Далее к данным добавляются «X» бит сигнализации и конечные биты (8). Сформированный таким образом групповой поток кодируется сверточным кодом с R = 2/3.

Кодированный поток данных отображается либо в 10-ти физических каналах (пакет 1) или в 9-ти физических каналах (пакет 2). Кроме того, может быть использована процедура периодического исключения бит (puncturing), что позволит согласовать скорость источника сообщений с физическим каналом.

При передаче потока со скоростью 384 кбит/с используется аналогичная схема кодирования. Изменены лишь размеры блоков данных, параметры кодера Рида-Соломона (245/200) и более чем в два раза увеличено число необходимых физических каналов.

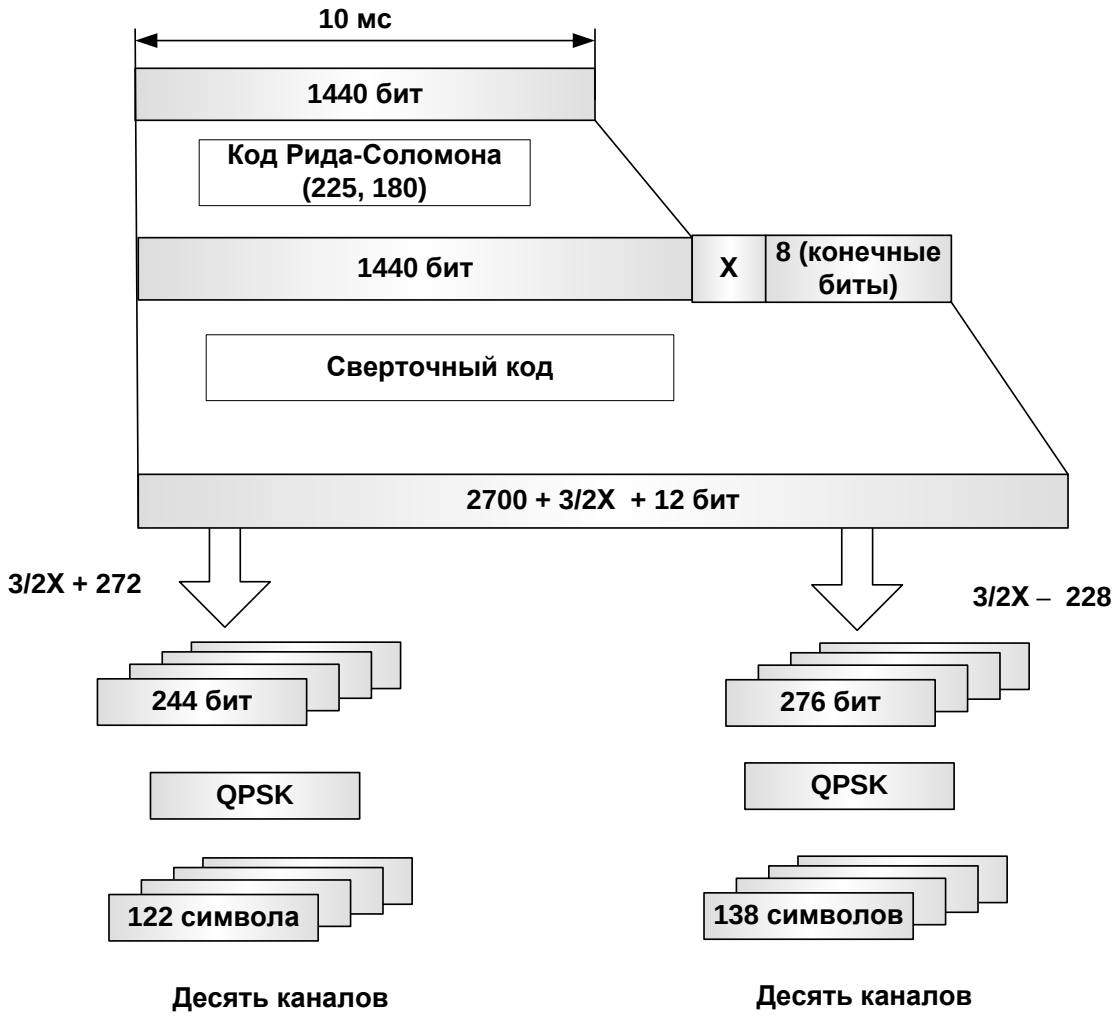


Рис. 17.16. Канальное кодирование при передаче данных со скоростью 144 кбит/с (режим TDD)

17.6.5. Синхронизация и обеспечение хэндовера

Трехэтапная процедура установления синхронизации в режиме FDD

Этап 1. Сегментированная синхронизация

Структура синхронизирующего канала SCH состоит из двух каналов: первичного (Primary SCH) и вторичного (Secondary SCH), излучаемых параллельно. Теперь рассмотрим более подробно процедуру вхождения в синхронизм, которая осуществляется в три этапа.

Первая фаза вхождения основана на установлении сегментированной синхронизации (slotsynchronization) мобильной станции с базовой. Она осуществляется по первичному синхронизирующему сигналу, в качестве которого используется немодулированный ортогональный код Голда (длиной 256), передаваемый один раз в течение временного интервала. Первичный SCH является общим для всех базовых станций.

Мобильная станция отслеживает первичный SCH код с помощью согласованного фильтра или другого аналогичного устройства. Поскольку код CSCH общий для всех БС, то на выходе согласованного фильтра наблюдается большое число «пичков», каждый из которых соответствует определенному лучу или базовой станции. Выделяя наибольший из «пичков», можно точно определить длину временного интервала.

Таким образом, на первом этапе мобильная станция реализует процедуру вхождения в синхронизм по наиболее сильному сигналу базовой станции. Для обеспечения большей надежности накопление выборок на выходе согласованного фильтра осуществляется некогерентно.

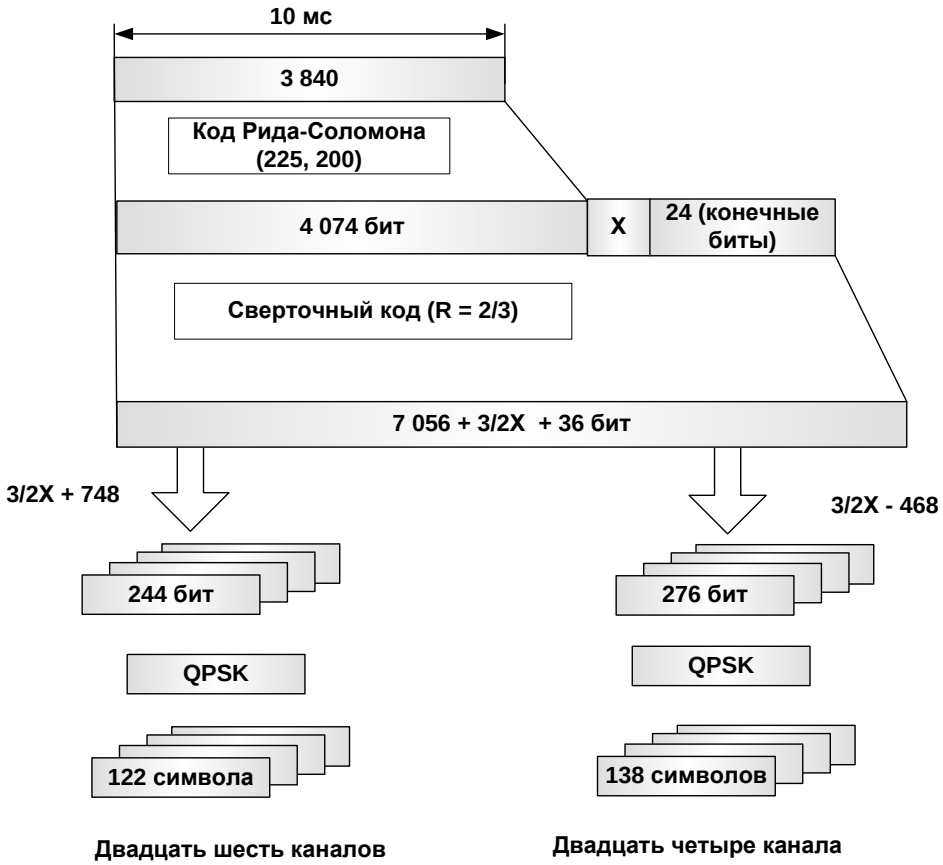


Рис. 17.17. Канальное кодирование при передаче данных со скоростью 384 кбит/с (режим TDD)

Этап 2. Кадровая синхронизация

Успешно завершив первый этап синхронизации, мобильная станция переходит ко второй фазе – установлению кадровой синхронизации. Эта процедура основана на обнаружении вторичного синхронизирующего сигнала. Поскольку вторичный синхрокод выбирается из 17-ти различных кодов Голда, то для его обнаружения используется соответственно 17 корреляторов. Обрабатывая сигналы с выходов всех 17-ти корреляторов, приемник определяет, у какой пары код Голда/циклический сдвиг коэффициент корреляции максимальный. На основании этой информации могут быть однозначно определены границы кадра.

Этап 3. Идентификация скремблирующих кодов

В течение третьей и последней фазы установления синхронизации определяется какой из скремблирующих кодов используется на базовой станции. После успешного приема вторичного SCH и определения границ кадра, мобильная станция знает точное начало синхрокода и наборы кодов, используемых в канале BCCH. Процедура определения скремблирующего кода сводится к посимвольной корреляции первичного CCPCH кода со всеми скремблирующими кодами, входящими в кодовую группу. Зная скремблирующий код, мобильная станция принимает широковещательное сообщение BCCH и, при необходимости, устанавливает суперкадровую или мультикадровую

синхронизацию.

Организация доступа к базовой станции

Процедура доступа мобильной станции к обслуживающей базовой станции строго регламентирована и включает следующие шаги:

1-й шаг

Мобильная станция входит в синхронизм с базовой станцией, реализуя вышеописанную процедуру установления синхронизации.

2-й шаг

Мобильная станция принимает широковещательное сообщение BCCH и извлекает из него следующую информацию:

преамбулу и используемые в сети скремблирующие коды;

рабочую сигнатуру;

канальный интервал доступа;

используемый коэффициент расширения SF для сообщения;

текущий уровень помех на входе приемника базовой станции;

уровень излучаемой мощности в канале CCPCH.

3-й шаг

Мобильная станция определяет коды преамбулы и скремблирующие коды сообщения.

4-й шаг

Мобильная станция определяет коэффициент расширения SF для информационной части сообщения.

5-й шаг

Мобильная станция оценивает уровень потерь в линии «вниз» по первичному CCPCH и определяет требуемый уровень мощности в линии «вверх» на основании полученной от базовой станции информации о помеховой обстановке.

6-й шаг

Мобильная станция, используя рандоминизированную процедуру, определяет окно доступа в сигнатуру.

7-й шаг

Мобильная станция в течение установленного времени ожидает подтверждения приема с базовой станции. Если подтверждение не получено в течение установленного тайм-аута, то станция повторяет процедуру установления связи, начиная с 5-го шага.

Типичная реализация приемника базовой станции для выделения кода преамбулы пакета доступа приведена на рис. 17.18. Входной сигнал поступает одновременно на согласованный фильтр и RAKE-приемник. На выходе СФ включен коррелятор преамбулы. На опорный вход коррелятора поступает код преамбулы.

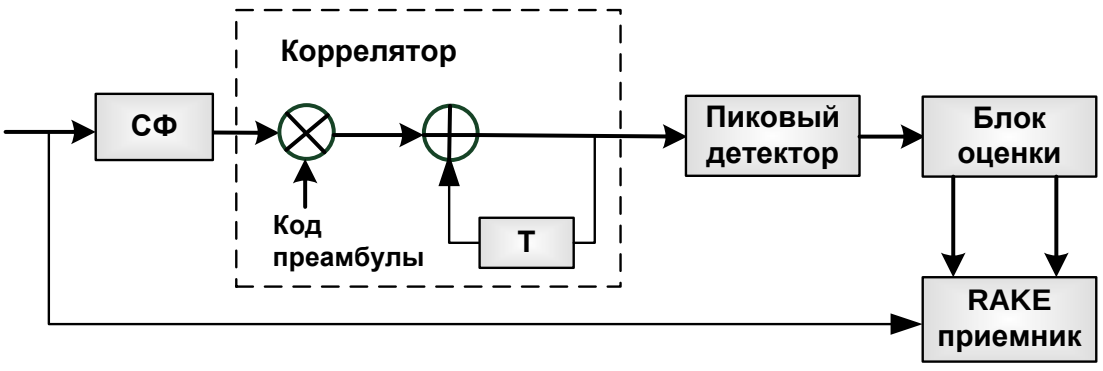


Рис. 17.18. Приемник базовой станции в канале доступа

С помощью пикового детектора и блока оценки выделяются границы пакета доступа для принимаемого кода преамбулы. Эта оценка используется для синхронизации RAKE приемника.

Принципы синхронизации базовых станций в режиме TDD

Для обеспечения нормальной работы системы в режиме TDD требуется точная кадровая синхронизация между базовыми станциями. Поскольку синхронизация осуществляется только на покадровой основе, то такое решение не приведет к значительному усложнению аппаратно-программных средств при реализации смешанного режима работы FDD/TDD.

Концепция построения синхронной сети основана на использовании трех иерархических уровней:

синхронизация в подзоне (строго регламентируется);

синхронизация в основной зоне (регламентируется);

синхронизация на глобальной основе (факультативная).

Принципы синхронизации базовых станций поясняются на рис. 7.19.

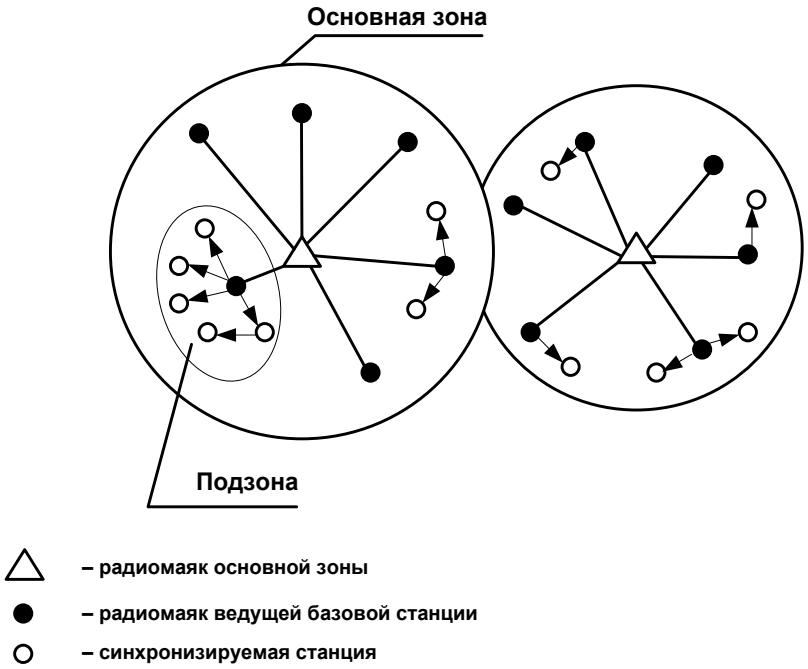


Рис. 17.19. Принципы синхронизации базовых станций в режиме TDD

Синхронизация в подзоне может быть осуществлена с помощью радиомаяка основной зоны. Радиомаяки всех базовых станций должны быть засинхронизированы с радиомаяком основной зоны. Два первых уровня синхронизации могут быть обеспечены с использованием наземных станций или магистральных каналов. Каждая основная зона/подзона фактически является синхронизируемой сетью. Третий уровень синхронизации может быть реализован за счет использования спутниковых, радиорелейных или кабельных линий. Для целей синхронизации также пригодна GPS система, однако, европейские компании опасаются, что до тех пор, пока эксплуатацию системы обеспечивает МО США, нет гарантий, что информация GPS всегда будет доступна.

Основное достоинство предлагаемой концепции в том, что каждая подзона может работать автономно, даже если синхронизация в ней будет потеряна.

Синхронизация базовых станций может быть осуществлена по радиоканалу ведущей

базовой станции (обычная БС с расширенными возможностями) через системный радиоинтерфейс. Синхропараметры передаются по специальным логическим каналам в линии «вниз». Для этих целей могут быть зарезервированы временные интервалы в каждом 10-м или 100-м кадре, что эквивалентно потерям пропускной способности не более 0,1%.

Организация хэндовера

В системах 3-го поколения важную роль играет метод автоматического переключения вызова на другой канал в момент, когда абонент перемещается из соты в соту.

Различают хэндовер без смены частоты, когда связь осуществляется в пределах одной соты на одной несущей частоте, и хэндовер со сменой частоты несущей, когда речь идет о переключении на соседнюю базовую станцию.

Процедура организации мягкого хэндовера заключается в следующем. Мобильная станция постоянно контролирует уровень принимаемого сигнала от соседних базовых станций и сравнивает его с заданными порогами. Отчет о полученных оценках регулярно высылается на базовую станцию. В нем указывается активный набор базовых станций, уровень которых превышает установленные пороги. Более подробно режим мягкого хэндовера описан в проекте cdma-2000.

Хэндовер UTRA/FDD-TDD

Процедура хэндовера может быть реализована при использовании терминала UTRA/FDD-TDD, когда он переходит из ячейки UTRA/FDD в ячейку UTRA/TDD или наоборот. Длина кадра в обоих режимах одинакова и равна 10 мс, что упрощает процедуру автоматического переключения вызова на другой канал. Так, в кадре FDD имеются свободные интервалы, которые могли бы быть использованы для приема сигнала на другой частоте. Еще проще провести измерения сигналов на другой частоте в режиме UTRA/TDD, где передаваемая информация скомпрессирована во времени. Таким образом, можно, не прерывая передачу FDD, осуществить прием на несущей частоте TDD или наоборот.

Задача межрежимного FDD/TDD хэндовера может быть значительно упрощена, если базовые станции в своих широковещательных сообщениях будут указывать номера ячеек сотовой сети, работающих в том или ином режиме (FDD, TDD), а также используемые расширяющие/скремблирующие коды.

Хэндовер UTRA/GSM

Терминал UTRA/FDD-GSM может быть реализован без использования двух параллельных каналов приема. При мультикадровой структуре в режиме FDD (T = 120 мс) могут быть предусмотрены свободные интервалы для измерения уровня сигнала на GSM частотах. Что же касается режима UTRA/TDD-GSM, то там, как уже говорилось ранее, образуются свободные интервалы, которые могли быть также использованы для измерения уровня сигналов на несущих частотах GSM.

17.6.6. Методы борьбы с замираниями

Использование технологии W-CDMA основано на использовании различных методов разнесенной обработки сигналов. В рассматриваемом проекте радиоинтерфейса UTRA планируется использовать различные методы борьбы с замираниями и искажениями в многолучевом канале, которые обобщены в таблице 17.5.

Одна из основных проблем, которая успешно решается в системах 3-го поколения – это обеспечение устойчивой работы абонентского терминала (мобильной станции) без использования традиционных методов разнесенного приема, которые обычно требуют введения дополнительных каналов разнесенного приема.

Таблица 17.5

Технология разнесенной обработки сигналов

Тип разнесения	Методы борьбы с замираниями
Временное разнесение	Обеспечение перемежения символов в линиях «вверх» и «вниз»
Многолучевое разнесение	Использование RAKE приемника и введение режима совместного детектирования (joint detection)
Пространственное разнесение	Разнесение передающих антенн (линии «вниз»). Разнесение приемных антенн со сложением сигналов по максимуму отношения сигнал/помеха (линия «вверх»)
Частотное разнесение	Использование сигналов с расширением спектра, что эквивалентно многолучевому разнесению
Макроразнесение	Мягкий хэндовер со сложением сигналов в линии «вниз» и прием с автовыбором в линии «вверх»

Не все методы разнесения на передаче могут быть пригодны для использования в W-CDMA системах. Так, наиболее простой способ разнесенной передачи, связанный с введением задержки, непригоден, так как вызовет увеличение уровня взаимных помех и потребует введения дополнительного RAKE-приемника в мобильной станции. Основное отличие нижеприведенных технических решений основано на обеспечении ортогональности между сигналами различных передающих антенн за счет использования либо кодового, либо временного разделения.

Ортогональное разнесение на передаче

Ортогональное разнесение на передаче OTD (Orthogonal Transmit Diversity) для случая двух антенн реализуется следующим образом. Кодированные биты разделяются на два потока, каждый из которых передается через одну из антенн. Для расширения спектра используются различные каналообразующие коды, что обеспечивает ортогональность между передаваемыми потоками разных антенн и подавление взаимных помех в канале с гладкими замираниями. Следует отметить, что процедура расщепления информационной последовательности на два потока данных и их передачи с помощью ортогональных кодов не снижает эквивалентное число абонентских кодов, которое остается таким же, как и в случае без OTD.

Схема разнесенных сигналов в RAKE-приемнике с OTD иллюстрируется на рис. 17.20. Важно отметить, что пилот-сигнал также расщепляется и передается через две антенны, что обеспечивает возможность его когерентного детектирования на приеме. Данные обрабатываются также в двух параллельных каналах RAKE-приемника. Поскольку сигналы принимаются одновременно с одной и той же задержкой (в каждом луче), то никакой дополнительной буферизации или временного сдвига данных не требуется. Это значительно упрощает реализацию и стоимость приемника мобильной станции.

Предлагаемая структура является достаточно гибкой и может быть легко расширена на большее число антенн (4, 8 и т. д.). Что же касается реализации режима OTD на базовой станции, то в ней обеспечивается групповая обработка и используются те же методы модуляции, кодирования и мультикодовой передачи. Таким образом, все

усложнения в основном связаны лишь с введением дополнительной антенны и приемопередающей аппаратуры.

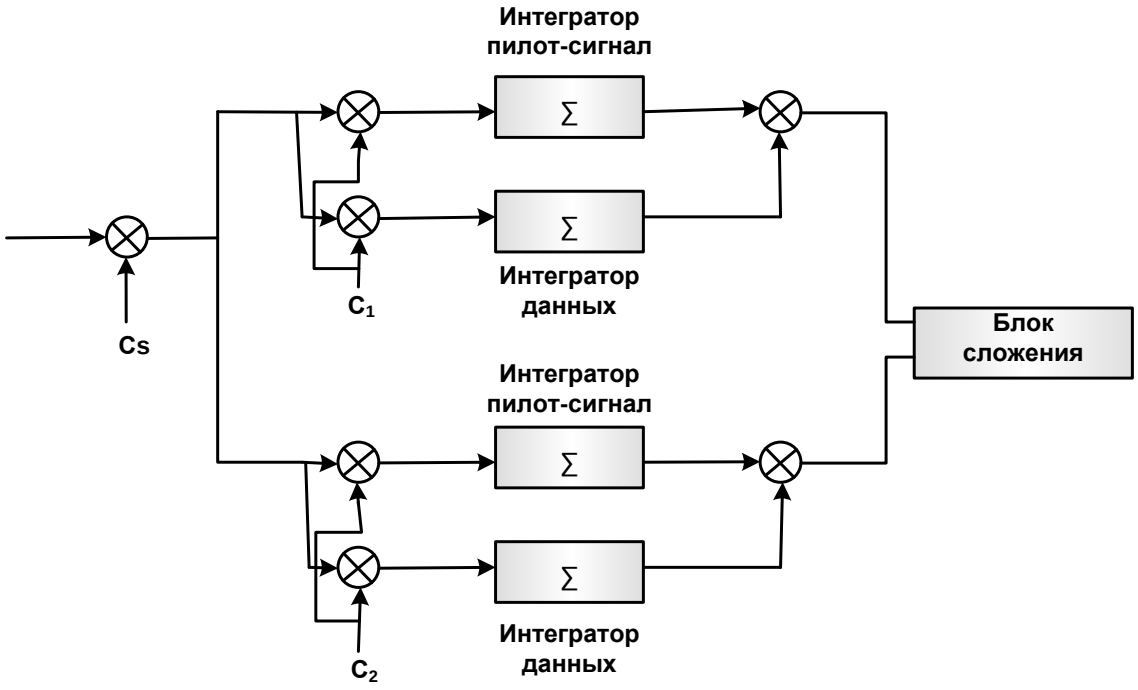


Рис. 17.20. Схема RAKE-приемника в режиме OTD

Разнесение на передаче с коммутацией каналов

Упрощенная схема разнесения на передаче с временным уплотнением каналов в режиме UTRA/FDD приведена на рис. 17.21. Пилотный сигнал, биты управления мощностью TPC и указателя формата TFI вместе с потоком данных объединяются в групповой сигнал, который после расширения спектра коммутируется и передается через одну из антенн. Закон коммутации задается на базовой станции или определяется на мобильной станции, которая по каналу сигнализации связана с базовой станцией.

В этом варианте не требуется вносить никаких изменений в канальную структуру, т. е. используются те же методы канального кодирования и перемежения и согласования скоростей для выделенных каналов. Что же касается общих транспортных каналов и канала синхронизации SCH, то информация по ним передается в режиме FDD через одну из антенн без разнесения.

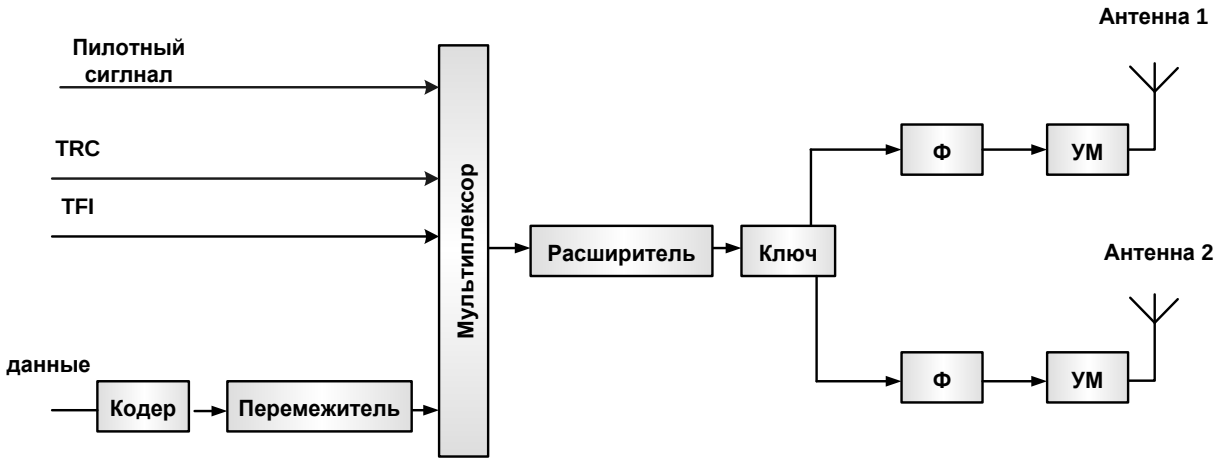
Диаграмма формирования коммутируемых потоков данных (для двух антенн) приведена на рис. 17.22. Кадр состоит из 16 временных интервалов, которые расщепляются на 2 потока, в одном из них собраны только четные, а в другом – нечетные временные интервалы. Каждый из потоков передается через свою антенну. В этом варианте структура передаваемых пакетов и их содержание сохраняется без изменения, однако пропускная способность снижается.

Разнесение на передаче с автовыбором каналов

Еще один вариант разнесения на передаче STD (Selection Transmit Diversity) основан на использовании информации об уровне пилот-сигнала и быстродействующего замкнутого контура управления мощностью. Схема базовой станции для этого варианта приведена на рис. 17.23.

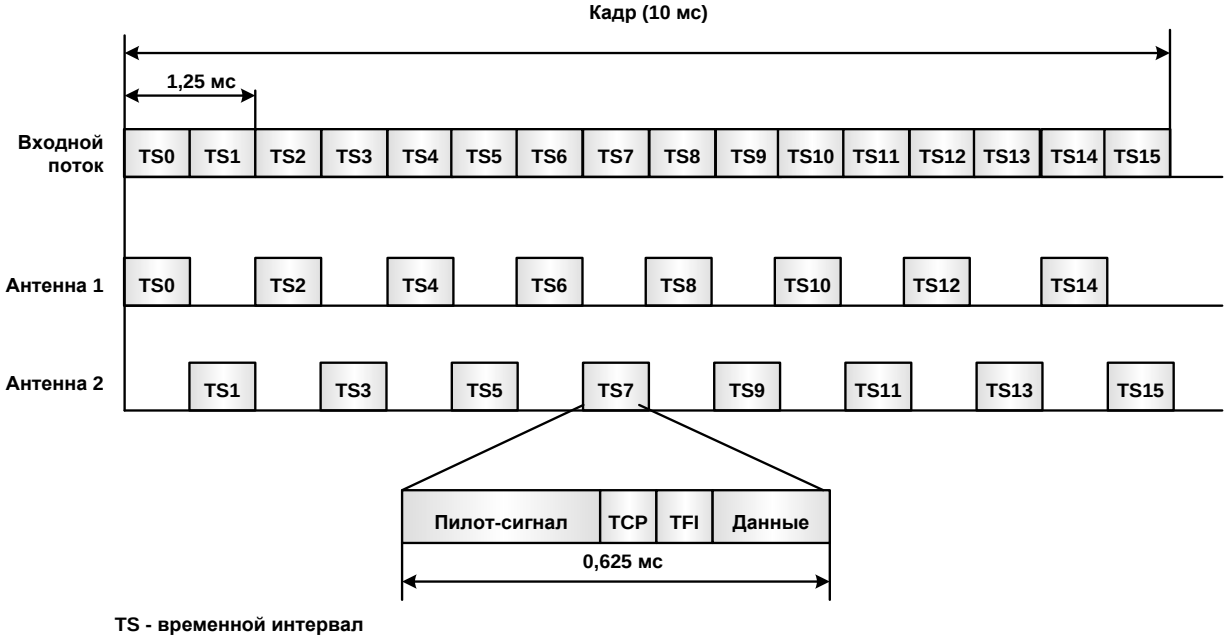
Вариант разнесения реализуется следующим образом. В случае отсутствия мягкого хэндовера антенна базовой станции динамически переключается на основании данных

анализа условий распространения, передаваемых с мобильной станции. Сигнал управления антенной AS (antenna selection) формируется и передается таким же способом, что и биты управления мощностью TPC, однако с более низкой скоростью.



Ф – фильтр со сглаживанием (К=0,22);
УМ – усилитель мощности.

Рис. 17.21. Структурная схема передатчика базовой станции (с временной коммутацией)



TS - временной интервал

Рис. 17.22. Временная диаграмма расщепления потоков данных

17.6.7. Сетевые технологии и услуги на базе UTRA

Сетевые технологии UTRA проектируются, исходя из новых параметров производительности радиоканалов и возможностей предоставления услуг пакетной передачи данных.

В таблице 17.6 даны сравнительные характеристики емкости радиоканалов для голосовой связи (13 кбит/с) по материалам ф. Ericsson.

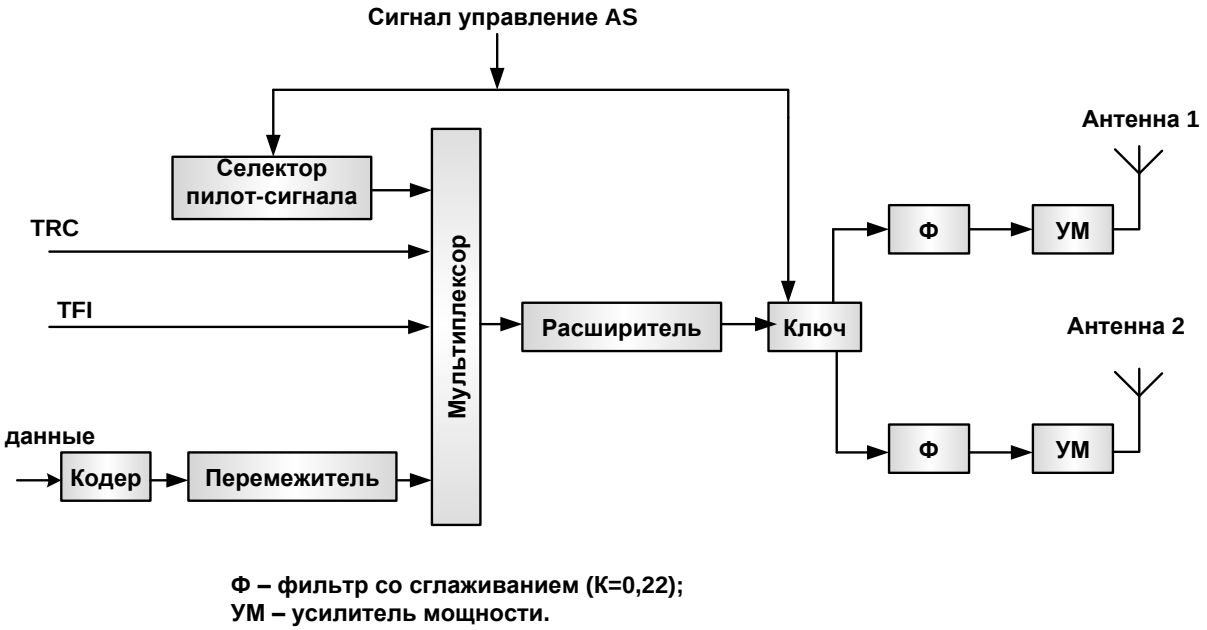


Рис. 17.23. Структурная схема передатчика базовой станции в режиме разнесения с автовыбором антенны

Таблица 17.6

Сравнение емкости радиотехнологий 2-го и 3-го поколений

Параметры	AMPS	IS-95	GSM	W-CDMA
Ширина общей полосы (МГц)	15	15	15	15
Количество несущих (радиоканалов)	500	11	69	3
Количество каналов на одну несущую	1	8	8	69
Фактор повторного использования р/канала	7/21	1	6–7	1
Количество радиоканалов на один сектор	24	11	11	3
Количество голосовых каналов/сектор	24	88	100	207
Увеличение емкости	1	3,7	4,2	8,6

Режим динамического выделения каналов (DCA) позволяет, в зависимости от доступных радиоресурсов и характеристик интерференций, обеспечить необходимые по производительности транспортные каналы:

асимметричные радиоканалы в различных соотношениях трафиков «вверх» / «вниз»;

выделение высокоскоростных каналов до 2 Мбит/с; в зависимости от интерференции и типа обслуживаемой соты высокоскоростные услуги могут обеспечиваться на основе:

мультикодовой передачи данных;

множественных коэффициентов расширения спектра;

мультисотовой структуры радиоканала;

гибкое представление на сетевом уровне множества транспортных каналов для организации параллельных сеансов связи с предоставлением одному абоненту нескольких услуг с различным соотношением «скорость / качество» услуги;

быстрая организация транспортных каналов для пакетов передачи данных;

эффективное управление транспортными каналами на основе TFI (идентификатора транспортного канала), обобщенной характеристики типа передачи, анализируемой / формализуемой на сетевом уровне по управляющему каналу сигнализации или по управляющим полям передаваемых данных;

в режиме FDD обеспечение гибкого управления разносом несущих в зависимости от соотношения сот:

соты одного уровня (одного оператора) в иерархической структуре сот – меньший разнос несущих;

соты разных уровней (одного оператора) – больший разнос несущих;

соты различных операторов – больший разнос несущих;

адаптивный метод выбора транспортного канала (выделенного или произвольного доступа) для пакетной передачи данных:

пакеты большой длины с низкой интенсивностью трафика направляются в канал произвольного доступа;

интенсивный поток пакетов или пакеты большой длины направляются в выделенный канал.

Используя указанные выше возможности организации транспортных каналов, сеть радиодоступа UTRAN по материалам фирмы Siemens (рис. 17.24) обеспечивает базовые сетевые технологии для обслуживания абонентов:

узел В реализует базовую станцию (БС), организующую радиоканалы по вызовам мобильных абонентов или по своей инициативе;

БС обеспечивает обслуживание до 3-х секторов, предоставляя до 3-х несущих на один сектор;

БС выполняет функции детектирования одновременно нескольких пользователей, мягкого хэндовера и реализации базовых радиоинтерфейсов (приемопередачи радиосигнала, обработки радиосигнала и формирования транспортных потоков данных);

БС осуществляет межсетевой интерфейс и взаимодействие с контроллером радиосети (RNC);

БС поддерживает на сетевом уровне ATM-интерфейс (более 2 Мбит/с, G.703) и обработку сигнализации и транспортации ATM-потоков.

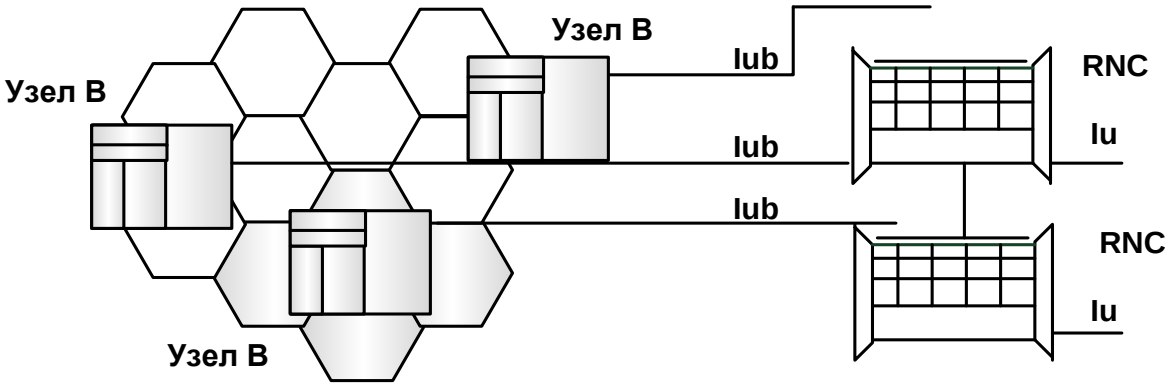


Рис. 17.24. Наземная сеть радиодоступа UMTS (UTRAN).
Базовая структура UTRAN

Контроллер радиодоступа RNC (рис. 17.25) осуществляет управление базовыми станциями по интерфейсу Jub и взаимодействует с коммутатором мобильной сети U-MSC (UMTS - Mobile Services Switching Center). Контроллер RNC в экспериментальной сети W-CDMA фирмы Ericsson построен на базе АТМ-коммутатора, расширенного блоками управления радиоканалами. Контроллер RNC поддерживает радиоинтерфейсы UTRA (до 200 высокоскоростных интерфейсов 2 Мбит/с) и широкий диапазон несущих (до ста несущих). Контроллер взаимодействует с коммутатором мобильной сети UMTS-MSC (UMSC) по интерфейсу Jub.

На рис. 17.26 показана архитектура коммутатора U-MSC, разрабатываемая фирмой Siemens в соответствии со спецификациями UTRA. Технические решения Siemens обеспечивают реализацию двух режимов радиопередач TDD/FDD UTRA, а также выполнение функций коммутатора для сети GSM, а также режимов пакетной передачи GPRS.

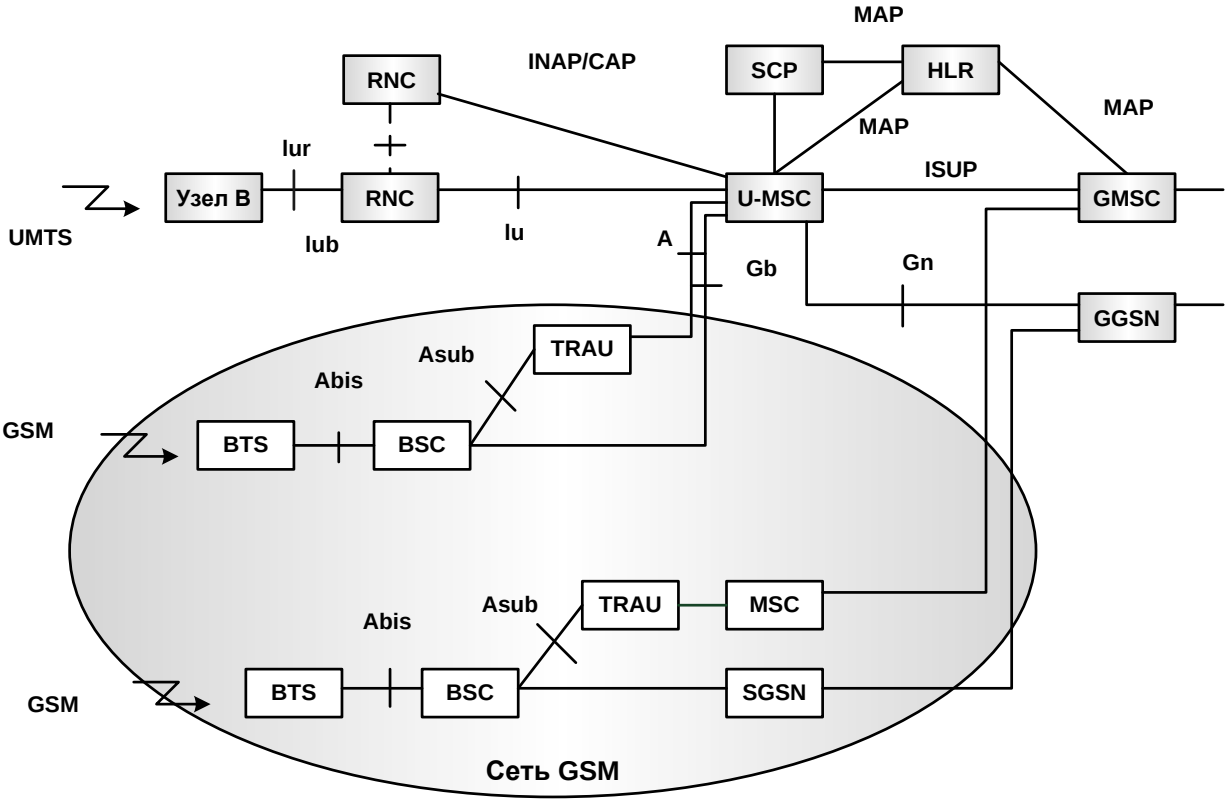


Рис. 17.25. Наземная сеть радиодоступа UMTS (UTRAN).
Базовая структура UTRAN

Услуги UMTS

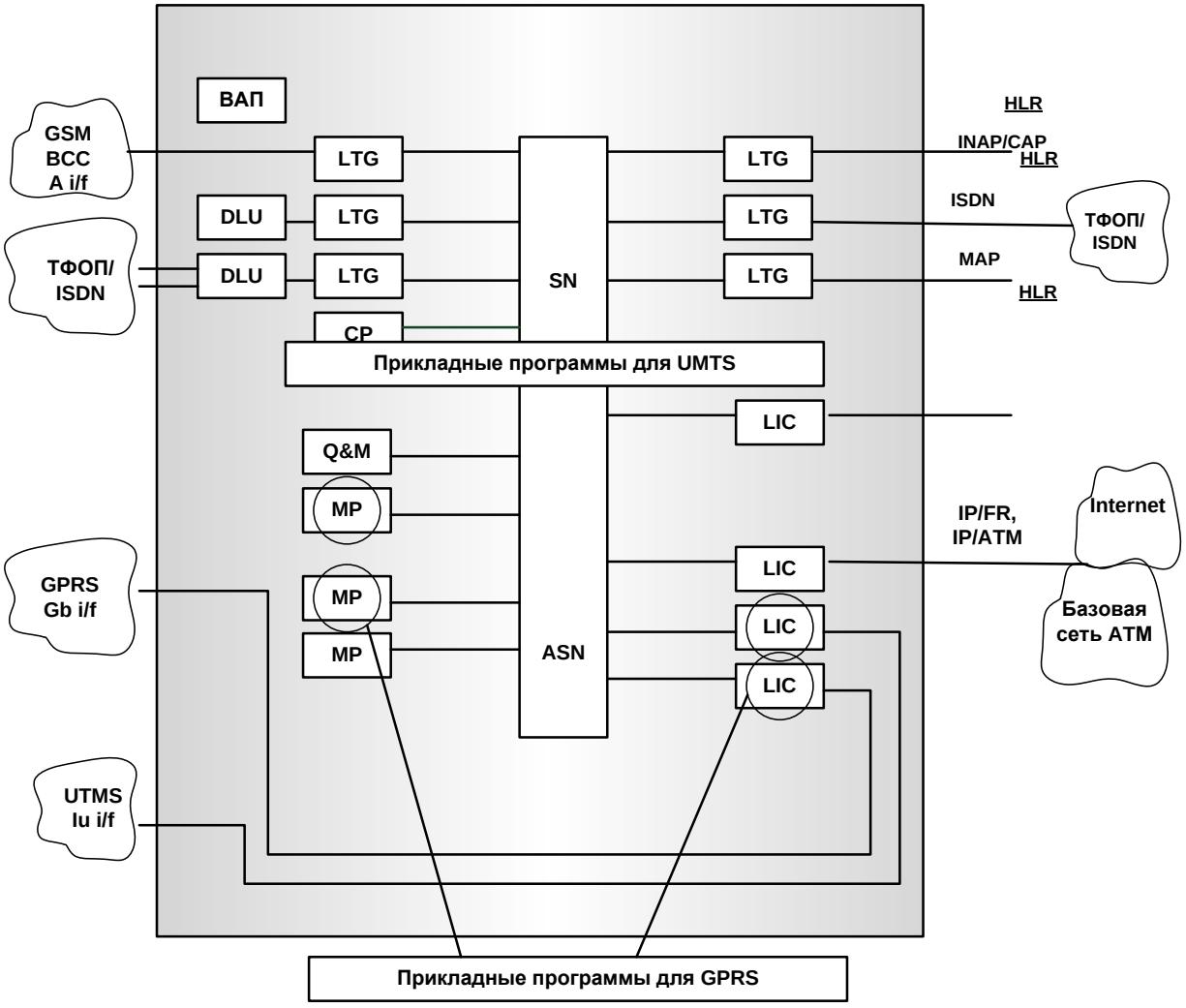
Широкополосные высокоскоростные каналы передачи информации UMTS предоставляют большие потенциальные возможности для организации современных услуг связи:

голосовая связь «точка-точка» и конференцсвязь с выходом на сети ТФОП, ISDN и сети глобальной спутниковой связи;

услуги передачи коротких сообщений, пейджинговой связи, электронной почты и служб телеметрии;

услуги на базе сопряжения с сетями коммутации каналов (факсимильная передача, электронный обмен документами, доступ к базам данных);

ограниченные мультимедийные услуги (при скоростях до 384 кбит/с) для передачи



ASN – коммуникационная сеть ATM;
CP – координирующий процессор;
DL – соединение абонентской линии;
LIC – карта линейного интерфейса;
LTG – управление вызовами, конференция, …;
MP – центральный процессор;
SN – узкополосная коммутационная сеть

Рис. 17.26. Базовая сеть UMTS (CN)

электронных новостей, Web-страниц, видеоконференцсвязи;

высокоскоростные мультимедийные услуги с негарантированным временем доставки данных: различные Internet-применения, видео по требованию, музыка по требованию, электронные журналы и книги и т. д.;

высокоскоростные мультимедийные услуги с гарантированным временем доставки: интегральные Web-услуги, интерактивный доступ к мультимедийным базам данных, видеорепортажи в режиме реального времени и др.

Услуги высокого уровня на первых этапах будут ориентированы на специальные бизнес-применения (видеорепортажи с места событий или чрезвычайных происшествий, видеоконференций и т. п.), доступ к Web-информации, эталонную торговлю, дистанционное обучение в условиях передвижения или отдыха абонентов, медицинскую помощь в особых ситуациях. Необходимо отметить, что практически параллельно должны

развиваться все компоненты будущих сетей подвижной связи:

сетевая инфраструктура с высокоскоростными каналами и глобальным охватом зон обслуживания;

мультимедийные мобильные терминалы, обладающие возможностями интерактивной работы и качественного отображения мультимедийной информации;

прикладные программы, реализующие новые технологии интерактивной обработки мультимедийной информации на базе стандартов типа MPEG-4, HTML, VLML и других.

Важная роль в решении соответствующих задач принадлежит международным организациям по стандартизации ITU (связь и телематические услуги), ISO (мультимедийная информация, языки программирования, телекоммуникационные протоколы), ETSI (подвижная связь, мультимедийные коммуникации), IETF (протоколы и услуги Internet), DAVIC (мультимедийная информация, аудио-видео вещание).

Выводы

1. В последние 15–20 лет быстро развиваются технологии радиосвязи (радиотехнологии). Принципиальная особенность текущего момента состоит в том, что новые радиотехнологии представляют собой совокупность протоколов, методов доступа и физических принципов передачи информации по радиоканалам и создаются как открытые технологии, т. е. в соответствии с открытыми стандартами.

Разработка этих стандартов и технологий осуществляется согласованными усилиями промышленных фирм, операторов сетей и заказчиков и координируется широким международным сообществом под эгидой МСЭ.

Такая международная координация компаний-производителей и операторов, приводящая к гармонизации технологий и стандартов, становится важным укрепляющим фактором развития подвижной радиосвязи 3-го поколения (IBM-2000).

2. В настоящее время Европейским институтом ETSI разработаны общие согласованные требования к перспективной системе подвижной радиосвязи 3-го поколения UMTS. Эти требования являются исходным нормативным документом для всех участников разработки и внедрения сетей UMTS.

К основным требованиям документа относятся:

установление абонентских скоростей передачи данных от 144 кбит/с до 2 Мбит/с в зависимости от условий эксплуатации и режимов обслуживания оборудования сетей;

определение режимов связи в зависимости от предоставляемых услуг (типы каналов; отношение сигнал/шум; уровень асимметрии каналов «вверх» и «вниз»; метод защиты данных; способ коммутации; приоритеты; динамическое распределение ресурсов и т. д.);

обеспечение режимов переключения (хэндовера) радиоканалов по смене абонентом зоны обслуживания, сети или оператора связи;

обеспечение совместимости с действующими сетями фиксированной и мобильной связи с помощью реализации различных протоколов;

обеспечение различных условий доступа к сетям связи в зависимости от размеров зон, степени мобильности, скорости перемещения и др.;

обеспечение эффективности использования спектра частот в сетях и разнообразие их конфигураций с учетом необходимой степени покрытия зоны и емкости сети;

реализация практичности и удобства мобильных терминалов;

обеспечение приемлемой сложности и стоимости оборудования и сетей в целом;

реализация организационных и эксплуатационных требований в соответствии с рекомендациями ITU по стандарту ITM-2000 (в частности, занимаемая полоса частот, уровни мощности станций, многорежимность терминалов и др.).

Для реализации требований ITU к радиотехнологиям подвижных систем ITM-2000 разработана и принята концепция «семейства подвижных систем», в качестве идеологической основы которой принят принцип объединения существующих систем 2-го

поколения (GSM, IS-95 и др.) и систем 3-го поколения. Эта концепция получила краткое обозначение IFS (ITM-2000 Family of Systems) и развивается в соответствии с базовыми принципами:

отдельные сети подвижной связи 3-го поколения должны регистрироваться при заключении в IFS-семейство, т. е. проходить проверку на соответствие международным стандартам ITM-2000. Регистрация может проходить не на уровне конкретных сетей, а на уровне общих стандартов (например, для систем стандарта UMTS);

общие свойства членов IFS (сетей связи) сводится к обеспечению глобального роуминга, высокого качества услуг, обслуживанию массовых абонентов, предоставлению мультимедийных услуг, интеграции наземных и спутниковых систем и других функций;

ITU должен организовывать разработку базовых (общесистемных) стандартов;

детальные технические стандарты должны разрабатываться региональными и национальными организациями: ETSI, ARIB и т. п.

Провозгласив концепцию IFS и отказавшись, тем самым, от принципа единого международного стандарта, ITU активизирует свои усилия на детализации рамочной структуры стандартов для системы 3-го поколения. Рамочная структура будет развиваться по уже хорошо отработанной логике многоуровневой эталонной модели взаимодействия систем 0SI/IS0.

Рамочная структура ITM-2000 должна определить общие транспортные и сетевые протоколы, а также механизм адаптации к тем новым технологическим решениям, которые будут появляться в действующих сетях типа GSM++, IS-95++, DAMS++ и т. д. (суффикс ++ означает новые версии этих технологий).

Наиболее разработанной радиотехнологией для создания систем подвижной связи 3-го поколения следует считать радиотехнологию UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) европейского института ETSI.

Концепция построения системы UMTS по радиотехнологии UTRAN разработана на базе использования широкополосного многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (технология W-CDMA).

В концепции радиотехнологии UTRAN разработана обобщенная архитектура UMTS системы и интерфейсы сети. Описана трехуровневая архитектура радиоинтерфейса и соответствующая ей совокупность протоколов, определены услуги и функции канального и сетевого уровней, структура и параметры физических каналов (выделенные физические каналы данных и управления) в режимах FDD (частотного) и TDD (временного) дуплексирования.

Важным для технологии W-CDMA являются вопросы синхронизации в сети, а также методы борьбы с замираниями сигналов. Эти вопросы подробно изложены в концепции UTRAN.

С учетом новых параметров производительности радиоканалов и возможностей пакетной передачи данных спроектированы сетевые технологии системы UMTS, предусмотрена организация всех современных услуг связи.

Литература

1. Танненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети [Текст]. – Изд. 5-е. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.

2. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в глобальной информационной инфраструктуре.– СПб.: Наука, 2008. – 552 с.

ЧАСТЬ 6
СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ

ГЛАВА 18. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Кардинальные перемены, происходящие в отрасли телекоммуникаций, не оставили в стороне очень важную, особенно в условиях нашей необъятной страны, их составляющую – систему спутниковой связи и вещания.

В мировой практике разработок и исследований продолжается поиск новых технологических решений и архитектур перспективных систем спутниковой связи (ССС). Во всех странах вводятся в эксплуатацию ССС различного назначения: глобальной и региональной персональной связи, непосредственного телевещания, доступа к сетям Интернет, высокоскоростных корпоративных сетей связи и др. При создании этих ССС используются все технологические возможности космических аппаратов (КА), расположенных на геостационарных (GEO), высокоэллиптических (HEO), средневысотных (MEO) и низковысотных (LEO) орбитах, конфигураций орбитальных группировок КА, а также наземного радиотехнического комплекса.

Подготовка к очередному этапу развития спутниковой связи, которая активно ведется во многих странах мира, началась в эпоху повсеместного применения технологий персональной мобильной связи, сетей доступа в Интернет и мультимедийных терминалов нового поколения. Естественно, эти технологии не могут не найти применения и в перспективных ССС.

Российские исследования в этой области будут все более широко включаться в международные программы научно-технического сотрудничества и все более полно использовать накопленный отечественный и мировой опыт внедрения новых технологий спутниковой связи.

18.1. Спутники связи

В 50-х, начале 60-х годов были попытки организовать связь при помощи сигналов, отраженных от металлических метеозондов, однако мощность таких сигналов была слишком мала. ВМФ США пыталась использовать в качестве метеозонда естественный спутник Земли – Луну и даже построил систему для связи береговых служб с кораблями с использованием отраженных от Луны сигналов. Но только при запуске первых искусственных спутников Земли идея использования небесных тел стала воплощаться в реальные системы. Ключевым отличием искусственного спутника являлось установленное на спутнике оборудование, усиливающее входящий сигнал перед отправкой его обратно на Землю.

Спутники располагаются на разных орбитах, выбор которых зависит от многих факторов. Важнейшее влияние на выбор оказывают так называемые пояса Ван Аллена (Van Allenbelts) – области скопления частиц с большим зарядом, находящихся в зоне действия магнитного поля Земли. Любой спутник, попав в такой пояс, довольно быстро будет уничтожен этими частицами. Учитывая этот и другие факторы, были выделены три зоны, в которых можно безопасно размещать искусственные спутники (рис. 18.1) [1].

Таким образом, сегодня используются три группы круговых орбит, отличающихся высотой над Землей [2]:

геостационарная орбита (Geostationary Orbit, GEO) – 35 863 км;

средневысотная орбита (Medium Earth Orbit, MEO) – 5 000–15 000 км;

маловысотная орбита (Low Earth Orbit, LEO) – 100–1 000 км.

Участки орбит и диапазоны частот – это основные предметы, за которые борются страны и отдельные компании в международной организации ITU, отвечающей

за распределение этих ресурсов. Самые важные диапазоны частот, предназначенные исключительно для спутников связи, показаны в таблице 18.1.

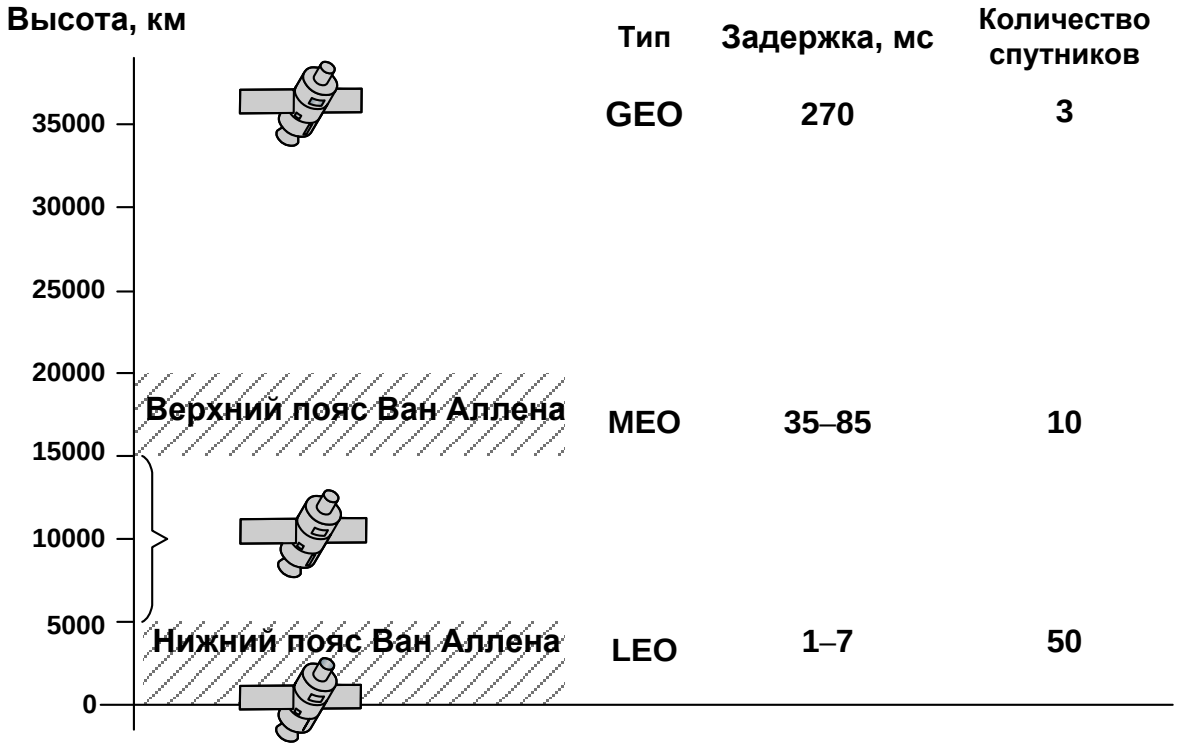


Рис. 18.1. Спутники связи и их свойства: высота орбиты, задержка, число спутников, необходимое для покрытия всей поверхности земного шара

Таблица 18.1

Основные частотные диапазоны спутников связи

Диапазон	Нисходящие сигналы, ГГц	Восходящие сигналы, ГГц	Ширина полосы, МГц	Проблемы
L	1,5	1,6	15	узкая полоса; переполнен
S	1,9	2,2	70	узкая полоса; переполнен
C	4,0	6,0	500	наземная интерференция
Ku	11	14	500	дождь
Ka	20	30	3 500	дождь, стоимость оборудования

Диапазон C предназначен для трафика коммерческих спутников и разбит на два поддиапазона, один из которых используется для передачи восходящих сигналов с Земли, а другой – для нисходящих со спутника. Они уже переполнены пользователями, поскольку на этих ее частотах работают наземные микроволновые устройства связи. В соответствии с международным соглашением в 2000 году было добавлено еще два дополнительных диапазона: L и S. Но они также сегодня уже заполнены.

Следующий высокочастотный диапазон коммерческой связи называется Ku (K under, т. е. «под K»). Полоса пока не переполнена, но волны этого диапазона глушатся дождем. Проблема решается весьма дорого: дополнительные разнесенные антенны, кабели и электронные устройства для быстрого переключения станций.

Самым высокочастотным диапазоном является Ka (K above, т. е. «над K»). Здесь основная проблема – высокая стоимость оборудования. Помимо коммерческих диапазонов существуют также множество военных и правительственных.

18.1.1. Геостационарные спутники

Геостационарный спутник запускается на определенную точку над экватором и точно следует скорости вращения Земли, как бы неподвижно зависая над экватором. Такое положение обеспечивает охват четверти поверхности Земли зоной прямой видимости и дает возможность достаточно просто организовать широковещание в пределах страны и даже континента. Так как геостационарный спутник находится за пределами земной атмосферы, то он меньше изнашивается, чем низкоорбитальные и средневысотные спутники. Из-за трения в атмосфере, даже очень разряженной, низкоорбитальные спутники теряют высоту, и для коррекции орбиты им приходится включать бортовые двигатели.

Возможность установки и применения нескольких направленных антенн на геостационарном спутнике позволяет поддерживать большое число каналов. Такие антенны создают сигнал, который принимается на Земле с помощью сравнительно небольших наземных антенн, так называемых миниатюрных апертурных терминалов (Very Small Aperture Terminals, VSAT). Диаметр антенны VSAT составляет 1 м [2].

Недостатки геостационарных спутников связаны, в основном, с большим удалением спутника от поверхности Земли. Это приводит к большим задержкам сигнала – от 230 до 280 мс, что сильно затрудняет нормальную передачу речи или телевизионного диалога. Кроме того, на таких расстояниях высоки потери сигнала, из-за чего приходится применять мощные передатчики и тарелки больших размеров.

Другой принципиальный недостаток геостационарных спутников с круговой орбитой – плохая связь для районов, близких к Северному и Южному полюсам из-за большого ослабления сигналов, которые проходят бóльшие расстояния, чем в районах экваториальных и умеренных широт. В этом случае применяются спутники с ярко выраженной эллиптической орбитой, которые приближаются к Земле как раз в районе Северного и Южного полюсов. Примером таких спутников являются спутники серии «Молния», которые запускаются Россией.

Так как на орбите не может находиться более 180 геостационарных спутников, то за место на ней ведется такая же борьба, как за получение диапазона частот.

18.1.2. Средне- и низкоорбитальные спутники

На гораздо более низких высотах между двумя поясами Ван Аллена располагаются средневысотные спутники (MEO, Medium-Earth Orbite Satellites). Спутники MEO используются для поддержки навигационных систем, а не в телекоммуникациях. Пример – 30 спутников системы GPS (Global Positioning System, Глобальная система определения местонахождения), вращающихся вокруг Земли на высоте около 20 200 км.

GPS – это всеобщая система определения текущих координат пользователя на поверхности Земли или в околоземном пространстве. Помимо спутников в систему GPS входит сеть наземных станций слежения за ними и неограниченное количество пользовательских приемников-вычислителей, в том числе очень популярные сегодня приемники автомобильных систем навигации.

GPS-приемники принимают сигналы как минимум от трех спутников и вычисляют местоположение с погрешностью десятков метров, что вполне достаточно для решения

задач навигации подвижных объектов (самолеты, корабли, космические аппараты, автомобили и т. д).

В СССР была разработана и реализована система аналогичного назначения ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система). Первый спутник ГЛОНАСС был запущен в 1982 году, а в сентябре 1993 года система была официально введена в эксплуатацию. В 1995 году количество спутников ГЛОНАСС достигло плановой цифры 24, но затем из-за проблем с финансированием не все выходившие из строя спутники заменялись, и их число уменьшилось до 14. К 2008 году число спутников удалось довести до 18. Система ГЛОНАСС совместима с GPS, существует навигационное оборудование, которое может принимать сигналы со спутников обеих систем.

Следующий тип – низкоорбитальные спутники (LEO, Low Earth Orbite Satellites). Для создания системы связи, охватывающей всю планету, нужно очень много таких спутников. Причина этого – высокая скорость движения спутников по орбите. Но благодаря относительно небольшому расстоянию между наземными передатчиками и спутниками не требуется мощных передатчиков, а задержки составляют несколько миллисекунд. Расходы на запуск тоже значительно ниже.

Основной недостаток – малая площадь покрытия, диаметр которой около 8 000 км. Период оборота такого спутника вокруг Земли составляет 1,5-2 часа, а время видимости спутника наземной станцией – всего 20 минут. Поэтому постоянная связь может быть обеспечена, только когда на орбите находится достаточно большое их количество.

Если основным назначением геостационарных спутников является широковещание и дальняя связь, то низкоорбитальные спутники рассматриваются как важное средство поддержания мобильной связи.

18.2. Рынок услуг спутниковой связи и вещания

18.2.1. Общая оценка рынка

В общей телекоммуникационной индустрии спутниковая связь имеет небольшой удельный вес – около 3 %. Однако темпы ее развития быстро растут и оцениваются в 50 % от общего объема за 5 лет. Это объясняется, прежде всего, прогнозируемыми высокими темпами развития мобильной связи и широкополосных услуг мультимедиа. В [3] высказывается мнение, что только 2-3 % (примерно 50 млн. человек) от общего числа абонентов мобильной связи выберут для себя персональную спутниковую связь как один из основных видов услуг. Если принять эту пропорцию для России, то можно прогнозировать 250 тыс. человек, отдающих предпочтение персональной спутниковой связи и 10 млн. человек – наземной мобильной связи. Конечно, необходимо учитывать условность этих оценок, т. к. они не учитывают состояние и развитие платежеспособного спроса населения, и технико-экономические показатели будущих ССС в России (тарифы связи, стоимость терминалов и др.).

Производство спутниковой связи во всем мире, по многим прогнозам, резко возрастет: к 2015 году – до 10 000-11 000 космических аппаратов (КА). При этом основной прирост будет идти за счет КА, использующих диапазон частот 20/30 ГГц.

Российский рынок спутниковой связи в своих структурных характеристиках повторяет этапы развития мирового рынка. В настоящее время в России уже сформировались три крупных сегмента рынка спутниковых телекоммуникационных услуг.

Первый и самый молодой сегмент этого рынка связан с развитием таких сетей персональной спутниковой связи, как Iridium, Inmarsat, Globalstar, а в перспективе ICO, Elipso и Thuraya. Терминалы персональной связи существенно отличаются от VSAT-станций. Они более компактны, универсальны, сопрягаются с сетями сотовой связи, работают при движении абонента. Вместе с тем персональная связь пока не способна обеспечить тот комплекс и качество услуг, которые предоставляют VSAT-станции, да и тарифы в сетях персональной связи существенно выше.

Второй, достаточно крупный сегмент связан с развитием корпоративных сетей, базирующихся на технологии VSAT, т. е. на использовании малогабаритных спутниковых терминалов с антеннами диаметром от 0,8 до 2,5 метра. Прогнозируется продолжение роста объемов производства VSAT-терминалов: по некоторым данным, их общее число превысит 500 тыс., а в России может увеличиться до 20 тыс. станций.

Третий сегмент охватывает системы непосредственного телевизионного вещания, работающие главным образом в Ku-диапазоне частот (14/11 ГГц), что позволяет использовать на приеме малые земные станции, стоимость которых не превышает 500 $. Этот вид спутникового вещания ориентируется в первую очередь на массовые услуги высокоскоростного доступа в Интернет, системы домашнего или офисного приема телепрограмм, а также на сельское население и малые города со слаборазвитой кабельной инфраструктурой.

На каждом из этих трех сегментов в последние годы достигнуты крупные практические результаты. Анализ опыта разработки и применения ССС на данных рыночных сегментах имеет большое значение при определении перспективных направлений развития спутниковой связи.

18.2.2. Рынок услуг подвижной спутниковой связи

Самым известным оператором на рынке услуг подвижной спутниковой связи (ПСС) является Inmarsat. На рынке предлагается около 30 типов абонентских устройств как переносных, так и подвижных: для сухопутного, морского и воздушного использования, обеспечивающих передачу речи, факс и данных со скоростью от 600 бит/с до 64 кбит/с. Конкуренцию для Inmarsat составляют три системы ПСС: Globalstar, Iridium и Thuraya. Все три системы предоставляют услуги телефонной связи и низкоскоростной передачи данных на приемные устройства, сравнимые по весу и размеру с мобильными телефонами GSM.

В мире функционируют еще четыре региональные системы ПСС: Mobile Satellite Ventures (MVS) в Северной Америке, Asia Celluar Satellite (Индонезия), предоставляющая услуги ПСС в Азиатском регионе, морская ПСС Японии на базе спутников N-Star и аналогичная морская ПСС Австралии.

Международный союз электросвязи (МСЭ) определяет перспективы ПСС как спутниковый сегмент систем подвижной службы третьего поколения IMT-2000 [3]. Спутниковые сети могут обеспечивать покрытие таких зон обслуживания, где развитие наземной сети экономически неэффективно, в частности, в удаленных и сельских районах.

Существующие системы ПСС продолжают развиваться. Inmarsat ввел в эксплуатацию широкополосную глобальную сеть (BGAN), обеспечивающую услуги подвижным и переносным абонентским устройствам со скоростью до 430 кбит/с. Сеть совместима с наземными сетями подвижной связи.

Globalstar, Iridium и MVS к 2013 году осуществили полное обновление своих спутниковых группировок. Вместе с тем при формировании заключения относительно экономической эффективности и перспектив развития ПСС следует учитывать следующие факты [2]:

услуги ПСС востребованы в основном специализированными группами абонентов, в частности, морскими и авиационными компаниями, различными государственными ведомствами и спецслужбами;

Globalstar и Iridium прошли через процедуру банкротства, таким образом экономическая эффективность проектов на практике была достигнута за счет разорения инвесторов;

технологическое развитие позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики спутниковых абонентских приемников. Однако в связи с необходимостью обеспечивать высокую энергетику бортовых приемников и ограниченностью используемого спектра будет экономически невыгодно или технически невозможно

обеспечивать на подвижное абонентское устройство те же услуги, как и при работе с наземной сетью подвижной связи.

Таким образом, автор [2] приходит к выводу, что спутниковые технологии не могут рассматриваться как реальные конкуренты наземным сетям подвижной связи. Просто они будут иметь свою собственную нишу и играть важную роль для работы силовых ведомств и при ликвидации последствий стихийных бедствий и различных катастроф.

Коммерчески перспективным направлением в развитии ПСС может стать не передача речи или данных на абонентские приемники, а предоставление различных вещательных услуг. Это может быть вещание звуковых и телевизионных программ и циркулярное распространение различного типа данных для всех или определенных категорий абонентов.

18.2.3. Рынок вещательных услуг спутниковой связи

Радиовещательная спутниковая служба (РСС) обеспечивается в мире четырьмя основными спутниковыми системами непосредственного звукового вещания. Две системы: Sirius Satellite Radio и XM Satellite Radio предоставляют услуги в США и Канаде. Первая система использует низкоорбитальную группировку из трех спутников и распространяет 130 цифровых и звуковых каналов. Вторая состоит из двух геостационарных спутников, вещает около 150 каналов и осуществляет передачу информации о ситуации на дорогах, о пробках, авариях, что позволяет корректировать в режиме реального времени работу навигационных систем автомобилей. В США практически все дилеры крупных автомобильных компаний на американском рынке включили спутниковый радиоприемник в базовую комплектацию машин.

Оценка роста числа абонентов XM Satellite показала, что средний ежедневный прирост абонентов спутникового радио опережает темпы роста абонентов сотовой связи в начальные годы своего развития.

Наиболее современным в области спутникового вещания является совместный японско-корейский проект DMB (Digital Multimedia Broadcasting). Система осуществляет передачу 11 телевизионных, 28 звуковых каналов на подвижные приемники и основана на использовании одного ГСО спутника и наземного сегмента.

Четвертая система спутникового радио World Space использует два ГСО спутника и предоставляет услуги в Африке и Азии.

Согласно Регламенту радиосвязи для развития радиовещательной спутниковой службы распределено три полосы: 1 452–1 492 МГц, 2 310–2 360 МГц и 2 535–2 655 МГц. Комитет по электронным средствам связи CEPT (ECC) в Европе выделил полосу 1 479,5–1 492 МГц, а полоса 1 452–1 492 МГц определена для наземного сегмента сети.

На рынке еще двух тесно связанных служб: радиовещательной спутниковой службы (ТВ) и фиксированной спутниковой службы (ФСС) наиболее востребованной является первая служба РСС (ТВ), использующая около 52 % емкости всех существующих стволов. Постоянно растет спрос на использование спутниковой емкости для распределения ТВ-программ, в частности, для сетей кабельного телевидения, что привело, например, в США к уменьшению доли рынка кабельного ТВ и увеличению доли РСС ТВ.

Развитие рынка ФСС связано, в первую очередь, с предоставлением услуг на зоновых сетях на основе VSAT-технологии. Новым направлением развития ФСС стало появление на рынке США, Канады и Юго-Восточной Азии спутниковых операторов, предлагающих широкополосный абонентский доступ. На рис. 18.2 представлен вариант структуры перспективных ФСС и РСС (ТВ) сетей, разработанных МСЭ, в который входят [2]:

опорная сеть: магистральные национальные и международные многоканальные соединения, телефония и передача данных;

распределительная сеть: сеть с топологией «точка-много точек»;

сеть доступа.

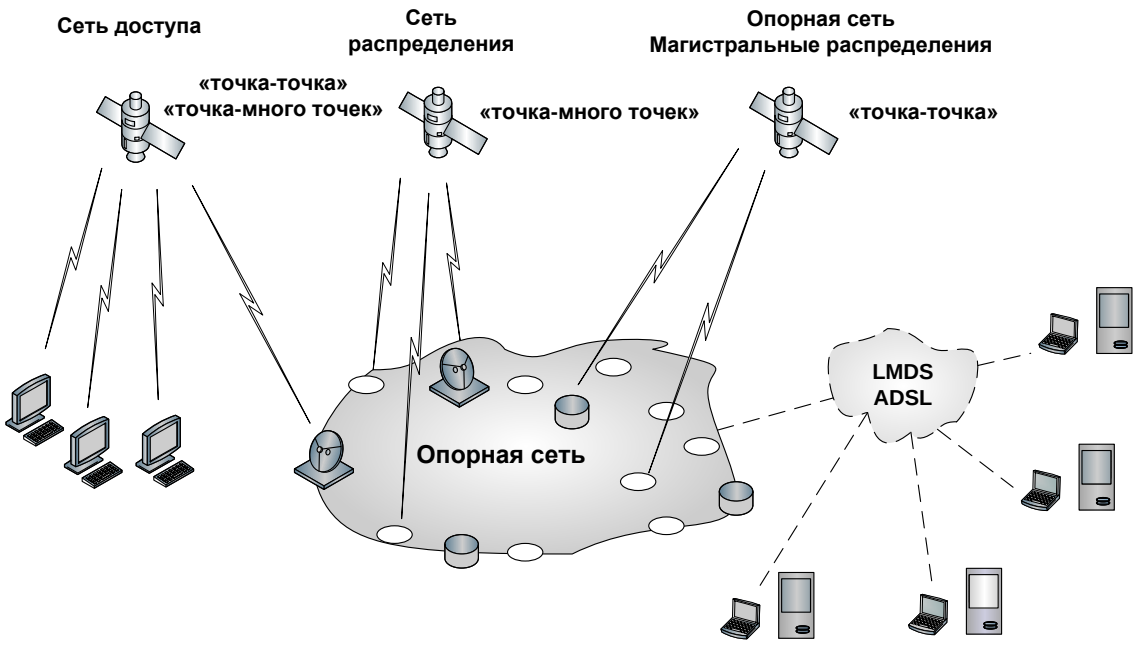


Рис. 18.2. Вариант глобальной широкополосной спутниковой сети

Наиболее важным свойством спутниковых технологий является возможность эффективного решения проблемы распространения одной и той же информации для пользователей, расположенных на большой территории, т.е. использование спутников в сетях непосредственного телевизионного вещания и распределения телевизионных программ. Будет увеличиваться число транслируемых цифровых ТВ-каналов, все больший спрос будет связан с телевидением высокой четкости (ТВЧ), трехмерным телевидением (3DTV) и IP-телевидением. Ожидается, что в 2015 году 40 % европейских абонентов ТВЧ будут получать программы со спутника.

Анализ, проведенный в [2], позволяет сделать следующие выводы:

основной вектор развития прогрессивных спутниковых операторов – непосредственный выход на корпоративного или индивидуального абонента и предоставление универсальной услуги, включающей телефонию, широкополосный доступ в Интернет, 40–50 телевизионных и звуковых программ на основе IP-протокола;

спутники не могут конкурировать на этом рынке с наземными системами связи, но могут их дополнять и расширять зону обслуживания сети;

перспективными направлениями развития фиксированной спутниковой службы является создание сетей VSAT, предоставляющих услуги связи корпоративным абонентам на зоновых и наложенных сетях;

в странах с обширной территорией и большим количеством населения, проживающего в сельских и отдаленных районах, использование спутниковых технологий является зачастую единственным экономически целесообразным сценарием развития сети.

18.2.4. Российский рынок спутниковой связи и вещания

Этот рынок составляет незначительную долю от общего рынка телекоммуникаций в России, участники которого условно делятся на несколько категорий [4]:

операторы спутников;

операторы наземных спутниковых сетей;

системные интеграторы;

поставщики оборудования;

разработчики оборудования и программного обеспечения;

строительно-монтажные компании.

Среди операторов наземных сетей ФСС следует выделить три основные категории:
операторы интерактивных VSAT-сетей;
операторы сетей типа «точка-точка»;
операторы крупных корпоративных сетей.

Развитие операторов интерактивных VSAT-сетей началось в 2003 году и было стимулировано применением новых VSAT-технологий типа DVB-RCS и других.

Формирование операторов сетей типа «точка-точка» началось в 1990-х годах. Довольно часто такие компании создавались крупными операторами наземных сетей связи общего пользования.

Операторы крупных корпоративных сетей, как правило, являются подразделениями своих головных компаний и не занимаются предоставлением услуг на коммерческой основе.

В России не существует собственных коммерческих систем подвижной спутниковой связи. Имеющиеся средства рассчитаны на спецпотребителей:

спутниковая система передачи данных «Гонец»;

стволы L-диапазона на геостационарных спутниках «Горизонт» и «Экспресс-АМ» в системе «Волна».

Собственные российские проекты по созданию спутниковых систем подвижной связи, как и во всем мире, активно продвигались в 1990-е годы, но после очевидных коммерческих неудач международных проектов работы по таким системам были заморожены и в России [4]. Некоторое оживление началось в 2005 году, но, по мнению многих специалистов, коммерческая несостоятельность новых проектов едва ли позволит довести их до практической реализации.

В российском сегменте подвижной спутниковой связи реально работают коммерческий оператор ЗАО «Глобалтел», зона обслуживания которого охватывает всю Россию вплоть до 70° с. ш., и ФГУП «Морсвязьспутник», в ведении которого находятся наземные станции сопряжения системы Inmarsat на территории России.

Еще одна глобальная система – Iridium – работает практически в штатном режиме, но число коммерческих абонентов этой системы незначительно. Ее поддержка осуществляется в основном за счет средств военного бюджета армии США.

К новым видам услуг, имеющим перспективу в России, относится технология IPTV на базе интерактивных сетей VSAT, а также интерактивное телевидение, которое может получить широкое распространение с 2015 года после перехода России на цифровые стандарты вещания.

18.3. Анализ развития технологий спутниковой связи

Тенденции развития телекоммуникаций определяются большим комплексом факторов, среди которых можно выделить 2 группы.

Первая группа факторов составляет совокупность естественного рыночного саморазвития существующих и новых видов связи.

Конец XX века (2 последних десятилетия) характеризовался соревнованием спутниковых и наземных систем персональной подвижной связи. Со стороны спутниковой связи заслуживающими внимания явились системы Iridium, Globalstar, ICO (остальные проекты не вышли из стадии умозрительных рассмотрений, в том числе и такие, как Ростелесат, Teledesic). Закрепилась на рынке корпоративных региональных систем технология VSAT, которая успешно применяется в системе Inmarsat и будет совершенствоваться. Геостационарный уровень имеет определенную тенденцию к прочному занятию TV-ниши (70 %), корпоративной связи (типа VSAT) – 20 % и 10 % предоставления услуг магистральной связи. Со стороны наземных систем за 3 последние десятилетия проходило бурное развитие трех поколений подвижной (сотовой) связи:

первое поколение на аналоговом принципе передачи NMT-450;

второе поколение – цифровые системы GSM;

третье поколение на кодовом разделении сигналов – система CDMA (первая генерация 3G) с дальнейшим расширением возможности W-CDMA (4G) и последующее развитие, не имеющее ограничений. Особенность 3G поколения – переход на многоскоростные потоки псевдошумовых сигналов.

В последнем десятилетии XX века спутниковые низковысотные системы (Iridium, Globalstar) сошлись в рыночном сражении за потребителя с сотовыми системами и проиграли его стратегически (Iridium обанкротился, Globalstar – предбанкротное состояние). Сотовые системы оказались более привлекательными по своим возможностям, дешевле, и в них оказалось возможным установление через наземные каналы связи почти глобальных коммуникаций.

На выходе этого сражения практически полная победа подвижных систем 3-го поколения и стандарт IMT-2000 входят на долгие десятилетия глобально (создаются европейские, американские, японские фирмы). Для реализации глобального радиодоступа в стандарте IMT-2000 предусмотрен космический сегмент. Однако удовлетворительного решения пока не предложено. Имеющиеся 5 предложений-проектов не удовлетворяют развитию системы.

Вторая группа факторов исходит из естественного социального процесса развития информационных технологий и современных потребностей и темпов жизни. Потребителю необходимо мультисервисное обслуживание в едином потребительском терминале. Эта тенденция породила в телекоммуникационных системах явление массовой поэтапной конвергенции технологий, сетей и систем, конечной целью которой является полная прозрачность для потребителя: иметь возможность вхождения из любой подсистемы (в том числе сотовой) в любую сеть и из нее в любую целевую подсистему. Сегодня таким пробным «комплексом» становится Internet в смысле организации сетевых шлюзов, позволяющих потребителю вхождение в систему (сотовые сети, телефония, телевидение, кабельное телевидение), несимметричный доступ (ТВ/телефон, витая пара и др.).

В начале XXI века глобальная конвергенция информационных систем имеет следующие тенденции:

2000 г. – начало нового технологического цикла развития информационных технологий в наземных и космических системах. Наступает эпоха высокоинформативных интегрированных технологий.

На данный момент заканчивается эпоха первого технологического цикла становления космической индустрии, базировавшейся на технологиях 60–70-х годов, воплощенные в космических системах первого цикла. Первый технологический цикл космической индустрии характеризовался одноцелевыми космическими системами, создававшимися для решения специфических задач в основном военного назначения. На этом этапе широкое применение космоса для гражданского использования не предполагалось. Широкое внедрение созданных систем в гражданское использование начинается в последние два десятилетия XX века. Возможности, прогнозируемые для массового применения, стимулируют разработку высокоинформативных технологий и воплощающих их средств космического базирования (стандарты частоты, ретрансляторы, освоение новых диапазонов частот, межспутниковые линии связи и др.). Сегодня эти заделы находятся в разной степени проработки и являются базисом для развития информационных технологий.

Важным фактором, определившим генеральный путь развития информационных систем – *многофункциональность* (или эквивалент этому понятию в наземных системах – *мультисервисность*, адекватно эквивалентен космическому «многофункциональность»). Многофункциональность (мультисервисность) предполагает интеграцию в едином информационном канале (потоке) разноплановой многоскоростной информации, поступающей в потребительский терминал по единому каналу, предоставляющий все виды услуг.

Появилась концепция создания цифровых сетей интегрального обслуживания (Integrated Services Digital Network – ISDN), предусматривающая два этапа развития: узкополосной ISDN (NISDN) с основным цифровым каналом 64 кбит/с [5] и широкополосной ISDN (BISDN) со скоростями передачи в сотни Мбит и Гбит в секунду [6].

Позже появились понятия «многофункциональности», «мультисервисности», которые эквивалентны понятию «интегрального обслуживания», применяемого для универсальных, глобальных сетей.

Наступает глобальная конвергенция наземных информационных технологий на уровне сигналов, сетей, систем, интеграция стационарных и подвижных систем, опережая космические системы на 10–15 лет.

Развитие наземных информационных систем также на этом этапе характеризовалось независимым развитием различных видов носителей сигналов в различных сетях. Одновременно использовались амплитудные, частотно-временные и кодовые методы передачи, реализованные в наземных сетях связи, радио, космических сотовых сетях трех поколений.

Паритетное существование различных технологий вынудило искать методы перехода из одной сети в другую, создавать шлюзы и системы коммутации. В ближайшие годы конвергенция наземных сетей и систем будет обеспечивать информационные переходы между любыми сетями.

На фоне глобальной конвергенции информационные системы становятся «интеллектуальными» и выполняют функции предоставления конечных информационных услуг (Интернет).

Создание системы Internet продемонстрировало миру значение системы мирового общения людей без границ и государств. Сегодня в Интернет можно войти практически из любой информационной сети, включая и подвижные системы связи. Решается вопрос спутникового сегмента Интернет.

Сегодня невыгодно предоставлять (продавать) первичные телекоммуникационные услуги.

Первый технологический цикл становления спутниковых и наземных средств связи характеризовался «узким» местом – магистральными каналами связи. Поэтому связь стремилась предоставлять первичные ресурсы конечным пользователям. Конечные системы пользователей – телефон, телеграф, факс были потребителями первичных ресурсов. В настоящее время между пользователями организуются интеллектуальные услуги, которые составляют 80 % стоимости, а на долю первичных каналов приходится 10 %...15 %. В то время как на долю первичных услуг приходятся основные затраты.

В *интегрированном* виде все услуги становятся платными.

Соединение в одном канале с информационным других услуг делает автоматическим учет всех видов информации, поступающей потребителю. Особенно это касается навигационных и геодезических услуг, предоставляемых в настоящее время бесплатно. Также при этом будет решаться проблема оплаты за предоставление космических изображений и других видов или сочетаний услуг.

В ближайшие годы ожидается глобальный выход подвижных систем 3-го поколения на рынок глобальных массовых информационных услуг. Прогнозируется число абонентов к 2015 г. – 4 млрд. чел.

Прогноз роста привлекательности подвижных систем связи дает уверенный прогноз привлекательности и к удобствам сотовых систем 3-го поколения. Это означает, что в системах телекоммуникаций должно произойти переосмысление «последней мили» связи с концентрацией внимания на направлении *создания космического радиодоступа* через подвижные системы 3-го поколения, открывая эпоху широкополосного радиодоступа.

Образование глобального роуминга через космический мост – через спутниковую сетевую средневысотную (~20 тыс. км.) орбитальную группировку – естественное рациональное решение, обеспечивающее глобальный широкополосный радиодоступ

с «отрывом» от наземных сетей. Космический радиодоступ не имеет пределов расширения полосы в диапазоне 40 ГГц и в эволюционном развитии системы. Переход на радиодоступ «сверху» из космоса создает независимый от наземного информационный слой и освобождает подвижные системы от затрат на аренду наземных каналов и обслуживание информационных инфраструктур.

Темпы развития телекоммуникационных подвижных систем – 20-кратное увеличение пропускной способности в 10–12 лет. Освоение будет происходить со сдвигом в 0,5G = 5 лет. Периодичность замены и пересмотра структуры системы – 5 лет.

Темпы наращивания информационных возможностей при поэтапном развитии подвижных сетей определились на 4–5 поколений вперед. Опережающее развитие наземных систем по отношению к космическим (на данном временном интервале – в первой четверти XXI века) является опережающим для стратегии развития космических аппаратов и средств доставки и возвращения. Это положение должно поставить вопрос перед авиационно-космической промышленностью о пересмотре стратегии и приоритетах в развитии авиационно-космических средств доставки КА на орбиту и съёме их с орбиты на Землю для обслуживания, ремонта, модернизации.

В подвижных системах связи 3-го поколения – телевидение, видео, вещание, телефония, передача данных – интегрированы в едином многоскоростном потоке.

Генеральная стратегия развития подвижных средств – полное мультисервисное объединение различных видов информации в многоскоростном интегрированном потоке. Для космической системы возможность только сквозной трансляции является наиболее технологичным и прогрессивным решением по двум причинам:

при сквозной ретрансляции сигналов система становится мало зависимой от изменения структурных сигналов при переходе к новым этапам совершенствования подвижных систем;

исключение из бортового телекоммуникационного комплекса средств коммутации пакетов и сообщений освобождает космическую систему от жесткой зависимости от наземных систем.

Для космических систем путь сопряжения с подвижными системами на принципе сквозной ретрансляции существенно снижает «ворота» временных расхождений в функционировании «земли» и космоса.

18.4. Ключевые технологии перспективных спутниковых систем связи

Современные спутниковые технологии, их технико-экономические параметры можно оценить на большом практическом материале, которые представляют введенные в последние годы ССС типа Iridium и Globalstar (обе – США), ICO (международная). Качественный скачок в развитии ССС произошел после появления и реализации именно этих проектов с КА на низких и средневысотных орбитах. Использование этих орбит позволяет расширить спектр и качество предоставляемых телекоммуникационных услуг, обеспечить пользователей глобальной персональной связью с помощью терминалов типа «телефонная трубка».

Особенно необходимо выделить по «богатству» спутниковых технологий американский проект глобальной спутниковой связи «Teledesic». Он является самым амбициозным, сложным по структуре орбитальной группировки (ОГ) КА, глобальным по своим масштабам. Состоит из крупной ОГ в количестве 288 КА на LEO-орбитах высотой 1 375 км – 12 орбит по 24 спутника в каждой. Реализована обработка сигналов и маршрутизация на борту ретрансляторов, работающих в диапазоне частот 18/28 ГГц (Ка диапазон) по линиям «спутник-земля» и обратно, а также 62/69 ГГц (V диапазон) для организации до 8 линий межспутниковой связи на каждый КА.

Проект «Teledesic» обеспечивает высокоскоростной доступ к сети Интернет, мультимедийные услуги в интерактивном режиме по асимметричным каналам и самые высокоскоростные системы передачи информации (до 1 244,16 Мбит/с на один КА).

Используются такие технологии связи как GPSK-модуляция, ATM-сети, собственный пакетный протокол, спутниковая маршрутизация.

Российский проект «Ростелесат» использует лучшие технические решения, реализуемые уже в разрабатываемых ССС. При построении космического сегмента выбрана средневысотная орбита 10 360 км, позволяющая получить ряд преимуществ по сравнению с низкоорбитальными группировками: существенно уменьшить количество КА в группировке, необходимых для глобального обслуживания; появилась возможность увеличить минимальный угол места абонентских станций до 40°, что позволит успешно проводить связь в различных условиях; существенно замедляется динамика смены каналов при переходе из луча в луч и от одного КА к другому и т.д.

Система является полностью автономной и позволяет вести связь по принципу «каждый с каждым» между абонентами, расположенными в любых точках мира, не применяя при этом сложных в реализации межспутниковых линий связи и арендуемых каналов.

Наконец, введение в систему нового класса портативных полустационарных малоканальных станций, используемых не только как групповые в малонаселенных пунктах, где нет других средств связи, но и в качестве мини-шлюзов.

Такие мини-шлюзы могут устанавливаться на телефонных станциях – местных или государственных, на ретрансляторах сотовых сетей и т. п. и подключаться к ним, позволяя абонентам этих сетей, используя имеющиеся под рукой средства связи – телефон МГТС или местной ведомственной сети, сотовый телефон и др., выходить в глобальную систему связи «Ростелесат» и связываться с любым другим абонентом, где бы он ни был, т. е. осуществляется глобальный роуминг. Лишь при отсутствии у него других средств связи абонент может использовать персональный абонентский терминал «Ростелесат».

Это существенно расширяет круг потенциальных пользователей системы. Кроме того, установка большого количества мини-шлюзов максимально сокращает расстояние от абонента до места ввода в систему, что дает два преимущества – не требует аренды наземных линий связи и повышает качество связи.

После коммерческой неудачи системы Iridium (орбиты LEO) получили дополнительные импульсы ССС с КА на орбитах GEO. На основе новых геостационарных ССС будут развиваться технологии VSAT-станций, широкополосные системы мультимедийной связи, корпоративные Интернет-сети (сети передачи данных), высокоскоростные сети массового доступа в Интернет-сети. При этом используются такие альтернативные технологии, как коммутация каналов на борту КА, так и коммутация и маршрутизация в наземных станциях. Внедряются технологии межспутниковых радиолиний, в том числе в оптическом диапазоне волн. Интенсивно развиваются технологии многолучевых антенн с диаметром зеркала до 12–15 м. Для широкополосной спутниковой связи планируется осваивать новые частотные полосы в диапазонах Ka (18–31 ГГц) и Ku (11–18 ГГц), которые уже частично используются для фиксированных сетей телефонной связи.

Сильную поддержку у разработчиков и региональных администраторов получила технология так называемой *внеземной связи,* базирующаяся на высокоподнятых платформах типа HAPS (High Altitude Platforms).

Платформа HAPS определяется рекомендациями ITU как «станция, расположенная на объекте на высоте 20–50 км в определенной, фиксированной позиции относительно Земли». Она предназначена для использования в виде базовой станции для наземного компонента IMT-2000, построения минимальных сетевых инфраструктур и позволяет организовать предоставление услуг с большой зоной покрытия и высокой плотностью расположения абонентов.

В семидесятые-восьмидесятые годы в России разрабатывались подобные проекты систем связи с различными вариантами высокоподнятых платформ («Старт», «Стратосфера» и т. д.). Была показана высокая эффективность их применения для нашей

страны, особенно для быстрого развертывания мобильных сетей радиосвязи специального и народнохозяйственного назначения.

Таким образом, определились некоторые отличительные особенности ключевых технологий перспективных ССС, в частности:

применение широкополосных спутниковых технологий связи, обеспечивающих высокоскоростную передачу данных;

освоение новых диапазонов радиочастот Ka и Ku для работы широкополосных спутников LEO и GEO;

значительное расширение спектра услуг связи для конечных пользователей: мобильная персональная связь, доступ в Интернет, передача видеоинформации, видеоконференцсвязь, мультимедийное широковещание, услуги определения местонахождения и т. д.:

внедрение новых бортовых систем связи, спутниковых антенн, оптических систем межспутниковой связи, следящих антенн абонентских станций, портативных мобильных терминалов и т. п.;

применение стандартных транспортных протоколов TCP/IP, ATM и т. п., адаптированных к физическим особенностям спутниковых каналов.

Более подробно ключевые технологии перспективных ССС классифицированы Европейской спутниковой рабочей группой SWG (Satellite Working Group), работавшей по заданию Европейской Комиссии [3]. На основе рекомендаций SWG Европейская Комиссия подготовила программный документ «The EV Action Plan: Satellite Communication in the Information Society». Группой SWG были сформулированы базовые требования к перспективным ССС по основным технологическим категориям:

бортовые комплексы КА;

наземный сегмент ССС;

межсетевое взаимодействие и протоколы спутниковой связи.

Требования к бортовым ретрансляционным комплексам включают решение следующих задач:

разборка высокопроизводительных бортовых комплексов, позволяющих перейти от сегодняшних скоростей порядка 2 Гбит/с к скорости передачи данных на уровне 4-16 Гбит/с;

внедрение и широкое применение усовершенствованных антенных систем, способных генерировать десятки или даже сотни лучей;

интенсивное использование бортовых цифровых компонентов и систем передачи информации;

создание систем с высоким уровнем перестраиваемости, обеспечивающих гибкое управление радиоресурсами (мощностью сигналов, скоростью передачи и т. п.);

использование в спутниковых системах технологий LEO и MEO, хотя для отдельных применений спутники GEO остаются эффективной альтернативой;

интеграция с наземными телекоммуникационными сетями и применение стандартов наземных сетей связи во всех случаях, где против этого нет существенных причин.

По оценкам экспертов SWG ключевые технологии, необходимые для выполнения данных требований, наиболее продвинуты в разработках компаний США, что ориентирует европейские программы НИР/ОКР на достижение американских технологических позиций.

В табл. 18.2 приводятся пять ключевых технологий, определяющих уровень развития и эффективность бортовых комплексов.

Требования к наземным сегментам и терминалам:

дешевые терминалы на базе СБИС и развитых DSP (цифровых связных процессоров) с малым энергопотреблением;

мультирежимные терминалы для использования как для спутниковой, так и наземной связи;

программируемые радиоподсистемы для мобильных терминалов («программируемое радио»);

использование спутникового разнесения для фиксированных терминалов в режимах широкополосной связи (Skybridge, WEST);

использование технологии новых частотных полос (Ка, EHF, V);

широкое применение эффективных методов модуляции и кодирования;

максимальная стандартизация всех протоколов и интерфейсов на 2-м уровне ЭМВОС и выше (кроме физического уровня, где параметры радиосигнала должны оставаться специфичными для спутниковой системы);

использование стандартных транспортных протоколов для пакетной передачи данных (IP и ATM).

Таблица 18.2

Ключевые технологии для бортовых комплексов

№	Технологии	Назначение
1	Многолучевые антенны	концентрация мощности сигнала, повторное использование частот, максимизация системной емкости
2	Бортовые коммутаторы	переключение радиоканалов на борту КА
3	Высокомощные платформы	обеспечение радиопередачи большой мощности с целью уменьшения габаритов абонентских терминалов
4	Большие антенны	обеспечение в GEO-системах узконаправленных лучей для приема на частотах мобильных терминалов
5	Межспутниковые линии связи	взаимосоединения между спутниками одной группировки

Кроме требований вышеприведенных двух групп в перспективных ССС все более важное значение приобретают требования *межсетевого взаимодействия.* Глобальные ССС особенно критичны к реализации этих требований и должны обеспечивать взаимодействие с другими телекоммуникационными системами на уровне всех наиболее распространенных и общепризнанных протоколов: SDH, ATM, TCP/IP, GSM/MAP, UMTS, IMT-2000.

К важным телекоммуникационным стандартам общего назначения (для спутникового и наземного сегментов) следует также отнести и протоколы сетевого управления: TMN, TINA, CORBA и др. Необходимо отметить, что тенденция интеграции сетевых технологий и стандартов спутниковых и наземных сегментов становится все более важной при развитии ССС. При этом «наземные» протоколы и стандарты будут играть все более определяющую роль в развитии широкополосных спутниковых технологий и мультимедийных услуг.

18.5. Технологии освоения новых диапазонов частот в системах спутниковой связи

Общие технологические проблемы освоения высокочастотных диапазонов частот иллюстрируется в таблице 18.3.

Наиболее сложный технологический характер освоения новых частотных полос Ка и Ku диапазонов следует считать проблемой особой и принципиальной важности для всех конфигураций ССС [3].

Пример первой экспериментальной ССС ACTS (США, военное применение), начавшей действовать в 1993 году в Ка-диапазоне на GEO-орбите, показал сложность борьбы с атмосферными эффектами и необходимость разработки специального

компенсационного протокола и технологии адаптивной регулировки скорости передачи данных.

Многочисленные эксперименты в ССС ACTS были проведены в 1994–1998 гг. в части оценки надежности связи с использованием мощных VSAT-станций (мощность передатчика – 12 Вт; размер антенны – 2-2,4 м; рабочие частоты – 29,236 ГГц и 29,221 ГГц (линия вверх) и 19,44 ГГц (линия вниз); модуляция SMSK – Serial Minimum Shift Keying; адаптивная компенсация замираний; скорость передачи данных – 1,792 Мбит/с).

Важные статистические результаты получены по оценке эффектов замирания сигнала от дождевых явлений, мокрых антенн, тепловых колебаний. Для компенсации дождевых и тепловых искажений сигнала разработан специальный протокол ACTS Fade Compensation Protocol. Протокол обеспечивает высокий уровень компенсации на тракте «спутниковая антенна – VSAT» за счет снижения скорости потока данных и применения избыточных корректирующих кодов. Исходный поток 110 Мбит/с в зависимости от уровня искажений адаптируется к требуемой степени избыточности кода (эффективная скорость передачи становится 55, или 27,5, или 13,75 Мбит/с). Дождевые и термальные эффекты исследовались в течение непрерывных 10-месячных экспериментов в семи географических пунктах США, Колумбии, Эквадора, выбранным по критериям высоких тропических и субтропических дождевых характеристик.

Понятно, что столь длительные и масштабные экспериментальные работы требуют больших финансовых вложений со стороны государственных органов, а также терпеливого ожидания результата и уверенности в успехе.

Разработка и внедрение технологии по реализации компенсационных протоколов и адаптивных алгоритмов регулировки скорости передачи данных в спутниковых радиолиниях диапазона Ka есть тот самый успех и научно технический задел, который позволяет уверенно и быстро осваивать этот диапазон перспективных ССС.

Именно поэтому в США многие компании занимаются проектами ССС в диапазоне Ka.

18.6. Радиотехнологии создания систем мобильной спутниковой связи 3-го поколения в программе IMT-2000

При создании спутниковой системы подсистемы S-IMT-2000 ключевыми технологическими проблемами являются: освоение нового S-диапазона частот, разработка эффективных радиоинтерфейсов, обеспечивающих интеграцию спутниковых и наземных систем связи. С помощью спутниковых сетей абонентам будет предложен расширенный ассортимент услуг:

голосовая связь и низкоскоростная передача данных (короткие сообщения и электронная почта) со скоростью 2,4–16 кбит/с;

ассиметричные услуги, включающие передачу данных, доступ к базам данных, вход в сеть Internet при скорости передачи до 144 кбит/с;

интерактивные мультимедийные услуги (видиотелефония, видеоконференцсвязь) со скоростью до 144 кбит/с.

Таблица 18.3

Технологические проблемы использования радиочастотных диапазонов в ССС

Диапазон (ГГц)	Рабочие частоты (ГГц)	Технологические проблемы освоения диапазона	Типичные применения	Абонент-ские станции	Примеры ССС
P 0,230–1,000	различные полосы	перегруженность радиоспектра	пейджинг; определение местонахождения	пейджеры	Orbcom

Диапазон (ГГц)	**Рабочие частоты (ГГц)**	**Технологические проблемы освоения диапазона**	**Типичные применения**	**Абонентские станции**	**Примеры ССС**
L 1,530–2,700	различные полосы	ЭМС с системами класса ISM	телефония; мобильная связь; низкоскоростная передача данных; пейджинг	радиотелефоны; портативныекомпьютеры; мобильные АС	Iridium Globalstar ICO ACES Thuraya
S 2,700–3,500	различные полосы		то же, что и в L-диапазоне	то же, что и в L-диапазоне	Globalstar
C 3,700–6,500	3,700–4,200 (вниз) 5,925–6,425 (вверх)	ЭМС с наземными линиями			Inlesat Skynet
X 7,500–8,500	7,250–7,745 (вниз) 7,900–8,395 (вверх)	ЭМС с наземными линиями	нет данных	нет данных	нет данных
Ku (Европа) 11,000–14,000	FSS 10,700–11,700 (вниз) 14,000–14,800 (вверх) DBS 11,700–12,500 (вниз) 17,300–18,100 (вверх) Telecom 12,500–12,750 (вниз) 14,000–14,800 (вверх)	компенсация дождевых и температурных влияний	фиксированная связь; непосредственное ТВ; передача данных; мобильная связь; широкополосная связь; доступ в Интернет	фиксированные АС; антенны 0,3–0,6; мобильные терминалы; антенны 0,2 м	Direct TV Echostar Astra
Ku (США) 11,000–18,000	FSS 11,700–12,200 (вниз) 14,000–14,500 (вверх) DBS 12,200–12,700 (вниз) 17,300–17,800 (вверх)				Spaceway Cyberstar Astrolink Teledesic Celestri
Ka 18,000–31,000	17,700–21,700 (вниз) 27,500–30,500 (вверх)	Высокая сложность и стоимость применения	широкополосная связь; высокоскоростная передача данных; доступ в Интернет; мультимедиа	мобильные терминалы; антенны 0,2 м	Teledesic Skybridge Ciberstar ACTS (военные применения)
V (SHF, EHF) 31,000–70,000	в стадии исследования	большой объем необходимых НИР/ОКР	военные применения	мобильные АС	Milstar (США) AFSATCOM (США) USTS (США)
Примечание: FSS – фиксированная связь; DBS–непосредственное широковещание; Telecom–телекоммуникации					

Скорость передачи в сетях спутниковой связи S-IMT-2000 несколько ниже, чем в наземной связи, т. е. не более 144 кбит/с. Тем не менее, такой пропускной способности вполне достаточно, чтобы обеспечивать высокоскоростную передачу данных и мультимедиа. Введение новых видов услуг и протоколов будет происходить без предъявления дополнительных требований к существующим сетям радиотелефонной связи и передачи данных. Таким образом, спутниковые сети 3-го поколения уже на первой фазе развертывания будут предоставлять практически тот же набор услуг, что и наземные, но в глобальной зоне обслуживания.

Общий подход к разработке технологий и стандартов спутниковых систем в рамках проекта S-IMT-2000 несколько отличается от проектирования наземного сегмента T-IMT-2000. Прежде всего, для спутниковой связи выделен только парный диапазон: 1 980 - 2 010 МГц и 2 170 - 2 200 МГц, т. е. работа в режиме с временным дуплексным разносом (TDD) пока не планируется.

Чтобы обеспечить меньшие затраты пропускной способности на сигнализацию и передачу управляющей информации, длина кадра в спутниковых сетях выбрана больше, а скорость передачи битов управления мощностью ниже, чем в наземных. Один из основных путей наращивания пропускной способности и обеспечения заданной энергетики спутниковых линий – использование высокоэффективных многолучевых бортовых антенных систем. Максимально возможный запас по энергетике, реализуемый в современных системах, как правило, не превышает 20 дБ и реализуется в основном за счет снижения скорости передачи.

Проекты, основанные на радиотехнологии CDMA

Европейским космическим агентством (ESA) совместно с рядом ведущих компаний Европы разработаны два предложения: первое из них основано на широкополосном кодовом разделении каналов SW-CDMA (Satellite Wideband CDMA), а второе – на гибридном кодово-временном разделении каналов, получившим название SW-C/TDMA (Satellite Wideband CDMA and Time Division Multiple Access).

Основная идея проекта SW-CDMA заключается в адаптации технологии широкополосной системы с кодовым разделением WCDMA, разработанной в рамках проекта системы UTRAFDD, применительно к спутниковой связи.

В системе SW-CDMA используется структура логических каналов, сходная с той, которая реализуется в наземной сети UTRA. Длина кадра равна 20/10 мс и может изменяться в зависимости от чиповой скорости 1,92 или 3,84 Мчип/с. Структура кадра аналогична той, которая предложена в наземной сети UTRA. Кадр состоит из 15 канальных интервалов длиной 0,625 мс (3,84 Мчип/с) или 1,25 мс (1,92 Мчип/с).

Некоторые отличия от UTRA имеются в структуре передаваемых сообщений. Вместе с пилот-сигналом и командами управления излучаемой мощностью TPC (Transmit Power Control) по спутниковому каналу передается сигнал, в котором указана скорость передачи текущего кадра.

Вследствие того, что задержки в спутниковой системе больше, чем в наземной сети, для повышения быстродействия замкнутой петли регулирования использован 4-уровневый сигнал (2 бита на кадр). Суперкадр длиной 600 мс образуется путем объединения 60 или 30 кадров (в случае половинной скорости). Модуляция данных осуществляется с использованием QPSK. Для снижения вероятности ошибок при малых скоростях передачи (менее 4,8 кбит/с) вместо QPSK применяется BPSK или двухканальная BPSK.

В случае если передача пейджинговых сообщений по вызывному каналу невозможна, то в системе SW-CDMA предусмотрен режим с пониженной скоростью, так называемый канал с высокой проникающей способностью HPPCH (High Penetration Paging Channel). Для обеспечения необходимого запаса по энергетике (не менее 20 дБ) скорость передачи понижается до 1,2 кбит/с. Для обеспечения нормального функционирования системы необходимо, чтобы различные спутники не излучали сигнал HPPCH одновременно в одном и том же географическом районе.

В системах SW-CDMA реализуются два режима: традиционный двухчастотный дуплекс (FDD) и комбинированный частотно-временной дуплекс FDD/TDD (Frequency-Time Division Duplex). В режиме FDD/TDD каналы передачи и приема являются ортогональными во времени, однако передаются на разных частотах.

В спутниковой связи комбинированный метод FDD/TDD имеет ряд преимуществ по сравнению с «чистым» временным дуплексным разносом (передача на одной несущей). В отличие от сетей наземной и подвижной радиосвязи, где выделены отдельные участки спектра для работы в непарных полосах частот (TDD), в спутниковой связи такого

диапазона нет. Кроме того, нельзя забывать о том, что комбинированный режим FDD/TDD приведет к определенному усложнению абонентской аппаратуры.

Схемы многостанционного доступа в прямом и обратном каналах системы W-C/TDMA являются различными. В первом случае используется синхронная передача с кодово-временным разделением каналов W-O-C/TDMA (Wideband Orthogonal C/TDMA), а во втором – квазисинхронная передача W-QS-C/TDMA (Wideband Quasi-Synchronous C/TDMA).

Проект спутниковой системы SAT-CDMA подготовлен Ассоциацией телекоммуникационных технологий (TTA, Южная Корея). Орбитальная группировка системы будет состоять из 48 КА, находящихся на высоте 1 600 км с наклонением 54°. Спутники расположены в 8 орбитальных плоскостях по 6 КА в каждой. Земные станции обеспечивают работу при углах места 17,5° (абонентские терминалы) и 10° (станции сопряжения).

Основу технологии SAT-CDMA составляют широкополосные CDMA-каналы (ширина полосы 5 МГц на несущую). На борту спутника должна быть установлена антенная система, формирующая 37 узких лучей, в каждом из которых передача осуществляется на 3-х несущих частотах. Планируемая скорость передачи – от 9,6 кбит/с до 144 кбит/с (табл. 18.4). В системе SAT-CDMA намечено задействовать эффективные способы борьбы с замираниями и методы компенсации потерь, обусловленных эффектом Доплера.

Проекты, основанные на радиотехнологии TDMA

В рамках программы IMT-2000 предложены два проекта систем спутниковой связи нового поколения: ICORTT (ICO Global Communication) и Horizons (Inmarsat). Система персональной спутниковой связи ICO является одной из первых, которая реально будет предоставлять услуги в диапазоне частот 1 980 - 2 100 и 2 170 - 2 200 МГц.

Проект ICORTT в целом повторяет конфигурацию системы ICO с узкополосной TDMA. В этих проектах используется один и тот же метод многостанционного доступа FDD/TDMA, работа обеспечивается в общих полосах частот, орбитальная группировка также одинакова, т. е. включает 10 КА (две плоскости по 5 КА в каждой) с высотой орбиты 10 360 км над поверхностью Земли.

Ретрансляционный комплекс создается на базе прозрачного ретранслятора с антенной системой, формирующей 163 узких луча (на прием и на передачу). Кадр длиной 40 мс разделен на 6 канальных интервалов. Исходная канальная скорость для каждого интервала выбрана и равна 2,4 кбит/с (без кодирования) или 4,8 кбит/с (с кодированием). Наземная структура строится на базе сети ICONET, что обеспечивает полную преемственность двух проектов. Фактически, проект ICORTT – это дальнейшее развитие узкополосной системы с тем же названием.

Основные изменения связаны с повышением пропускной способности и спектральной эффективности системы за счет увеличения скорости передачи информации до 38,4 кбит/с. Однако увеличение скорости планируется реализовать лишь в терминалах профессиональных пользователей, используя в них объединенные канальные интервалы. Для передачи речи и данных в прямом канале задействуется модуляция QPSK/BPSK, а в обратном канале – GMSK. Для передачи речи применяется сверточное кодирование (R=1/3), а для данных – код Рида-Соломона в сочетании со сверточным кодированием.

В проекте системы ICORTT предложена гибкая канальная структура, позволяющая передавать информацию со скоростью от 1,2 до 38,4 кбит/с в прозрачном и непрозрачном режимах. В вокодере, который оптимизирован под канальную структуру с длительностью кадра 40 мс, применяется алгоритм AMBE.

Таблица 18.4

Сравнительные характеристики проектов стандартов спутниковых систем (по данным ITU)

Название проекта	SW-CDMA	SW-CTDMA	SAT-CDMA	ICO RTT	Horizons	ING
Разработчик	ESA	ESA	Ю. Корея	ICO Global	Inmarsat	Motorola
Тип орбиты	параметры зависят от типа орбитальной группировки (ОГ); всего предложено 5 вариантов построения ОГ		LEO	MEO	GEO	LEO
Число КА			48	10-12	3-4	96
Высота орбиты, км			1600	10390	36000	860
Наклонение, град			54	45	± 5	поляр.
Число плоскостей			8	2	1	8
Число КА в плоскости			6	5-6	3-4	12
Число лучей			37	163	150-250	228 (перем.)
Обработка на борту	нет	нет	да	нет	нет	да
Метод доступа	DS-CDMA	гибрид-ный	CDMA / FDMA	TDMA / FDMA	TDMA	FDMA / TDMA FDMA / CDMA
Метод дуплекси-рования	FDD	FDD FDD / TDD	FDD	FDD	FDD	TDD и FDD
Ширина полосы частот канала, МГц	2,35/4,7	2,35/4,7	5,0	0,025	0,1	0,27 (TDMA) 1,25 (CDMA)
Скорость передачи, кбит/с	1,2-144	1,2-144	4,8-64 (речь) 144 (данные)	4,8 (речь) 38,4 (данные)	4-64 (речь) 144 (данные)	2,4-4 (речь) 144 (данные)
Чиповая скорость, Мчип/с	1,92 или 3,84		3,84	нет	нет	1,228 до 4,096
Метод модуляции	QPSK или BPSK		QPSK / HPSK QPSK (ПК)	GMSK (ОК) QPSK BPSK (ПК)	QPSK 16 QAM	16 QAM QPSK
ЭИИМ терминала, дБВт	3 (порт.) 6 (моб.) 16(пере-носн.)	8 (порт.) 11 (моб.) 20 (пере-носн.)	2 (порт.) 15,8 (моб.) 21 (перен.) 36 (фикси-ров.)	7 (порт.) 10 (мобил.)	15 (тип 1) 10 (тип 2)	2 до 4
G/T терминала	Класс портативных терминалов: -22 (GEO), -23,5 (LEO/MEO)		-22,8 (порт.) -20,8 (перен.) -4 (фиксир.)	-23,8 (порт)	-11 (тип 1) -16 (тип 2)	-24,8 (портативн.)
Динамический диапазон, дБ	20	15	20	16	8	25
Шаг управления мощностью, дБ	0,2-1	0,2-1	± 0,25; ±1,0	1	1	2(TDMA) 0,5 (CDMA)
Скорость циклов управления, цикл/с	50-100	50-100	100	2	перемен.	50
Развязка в терминале, дБ	>169	>169	110	≥ 57	50	63
Запас на замирания, дБ	≤ 20	≤ 20	≤ 25	8	3	15-25 (речь) 45 (пейджер)

Название проекта	SW-CDMA	SW-CTDMA	SAT-CDMA	ICO RTT	Horizons	ING
Число канальных интервалов на кадр	15	8	15	6	18	4

Разработчики ICO RTT намерены обеспечить управление мощностью за счет объединенного канала управления АСНН (Associated Control Channel), который состоит из двух подканалов: SACCH (Slow ACCH) и FACCH (Fast ACCH). Максимальная скорость передачи управляющей информации по низкоскоростному каналу SACCH 160 бит/с, а по быстродействующему каналу FACCH – 80 бит за кадр 40 мс. С целью снижения уровня помех в ICO RTT планируется обеспечить управление мощностью с точностью ±1 дБ.

В системе предусмотрено автоматическое переключение каналов между разными лучами одного и того же спутника, а также между лучами соседних спутников. Перерыв связи при жестком хэндовере не превышает 80 мс. Планируется также для отдельных пользователей обеспечить режим мягкого хэндовера. В качестве базовых систем ICO RTT предполагается использовать портативные двухрежимные терминалы, совмещенные с сотовыми телефонами.

Проект создания системы спутниковой связи Horizons предложен международной организацией Inmarsat. Система строится на базе нескольких геостационарных КА с большим числом узких лучей. В системе Horizons планируется реализовать спектрально-эффективные методы модуляции (1,4 бит/с/Гц), n-кратное повторное использование частот (n=5), турбо-кодирование. Речь может передаваться с изменяемым качеством, т. е. с вероятностью ошибки от 10^{-3} до 10^{-6}. Достоверность в канале передачи данных лежит в пределах от 10^{-12} до 10^{-13}. Высокая скорость передачи (144 кбит/с) обеспечит предоставление широкого спектра услуг, в первую очередь мультимедийных услуг, а также оперативный доступ в сеть Интернет и корпоративные интрасети.

В качестве абонентского устройства предлагается малогабаритный мультимедийный терминал (масса не более 750 г) с малым энергопотреблением. Высокое качество связи достигается за счет автоматического переключения каналов в момент перехода мобильной станции с одного луча геостационарного КА в другой. Такая возможность достигается за счет использования двух каналов: узкополосного (связь в глобальном луче) и широкополосного (связь в узком луче).

18.7. Концепция глобальной многофункциональной наземно-космической системы

Интеграция сетей и служб электросвязи Единой сети электросвязи (ЕСЭ) России между собой и с сетями других стран необходима в целях создания единого инфокоммуникационного пространства России. Это обеспечит:

защиту интересов пользователей: государственных органов и граждан в вопросах предоставления услуг;

интеграцию сетей и служб в мировое сообщество и ориентацию на передовые и перспективные технологии;

интеграцию служб и технологическую совместимость сетей и служб различных операторов;

защиту отечественного рынка от несовершенных и устаревших технологий и технических средств;

возможность централизованного управления сетями и службами в условиях чрезвычайных ситуаций;

терминологическое взаимопонимание между разработчиками, проектировщиками, операторами, поставщиками средств, пользователями, контрольными и регулирующими органами.

Области электросвязи, в которых происходят процессы интеграции, все расширяются: в системах передачи по волоконно-оптическому кабелю (ВОК) используется интеграция способов разделения сигналов по времени и частоте – спектральное уплотнение, линии электропередачи – ЛЭП – используются для передачи сигналов связи не только на магистральных, но и на распределительных сетях, грозозащитные трассы ЛЭП интегрируются с ВОК путем размещения оптических элементов внутри тросов, используются интегральные терминалы типа телефон-факс, персональный компьютер-телеприемник и т. п.

Возникает интеграция сетей общего пользования и корпоративных сетей, построенных на принципах Интернет, так называемых сетей Intranet. Новым вариантом таких сетей являются виртуальные частные сети (Virtual Private Network – VPN), которые обеспечивают связь между корпоративными абонентами по защищенным каналам – «туннелям».

Интеграция видов связи отвечает желаниям людей одновременно видеть и слышать собеседника и тем самым становится движущей силой развития электросвязи. Все очевиднее становится глобальность процессов информатизации, что характеризуется интернационализацией рынков сбыта продукции связи, связанной с бурным ростом продаж на территории других стран и транснационализацией, при которой доминирующая роль переходит к структурам, влияющим на потоки финансов, а не товаров.

Еще в 1998 г. на конференции ETSI было признано, что определяющей тенденцией развития электросвязи в последующие годы должна стать интеграция ее технологий с технологиями информатизации, обеспечивающая создание единого инфокоммуникационного пространства. Все это позволяет сделать вывод о том, что интеграция является глобальной закономерностью развития электросвязи и движущей силой ее развития.

Большинство проектов космических систем, особенно в области решения задач персональной связи, оказываются имеющими низкий уровень окупаемости затрат на создание. Важнейшим показателем современных космических систем должны быть конкурентоспособность, высокий уровень возврата (окупаемость), длительный срок активного существования и возможность эволюционного совершенствования или развития, не «останавливая» функционирование и применение системы. Для российской космической индустрии выдвигаемые показатели являются новыми, особенно требования обслуживания системы. Без решения указанных вопросов космические системы XXI века не будут обладать высокой технико-экономической и целевой эффективностью.

В условиях реально развивающихся процессов мировой глобализации невозможно рассматривать космические системы и программу деятельности в космосе как сугубо региональную национальную государственную задачу. На фоне глобальной конвергенции телекоммуникационных процессов, мировой стандартизации и унификации систем и средств космические системы России должны сопрягаться с мировыми, входить в состав мировых систем или создаваться как глобальная информационно-управляющая базовая основа.

18.7.1. Стратегия развития системы

Проблема интеграции наземных и космических систем в многофункциональную интегрированную наземно-космическую информационную систему (МИНКИС) начала обсуждаться и исследоваться еще в 80-х годах в СССР.

Разработка облика системы, начатая с середины 80-х годов, являлась предметом многосторонней межведомственной проработки гражданских и военных ведомств. Проведенные комплексные исследования потребностей в информационном обеспечении убедительно показали целесообразность предоставления наборов услуг, интегрированных в унифицированном потребительском составе КА, сочетающих задачи навигации, геодезии, связи, управления и мониторинга природной среды.

Необходимость создания многосвязной сетевой структуры высокой надежности, живучести и многократных «покрытий» (от 5 до 9 одновременно видимых аппаратов) определили единственность выбора группировки базовой информационно-координатометрической управляющей системы на средневысотном ярусе в структуре построения системы ГЛОНАСС.

Поэтому орбитальная группировка ГЛОНАСС является не только вариантом базовой управляющей системы, но и главным фактором преемственности к научно-техническому заделу в России, созданному на всех этапах разработки ГЛОНАСС вплоть до ввода системы в штатную эксплуатацию.

В этом случае низковысотные аппараты включаются в глобальное информационное пространство и становятся ее сегментом. Количественный состав низкоорбитальной группировки может быть любым (начиная с одного КА до любого необходимого количества), при этом низкоорбитальные КА являются абонентами, как по информационному обмену, так и по контролю и управлению аппаратами. В такой концепции все типы низкоорбитальных КА (геодезические, океанографические, метео-, детального наблюдения) будут функционировать как подсистемы, управляемые через КА среднего яруса и осуществляющие доставку информации потребителю.

Определить место, значение и ценность космических высокоинформативных технологий хронометрии, координаметрии, наблюдения среди бурно развивающихся технологий наземной связи возможно только после уяснения взаимного соотношения и наличия взаимной обусловленности между космической и наземной многофункциональной системой.

Применительно к стратегии создания и развития многофункциональной интегрированной космической системы стратегия развития электросвязи принимается как внешняя среда, определяющая условия развития и функционирования космического сегмента.

В основу стратегии согласованного развития функций многофункциональной системы принят принцип «зависимости» от внешнего окружения и потребления.

В соответствии с этим принципом выполняемые функции (услуги) подразделяются на две категории:

независимые – услуги, доставляемые потребителям непосредственно, минуя системы внешнего (связного) окружения, специальной аппаратурой;

зависимые – услуги, доставляемые потребителю опосредованно, через средства систем связи внешнего окружения.

В структуре космической системы независимыми услугами являются: комплекс координатно-временного обеспечения (КВО), время, синхронизация, навигация, геодезия, наблюдение. Услугами КВО может пользоваться любой потребитель, каждой в отдельности или в совокупности с другими услугами.

Сегмент космической связи является абсолютно зависимым от внешней наземной телекоммуникационной сферы и средств и систем ее «последней мили». В любом случае оконечным устройством доставки информации будет техника наземных систем. Поэтому долгосрочная стратегия развития космического сегмента связи должна быть сопряженной с общей стратегией развития наземной электросвязи и, в первую очередь, с системами подвижной связи.

Развитие подвижных систем связи прогнозируется на 40–50 лет вперед (системы 3-го поколения IMT-2000 генерации 3G, 4G, 5G будут занимать периоды 12–15 лет). Выход

на полную конвергенцию всех видов связи и предоставление мультисервисных информационных услуг можно предполагать удовлетворит самые широкие потребительские запросы на длительный период – десятки лет.

По отношению к системе связи система космического КВО выполняет функции системы синхронизации, координатного обеспечения сетей и средств синхронной иерархии и фазовой синхронизацией подвижных систем. Глобальная синхронизация – центральный принципиальный вопрос обеспечения подвижной связи, занимающий до 50 % затрат на обеспечение функционирования систем. Стабильность космической эталонной базы $\sim 10^{-14}$ обеспечивает возможность создания космических каналов «космос–Земля–космос» в структуре синхронной связи SDH, обеспечивая возможность создания мощной глобальной космической сетевой системы широкополосных магистральных каналов синхронной связи.

Выявляется структура полной *взаимообусловленности* между космической и наземной многофункциональной информационной системой, развитие которой *должно планироваться согласованно*. Эволюционное улучшение точностных характеристик КВО в той же степени повышает технико-экономические показатели и снижает стоимость связного оборудования, не приходя к необходимости его смены. Тем самым будет осуществляться совершенствование характеристик КВО, решающее задачи повышения точности геодезии, навигации, наблюдения, не приходящее в конфликт с системами связи.

Таким образом, выстраивается бесконфликтная, компромиссная стратегия развития многофункциональных космических и наземных систем связи. Бесконфликтной она является в части развития КВО, так как она не приводит к нарушениям или какому-либо влиянию на наземные системы, а только улучшает свойства систем связи. Компромиссной она является в части необходимого согласования развития космической связи в соответствии со стратегией развития наземных подвижных систем. В отдаленном будущем возможно дополнение космических каналов связи подвижных систем независимой системой широкополосной глобальной магистральной синхронной связи.

Комплексное согласование стратегии развития космического сегмента с наземными системами подразумевает согласование сроков ввода в эксплуатацию новых средств как на Земле, так и в космосе, а это подразумевает обязательное условие возможности съема космических аппаратов с орбиты для необходимого переоснащения, т. е. требование обслуживания системы в процессе эксплуатации с различными (в соответствии с программами развития) сроками ротации космических аппаратов.

18.7.2. Структура наземно-космической системы

Краткий обзор стандартов сотовых систем, проведенный выше, дает общее представление об эволюции развития подвижных многофункциональных систем связи. Сегодня уже нет сомнений и альтернатив развитию подвижных средств связи концепции IMT-2000 и основных систем 2-го поколения (GSM) «вливаться» в IMT-2000 через шлюзные переходы. Эволюция развития подвижных систем связи представлена на рис. 18.3, причем подвижный стандарт IMT-2000 представлен в составе 2-х составляющих: наземной и космической.

Наземный сегмент IMT-2000. В основе системы положен принцип доступа CDMA, основывающийся на многоскоростном сверточном кодировании цифровых потоков мультимедийных источников информации (видео, аудио, передача данных).

Космический сегмент IMT-2000. Решение главной внутренней задачи IMT-2000 – глобальной синхронизации – накладывает определенные условия на структуру космического сегмента и состав подсистем, который должен быть следующим.

1. Глобальная космическая эталонная база. Реализуется в сетевой структуре основной средневысотной орбитальной группировки установлением на каждом КА ГЛОНАСС хранителей частоты и времени высокой стабильности.

Сегодня «кандидатами» для установки на борт являются две разработки водородных хранителей со стабильностью $<10^{-14}$, синхронизируемых по квантово-оптической линии связи между аппаратами и в совокупности образующие групповой космический эталон, функционирующий автономно.

2. Подсистема космического координатно-временного обеспечения, решающая задачу автономного навигационного (эфемеридного) обеспечения орбитальной группировки, ориентирующего по высокоточному заатмосферному звездному базису (космическое КВО). Первая эпоха каталога звездного базиса, согласованная с результатами программы Hipparcos, создана в 1999 г.

Построение системы автономного навигационного обеспечения позволит повысить точность эфемерид до дециметрового уровня и тем самым обеспечит навигационно-геодезическое обеспечение наземного сегмента IMT-2000.

3. Глобальная межспутниковая сетевая система магистральных высокоскоростных каналов синхронной иерархии и радиотехническая линия для ретрансляции интегрированных потоков цифровой информации. Осуществляет доставку в глобальном масштабе всех видов цифровой информации всем элементам наземного комплекса.

4. Ретрансляционная система КВ-диапазона. Рассчитывая на европейскую ретрансляционную технику диапазона 30, 40, 50, 60 ГГц, предполагается осуществить связь между наземным и космическими сегментами в стандартизованных в IMT-2000 структурах сигналов.

Установка на каждом КА ретрансляционной системы позволит обеспечить связь каждого наземного пункта с не менее чем девятью КА (при орбитальной группировке в 60 спутников) и применением в диапазоне 40 ГГц АФАР на потребительском уровне. Автоматические выбор и наведение диаграмм направленности на космический аппарат освободит пользователя от задачи вхождения в связь и поддержание связи, что упрощает применение до уровня «трубки в руке».

5. Глобальная система оперативного наблюдения поверхности Земли и целевого ДЗЗ с обработкой информации на борту. В настоящее время имеются технологические предпосылки создания широкоугольных камер наблюдения на основе сферических концентрических объективов с растровыми датчиками и системой акустоуправляемых узкополосных фильтров в системе многозонального дистанционного зондирования. Можно ожидать высокий потребительский коммерческий спрос на информацию оперативного наблюдения, выполняемого по запросу любых пользователей, обладающих наземным терминалом. Диапазон заявок может быть чрезвычайно широк: от вопросов землепользования, космической геологии, до наблюдения за перемещением транспортных средств, чрезвычайных ситуаций и других возможных применений.

6. Подсистема глобального роуминга. Концепция IMT-2000 постулирует обеспечение роуминга во всемирном масштабе в любом месте и в любое время. Если проблемы роуминга цифровой информации не вызывают сомнений, то роуминг голосовой телефонной связи имеет жесткие ограничения по задержкам сигналов, допустимых для введения диалоговой разговорной связи. Допустимой задержкой в одном направлении передачи речи считается величина < 0,2 сек.

Стационарные спутники связи с точки зрения обеспечения «живой» телефонной связи не удовлетворяют требованиям допустимых задержек, особенно при необходимости межспутниковой ретрансляции.

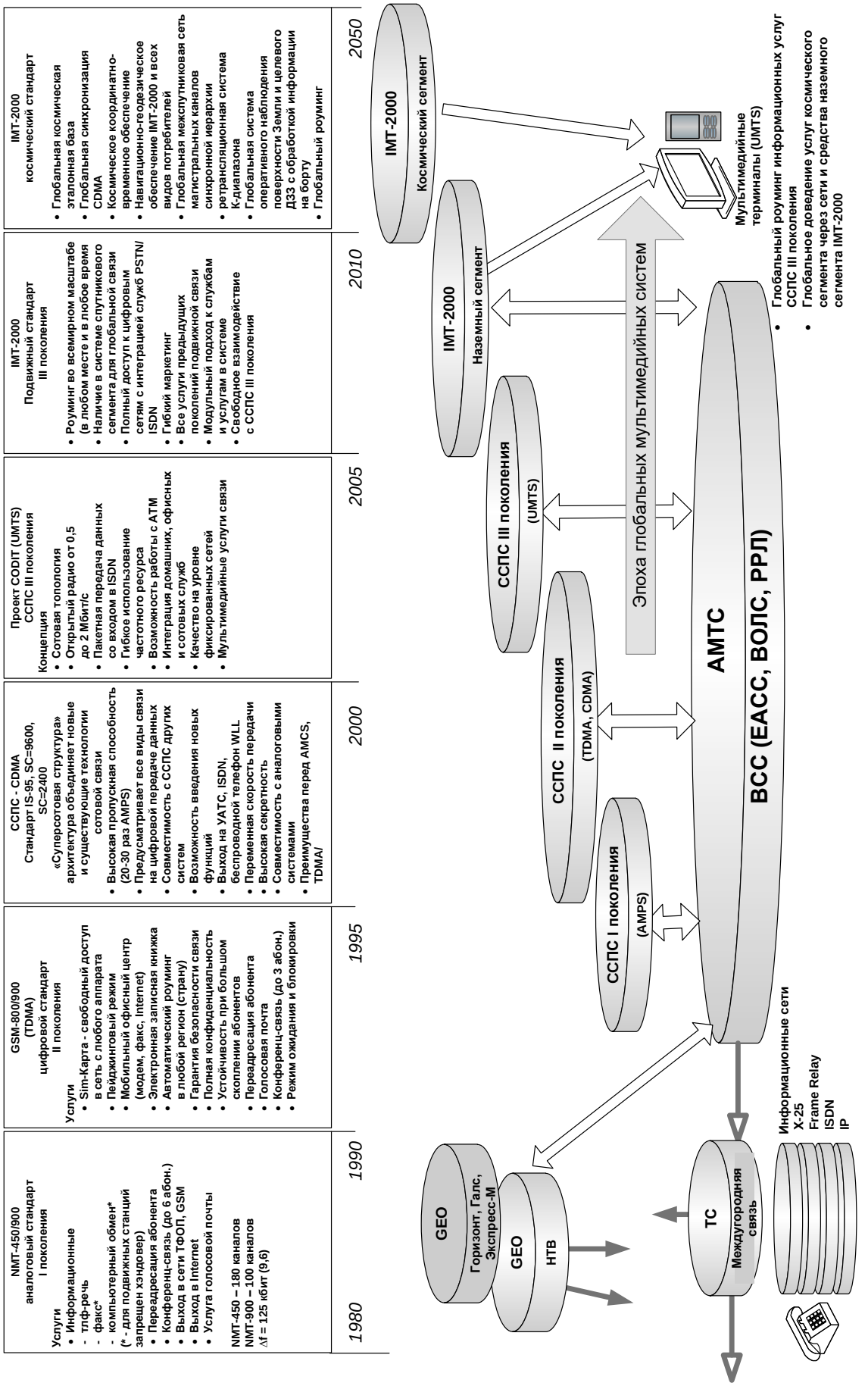


Рис. 18.3. Эволюционное развитие подвижных многофункциональных систем связи

Построение информационной системы на средневысотных орбитах (~19 тыс. км) удовлетворяет требованиям высококачественной голосовой связи как при ретрансляции через один ИСЗ, так и при «одношаговом» переходе через межспутниковую связь. При ретрансляции с «одношаговым» межспутниковым переходом любой абонент может связаться с абонентом, находящимся на обратной стороне Земли и вести телефонный разговор с высоким качеством связи.

Подводя итог изложенному, можно сделать вывод о том, что требования к спутниковому сегменту S-IMT-2000, вытекающие из концепции IMT-2000, формируют облик многофункциональной интегрированной космической системы. Идеология построения российского проекта многофункциональной КС по всем характеристикам взаимно соответствует концепции IMT-2000 и может предлагаться как глобальное функциональное дополнение к перспективным подвижным системам 3-го поколения и образовывать единую глобальную космическую суперсистему 3-го тысячелетия.

Стремительное развитие информационных и телекоммуникационных технологий в наземных системах, быстрая смена «эпох» и поколений систем не могут не отразиться на спутниковых системах. Установившаяся периодичность смены поколений ~ 10 лет уже показала на примере системы Iridium цену отставания от общего хода мирового развития телекоммуникационных средств.

Попытки КС «догонять» потребительские свойства, рыночной и коммерческой эффективности наземных систем неизбежно будут приводить к идеологическому и финансовому краху. Так будет повторяться в каждом случае попытки «соревнования» космических систем с наземными – будет заканчиваться с проигрышем для космических систем. Разрешение данного противоречия может быть только на пути сопряженного развития на основе единых информационных технологий. Первым шагом к конвергенции космических и наземных систем является концепция IMT-2000, в рамках которой на уровне международной стандартизации закрепляется принцип информационного единства настоящих и будущих мультимедийных систем. Успешное сопряжение и эффективное совместное функционирование и развитие наземного и космического сегментов может осуществляться при наличии у них общих идеологических, технологических и технических черт с модернизацией с периодичностью 5–10 лет.

Различия в жизненных циклах существующих систем, их некоординированные по времени начала и окончания функционирования лишают потребителя реальной возможности рассчитывать на какой-то заданный (требуемый) срок гарантированного функционирования.

18.7.3. Концепция эксплуатируемой системы

Как следует из концепции согласованного развития наземных и космических сегментов интегрированной информационной системы, космические аппараты должны периодически (с периодом ~5 лет) сниматься с орбиты для обслуживания, ремонта и модернизации. Это обусловлено необходимостью периодического обслуживания эталонной базы (водородные генераторы имеют ресурс функционирования ~7 лет) и главное – расширение информационных возможностей ретрансляторов при переходе к новой генерации подвижных систем (расширение базовых полос на 1,5–2 порядка).

Удовлетворять данным требованиям можно двумя путями.

Первый путь. Создавая одноразовый объект, запускаемый ракетой-носителем, не предусматривая возвращения аппаратов. Необходимость обслуживания и модернизации решается методом замены всей группировки через 5 лет эксплуатации новым полным комплектом КА, оставляя предыдущую функционирующую ОГ на частичное использование в переходный период перезапуска. После ввода новой «генерации» оставшиеся выведенные из применения КА не будут по общему состоянию работоспособны на 80–90 % стоимости аппарата, пригодной к многофункциональному

применению. При стоимости одного КА ~ 100 млн. долл. и РН «Протон» ~ 80 млн. долл., выведение полной ОГ ~ 60 КА будет требовать затрат ~ 8 млрд. долл.

Второй путь предполагает создание КА многоразового использования периодическим (1 раз в 5 лет) съемом аппарата с орбиты для обслуживания, ремонта и модернизации ретрансляционной системы. Полагая, что стоимость обслуживания КА составит ~ 10% от стоимости производства, обслуживание 60 спутников составит ~ 0,6 млрд. долл. Рассчитывая выводить одним полетом 5 спутников (вывод одной плоскости ОГ) с затратами на 1 пуск 5 млн. долл., вывод всей группировки (60 КА) составит ~ 60 млн. долл. итого, первичный запуск – первое пятилетие обслуживаемой системы составит по затратам ~ 6,1 млрд. долл. Последующие пятилетия будет осуществляться ротация спутников через наземное обслуживание. Стоимость 5 лет эксплуатации снизится до 0,66 млрд. долл. или 140 млн. долл. затрат в год.

Сопоставляя возможные пути создания многофункциональной космической системы одноразовой или эксплуатационной (обслуживаемой) по приведенным данным только по затратам на запуски и эксплуатацию путь обслуживаемой системы является абсолютно преимущественным.

Переход на обслуживание открывает новые пути к построению космических систем, их эксплуатации и развитию. Можно уверенно утверждать: эксплуатируемый космос – это девиз второго технологического цикла развития космической индустрии. Общие принципы концепции эксплуатируемой системы:

разработка космических аппаратов и ретрансляторов на основе модульного принципа, позволяющего осуществить замену элементов КА при обслуживании на Земле и в космосе;

создание эксплуатационно-ремонтной базы, решающей задачи ремонта и модернизации спутников и АКС в стационарных условиях единого предприятия;

вывод КА на расчетную орбиту горизонтальным стартом с авиационной эксплуатационно-ремонтной базы орбитального комплекса, доставка космических аппаратов ГКСС в рабочие точки орбитальной группировки, ревизия состояния функционирующих КА, съем спутников с орбиты на ремонт и регламентные работы;

создание наземного промышленно-технического комплекса, обеспечивающего разработку штатных и модернизируемых элементов, их испытание, подготовку и доставку на космическую техническую базу системы.

Создание российской обслуживаемой многофункциональной наземно-космической системы откроет эру систем, эксплуатируемых в космосе.

Литература

1. Танненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. Изд. 5-е. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.

2. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. Изд. 4-е. – СПб.: Питер, 2012. – 944 с.

3. Ноздрин В. В. Перспективы развития рынка услуг спутниковой связи и вещания // Технологии и средства связи. – 2006. № 4. – С. 88–94.

4. Перспективные спутниковые системы связи / Ю. М. Горностаев и др.. – М.: Горячая линия Телеком, 2000.

5. Анпилогов В. Р. Российский рынок спутниковой связи и вещания. Анализ состояния и прогноз развития // Технологии и средства связи. 2007. – № 6. – С. 60–66.

6. Боккер П. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы. – М.: Радио и связь, 1991. – 303 с.

7. Назаров А. Н., Симонов М. В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 234 с.

ЧАСТЬ 7
ОПЫТ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

ГЛАВА 19. КРАТКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

В начале XX века появились первые крупномасштабные телефонные сети, по мере развития которых и подключения к ним растущего числа абонентов стали наблюдаться неожиданные перегрузки, приводящие к потерям вызовов, значительным задержкам в обслуживании и другим неприятным явлениям. Именно тогда начала формироваться теория массового обслуживания, основоположником которой был датский ученый А. К. Эрланг, а честь математически строгого изложения теории и сам термин «теория массового обслуживания» принадлежит отечественному ученому А. Я. Хинчину.

До сих пор ученые используют эту теорию для разработки методов анализа и оптимизации инфокоммуникационных сетей различного типа и назначения. Вместе с тем, огромные скорости передачи, разнородный мультимедийный трафик, множество информационных служб и услуг, предъявляющих разнообразные требования к характеристикам передачи, делают современные инфокоммуникационные сети намного более сложными для анализа и оптимизации, чем традиционные сети. Поэтому они требуют нового осмысления, новых подходов, новой теоретической базы.

Различают три направления и, соответственно, три группы задач анализа и оптимизации телекоммуникационных и инфокоммуникационных сетей:

задачи анализа и оптимизации физической структуры сети или ее «тела», в результате решения которых осуществляется синтез топологической структуры сети, выбор пропускных способностей узлов коммутации и линий передачи, распределение потоков и определение вероятностно-временных характеристик (ВВХ) передачи информации и др.;

задачи анализа и оптимизации архитектуры сети, т. е. совокупности ее протоколов, интерфейсов, алгоритмов как интеллектуальной составляющей сети или «души» системы;

задачи анализа и оптимизации жизненного цикла системы в целом.

Решение рассмотренных задач служит основой для формирования теории инфокоммуникационных сетей, которая является базой для анализаи оптимизации практических решений, принимаемых при проектировании и создании реальных сетей.

Основные направления работ по практическому созданию современных инфокоммуникационных сетей можно разбить на четыре группы:

методы коммутации;

сети передачи данных с коммутацией пакетов (и сообщений);

мультисервисные сети кабельного телевидения;

телекоммуникационные сети следующего поколения.

В данной главе предлагается краткий обзор указанных направлений, основанный, в основном, на опыте отечественных разработок и исследований.

19.1. Исследования методов анализа и оптимизации инфокоммуникационных сетей

Методы анализа и оптимизации структуры и архитектуры инфокоммуникационных сетей используются, главным образом, на первых этапах их жизненного цикла при разработке концепции, принципов построения и функционирования ИКС для оценки характеристик системы и оптимизации ее структуры и архитектуры. Однако и на последующих этапах стадии разработки, а также стадии эксплуатации они используются для контроля характеристик ИКС при расширении абонентской емкости системы после ввода в эксплуатацию новых объектов, новых служб и услуг,

модернизации комплексов технических средств и др. Рассматриваемые методы относятся к самостоятельным направлениям исследований ИКС, которым посвящено значительное число работ разных авторов. В данном разделе мы дадим краткий обзор этих работ, а также представим общие подходы к анализу и оптимизации структуры и архитектуры ИКС, основанные на работах Захарова Г. П., Лохмотко В. В., Воробьева С. П.

Упомянутые выше авторы относятся к научной школе профессора Г. П. Захарова, которая сформировалась в 80-х годах прошлого столетия в Ленинградском научно-производственном объединении (ЛНПО) «Красная Заря» в процессе проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке и созданию систем и сетей передачи информации и комплексов оборудования для них как ведомственного и специального назначения, так и общего пользования. Научные достижения этой школы всегда отличались близостью к практике разработок и внедрения в эксплуатацию реальных сетей и систем и поэтому наиболее близки авторам данной книги.

Говоря об инфокоммуникационных сетях (ИКС), мы имеем в виду все классы ИКС, представленные в классификации сетей в главе 2.

Под структурой ИКС понимается вещественная основа организации сети (элементы и связи между ними). Структура является статистической характеристикой сети, т.к. не отражает способа доставки информации. Она характеризует внешнее строение ИКС, в частности географическое размещение комплексов оборудования и конфигурацию связей между ними. Архитектура ИКС описывает ее внутреннее строение, алгоритмы работы, структуру и состав процедур доступа, обмена и управления.

Исследованиям структуры узкополосных и широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб (ЦСИС) посвящено достаточно много работ отечественных и зарубежных авторов, проводимых с конца 60-х годов прошлого столетия. В последние годы исследования сместились в сторону сетей классов 3 и 4 в связи с внедрением концепции построения сетей с коммутацией пакетов и высокоскоростных систем передачи (1 Мбит/с и выше).

Наиболее сложной проблемой исследований является оценка эффективности сложной системы и, соответственно, обоснование критерия эффективности. В предложениях по данной проблеме недостатка нет [1–6], однако сказать, что она окончательно решена, пока нельзя.

В [7] предлагается все критерии эффективности условно подразделить на четыре группы:

отражающие основное назначение сети;

оценки основной целевой функции;

обобщенные (комплексные) показатели эффективности сети;

стоимостные показатели выполнения сетью основной целевой функции.

К первой группе относятся такие характеристики, как предельная и реальная производительность системы, время доставки сообщения и др.

В число показателей второй группы включены вероятность правильной передачи некоторого заданного массива информации за время, не превышающее заданного значения, показатель достоверности передачи и др.

К третьей группе относятся интегральные или комплексные критерии эффективности. В частности, в [1] предлагается комплексный критерий в виде произведения частных показателей, характеризующих стоимость сети, среднее число сообщений, передаваемых в сети, вероятность потерь в тракте передачи.

В четвертую группу отнесены показатели стоимости или технико-экономические показатели. В [4] семейство этих критериев предлагается свести к двум: «затраты-задержка» или «затраты-качество связи» с учетом системы ограничений.

В [3] в качестве критерия «затраты» предлагаются приведенные затраты П, связанные с капитальными вложениями К через нормативный коэффициент $E_н$ и эксплуатационные расходы Э: $П = E_н К + Э$.

В качестве критерия «качество связи», как правило, выступают среднее время доставки сообщения, дисперсия времени доставки, а также вероятность своевременной доставки [2].

В [8] оптимальность проектных решений предлагается оценивать капитальными вложениями в систему или приведенными затратами. Далее этот подход развит введением более общего критерия эффективности системы – ожидаемых среднегодовых потерь прибыли администрации связи при эксплуатации проектируемой системы заданной пропускной способности.

Задачи оптимизации структуры сети, включающие в себя поиск оптимальной топологии, оптимального распределения потоков, синтез пропускной способности каналов сети и др., носят поисковый характер и решаются направленным комбинированием входных характеристик и параметров системы с последующим анализом выходных характеристик [4, 6].

В [6] описан метод топологической оптимизации иерархической пакетной ЦСИС на базе экономического критерия при ограничениях на среднее время задержки и вероятность своевременной доставки пакетов данных и речи. При этом предложена двухэтапная процедура проектирования ЦСИС. Результатом синтеза (первый этап) является план распределения потоков (РП), распределение требований по времени и вероятности доставки информации, допустимые пороги по внешнему трафику и др. На втором этапе осуществляется уточнение структуры сети на графоматричных моделях. Методика пригодна для проектирования крупномасштабных однородных иерархических сетей, для оценки обобщенных характеристик однородных уровней иерархии, распределения требований по уровням иерархии.

Значительный вклад в разработку моделей и методов расчета параметров инфокоммуникационных транспортных систем на основе АТМ-технологии внесли Н. Н. Мошак [9, 10] и другие авторы [11, 12].

В 80-х годах прошлого столетия большое число исследований было посвящено проблеме возможности передачи смешанного трафика речи, видеоинформации и данных в высокоскоростных сетях интегрального обслуживания [13, 14].

Исследование возможности передачи смешанного трафика речи и данных высокоскоростными пакетными системами в датаграммном режиме было проведено в [13].

В [14] анализировалась модель двухполюсной пакетной сети для передачи речи и данных. Для пуассоновских входных потоков с различающимися интенсивностями получены оценки вероятности своевременной доставки речевого пакета за заданное время и среднего времени доставки пакета речи и данных для приоритетных и неприоритетных дисциплин обслуживания очередей.

Значительно меньше исследований посвящено анализу и оптимизации архитектуры инфокоммуникационных сетей. В 70-х годах в эксплуатации находилось много типов аппаратуры передачи данных (АПД), начали внедряться первые разветвленные сети ПД. Первоначально алгоритмы АПД были, в основном, отечественной разработки, но вскоре международные организации по стандартизации стали выпускать стандарты на алгоритмы передачи данных (их называли процедурами управления передачей данных, позднее протоколами). Они совершенно не соответствовали отечественным алгоритмам и были встречены многими недоброжелательно.

Основным доводом противников было плохое качество наших каналов связи, на которых обеспечение надежности и достоверности работы стандартных алгоритмов казалось невозможным. Возникла задача сравнительного анализа различных алгоритмов

с целью определения возможности дальнейшей ориентации на международные стандарты. Основным разработчиком АПД в стране было ЛНПО «Красная Заря», поэтому специалисты этого предприятия активно взялись за поставленную задачу [15–24].

Отечественные алгоритмы ПД использовали метод поблочной синхронизации, при котором перед началом сеанса передачи передатчик и приемник синхронизировались путем обмена специальными синхронизирующими блоками. Метод неплохо зарекомендовал себя на каналах плохого качества (вероятность ошибки на бит 10^{-3}-10^{-2}), но с началом использования вычислительной техники для построения групповых устройств обработки сигналов оказался недопустимо сложным при программной реализации. Алгоритмы ПД международных организаций разрабатывались, как правило, для соединения вычислительных устройств, локальных вычислительных сетей и использовали для синхронизации обычные элементы 7-элементного кода, которые обрамляли блоки передаваемой информации.

В [15–20] исследовались вероятностно-временные, а также характеристики достоверности и сложности реализации различных алгоритмов ПД отечественной разработки типа «Аккорд-1200», «Луч», «Аккорд-СС» и некоторых других, и алгоритмы, соответствующие появившимся тогда рекомендациям международных организаций по передаче данных в основном режиме [24], X.25 и другим.

Проведенные исследования показали, что алгоритмы, соответствующие международным рекомендациям не уступают отечественным по вероятностно-временным и характеристикам достоверности [18] и превосходят их по критерию сложности реализации [20]. В соответствии с этим разработка крупной ведомственной сети с интеграцией служб «Родник-2», проводимая ЛНПО «Красная Заря», была ориентирована на международные рекомендации X.25.

Дальнейшие события показали, что ориентация на международные организации была правильной. К сожалению, она значительно запоздала.

На основе проведенных исследований были разработаны методологические основы проектирования системного алгоритмического обеспечения сетей передачи информации [21, 23], метод комплексного анализа вероятностно-временных характеристик, характеристик достоверности и сложности реализации алгоритмов передачи информации [19, 20] и метод оптимизации системного алгоритмического обеспечения сетей ПД по критерию сложности реализации [22, 23].

Были разработаны и введены в действие ряд государственных стандартов по процедурам управления в основном режиме, реализованные в системах телеобработки ЕС ЭВМ [24], и процедурам, соответствующим рекомендации X.25.

Попытка комплексного подхода к оптимизации структуры и архитектуры телекоммуникационных сетей была сделана в [25]. Наряду с разработкой двухэтапного метода решения задач оптимизации структуры сети автор предложил обобщенную модель протокольной структуры телекоммуникационной сети с асинхронным режимом с очередями, охватывающую три уровня (канальный, сетевой и транспортный) ЭМВОС, позволяющую в классе СМО типа $M_p/G_p/1/\infty$ рассчитывать вероятностно-временные характеристики звена (тракта) сети для различных алгоритмов повышения достоверности и дисциплин обслуживания очередей с учетом процессов передачи, ожидания, пакетизации, отказов-восстановлений, приоритетности в обслуживании, искажений в канале и т. д.

Исследованию процессов функционирования современных инфокоммуникационных транспортных систем на базе технологий IP-Q_0S и ATM посвящена работа [26]. Автор исследовал концептуальные основы моделирования и анализа процессов функционирования инфокоммуникационных транспортных систем, предложил комплексные критерии эффективности и комплекс аналитических моделей процессов функционирования транспортных систем, реализованных на технологиях IP-Q_0S и ATM,

на базе которых были разработаны методы и алгоритмы анализа процессов функционирования этих систем, позволяющие оптимизировать их параметры, а также оценивать функциональную эффективность на основе разработанных критериев.

Работы, посвященные исследованию жизненного цикла (ЖЦ) инфокоммуникационных сетей, освещены в отечественной литературе совсем слабо. Можно отметить попытки исследования структуры и методов анализа ЖЦ телекоммуникационных сетей в [27, 28] и более общие исследования ЖЦ сложных систем в [29, 30].

19.2. Исследования методов коммутации и их применение

Метод коммутации является основой любой телекоммуникационной сети и определяет ее структуру, архитектуру, а также возможный сценарий, по которому будет развиваться жизненный цикл телекоммуникационной сети. Неудивительно поэтому, что главной сферой дискуссий в телекоммуникационном сообществе в последние 50 лет были методы коммутации.

К основным методам коммутации, применяемых в телекоммуникационных сетях, относятся:

кроссовая коммутация (КрК).
коммутация каналов (КК).
коммутация сообщений (КС).
коммутация пакетов (КП).
гибридная коммутация (ГК).

С возрастанием скоростей передачи и производительности центров коммутации были разработаны модификации метода коммутации каналов – методы многоскоростной и быстрой коммутации каналов, а также метод быстрой коммутации пакетов (БКП), используемый в асинхронном режиме передачи АТМ при разработке широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания. Описание этих методов можно найти в [31, 32] и др.

С начала XX века в сетях связи всего мира лидирующее положение по применению нашел метод коммутации каналов. Альтернативы ему в телефонных сетях не было до изобретения в 60-х годах метода коммутации пакетов, который первоначально использовался в информационно-вычислительных сетях. С появлением идеи создания цифровых сетей интегрального обслуживания (ЦСИО) для передачи любых видов информации, включая речь и видео, началась серьезная дискуссия о методах коммутации в таких сетях между сторонниками методов КК и КП.

Одной из первых работ, посвященных экономическому анализу ЦСИО была статья Джитмана Н. и Френка Х. [33]. В статье анализировались системы с коммутацией каналов (КК) и быстрой КК, системы с коммутацией пакетов (КП) и гибридной коммутацией (ГК) с плавающим порогом. В работе показано, что наиболее экономичными по реализации являются системы с КП и незначительно уступающие им системы с ГК. Эти выводы оказались пророческими. В идеологии построения цифровых сетей ISDN, разрабатываемых МККТТ, к концу 80-х годов наряду со службами с КК появились службы с КП и трансляцией кадров (frame relay), а в концепции построения Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ), изложенной в рекомендациях МСЭ серии Y (1998-2000 гг.), основным методом коммутации был признан метод КП.

В России метод КП начал пропагандироваться проф. Захаровым Г. П. еще в 1972 г. в его лекциях в народном университете при ЛНПО «Красная Заря». В дальнейшем Г. П. Захаров и его ученики (Воробьев С. П., Крутякова Н. П., Лохмотко В. В., Яновский Г. Г., Махровский О. В., Расчесова А. Г., Симонов М. В. и др.) провели большое число исследований структурных и архитектурных характеристик телекоммуникационных сетей с КП и создали научную базу для практической реализации сетей передачи информации с интеграцией служб на основе метода КП (специального назначения). Одна

из таких работ в начале 80-х гг. была удостоена Ленинской и Государственной премий СССР. Однако на сети общего пользования эта идеология не могла быть распространена из-за резко отрицательной позиции Министерства связи СССР и его центрального института ЦНИИС. Перспективного метода КП стране пришлось ждать до конца 90-х годов, когда из-за рубежа пришел Интернет с его оборудованием и программным обеспечением.

Одним из основных минусов, приписываемых методу КП, была его недостаточная универсальность для передачи различных видов информации, в частности, голосовой и видео. Поэтому много исследований было посвящено этой проблеме.

В [34, 35] сформулированы принципы построения интегральной сервисной цифровой сети с коммутацией пакетов для передачи смешанного трафика телефонной, телеграфной, факсимильной информации и данных. Определены физическая и логическая структуры сети для построения глобальных ЦСИС страны. Показано, что стоимость центров коммутации пакетов (ЦКП) при равной нагрузке в 3-5 раз меньше стоимости центров коммутации каналов (ЦКК) благодаря использованию более простых алгоритмов и значительному уменьшению объема канального оборудования, а суммарная стоимость каналов связи в сетях с КП намного ниже, чем в сетях с КК вследствие уменьшения объема канального оборудования и повышения коэффициента использования пропускной способности каналов. При скоростях передачи на региональных сетях 2,048 Мбит/с и 8,448 Мбит/с, а на магистральных 34 Мбит/с среднее время доставки пакета от абонента до абонента не превышает 10 мсек, что вполне отвечает требованиям на задержку речевых пакетов.

Проведенные исследования были основаны на полученных в ЛНПО «Красная Заря» результатах реальной разработки и ввода в эксплуатацию в 1984 году специальной ведомственной сети передачи информации с КП, а также создания в 1985–1987 гг. и испытаний экспериментального района ЦСИС-КП, на котором была реализована пакетная передача речи с выделением пауз в речи и вставкой в паузы пакетов данных. При этом эффективность использования канала увеличивалась в 2-3 раза.

Признание и гражданство метод КП получил лишь в 90-х годах вместе с приходом в страну Интернет. В это время наиболее перспективной технологией для широкополосных сетей стала рассматриваться технология АТМ (Asynchrohous Transfer Mode – асинхронный режим передачи). Она предназначалась для построения широкополосных сетей интегрального обслуживания (Ш.ЦСИО) или B.ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network). Первая концепция построения Ш.ЦСИО была представлена в рекомендации МККТТ I.121 («Красная книга» 1984 г.). В 1988–1990 гг. данная концепция была существенно развита при поддержке ANSI (American National Standards Institute). В дальнейшем технология АТМ приобрела самостоятельный статус и стала рассматриваться как аналог Ш.ЦСИО [36].

В России работы по созданию оборудования АТМ начались в 1991–1992 гг. В 1993 г. НИИ «Рубин» (один из институтов, выделившихся при расформировании ЛНПО «Красная Заря») завершил научно-исследовательскую работу (НИР) «Разработка оборудования центра быстрой коммутации пакетов для широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания» (шифр «Грифон-Заря», научный руководитель Воробьев С. П.), а также две НИР по исследованию принципов обмена информацией в волоконно-оптических сетях и вариантов построения многоскоростных коммутаторов пакетов для ведомственных сетей (научный руководитель Шибанов В. С.).

В наступившее «смутное время» все подобные работы перспективного характера перестали финансироваться и были прекращены вплоть до 1996 г. В 1997 г. НИИ «Рубин» выпустил отчет в 22-х книгах по первой большой ОКР «Разработка системно-технических решений по созданию отечественного оборудования и Ш.ЦСИО на АТМ-технологии», шифр «Система-АТМ» (технические предложения, главный конструктор Шибанов В. С.).

В 1999 г. вышел отчет в 13 книгах по рабочему проекту ОКР «Система-АТМ» «Разработка систем и комплексов оборудования на АТМ и мультимедиа технологиях для создания Ш.ЦСИО» (главный конструктор Воробьев С.П.). По результатам этих работ вышли хорошие обзорная и справочная книги [32, 37], один из авторов которых принимал участие в ОКР «Система-АТМ», а также ряд публикаций.

Из практических результатов можно отметить создание макетных образцов комплекса АТМ и мультимедиа оборудования в составе [38]:

станции интегрального доступа (СИД), обеспечивающей взаимодействие между различными сетями связи;

концентратора доступа телефонного (КД-Т), обеспечивающего доступ в сеть АТМ абонентам телефонных сетей связи, сетей подвижной радиосвязи, а также прямым абонентам ФАКС, ПК, ЛВС;

телекоммуникационного сервера доступа, предназначенного для подключения различных типов абонентских устройств (ПЭВМ, рабочих станций ЛВС) и сетей ПД к транспортным сетям АТМ;

терминального мультимедиа-оборудования (ТМО);

первичных мультиплексоров;

комплекса средств управления связью.

Слабое финансирование (7 млн. руб. на всю работу) и прекращение его с 2002 г. не позволили внедрить в производство разработанный комплекс оборудования, но все наработки были использованы в других заказах института.

19.3. Исследования и разработки мультисервисных сетей кабельного телевидения

В течение 1992-2000 гг. в Москве и Санкт-Петербурге проводился комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на развитие инфокоммуникационной инфраструктуры для обеспечения широких кругов населения, предприятий, организаций и административных учреждений полным комплексом инфокоммуникационных услуг с использованием систем кабельного телевидения (КТВ).

В работе принимали участие ряд предприятий Москвы (ОАО «Комкор», ФГУП «РТРС», ЗАО «Корпорация «Телевик», ЗАО «Конкор-ТВ» и др.) и Санкт-Петербурга (ГУП «НИИ «Рубин», ГУ «Телекомпания Санкт-Петербургское КТВ» и др.). В задачи проекта входили:

разработка теоретических основ построения и функционирования интерактивных систем на базе гибридных волоконно-коаксиальных сетей КТВ;

разработка концепции построения инфокоммуникационной инфраструктуры Москвы и создание в городе интерактивной сети КТВ на базе Московской волоконно-оптической сети (МВОС);

разработка концепции и создание фрагмента многофункциональной интерактивной системы массового информационного обслуживания в Санкт-Петербурге в условиях поэтапного развития существующих сетей КТВ;

разработка и внедрение в производство комплекса отечественного оборудования для интерактивных сетей КТВ;

создание нормативно-правовой базы новой подотрасли.

Идеология построения мультисервисных сетей кабельного телевидения (МСКТВ) с применением на транспортном уровне технологии АТМ была достаточно подробно разработана сотрудниками НИИ «Рубин».

Первая работа была проведена в 1996 г. по проекту создания перспективной интегрированной сети кабельного телевидения в Санкт-Петербурге (научный руководитель Шибанов В. С.). Работой заинтересовалась «Телекомпания Санкт-Петербургское кабельное телевидение» (ТКСПбКТВ) и по ее заказу в 1999 г. НИИ

«Рубин» выпустил отчет в 3-х книгах по НИР «Концепция создания интегральной сети комплексного предоставления услуг населению, предприятиям и деловым кругам на базе систем кабельного телевидения для Санкт-Петербурга» (научный руководитель Шибанов В. С.).

В Западной Европе это направление легло в основу одного из основных проектов Европейской исследовательской программы «Передовые технологии и услуги связи», который был назван «Интегральная широкополосная связь на широковещательных сетях». В проекте, завершенном в 1999 г., принимали участие 30 исследовательских организаций, университетов и кабельных операторов из Бельгии, Великобритании, Германии, Швеции и других стран ЕС. Россия была представлена в проекте Санкт-Петербургским НИИ «Рубин». Координацию взаимодействия с зарубежными партнерами осуществлял сотрудник НИИ «Рубин» кандидат технических наук Махровский О. В.

Не смотря на актуальность и важность проблемы, в России до 2000-го года не издавались монографии и учебные пособия по этой тематике. Имелись лишь отдельные статьи с описанием оборудования для интерактивных систем КТВ (СКТВ), с изложением частных проектов и концепций. В Западной Европе только в конце 1999 г. в Аалбордском университете (Дания) была издана книга под названием «Интерактивное телевидение будущего или будущее телевидение?». Это первая публикация в серии «Средства массовой информации и изучение культуры», представляющая собой сборник из девяти статей, посвященных новым подходам к использованию интерактивного телевидения.

На основе упомянутых выше работ группа сотрудников НИИ «Рубин» и ТКСПбКТВ в 2000 г. выпустила первую в России книгу [39], в которой дала читателю общее представление о новом направлении создания сетей с полными услугами, связанных с использованием перспективных широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания, построенных на базе СКТВ, и о разнообразии концепций и подходов к их созданию.

В 2001 г. ООО «Информис» (дочернее предприятие НИИ «Рубин») провел НИР «Разработка системно-технических решений по предоставлению мультимедийных услуг в интерактивных сетях кабельного телевидения» (шифр «Мультимедиа-КТВ», научный руководитель Воробьев С. П.), основные результаты которой опубликованы в [40]. В отчете по НИР описаны структурная схема и результаты комплексных испытаний интерактивной СКТВ в составе опытной зоны цифрового телевизионного вещания Санкт-Петербурга.

Комплексные испытания проводились на действующей сети КТВ с обратным каналом в опытном районе ГУ «Телекомпания Санкт-Петербургское КТВ» по программе и методике, разработанными в ГУП НИИ «Рубин» и утвержденными руководителем департамента радио, телевидения и спутниковой связи Минсвязи России 13 сентября 2001 года. Проведенные испытания показали возможность построения интерактивных цифровых сетей кабельного телевидения в масштабе большого города с использованием отечественного оборудования.

Предприятиями Москвы была разработана Концепция развития городской системы КТВ, а также Концепция построения перспективной инфокоммуникационной инфраструктуры и общегородской целевой программы построения Московской волоконно-оптической сети как базовой телекоммуникационной инфраструктуры города.

В соответствии с Концепцией была создана и введена в эксплуатацию московская волоконно-оптическая сеть, охватывающая всю территорию столицы, а также ближнее Подмосковье. Кроме того, созданы и введены в промышленную эксплуатацию крупные зоны гибридных волоконно-коаксиальных сетей КТВ в Центральном и Южном округах Москвы, а также в Зеленограде для обеспечения жителей этих районов полным набором интерактивных инфокоммуникационных услуг.

Результаты работы нашли отражение в утвержденной Постановлением Коллегии министерства Российской Федерации по связи и информатизации № 16-1 от 13.12.2000 «Концепции развития в России сетей кабельного телевидения и систем широкополосного беспроводного доступа типа MMDS, LMDS, MWS(MVDS) на период до 2015 года», в котором, в частности, предусматривалось преимущественное развитие интерактивных цифровых сетей КТВ, обеспечивающих помимо качественного приема большого числа телевизионных программ, предоставление абонентам мультисервисных услуг (видео, - аудио, быстрый Интернет, доступ к информационно-справочным системам, телеметрия и др.), а также проведение исследований по предоставлению мультимедийных и других услуг с элементами интерактивности на выделенных участках действующих сетейг. Москвы и Санкт-Петербурга.

Работа была высоко оценена научной общественностью и удостоена Премии Правительства РФ 2002 г. в области науки и техники. В [41] отмечалось, что это событие можно без всякой натяжки считать праздником для всего кабельного бизнес-сообщества: впервые более чем за 60-летнюю историю кабельного телевидения России научно-технический вклад в эту сферу удостоен столь высокой оценки. Ее результаты открыли новые возможности для развития отечественной отрасли средств связи в направлении разработки и производства оборудования и программного обеспечения для оснащения новых многофункциональных систем массового информационного обслуживания населения на базе гибридных волоконно-коаксиальных сетей КТВ. Сегодня результаты работы широко используются при создании аналогичных систем в различных регионах России. Этому способствуют и второе издание книги «Мультисервисные сети кабельного телевидения», и многочисленные публикации в трудах конференций и в различных журналах.

19.4. Исследования и разработки телекоммуникационных сетей следующего поколения

В начале XXI века телекоммуникационное сообщество начало широко обсуждать идеи Глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ) и ее телекоммуникационного ядра – сети следующего поколения (Next Generation Network, NGN). Идея разработки сетей следующего поколения предложена европейским институтом стандартов электросвязи (ETSI) в 2001 г. и поддержана МСЭ-Т, который в конце 2004 г. утвердил две первые рекомендации по NGN в новой серии Y.2000. Предшественниками NGN можно считать концепции ISDN (цифровая сеть с интеграцией служб) и B.ISDN (широкополосная ISDN), которые подробно изложены в рекомендациях МСЭ-Т и реализованы на практике. Для этих сетей в предшествующий период была разработана хорошая теоретическая база, которая, несомненно, должна максимально использоваться для анализаи оптимизации NGN. Очевидно поэтому в исследованиях NGN в последние годы больше внимания уделялось идеологии построения и принципам перехода от существующих сетей к NGN и меньше – методам анализа и оптимизации.

В материалах ETSI рассматриваются два предельных варианта развития NGN. В первом случае NGN – это самостоятельная глобальная сеть, конкурирующая с телефонной сетью общего пользования (ТФОП), Интернет и вещательными сетями. Во втором случае глобальная сеть отсутствует, а технология NGN используется для модернизации ТФОП и, возможно, Интернет и сетей вещания.

Подробный анализ первых рекомендаций МСЭ-Т по NGN дан в [42]. Существенно, что ГИИ рассматривается как инфокоммуникационная сеть, а NGN – как телекоммуникационная сеть на базе пакетов, которая способна предоставлять службы/услуги электросвязи и возможность использовать несколько широкополосных, обеспечивающих качество обслуживания, транспортных технологий и в которой функции,

относящиеся к службам, не зависимы от нижележащих технологий, относящихся к транспортировке.

Таким образом, многолетняя борьба двух телекоммуникационных идеологий, двух подходов к построению телекоммуникационных сетей, первый из которых базировался на методе коммутации каналов, а второй на методе коммутации пакетов, завершилась победой второго подхода, чему способствовало, конечно, быстрое и эффективное распространение в мире Интернет. Участники ленинградской научной школы с большим удовлетворением встретили эти решения. К сожалению, до них не дожил основоположник школы профессор Захаров Г. П., столетие со дня рождения которого было отмечено в 2014 году.

Идеология создания NGN путем модернизации телефонной сети общего пользования и ее эволюции в сторону коммутации пакетов в России разрабатывается, в основном, специалистами ЦНИИС и ЛОНИИС. В частности, в [43] предлагаются системно-сетевые решения по внедрению NGN на российских сетях связи. При этом признается необходимость пакетизации сети, т.к. в электронной России трафик Интернет составит около 120 млрд. минутозанятий в месяц, а речевой едва превысит 60 млрд. [44]. Системы пакетной коммутации для сетей связи общего пользования (ССОП) должны обеспечивать подключение любых терминалов – от аналоговых до цифровых, а также взаимодействие с любыми сетями – от ТФОП до Интернет. Отличительная особенность таких систем – преобразование любой информации, поступающей от терминалов, в пакетную форму и обратное преобразование. Вторая отличительная особенность систем с пакетной коммутацией для ССОП – наличие абонентского сигнального шлюза, обеспечивающего возможность работы с аналоговыми и цифровыми терминалами любого класса.

Для реализации этой идеологии в архитектуру ТФОП России предлагается ввести новый структурный элемент – мультисервисный сетевой узел (МСУ). Его применение позволяет преобразовать существующую ТФОП в интегральную мультисервисную сеть [45].

Различные стратегии и сценарии построения NGN на базе ТФОП достаточно подробно изложены в [46]. В качестве основного варианта рассматривается стратегия формирования NGN на базе ТФОП с использованием трех методов: наложенная сеть, метод замещения, острова NGN.

В продолжение предлагаемой идеологии в [47, 48] рассматривается отечественная система автоматической коммутации пакетов для фиксированных, Интернет и радиосетей – САПФИР, разработанная во ФГУП ЛОНИИС. Преимуществом оборудования является его инвариантность к существующим системам передачи, включая аналоговые.

Идеология построения NGN на базе мультисервисных сетей кабельного телевидения (МСКТВ) предложена в работах [49, 50]. Ее структура кратко рассмотрена в главе 4.

Другой перспективной базой для создания и развития NGN несомненно является Интернет.

В 1997 году Интернет охватил страны на всех семи континентах, включая Антарктику. Но значение Интернет не только в его огромных размерах, но и в том, что он является новым развитием глобальной инфраструктуры, изменившим подход к общению между людьми.

Интернет организуется как трехуровневая иерархия. Верхним уровнем этой структуры является магистральная сеть, соединяющая между собой целые регионы. Каждый регион имеет одну или несколько сетей, являющихся вторым уровнем иерархии [51]. Эти сети подключаются к магистральной, а с каждой из них соединяются различные организации на местах. На третьем уровне находятся компьютеры, объединенные в организациях в локальные сети. Практически эта структура соответствует концепции NGN. Однако для преобразования Интернет в сеть следующего поколения необходимо

развить ее возможности в части реализации высококачественной телефонии и передачи видеотрафика.

Одной из популярных моделей перехода Интернет к единой сети следующего поколения является модель так называемых сервисных волн [52]. Первую волну связывают с развитием доступа в Интернет с помощью набора (dial-up); вторая волна определяется внедрением систем передачи речи через IP-сети. Эта услуга уже реализована в Интернет, правда, без гарантии качества. Третья волна предполагает развертывание более сложных услуг, таких, как факс через IP, электронный биллинг, операторские центры (Call Centres) на базе IP. Наконец, последняя волна будет определяться созданием мультисервисных сетей, обеспечивающих весь спектр фиксированных и мобильных услуг.

Однако для реализации этого сценария нужно обеспечить необходимые показатели по пропускной способности, качеству обслуживания, защите информации от несанкционированного доступа и другим характеристикам функционирования.

Для развития механизмов поддержки качества обслуживания (QoS) комитет IETF предложил большой набор моделей и механизмов для обеспечения качества обслуживания, которые разделяются на две категории – интегрированного и дифференцированного обслуживания.

Механизмы, реализующие модель интегрированного обслуживания, должны обеспечивать взаимодействие всех сетевых устройств для поддержки любого уровня QoS вдоль пути передачи определенного потока пакетов. Однако внедрение этих механизмов столкнулось со значительными трудностями, особенно в территориально распределенных сетях. Поэтому во второй половине 90-х годов начались работы по созданию моделей и механизмов предоставления дифференцированного обслуживания.

Основная идея механизмов этой группы состоит в предоставлении дифференцированных услуг для набора классов трафика, отличающихся требованиями к показателям качества обслуживания. Одним из центральных понятий этой модели является согласование об уровне обслуживания (Service Level Agreeent, SLA) [53, 54], представляющее собой контракт между клиентом и провайдером услуг.

В 1999 году были приняты документы RFC 2598 и RFC 2597, в которых определены два класса обслуживания для этой модели: класс «срочной доставки» (Expedited Forwarding, EF), обеспечивающий наивысший из возможных уровней качества обслуживания, и класс «гарантированной доставки» (Assured Forwarding, AF), поддерживающий более низкий уровень качества обслуживания. Класс AF обеспечивает возможность обслуживания до 12 разновидностей трафика в зависимости от набора требуемых показателей QoS.

Для обеспечения гарантированного качества обслуживания в сетях IP сегодня используются еще два протокола доставки. Один из них является комбинацией IP-ориентированных протоколов и протоколов ATM, другой – протокол многопротокольной коммутации меток (Multi-Protocol Label Switching, MPLS), реализующий основные свойства технологии Tag Switching, разработанной компанией Cisco. Применение этого протокола в сетях IP позволяет получить гарантированные показатели качества обслуживания, эквивалентные тем, которые могут быть получены в сетях ATM/Frame Relay при условии, что средства выбора пути и управление трафиком в сети IP будут такими же, как и в сетях с коммутацией кадров или ячеек.

Мобильная составляющая будет важнейшим компонентом инфокоммуникационных сетей следующего поколения. Поэтому уже сегодня технологии мобильной связи являются наиболее активно развивающимся направлением в мире современных инфокоммуникационных технологий. Если развитие технологий передачи данных привело к реструктуризации всей инфокоммуникационной индустрии и интеграции телекоммуникационных, компьютерных и телевизионных сетей, то развитие технологий

беспроводной мобильной связи меняет образ жизни самого человека. Комбинация же этих технологий предоставляет мобильный доступ в Интернет, что обеспечивает абоненту широкий выбор онлайновых услуг, включая операции с ценными бумагами, покупку товаров, банковские операции, платежи по разного рода счетам, оперативные справки и многое другое без каких-либо временных и географических ограничений. Именно к развитию таких услуг направлены концепции ГИИ и NGN, и именно внедрением их в Интернет активно занимаются разработчики глобальной сети сегодня.

При фиксированном доступе в Интернет человек как бы привязан к узлам сети. Мобильный же Интернет в корне меняет характер взаимодействия человека с сетью, заставляя ее «следовать» за пользователем. Человек всегда мечтал о доступе к информации без временных и территориальных ограничений. Мобильный Интернет более простое и удобное управление ресурсами общества, что, в свою очередь, влияет на скорость накопления общественного богатства и эффективность его распределения.

Литература

1. Мизин И. А. и др. Передача информации в сетях с коммутацией сообщений. – М.: Связь, 1972. – 319 с.

2. Захаров Г. П. Сети передачи данных. Л.: ЛЭИС, 1976, – 72 с.

3. Ефимов К. А. и др. Эффективность новой техники. М.: Экономика, 1979. – 144 с.

4. Захаров Г. П., Лохмотко В. В. Оптимизация структуры сетей передачи данных. М.: Кибернетика, 1981. – 64 с.

Шилейко А. В. и др. Введение в информационную теорию систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.

6. Лохмотко В. В., Пирогов К. И. Анализ и оптимизация цифровых сетей интегрального обслуживания. Минск: «Навука і Тэхніка, 1991. – 192 с.

7. Шарейко Л. А. Проблема эффективности вычислительных сетей и пути ее решения. М.: Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», 1981. – 72 с.

8. Игнатьев В. О. Методы проектирования современных цифровых систем коммутации. Учебное пособие. СПб.: ЛЭИС, 1991. – 52 с.

9. Мошак Н. Н. Основы проектирования сетей АТМ.4.1. Архитектура сети АТМ: учеб. пособие // СПбГУТ, СПб, 2000. – 96 с.

10. Мошак Н. Н. Основы проектирования сетей АТМ. 4. 2. Методы и модели расчета параметров широкополосных сетей с интеграцией служб: учеб. пособие // СПбГУТ, СПб, 2003. – 71 с.

11. Назаров А. Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров сетей АТМ. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 255 с.

12. Ершов В. А., Ершова Э. Б. Метод расчета пропускной способности узла мультисервисной АТМ-сети с обходами // Электросвязь. 2002. № 12. – С. 10–12.

13. Mowafi O. A., Kelly W. J. Integrated voice / data switching technigues for future military networks // IEEE Transaction on Communications. 1980. V. 28. № 9.

14. Захаров Г. П., Лохмотко В. В., Пирогов К. И. Многоканальные двухполюсные сети связи для интегральной передачи речи и данных // Техника средств связи. Сер. ТПС, 1985. Вып. 2. – С. 12–16.

15. Замрий А. С., Афанасьев В. П., Быхов Ю. Н., Воробьев С. П., Истомин Г. С. Сравнительная оценка аппаратуры передачи данных «Аккорд-1200» и «Луч» по результатам испытаний на реальном потоке ошибок. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТПС, 1972. Вып. 5. – С. 80–88.

16. Воробьев С. П. Оценка эффективности некоторых сквозных методов защиты от ошибок. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТПС, 1974. Вып. 8. – С. 70–75.

17. Воробьев С. П., Злотников Ю. С., Ноландт Ю. П. Анализ вероятностно-временных характеристик процедур управления передачей данных. // Техника средств связи. Сер. ТПС, 1976. Вып. 4. – С. 50–56.

18. Воробьев С. П., Буянов О. И., Злотников Ю. С., Ноландт Ю. П. Сравнительный анализ алгоритмов обмена информацией на межцентровых участках сетей передачи данных при независимом характере искажений блоков // Техника средств связи. Сер. ТПС, 1977. Вып. 2. – С. 78–87.

19. Воробьев С. П. Методика анализа вероятностно-временных характеристик алгоритмов передачи информации в сетях ПД с пакетной коммутацией // Техника средств связи. Сер. ТПС, 1977. Вып. 4(14). – С. 16–25.

20. Злотников Ю. С., Воробьев С. П., Белолипцева И. Ю. Оценка сложности программ алгоритмов передачи данных // Техника средств связи. Сер. ТПС, 1978. Вып. 2(23).– С. 34–41.

21. Данилевский Ю. Г., Давыдов Е. Б., Воробьев С. П., Истомин Г. С. Опыт разработки алгоритмического и программного обеспечения сетей передачи информации // Средства связи. 1985. Вып. 4. – С. 42–46.

22. Воробьев С. П. Оптимизация системного алгоритмического обеспечения сети передачи данных // Техника средств связи. Сер. ТПС, 1988. Вып. 3. – С. 8–18.

23. Воробьев С. П. Технология и методологические основы проектирования системного алгоритмического обеспечения сетей передачи информации // Средства связи. 1989. Вып. 3. – С. 60–67.

24. Государственный стандарт ГОСТ 22731-77. Системы передачи данных. Процедуры управления звеном передачи данных в основном режиме для полудуплексного обмена информацией. – Введ. 01.01.1979.

25. Лохмотко В. В. Модели и методы оптимизации структуры телекоммуникационных сетей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. СПб.: СПбГУТ, 2009.

26. Мошак Н. Н. Модели, методы и алгоритмы анализа процессов функционирования инфокоммуникационных транспортных систем. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. СПб.: СПбГУТ, 2009.

27. Шехтман Л. И. Жизненный цикл систем телекоммуникации. Препринт № 936. РТИ РАН. 1993. – 52 с.

28. Шехтман Л. И. Эффективность телекоммуникационных систем. Препринт № 934. РТИ РАН. 1993. –84 с.

29. Михайлов Н. В. Основные методологические проблемы разработки и создания больших технических систем… Труды РТИ РАН № 44. – М.: 1982. – С. 3–22.

30. Дружинин В. В., Конторов Д. С. Системотехника. М.: Радио и связь. 1985. – 200 с.

31. Арипов М. Н., Захаров Г. П. и др. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи дискретных сообщений. Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь. 1988. – 360 с.

32. Назаров А. Н., Симонов Н. В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. М.: Эко-Трендз. 1998. – 234 с.

33. Джитман Н., Френк Х. Экономический анализ интегральных сетей передачи данных и речи // ТИИЭР, 1978. Т. 66, № 11. – С. 313–337.

34. Воробьев С. П., Данилевский Ю. Г., Захаров Г. П. Принципы построения интегральной сервисной цифровой сети связи с коммутацией пакетов // Средства связи. 1985. Вып. 4. – С. 5–12.

35. Воробьев С. П., Злотников Ю. С. Структура протоколов цифровых сетей связи с интеграцией служб на базе коммутации пакетов // Электросвязь. 1988. № 6. – С. 24–30.

36. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Курносов В. И., Советов Б. Я. Инфокоммуникационные технологии в Глобальной информационной инфраструктуре. СПб.: Наука. 2008. – 552 с.

37. Назаров А. Н., Разживин И.А., Симонов Н. В. АТМ: технические решения создания сетей.– М.: Горячая линия-Телеком, 2001. –376 с.

38. Воробьев С. П., Шибанов В. С. Комплекс отечественного АТМ и мультимедиа оборудования // Телекоммуникационные технологии, 2001. Вып. 1 – С. 50–56.

39. Барабаш П. А., Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В.С. Мультисервисные сети кабельного телевидения. СПб.: Наука, 2000. –336 с.

40. Воробьев С. П., Махровский О. В., Шибанов В.С. Концепция создания в Санкт-Петербурге интегральной сети комплексного предоставления услуг населению, предприятиям и деловым кругам на базе интерактивных сетей кабельного телевидения // Телекоммуникационные технологии, 2003. № 1.

41. Сердюк В. А., Маковеев В. Г. Премия Правительства России – создателям кабельных сетей мегаполисов // ИнформКурьерСвязь. 2003. № 4.

42. Етрухин Н. Н. Первые рекомендации МСЭ-Т о сетях следующего поколения // ИнформКурьерСвязь. 2005. № 6. – С. 86–90.

43. Васильев А. Б., Соловьев С. П., Кучерявый А. Е. Системно-сетевые решения по внедрению технологии NGN на российских сетях связи // Электросвязь. 2005. № 3. – С. 4–7.

44. Гильченок Л. З., Кучерявый А. Е. Сеть сигнальных коммутаторов для модернизации сетей связи общего пользования // Электросвязь. 2002. № 10.

45. Шнепс-Шнеппе М. А. Пакетная сеть общего пользования в России будет! // Вестник связи. 2003. № 4.

46. Гольдштейн А. Б., Соколов Н. А. Подводная часть айсберга по имени NGN // Технологии и средства связи. 2006. № 2.

47. Макаров В. В., Гильченок Л. З. Инфраструктура NGN на базе МСУ САПФИР // ИнформКурьерСвязь. 2005. № 3.

48. Макаров В. В., Гильченок Л. З. Предоставление инфокоммуникационных услуг на базе отечественного оборудования САПФИР // Электросвязь. 2005. № 12.

49. Воробьев С. П., Махровский О. В. О выборе технологии для сетей следующего поколения // Век качества. 2006. № 4. – С. 46–49.

50. Барабаш П. А, Воробьев С. П., Махровский О. В. Инфокоммуникационные технологии будущего // Broadcasting. Телевидение и радиовещание. 2005. № 8. – С. 57–63.

51. Комер Д. Принципы функционирования Интернета. СПб.: Питер, 2002. – 379 с.

52. Кох Р., Яновский Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М.: Радио и связь, 2001. – 280 с.

53. Шварцман В. О. Качество услуг сетей следующего поколения // Электросвязь. 2006, № 3. – С. 6–10.

54. Шнепс-Шнеппе М. А. О соглашении SLA в условиях NGN и услуг Triple Play // Электросвязь. 2006, № 3. – С. 19–21.

ГЛАВА 20. РАЗВИТИЕ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ В РОССИИ: ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ

«Дураки и дороги». Так мы привыкли определять причины всех неудач в России. Хочется расширить понятие «дороги» до «коммуникаций», а вот понятие «дураки» сузить, исключив из него народ, давший миру М. В. Ломоносова, А. С. Пушкина, П. И. Чайковского, Л. Н. Толстого, С. П. Королева и многих других.

Итак, «государство» и «коммуникации».

Сегодня формируется мнение, что успехи в развитии разных стран зависят не от типа политической системы или идеологии (социализм, коммунизм, капитализм и др.), а от уровня интеллекта людей, которые стоят у власти. Подтверждений этому много.

США. В начале прошлого века там, как сейчас у нас, господствовали «дикий» капитализм и экономические кризисы, но пришел умный президент Т. Рузвельт (на четыре срока) и жизнь стала меняться. Придумали локомотивы развития экономики: сперва строительство железных дорог, потом строительство автомобильных дорог. Во второй половине прошлого века локомотивом сделали программу развития национальной информационной инфраструктуры (NII), в основу которой заложена концепция информационной супермагистрали. Это говорит о том, что руководству страны хватило интеллекта для привлечения к разработке и реализации этих идей выдающихся ученых, специалистов и менеджеров, создания условий их эффективной работы.

Западная Европа. Судя по дорогам и инфокоммуникациям Западной Европы, там государственные органы также комплектуются умными людьми, которые придерживаются тех же жизненных принципов, что и в США.

Китай. Многие прекрасно помнят Китай в середине прошлого столетия. Более бедной и забитой страны трудно было найти. Но вот в китайское государство пришли умные люди и они, не меняя существующей идеологии, за несколько десятилетий преобразовали страну. То же можно сказать и об Японии.

Поразительный пример показывает Сингапур. Никаких взрывов, никаких революций. Просто руководство продумало определенные мероприятия и реализовало их. Руководство просто придумало.

А скольких ошибок можно было бы избежать, если бы до наших реформаторов дошли мысли видного российского государственного деятеля и экономиста С. Ю. Витте, которые он изложил в одной из лекций «О народном и государственном хозяйстве», прочитанных в 1900–1902 гг. младшему брату Николая II великому князю Михаилу Александровичу: «Во-первых, – отмечал С. Ю. Витте, – для успеха почтово-телеграфного дела требуется уверенность каждого в том, что сообщение будет производиться правильно и беспрерывно, а такую уверенность может дать только гарантия правительственной власти. Затем, почте и телеграфу вверяются слишком важные интересы, чтобы эти средства сообщения можно было оставлять в руках частных лиц или даже обществ. Наконец, вмешательство частной предприимчивости в это дело представляется нежелательным и потому, что частный предприниматель всегда ставит на первый план материальные выгоды; между тем, с почтовыми и телеграфными сообщениями тесно связываются задачи культурные, и ради осуществления этих задач может возникнуть необходимость в таком удешевлении пользования почтой и телеграфом, на которое может решиться только государство, а не частный предприниматель» [10].

Эти мысли не так уж трудно увязать и с современной электросвязью, и с промышленностью, энергетикой, и с другими разрушенными сегодня отраслями.

Данной преамбулой мы хотели выразить свое отношение к разрушению отечественной промышленности в 90-е годы, причины которого, как говорят разрушители, кроются в ее отставании «навсегда». Разрушение промышленности произошло от того, что к управлению государством Российским пришли люди, интеллекта которых хватило только на то, чтобы усвоить и реализовать главную

революционную мысль: весь мир этот мы разрушим до основания и построим новый, чтобы кто был ничем, тот стал всем (интерпретация известной песни). Если это «навсегда» укоренится в мозгах инженеров, а тем более руководства государства, то мы действительно навсегда по всем параметрам останемся в последней десятке стран мира.

20.1. Из истории зарождения отечественной техники передачи данных

В этом разделе на примере Ленинградского НПО «Красная Заря», наиболее мощного предприятия Министерства промышленности средств связи СССР мы хотим показать, что Россия в составе СССР начала новую эру в развитии телекоммуникаций, как и все развитые страны Запада, в 50-е годы прошлого столетия. Этот новый этап был связан с внедрением вычислительной техники во все отрасли народного хозяйства, развитием техники и сетей передачи данных (ПД), а также с эпохальным событием – изобретением метода коммутации пакетов, на базе которого, в конечном итоге, стали строиться глобальные сети типа Интернет, заменяющие ранее существующие телефонные, телеграфные, телевизионные сети, сети передачи данных и др.

Уровень наших исследований и разработок не уступал западному и мы принимали участие в работе многих международных организаций по стандартизации (ИСО, МККТТ и др.). Этот опыт нужно помнить, чтобы при благоприятных условиях воспользоваться им для возрождения отечественной промышленности инфокоммуникаций. Нельзя забывать и людей, замечательных специалистов, которые в то непростое время высоко держали планку отечественной промышленности средств связи. Их опыт по созданию первых комплексов аппаратуры передачи данных (АПД) в России, формированию, образованию и становлению первых подразделений системных разработчиков в Минпромсвязи СССР, разработке, созданию и внедрению в эксплуатацию первых в стране крупномасштабных сетей ПД и преобразованию их в инфокоммуникационные сети с коммутацией пакетов и интеграцией служб связи за период с 60-х до конца 80-х годов прошлого столетия может оказаться бесценным для нового поколения россиян, которые начнут новую эпоху возрождения и становления отечественной промышленности инфокоммуникаций.

20.1.1. Первые разработки аппаратуры передачи данных

Техника ПД как новое направление развития телекоммуникаций стала развиваться в СССР в конце 50-х – начале 60-х годов прошлого века.

В 1965 г. один из авторов данной книги, старший инженер, у которого только что закончился трехгодичный стаж молодого специалиста, поступил на работу в одно монтажное управление, занимающееся в то время настройкой оборудования на объектах противовоздушной обороны страны (ПВО), строящихся вокруг г. Ленинграда. Вот там он впервые увидел аппаратуру передачи данных (АПД) «Аракс», обеспечивающую передачу информации между подвижными радиолокационными комплексами и вычислительным комплексом (ВК) стационарного объекта, а также между ВК других объектов.

Документация на аппаратуру была подписана Ю. Н. Быховым и утверждена А. А. Сизовым, сотрудниками НИИ ЭТУ, будущей базовой структуры НПО «Красная Заря». Позже, когда авторы книги стали работать в НИИ ЭТУ, они узнали, что «Аракс» – первая разработка АПД в стране, а А. А. Сизова называют не иначе как отцом отечественной АПД.

АПД «АРАКС» (1959–1961 гг.) – первая АПД для войск ПВО.

Основной элементной базой АПД «АРАКС» являлись ферродиодные ячейки (ФДЯ), которые создавались на самом предприятии. Эта АПД симплексная, работавшая по четырехпроводным выделенным ТЧ каналам, с кодированием (повышение достоверности) или без кодирования. Скорость в канале 1200 и 600 Бод с относительной фазовой модуляцией (ОФМ). Использовался помехозащищённый цепной код Финка-Шляпоберского в режиме исправления ошибок, который имел 100%-ю избыточность, это

уменьшало информационную скорость в 2 раза, но обеспечивало повышение достоверности в канале связи на 3 порядка. Было выпущено 15 образцов этой АПД, хотя потребность в ней у заказчика была огромной. Однако АПД имела низкие показатели надёжности и работала только при температурах не ниже 0° С, а поэтому в 1961 г. было принято решение о разработке новой модификации АПД «АРАКС» с сохранением основных технических характеристик.

АПД «АРАГВА» (1961–1968) – для войск ПВО, сопрягалась с АПД «АРАКС». Главный конструктор (ГК) – Шляпоберский В. И. (1961–1966), Старобинский М. О. (1966–1968).

Следует отметить, что элементной базы в стране не было и для этой АПД, её пришлось создавать заново, а именно, на основе ферротранзисторных ячеек (ФТЯ), которые после разработки прошли все виды испытаний и стали выпускаться серийно, с военной приёмкой, в г. Мукачево (Украина). Для обеспечения работоспособности изделия при низких температурах до минус 40° С использовались танталовые конденсаторы, которые были чрезвычайно дефицитными, так как тантал поставлялся из КНР, с которым в то время были крайне натянутые отношения. Поэтому решение о поставке этих конденсаторов принималось на самом высоком правительственном уровне, а именно военно-промышленной комиссией (ВПК) при Совмине СССР. Разработчики этой АПД внесли много технических и конструктивных новшеств, далеко опередивших то время: адаптация напряжения питания внутренних потребителей под температурный режим внешней среды, глубокий контроль с точным определением неисправных элементов замены (кассет) и статических накопителей (элементов памяти), принципиально новое кассетное построение аппаратуры, возможность одновременной передачи информации по двум каналам, наличие телеграфного режима работы как в режиме частотного телеграфирования (ЧТ), так и двойного частотного телеграфирования (ДЧТ) со скоростями от 50 до 2400 Бод, возможность одновременно с передачей данных ведения телефонных переговоров и много других. Информация в АПД вводилась/выводилась либо пословно (по 20 разрядов через определённый интервал времени, либо поблочно (110 разрядов единовременно). АПД состояла из 3-х частей: так называемая распределительная часть (выполнявшая функции устройства защиты от ошибок – УЗО), канальная часть (выполнявшая функции устройства преобразования сигналов – УПС), устройство выделения в полосе ТЧ телефонного канала 300–3400 Гц отдельной полосы для обеспечения ведения телефонных переговоров одновременно с передачей данных. В качестве аппаратуры засекречивания использовалось устройство Т-226С («Ель-С»), специально разработанное Пензенским НИИЭИ для АПД «АРАКС» и «АРАГВА», работавших в симплексном режиме.

Поскольку АПД «АРАГВА» выполняла требования ТЗ в полном объёме и оказалась намного эффективнее модернизированной АПД «АРАКС», которую выпустили к тому времени в ограниченном количестве, то АПД «АРАГВА» стала выпускаться в больших объёмах в г. Житомир (Украина) на заводе «ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬ» вплоть до развала СССР и выхода Украины из состава СССР.

АПД «Аккорд-СС-ПД», АПД «Аккорд-СС-ПС» (1970–1975) стали следующим поколением АПД для ПВО страны (ГК – Богданов А. А.).

АПД «Аккорд-СС-ПД» использовала принцип решающей обратной связи с длиной блоков 117 и 69 бит с помехозащищённым циклическим кодом с полиномом 16-й степени в режиме обнаружения ошибок с исправлением ошибок за счёт решающей обратной связи, со скоростью работы 1200 и 2400 бит/с. Эта АПД имела два режима работы «ДУПЛЕКС-1» и «ДУПЛЕКС-2». В режиме «ДУПЛЕКС-1» была применена нумерация блоков, что обеспечивало повторную передачу только искажённых блоков. В режиме «ДУПЛЕКС-2» нумерация блоков отсутствовала, поскольку иногда требовалась работа без нумерации с отбрасыванием искажённых блоков на приёме в режиме реального

времени. АПД «АККОРД СС ПД» выпускалась в двух модификациях – одноканальный вариант и двухканальный. АПД «АККОРД СС ПС» являлась симплексной аппаратурой с независимой передачей и приемом и использовала те же самые длины блоков, что и АПД «АККОРД СС ПД». В качестве аппаратуры ЗАС использовались аппаратура Т-226Д («Ель-Д»), Т-226С («Ель-С»), Т-226ДМ («САГО»).

В 60-е годы разработаны и освоены в производстве АПД «Сигма-1» и «Бета-1», обеспечивающие сопряжение с каналами связи специализированных ЭВМ «Сигма» и «Бета» (ГК – Шигин Г. А.), в том числе новый тип АПД, аппаратура с решающей обратной связью «Кольцо-АК» и на их основе комплекс аппаратуры «Комбинат» (ГК – Бынков Л. Н.). Объем поставок исчислялся сотнями изделий.

В 70–80 гг. были также созданы АПД общего применения «Аккорд» (ГК – Денисов О.Е.) и комплекс АПД единой системы ЭВМ (ГК – Шпилевский Э.П.).

Отступление 1. Краткая характеристика руководителей разработок

Сизов Александр Андреевич*, род. 1924 г. в Московской обл. Участник Великой Отечественной войны (ВОВ). Окончил ЛЭТИС им. проф. Бонч-Бруевича (1952). С 1953 г. по 1988 г. – работа в НИИ ЭТУ ЛНПО «Красная Заря». Первый заместитель генерального директора по научной работе ЛНПО «Красная Заря». Лауреат Государственной премии СССР (1980). Заслуженный машиностроитель РСФСР. Почетный радист. Награжден боевыми орденами и медалями, а также орденами Трудового Красного Знамени и «Знак Почета». Занесен в биографическую энциклопедию «Связь России», 2008.*

Быхов Юрий Николаевич *(1934–1992). Участник ВОВ, сын полка. Окончил ЛЭТИС им. проф. Бонч-Бруевича (1960). С 1960 г. по 1992 г. – работа в НИИ ЭТУ ЛНПО «Красная Заря». Заместитель ГК ОКР «Аракс» и ОКР «Родник» – комплекса оборудования ПД для первой в стране системы с коммутацией сообщений. Начальник комплексного отделения. Награжден боевыми медалями и орденом Трудового Красного Знамени за внедрение системы «Родник» в эксплуатацию.*

20.1.2. Групповое оборудование передачи данных

Необходимо отметить, что НИИ ЭТУ до середины 60-х годов специализировался на разработке отдельных видов аппаратуры по техническим заданиям (ТЗ) других институтов (в основном военных). Разрабатывали функциональные и принципиальные схемы плат, блоков, стоек, выпускали конструкторскую документацию, по которой на заводах объединения и других заводах Минпромсвязи изготавливались опытные образцы и организовывалось серийное производство. Сформировался хороший коллектив разработчиков «железа» – «железятников», из которых в последующем выделились специалисты другого профиля – системного («системщики»). Ходила такая шутка: чем отличается «железятник» от «системщика»? – Ответ: «железятники» знают все о конкретной аппаратуре и (почти) ничего о системе, а «системщики» знают все о системе и (почти) ничего о конкретной аппаратуре.

После успешных разработок первых АПД, внедрения их в эксплуатацию институт стали привлекать к разработке более сложных технических комплексов.

Одним из первых системных разработчиков в НИИ ЭТУ был, по нашему мнению, Шигин Григорий Алексеевич, кандидат технических наук, главный конструктор аппаратуры сопряжения ЭВМ «Сигма» и «Бета» с каналами связи (1961–1968). Первыми крупными системными работами института в этом направлении следует признать разработку комплекса оборудования системы ПД «Погода» для Гидрометслужбы СССР (1964–1974) и комплекса оборудования ПД для системы засекреченной передачи документальной информации с коммутацией сообщений «Родник», разрабатываемой в интересах КГБ СССР специализированным системным институтом «Квант» (1967–

1972). Главным конструктором комплекса оборудования ПД системы «Родник» был назначен главный инженер НИИ ЭТУ Ю. Г. Данилевский, а заместителем главного конструктора – Ю. Н. Быхов, возглавивший специально созданный для этой работы отдел. Численность отделов в то время составляла 80-100 человек. Так начиналось формирование и воспитание системных разработчиков в НИИ ЭТУ.

ОПД «Родник» (1968–1973) – оборудование передачи данных (ОПД) для системы «Родник», обеспечивающей передачу документальной информации по каналам связи с использованием засекречивающей аппаратуры в интересах КГБ СССР.

ТЗ на разработку комплекса оборудования ПД системы «Родник» было выдано заказчиком в 1968 году.

Оборудование фактически представляло комплекс средств сопряжения мощной центральной ЭВМ, выполняющей функции коммутации сообщений, с телефонными и телеграфными каналами связи различной физической природы, число которых составляло несколько десятков. Быстродействия центральной ЭВМ было недостаточно для обработки такого числа каналов ПД, не было и других специализированных ЭВМ, способных выполнять эту работу, поэтому на каждое направление ПД ставилась индивидуальная АПД с модемом и устройством защиты от ошибок (УЗО). Групповое устройство на стыке с центральной ЭВМ выполняло только простые операции приема (передачи) информации из (в) нескольких УЗО и передачи (приема) ее по согласованному стыку в (из) центральную ЭВМ.

Центр коммутации сообщений «Родник» состоял из центральной ЭВМ и ОПД и занимал площадь целого этажа в несколько сот квадратных метров.

Разработка ОКР «Родник» была осуществлена в кратчайшие сроки в большей степени благодаря использованию уже разработанной в рамках других заказов АПД «АККОРД 1200ПП» и АПД «ЛУЧ», которые обеспечивали сопряжение с аппаратурой типа «ЕЛЬ-Д». «АККОРД 1200ПП» работала по четырем проводным выделенным телефонным каналам связи, а АПД «ЛУЧ» по четырем проводным телеграфным и КВ ТГ каналам связи. В качестве элементной базы использовался фирменный комплекс «М-2К».

Система была сдана в эксплуатацию в 1973 г. и обеспечила документальный обмен со всеми столицами союзных республик и другими крупными городами СССР, значительно повысив оперативность работы центральных и местных органов КГБ. Сравнивая систему «Родник» с одной из первых зарубежных систем ПД с коммутацией сообщений «Автодин» Минобороны США можно с уверенностью утверждать, что идеологически и даже по конструктивно-техническим характеристикам они находились на одном уровне.

КТС ПД «25С6» (1975–1980) для войск ПВО – следующее поколение аппаратуры передачи данных– расширенный комплекс технических средств (КТС ПД), принимающий (передающий) на одном командном пункте информацию от нескольких десятков абонентов, работающих по выделенным ТЧ и ТГ каналам связи по многообразным алгоритмам работы, с использованием различных типов ЗАС, реализованный аппаратно-программным способом с помощью разработанного специализированного вычислительного комплекса (СВК) со своей системой команд с возможностью горячего резервирования для выполнения требуемых показателей надёжности. ГК – Давыдов Е. Б.

Многообразие различных алгоритмов работы, типов ЗАС, каналов связи сильно усложняли возможность выполнения работы. Единственно возможным способом решения этой многофункциональной задачи являлся только аппаратно-программный способ реализации. Использование универсальных вычислительных средств, которые появились в СССР в это время, было невозможным из-за низкой их производительности при реализации связных задач. Поэтому был разработан специализированный вычислительный комплекс (СВК) со своей системой команд с возможностью горячего резервирования для выполнения требуемых показателей надёжности. Особенностью СВК

явилось оптимальное сочетание аппаратных и программных способов обработки информации. В частности, функция деления информации на полином производилась аппаратно, так как производительности процессора не хватало для выполнения всего комплекса задач, а элементная база того времени не позволяла увеличить быстродействие и уменьшить габариты изделия. Скорость обмена СВК с ЦВК была равна 400 кбайт/с, объём памяти ОЗУ и ПЗУ по 64 кбайт. В основу разработки был положен групповой способ обработки информации, то есть каждое отдельное устройство было многоканальным. Специальный групповой стык Сг (и ГОСТ на него) обеспечивал сопряжение со всеми функциональными устройствами, при этом каждое из устройств имело два таких стыка Сг для работы с основным и резервным СВК, что обеспечивало выполнение требований по надёжности. Использовалась элементная база на основе микросхем серии 133 и 517. Полный комплект «25С6» состоял из 25 стоек.

Комплекс «25С6» обеспечивал работу по телефонным каналам связи на скоростях 600, 1200, 2400 и 4800 бит/с.; по телеграфным каналам 50, 60, 100, 200 и 300 Бод для стартстопных каналов; 50, 60 и 100 бит/с для синхронных каналов и азбукой Морзе в синхронном режиме со скоростями 50 и 100 бит/с. В комплексе был реализован режим документирования всей передаваемой и принимаемой информации по всем каналам передачи данных. Обеспечивалась запись на 12-канальные магнитофоны с возможностью воспроизведения.

Технические решения, принятые в комплексе «25С6», с небольшими изменениями переходили в следующие поколения этого же комплекса («98Ф6», «98Ф6М» и др.). С 2002 г. по 2011 г. на объекты заказчика было поставлено 14 комплексов «98Ф6М». За счет применения все более совершенной элементной базы уменьшились габариты и вес аппаратуры (габариты комплекса «98Ф6М» были в 30 раз меньше габаритов «98Ф6»), появились мобильные модификации, увеличились скорости передачи.

Отступление 2. Краткая характеристика руководителей разработок

Шигин Григорий Алексеевич*, род. 1924 г. Участник ВОВ. Окончил ЛЭТИС им. проф. Бонч-Бруевича (1952). С 1953 г. по 1991 г. – работа в НИИ ЭТУ ЛНПО «Красная Заря». Начальник первого в институте системного отдела по разработке сетей и систем ПД. Главный конструктор комплексов «Сигма-1» и «Бета-1» (1961–1968). Кандидат технических наук. Почетный радист. Награжден орденом Славы третьей степени и пятью медалями.*

Данилевский Юрий Глебович *(1931–2000). Родился в г. Тирасполь, Чкаловской обл. После окончания ЛЭТИС им. проф. Бонч-Бруевича (1954 г.) работал в НИИ ЭТУ: инженер, ведущий инженер, главный инженер, в 1970 г. – директор. С 1974 по 1986 – генеральный директор ЛНПО «Красная Заря». Именно в этот период объединение стало головным и наиболее крупным предприятием в отрасли связи страны. После расформирования ЛНПО «Красная Заря» с 1994 г. по 2000 г. – директор НИИ «Рубин». Главный конструктор одного из первых в стране фототелеграфных аппаратов «Нева» и ведомственной системы передачи данных «Родник». В 1978–1990 гг. – Генеральный конструктор ведомственной системы связи. Кандидат технических наук (1981), профессор (1987). Лауреат Ленинской (1981) и Государственной (1988) премий. Заслуженный машиностроитель СССР (1992). Почетный радист. Награжден орденами «Знак почета» (1966) и Трудового Красного знамени (1971). Занесен в биографическую энциклопедию «Связь России» 2008 г.*

20.1.3. Сети и системы передачи данных

Первой разработкой разветвленной, крупномасштабной системы ПД в НИИ ЭТУ была ОКР «Погода». Эта разработка состоялась потому, что в то время руководством страны были приняты международные обязательства о вхождении Гидрометслужбы

СССР во Всемирную метеорологическую организацию (ВМО). В то время в СССР в различных ведомствах, в том числе и в Гидрометслужбе СССР, уже эксплуатировались неавтоматизированные системы передачи с ручным управлением и ручным вводом буквенно-цифровых сообщений на перфолентах в международном пятиэлементном коде МТК-2 (с добавлением «русского» регистра) с использованием буквопечатающих телеграфных аппаратов, перфораторов и трансмиттеров.

Вхождение СССР в ВМО повлекло за собой включение советского фрагмента сети связи (который предстояло ещё разработать и создать) в магистральную Глобальную информационную сеть (ГИС) ВМО по каналам связи, процедурам передачи, форматам сообщений, режимам передачи и другим параметрам, принятыми как стандарты ВМО. ТЗ на разработку СПД «ПОГОДА» было выдано в 1967 году заказчиком (Гидрометслужба СССР) на основании соответствующего Постановления Совета Министров СССР. Главным конструктором СПД «ПОГОДА» был назначен Петрович В. И.

В соответствии с ТЗ должны были быть разработаны и изготовлены центры коммутации сообщений (ЦКС), центры сбора информации (ЦСД) и ряд типов абонентских пунктов.

Технология передачи информации по правилам ВМО заключалась в сборе гидрометеорологической информации по всему миру с многочисленных датчиков, телеграфных установок, обрабатывающих комплексов и других устройств, обработке этой информации и обмене ею между гидрометслужбами разных стран. Процесс сбора первичной информации происходил ритмично по всему миру каждые 3 часа, начиная с 00 часов по Гринвичу (Лондонский меридиан) и соответственно 8 раз в сутки. После сбора информации в течение десятков минут начиналась обработка информации на ЭВМ и вручную – готовились факсимильные карты. После этого производился обмен обработанной информацией и факсимильными картами между Мировыми и Региональными центрами по ГИС и внутри стран-членов ВМО. Далее через 3 часа процесс снова повторялся. Мировыми центрами были Вашингтон – Париж – Москва – Токио – Мельбурн, завязанные в кольцо четырехпроводными выделенными стандартными телефонными каналами связи. Они были связаны в свою очередь с Региональными центрами и другими объектами гидрометслужб соответствующих стран (центры сбора, абонентские пункты, датчики, обрабатывающие комплексы и другие). Так Мировой центр Москва помимо связи с соседними мировыми центрами Токио и Париж, был связан с Регональными зарубежными центрами – Хельсинки, Варшава, Нью-Дели, Пекин, Улан-Батор и «своими» Региональными центрами в городах Киев, Ташкент, Новосибирск, Хабаровск. Мировые и Региональные центры должны были быть оснащены высокопроизводительными ЭВМ со специальным программным обеспечением (ПО) для выполнения задач ВМО. Такой суперЭВМ в СССР в то время не было, и по договорённости между руководством СССР и США она была приобретена у США со строгим ограничением и постоянным контролем её неиспользования для иных (прежде всего военных) целей.

В качестве АПД использовались два типа АПД: «АККОРД-1200ПП» и «ЛУЧ». Первая АПД разрабатывалась в рамках отдельной программы создания комплекса АПД «АККОРД», а вторая «ЛУЧ». Главным конструктором которой был Плешко Б. С., разрабатывалась в рамках ОКР «СПД «ПОГОДА» и предназначалась в основном для отечественных нужд Гидрометслужбы СССР.

АПД «ЛУЧ» реализовала принцип автозапроса искажённого блока с блокировкой канала (метод Ван Дюрена). На тот период времени это был наиболее эффективный метод защиты от ошибок с использованием помехозащищённого укороченного циклического кода в режиме обнаружения ошибок с исправлением ошибочно принятой кодовой комбинации путём переспроса искажённой комбинации и её повторения. В отличие от АПД «АККОРД-1200ПП», где использовался длинный блок в 260 бит, в АПД «ЛУЧ»

использовалось позначное кодирование (7 информационных бит и 4 контрольных). Это было вызвано необходимостью работы на плохих каналах (до 10^{-2} на бит), в частности на КВ каналах связи, где качество канала в течение суток колеблется от очень плохого до допустимого).

В СПД «ПОГОДА» был применён способ передачи с коммутацией сообщений (КС) в автоматическом режиме.

Система передачи данных «ПОГОДА» (1967–1975) в составе четырех ЦКС, 12-ти ЦСД и 2000 АП была развёрнута на объектах Гидрометслужбы СССР в полном объёме (а также в ряде стран СЭВ). АПД, разработанная для СПД «ПОГОДА» вместе с ЗАС впоследствии нашли применение в специальной системе «Родник», разрабатывавшейся по заказу КГБ СССР. Комплекс СПД «ПОГОДА» выставлялся на ВДНХ СССР и коллектив разработчиков был награждён золотыми, серебряными и бронзовыми медалями.

Более интенсивно в то же время велись работы в интересах Министерства обороны СССР двумя крупными системными институтами в Москве: НИИ АА под руководством академика Семенихина и РТИ им. академика Минца.

НИИ «ЭТУ» и эти два крупнейших института, которые работали, в основном, на силовые ведомства, и определили научно-техническую политику в новом направлении развития телекоммуникаций в СССР – передачи данных. Они подключали к своим работам некоторые вузы и институты АН СССР, давая, таким образом, подпитку вузовской и академической науке.

С сожалением приходится констатировать, что для населения страны в этом направлении делалось очень мало. Создавалось такое впечатление, что государству невыгодно развитие сетей ПД, что оно боится дать доступ широким слоям населения к разнообразной информации, которую должны передавать эти сети. Минсвязи СССР, ЦНИИС и его филиалы в Ленинграде, Киеве, Новосибирске и других городах, отвечавшие за связь общего пользования, занимались, в основном, проблемой телефонизации страны. И хотя идея создания в СССР общегосударственной системы ПД (ОГСПД) возникла в начале 70-х годов, проработка шла очень медленно в виде небольших НИР и ОКР в течение более 10 лет и практически была свернута. В результате этой многолетней работы в 80-х годах институтами Минсвязи были созданы центры коммутации (ЦК) сообщений для автоматизации телеграфной сети общего пользования и небольшая сеть ПД со скоростью 200 бит/с, построенная на базе телефонной сети общего пользования и не нашедшая широкого применения. И это в то время, когда за рубежом уже были определены контуры «всемирной паутины» Интернет.

А вот разработки для силовых ведомств в конце 60 – начале 70-х годов находились, на наш взгляд, на уровне зарубежных. Разрабатывая систему «Родник», НИИ ЭТУ стал хорошо снабжаться со стороны заказчика разнообразной зарубежной информацией о состоянии развития техники ПД. В дальнейшем в институте были созданы Советская рабочая группа (СРГ) по делам Международных организаций по стандартизации ИСО, МККТТ, ИКАО под председательством А. А. Сизова и отдел переводчиков (начальник к.т.н. А. И. Кирплюк), вклад которого в формирование и становление коллектива системных разработчиков трудно переоценить. Практически все основные документы этих организаций переводились и были доступны любому инженеру.

В 1973 г. в отделе, возглавляемом Г. А. Шигиным, начался второй этап разработки системы «Родник-2» (главный конструктор эскизного проекта (ЭП) С. П. Воробьев), на котором НИИ ЭТУ сделал предложение взять на себя разработку не только оборудования ПД, но и системы в целом. В это же время под руководством Г. А. Шигина велись ОКР по разработке ЦК сообщений и абонентских пунктов для ОГСПД по заказу ЦНИИС (1974) и системная НИР «Методология системного проектирования» (1975).

Так вместе со становлением системного коллектива начали формироваться теоретические основы системного проектирования и научные кадры.

В 1972 г. в институт из Военной академии связи пришел д.в.н., профессор Г. П. Захаров, который в 1975 г. возглавил новое системное отделение. В 1977 г. его сменил С. П. Воробьев.

Системное отделение взяло на себя все системные заказы НИИ ЭТУ по сетям ПД. Это технический проект (ТП) системы «Родник-2» (1977), ЭП «ЕСПД» для восьми оборонных министерств (1977), ТП «Погода-2» для Гидрометслужбы (1977), НИР «Масштаб» по изысканию инженерных решений для ОГСПД (1977–1979), НИР «Сеть» для Министерства гражданской авиации (1978), ЭП «САЦНТИ» для системы автоматизированных центров научно-технической информации (1978), ТП «ОАСУ Госбанка СССР» (1979), ТП «ЗЦКС с АП» для Минсвязи СССР (1980), ЭП «Цифра-МГА» для МГА (1980), ЭП «Аэрофлот», ОКР «КТС-ПД» для МГА (1980) и др. Это был огромный опыт изучения требований разных заказчиков и построения различных вариантов систем ПД.

Однако, несмотря на то, что численность системного отделения в разные годы составляла от 200 до 400 чел., справиться с таким множеством заказов было нереально. Возник вопрос приоритетности и унификации. Приоритетными были признаны заказы «Родник-2», «ЗЦКС с АП», «Погода-2» и «Янтарь» (спецтема), для которых разработаны единая идеология построения и единый алгоритм функционирования. Параллельно шли рост научных кадров и теоретическая проработка вопросов построения систем ПД. Многие участники работы впоследствии стали кандидатами и докторами технических наук, лауреатами Ленинской и Государственной премий. Это: лауреат Государственной премии и премии Правительства РФ, д.т.н., профессор С. П. Воробьев, лауреат Ленинской премии, д.т.н., профессор Е. Б. Давыдов, д.т.н., профессор Н. П. Крутякова, д.т.н., профессор В. В. Лохмотко, лауреат Ленинской премии, д.т.н., профессор В. И. Петрович, к.т.н. В. С. Антошевский, лауреат Ленинской премии, к.т.н. Ю. М. Баранов, к.т.н. Э. И. Борисевич, к.т.н. В. А. Бельянинов, к.т.н. О. И. Буянов, лауреат Государственной премии И. Б. Добрицкий, к.т.н. Ю. С. Злотников, к.т.н. Г. С. Истомин, лауреат Государственной премии, к.т.н. Б. С. Плешко, к.т.н. А. Г. Расчесова, к.т.н. С. Ф. Спокойнова и многие другие.

Огромная роль в росте научных кадров и создании научной школы принадлежит профессору Г. П. Захарову, организовавшему в институте ученый совет по защите кандидатских и докторских диссертаций и заочную аспирантуру. Он же долгие годы был практически главным редактором отраслевого журнала «Техника средств связи», серия «Техника проводной связи». Благодаря ему в НИИ ЭТУ выросла целая плеяда системных специалистов («сетевиков»), сделавших институт системным и поставившим его на один уровень с НИИ АА.

Как уже отмечалось, системные разработчики хорошо знали все международные стандарты и рекомендации, хотя в части ПД они только начинали разрабатываться и ограничивались протоколами звена ПД и первой системной рекомендацией X. 25. Поэтому идеология построения сетей ПД, предложенная системным отделением, соответствовала самому высокому уровню зарубежных разработок, в частности, американской системы «Арпанет», ставшей в дальнейшем базой создания и развития Интернет. Как известно, основой «всемирной паутины» является стек протоколов TCP/IP, разработанный еще в 1970 г. для экспериментальной сети с пакетной коммутацией «Арпанет» МО США, когда появилась проблема объединения большого числа компьютеров с различными операционными системами. Переход к технологии Интернет был завершен в 1983 г., когда решили, что все компьютеры, присоединенные к глобальной сети, будут использовать стек протоколов TCP/IP. Идеологи «всемирной паутины», правильно спрогнозировав рост рынка ПЭВМ, заложили в них эти протоколы, после чего началось триумфальное шествие Интернет по всему миру. Это было чрезвычайно дальновидное решение, позволившее IP-технологии через несколько лет

завоевать телекоммуникационный мировой рынок с помощью массовой продажи ПЭВМ, пользующихся до сих пор огромным спросом. Однако стек протоколов TCP/IP имел большой недостаток для развития сети, так как используемый в нем принцип датаграммной передачи пакетов разрабатывался применительно к ПД между компьютерами без учета передачи информации в реальном масштабе времени (речь, видео и др.).

Увеличение скоростей передачи несколько сглаживает недостатки датаграммного режима. Задержки и сдвиги пакетов в сообщении оказались приемлемыми, поэтому стало возможным развитие таких технологий, как IP-телефония. Но практика показала, что при увеличении нагрузки на сеть качество передачи речи снижается. Оно может стать совсем неприемлемым при передаче по такой сети видеоинформации. Поэтому сегодня при решении проблемы конвергенции Интернет и телевидения приходится искать новые протоколы типа MPLS, обеспечивающие установление логических соединений в сети на весь сеанс связи.

Разрабатывая в середине 70-х годов идеологию и протоколы интегральных сетей засекреченной передачи телеграфной и факсимильной информации и данных «Родник-2» – «Исток» (главный конструктор Е. Б. Давыдов) с учетом их развития для передачи речи (аудиоинформации), мы, в отличие от «Арпанет», приняли более универсальное решение.

В основу принципов функционирования сетей «Родник-2» – «Исток» был положен комбинированный метод коммутации пакетов и сообщений в сочетании с двумя режимами работы сети: датаграммный режим передачи пакетов и режим с установлением логических соединений.

Датаграммный режим работы обеспечивает взаимодействие абонентов без предварительного установления соединения путем независимой передачи пакетов сообщения (датаграмм) в соответствии с адресом в заголовке датаграммы. Такой режим предназначен для передачи информации, не чувствительной к задержкам, сдвигам пакетов в сообщении относительно друг друга (электронная почта, данные вычислительных машин и др.).

Режим с установлением логических соединений предназначен для передачи информации, чувствительной к различным задержкам, сдвигам пакетов данных в потоках передаваемой информации (телевизионной и другой видеоинформации, радиовещания, голосовой и др.).

Все протоколы и интерфейсы сети были разработаны в 1977–1979 гг. и уже в 1980 г. начали отлаживаться и отрабатываться на стенде НИИ ЭТУ. Разработка протоколов основывалась на результатах исследований, проводимых работниками института [1, 2]. Нужно заметить, что в этих работах мы были не только системными интеграторами, но и разработчиками всего оборудования и математического обеспечения. Для нас самих было удивительно, что отладка программного обеспечения (ПО) центра коммутации пакетов и сообщений (ЦКПС) прошла быстро (в течение нескольких недель) и успешно. Это произошло в первую очередь благодаря применению методологии разработки системного алгоритмического обеспечения (АО), которая была впервые применена в таких сложных разработках.

К сожалению, в связи с секретностью работы публикаций на эту тему было мало: закрытые докторские диссертации Е. Б. Давыдова, С. П. Воробьева и В. И. Петровича и две открытые публикации [3, 4].

Благодаря использованию в системе «Родник-2» комплекса «25С6», успешно прошедшего все виды испытаний и серийно освоенных на ЧЗТА, удалось в кратчайшие сроки изготовить, настроить и смонтировать большое количество оборудования для различных объектов сети на всей территории страны. Здесь следует отметить, что вновь созданные абонентские пункты «АП-Р» для работы по телефонным каналам на скорости 2400 бит/с и телеграфные коммутаторы были спроектированы на базе самых

первых микро ЭВМ, созданных в стране ЛНПО «Светлана», а именно «Электроника С5-22». Это позволило резко сократить габариты изделий, снизить энергопотребление и повысить их надежность. В качестве обрабатывающих ЭВМ в центрах ЦКПС и концентраторах (Кц) были использованы новейшие для того времени вычислительные комплексы ВК-1045 и ВК-1033, построенные в целях обеспечения горячего резервирования на базе двух спаренных ЭВМ соответственно ЕС-1045 и ЕС-1033.

Скорости передачи составляли 50, 75, 100, 200 Бод на низовых участках сети и 2400 и 4800 бит/с на межцентровых участках (включая Кц) и при взаимодействии с абонентскими пунктами АП-Р.

В 1984 г. система «Родник-2» в составе двух ЦКПС (в Киеве и Свердловске), двух КЦ (в Ленинграде и Ростове-на-Дону), двух телеграфных КЦ (в Саратове и Барнауле) совместно с ранее созданным (по теме «Родник») ЦК сообщений в Москве и подключенными к ним 400 абонентскими пунктами была принята в эксплуатацию.

В представлении на Ленинскую и Государственную премии отмечалось следующее:

«Реализацией системы «Родник-2» открыто новое направление в электросвязи – создание единой интегральной сети шифрованной связи взамен автономно существующих сетей передачи данных, телеграфной, факсимильной и речевой информации. Система «Родник-2» является первой в стране многофункциональной ведомственной системой шифрованной связи, обеспечивающей пользователю широкий набор услуг по передаче одноадресных, многоадресных и циркулярных сообщений, работу в режимах «электронная почта», «диалог», «запрос-ответ», «передача больших массивов информации», включая факсимильную, многосуточное хранение сообщений с возможностью их поиска в электронных архивах и получение копий, идентификацию абонентов, контроль за временем нахождения сообщений в сети, гарантированную безопасность связи и другие возможности.

Гарантированная безопасность связи обеспечивается не только криптографическими и другими методами защиты информации, но и возможностью организации замкнутых подсетей абонентов с автоматической проверкой их прав на передачу определенных видов информации».

Выше приведены реальные характеристики системы, созданной в начале 80-х годов, когда об Интернет еще ничего не было слышно. В дальнейшем сеть развивалась под шифром «Исток» как сеть, обслуживающая и оборонную промышленность. К 1990 г. к ней было подключено 2500 абонентов. Высокая степень защищенности информации позволила подключить к сети «Исток» девять оборонных отраслей, которые до сих пор пользуются ее услугами.

Идеология «Родник-2»-«Исток» предлагалась НИИ ЭТУ в НИР «Масштаб» (1979 г.) и ОКР «ЗЦКС с АП» (1980 г.) для создания ОГСПД и реализации центров коммутации пакетов и сообщений. Опытный район ОГСПД мог бы быть создан уже в 1983 г. Однако, эти предложения не нашли поддержки у заказчика в ЦНИИС Минсвязи СССР, который решил сам создать центр коммутации сообщений, причем только в интересах телеграфной сети общего пользования, необходимость автоматизации которой стояла на повестке дня. Такой центр в конце 80-х годов был действительно создан и внедрен в телеграфную сеть общего пользования. Услуг передачи данных населению страны пришлось ждать до конца 90-х годов, когда из-за рубежа к нам пришел Интернет.

Как известно, изначально Интернет использовался только для передачи данных. И лишь в последнее десятилетие были отработаны коммерческие методы передачи речи через Интернет, причем это оказалось намного дешевле, чем с помощью традиционного метода коммутации каналов, т. е. через существующие телефонные сети.

Проблема передачи речи через сети с коммутацией пакетов начала отрабатываться в России вместе с созданием системы «Родник-2». Первая в стране работа по изысканию технических решений для передачи речи и данных с использованием метода коммутации пакетов была проведена в НИИ ЭТУ в 1980 г. в интересах ПВО страны (НИР «Фламинго»,

научный руководитель С. П. Воробьев). В 1981–1983 гг. эта работа была продолжена уже по инициативе Минпромсвязи (НИР «Пакет», научный руководитель Е. Б. Давыдов). Далее работой заинтересовался КГБ СССР, по заказу которого была проведена НИР «Река-Поиск» (1985 г., научный руководитель С. П. Воробьев). К тому времени были получены достаточные инженерные наработки, позволившие Минпромсвязи выполнить научно-исследовательскую экспериментальною работу «Создание экспериментального района интегральной сети связи с коммутацией пакетов» (НИЭР «Пакет-1», научный руководитель С. П. Воробьев).

Работа выполнялась кооперацией из 14 предприятий, включая Институт автоматики и электрометрии СО АН СССР, Институт кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР, Рижский политехнический институт, Запорожский машиностроительный институт им. В. Я. Чубаря и др.

Экспериментальный район интегральной сети связи с коммутацией пакетов состоял из трех взаимодействующих зон: Ленинградской, Московской и Новосибирской.

В состав зон входили макеты ЦК пакетов (за исключением Московской), унифицированных оконечных пунктов для ПД и цифровой речевой информации, цифровых телефонных аппаратов с дельта-кодеком на 32 кбит/с, пакетных терминалов данных и пакетных речевых терминалов разработки Института автоматики и телеметрии СО АН СССР, образцы устройств преобразования сигналов УПС-2,4 ТЧ, УПС-48 ФЛ, УПС-48 ПШ и другое оборудование.

Для взаимодействия зон были арендованы каналы связи: Москва – Ленинград (широкополосный), Ленинград – Новосибирск (канал ТЧ).

Не все, что намечалось, у нас получилось. Но одна из основных задач по пакетизации и выделению пауз в речи и ПД в этих паузах была решена. В решении НТС научно-технического комплекса от 30.12.1987 по рассмотрению результатов НИР говорилось: «Существенными результатами выполненной работы являются решение проблем и создание макетов устройств выделения пауз в речи, экспериментальное подтверждение принципиальной возможности интегральной пакетной передачи и коммутации данных и цифровой речевой информации на единых технических средствах...».

Таким образом, в середине 80-х годов в ЛНПО «Красная Заря» в НИЭР «Пакет-1» была разработана и реализована технология, которая спустя 15 лет стала называться IP-телефонией. Принципы построения интегральных сервисных цифровых сетей связи с коммутацией пакетов были опубликованы в [5, 6]. Уже тогда, учитывая прогресс в создании высокоскоростных систем передачи на базе волоконно-оптических систем связи, мы прогнозировали развитие нашей технологии для передачи видеоинформации, включая телевизионную.

Однако мечтам не суждено было сбыться. В эти годы в ЛНПО «Красная Заря» сменилось руководство, приоритет в работе был отдан направлению создания Единой системы средств коммутационной техники (ЕССКТ). Министерство связи активно защищало свои позиции о преимуществах метода коммутации каналов, в чем убедило и руководство Минпромсвязи. В результате работы перспективного направления были прекращены и экспериментальный район, стоивший бюджету 16 млн. руб. (по курсу 80-х годов), стал никому не нужен. Это были два очередных больших шага назад от уровня мирового развития средств связи и солидным вкладом в предубеждение будущих молодых реформаторов России об отставании нашей промышленности «навсегда».

После развала СССР в 1992 г. перестало существовать и ЛНПО «Красная Заря», которое преобразовалось в пять самостоятельных институтов (АО «Интелтех», НПК «Красная Заря», НИИ «Рубин», НИИ «Масштаб», НИИ «Радуга») плюс завод «Красная заря» и еще несколько более мелких предприятий. Подразделения ЛНПО, занимающиеся направлением «Передача данных» и проводившие все вышеописанные работы,

оформились в Государственное предприятие НИИ «Масштаб» (директор Давыдов Е. Б.), которое с большим трудом выжило в смутные 90-е и до настоящего времени продолжает вести работы этого направления, краткую характеристику которых мы дадим ниже.

Зачем надо было разваливать крупнейшее в СССР научно-производственное объединение, сконцентрировавшее в себе лучших специалистов-разработчиков страны во всех областях электросвязи (телефонной, телеграфной, факсимильной связи, передачи данных и др.), имевшие мощное опытное и серийное производство, закрывавшее все потребности силовых ведомств во всех видах связи, а в последнее время разрабатывающее и координирующее разработку единого ряда оборудования коммутационной техники для народного хозяйства страны? На этот вопрос никто не желает отвечать, кроме примитивной кривды «отстали навсегда». Конечно, здравомыслящим людям совершенно ясно, что искать в этих «свершениях» какой-то смысл бессмысленно, так как совершались они неадекватными людьми, мозг которых был затуманен злобой и ненавистью ко всему советскому и огромным желанием «порулить» самим. Никто из них не пытался отделить «мух от котлет» и разобраться, что в том времени было хорошо, а что плохо.

В конце 80-х годов система «Родник-2» успешноэксплуатировалась уже несколько лет, а в это же время проводилась ее модернизация в рамках ОКР «Исток» (ГК – Давыдов Е. Б.). К этому времени появились новые комплексы микросхем с более широкими функциональными возможностями, меньшими габаритами и меньшим энергопотреблением. Но, пожалуй, самым главным следует отметить появление малогабаритных электронных элементов оперативной и постоянной памяти взамен ранее главенствующих элементов на ферритовой основе. На базе этих элементов в рамках ОКР «98Ф6» был разработан более совершенный малогабаритный комплекс ПД, легший в основу КТС ПД системы «Исток». При этом полностью сохранялось алгоритмическое обеспечение системы «Родник-2» и лишь частично обновлялось программное обеспечение. Оставались и прежние скорости передачи от 50 Бод по телеграфным каналам до 4800 бит/с по телефонным каналам. Благодаря готовности КТС ПД, разработанной в рамках ОКР «98Ф6», удалось в кратчайшие сроки с 1986 по 1989 годы разработать конструкторскую документацию, провести все виды испытаний, серийно изготовить и сдать систему в эксплуатацию. Со временем абонентская база сети «Исток» была расширена до 2000.

Первоначально СПД «Исток» предназначалась для целей безопасности и обороны и её заказчиком был КГБ, вернее те его службы, которые после развала СССР вошли в состав ФАПСИ. «Исток» дал жизнь двум родственным системам. Первая, как и прежде, закрытый «Исток», стала служить разным государственным структурам, имеющим свои секреты. Вторая «Исток-К», открытая к услугам коммерсантов и банкиров. То есть, произошла удачная конверсия сети передачи данных, что потребовало от разработчиков годы работы. У системы образовалось общее информационное поле и два хозяина - ФАПСИ и товарищество с ограниченной ответственностью «БАКОМ», имевшее лицензию Минсвязи РФ на эксплуатацию сети. По оценкам специалистов, система «Исток» являлась одной из лучших в мире. Это на цифрах доказывалось сравнительным анализом параметров «Истока» и аналогичных западных систем. По существу государство могло стать главным участником товарищества, а система «Исток» – в единстве двух своих ипостасей – была способна стать основой общегосударственной сети передачи данных. И более того, в особый период, система легко переподчиняется Минобороны РФ и её объединённая мощь может служить военным. К сожалению, не смотря на Постановление Кабинета министров СССР от 15.06.1991 «О создании президентской шифрованной связи», номенклатурный корпус страны, от которого зависело присвоить системе «Исток» статус общегосударственной сети передачи данных, так и не доросло до понимания этой задачи, что сулило стране многомиллиардные доходы и загрузку многим профильным заводам на долгие годы, а также оснащение отечественным

оборудованием системы «Исток» всей страны и ближнего зарубежья (в начале 1992 г. был согласован Протокол между правительствами суверенных государств (республик) об утверждении «Положения о межгосударственной автоматизированной системе документальной шифрованной связи «Исток»). Но этого так и не произошло.

Система «Исток» успешно функционирует вот уже несколько десятилетий. Но назрела острая необходимость в модернизации системы, как из-за физического и морального старения аппаратуры, так из-за того, что за это время произошёл развал СССР и серийный завод в г. Черкассы (Украина) перестал функционировать, а запасы ЗИП были исчерпаны. В настоящее время проводятся работы по модернизации системы «Исток» в рамках новой ОКР «Исток-М» по ТЗ от ФСО Российской Федерации.

НИИ «Масштаб» продолжает вести разработки в интересах различных силовых ведомств и эти разработки соответствуют современному уровню техники передачи данных. Таким образом, многолетний опыт разработок сложных систем в какой-то мере сохранился, хотя уже практически ушло первое поколение разработчиков и ученых, начавших развитие направления передачи данных. Нельзя, чтобы и этот опыт не нашел применения в нашей стране.

Опытный наблюдатель мог бы сказать: «О чем речь? Посмотрите, кругом внедряются самые современные системы связи, мобильная связь, без которой непонятно как мы раньше жили, видеосвязь, Интернет предоставляет самые разные информационные услуги, о чем плачут авторы?»

Это правда, мы оснастились и продолжаем оснащаться самыми современными системами связи, которые приходят к нам с Запада и Востока. У нас отпадает необходимость собственных разработок, все можно купить у западных корпораций и компаний. Посмотрите, что творится в книжных магазинах! Пропала практически всякая литература для разработчиков, которой раньше были завалены полки. Остались только руководства для «чайников» по обучению работе на компьютерах, да необходимые для эксплуатационников книжки по языкам программирования.

Класс разработчиков, основных интеллектуалов в любых технических областях обречен на вымирание. Можно ли с этим согласиться?

Вот о чем плачут авторы. Боимся, что и эта книга уже не найдет своего читателя, так как она предназначается, в первую очередь, для мыслящего разработчика.

Отступление 3. Краткая характеристика руководителей крупных системных разработок

***Давыдов Евгений Борисович**, родился в 1937 г. Окончил ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина) в 1965 году.. С 1965 г. по 1991 г. работал в НИИ ЭТУ: инженер, старший инженер, начальник отдела, зам. главного инженера, начальник ОКБ «Радуга», зам. генерального директора ЛНПО «Красная Заря» по научной работе. После расформирования ЛНПО «Красная Заря» стал директором НИИ «Масштаб» (1991–2008). Главный конструктор СПД «Родник-2», «Исток», СПД «Простор».*

Доктор технических наук (1988), профессор (1992). Лауреат Ленинской премии (1987). Почетный радист СССР. Награжден медалями «За доблестный труд», «Ветеран труда», «300 лет Российскому флоту», золотой медалью ВДНХ. Занесен в биографическую энциклопедию «Связь России», 2008.

***Захаров Григорий Павлович** (1914–1995). Участник ВОВ, начальник связи 1-й танковой армии (1943–1945). Окончил с отличием Военную академию связи (1947). Доктор военных наук (1964), профессор (1966). Генерал-майор (1964). С 1947 по 1971 г. вел преподавательскую и научно-исследовательскую работу в Военной академии связи. Организатор проблемной лаборатории, создатель научной школы по проблемам анализа и синтеза сетей связи.*

С 1971 г. работал в ЛНПО «Красная Заря», где стал основоположником научной школы в области методов построения и оптимизации сетей передачи данных

с коммутацией пакетов и широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания. Научный руководитель более 80 разработок. Главный конструктор сетей и систем связи НПП «Радуга» (1994–1995), организатор аспирантуры и докторского совета при ЛНПО «Красная Заря», а также филиала кафедры автоматической электросвязи ЛЭИС им. проф. Бонч-Бруевича. Подготовил более 70 ученых высшей квалификации, в т. ч. 20 докторов наук. Автор более 400 научных работ, в том числе 31 монографии, 10 учебников и учебных пособий. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1988). Почетный радист (1969). Награжден 25-ю правительственными наградами, в т. ч. орденом Боевого Красного Знамени (1945), Отечественной войны (четырежды), Красной звезды (дважды), 18 медалями, медалью «50 лет ВАК СССР» (1980). Занесен в биографическую энциклопедию «Связь России», 2008.

***Петрович Виктор Иосифович**, родился в 1936 г. в Ленинграде. Окончил ЛЭИС им. проф. Бонч-Бруевича (1958). С 1958 г. работал в НИИ ЭТУ. В 1968–1972 – главный конструктор системы передачи данных «Погода», в 1978–1984 – зам. главного конструктора системы «Родник-2». Доктор технических наук (1989), профессор (1992). Автор 44 научных работ, имеет 5 авторских свидетельств. Лауреат Ленинской премии (1987), изобретатель СССР. Награжден орденом «Знак почета» (1970), золотой медалью ВДНХ (1970), медалью «За доблестный труд» (1970), знаком «Отличник метеослужбы СССР». Занесен в биографическую энциклопедию «Связь России», 2008.*

20.2. Опыт организации успешных разработок инфокоммуникационных сетей

К успешным системным разработкам ЛНПО «Красная Заря» следует отнести достаточно крупные системы передачи данных «Погода» и «Родник-2-Исток». Они прошли полный жизненный цикл стадии разработки, включая все тематические циклы от проблемного до эксплуатационного, а также внедрение аппаратуры в серийное производство, ввод системы в эксплуатацию и стадию эксплуатации сроком не менее 20 лет.

К сожалению, описание полного жизненного цикла этих систем видимо невозможно, так как, во-первых, в то время еще не было понятия «жизненный цикл системы ПД», а во-вторых, коллектив специалистов-разработчиков давно распался.

Однако один из авторов этой книги был в то время руководителем системного подразделения и отвечал за организацию наиболее ответственных проблемного, системного и алгоритмического циклов стадии разработки, результаты которой могут быть полезны разработчикам современных инфокоммуникационных сетей.

Во второй половине 70-х гг. поток заказов в НИИ ЭТУ на разработку различных ведомственных систем передачи данных был так высок, что для выполнения этих работ в 1978 г. руководство института сформировало новое комплексное отделение, структура которого показана на рис. 20.1.

Учитывая, что коллектив, показанный на рис. 20.1, создал уникальную систему ПД, которую можно назвать прообразом Интернет для силового ведомства, первым в России открывшим направление создания сетей с коммутацией пакетов, мы сочли необходимым назвать фамилии руководителей подразделений, внесших решающий вклад в успех этой работы.

Нужно сказать, что подбор специалистов на эти должности определялся только их квалификацией и человеческими качествами. Ни близкие связи с руководством института, ни партком, ни профком на такой выбор влиять не могли. По нашему мнению, этот принцип был основным в подборе кадров всего института.

ОКБ «Радуга» появилось в структуре комплексного отделения несколько позднее со своей специальной тематикой в интересах Министерства обороны.

Общая численность комплексного отделения составила около 2000 человек.

Эта структура закрывала все тематические циклы стадии разработки от замысла, концепции, принципов построения системы до разработки плат, блоков, стоек, отдельных алгоритмов и программ, внедрения в серийное производство, отладки стенда и проведения всех видов испытаний.

Рис. 20.1. Структура комплексного отделения для разработки систем и средств передачи данных

Кроме того, к работам были подключены Краснодарское отделение ЦНПО «Каскад» (ОКБ «Икар»), отвечавшее за разработку и отладку программного обеспечения, Черкасский завод телеграфной аппаратуры, опытное производство и завод ЛНПО «Красная Заря».

Далее мы остановимся, в основном, на работе системного подразделения, опыт которого также является уникальным.

Системное отделение, структура которого показана на рис. 20.2, состояло из четырех отделов численностью 80–100 человек каждый. Численность отделения в разные годы составляла от 300 до 400 специалистов.

Как видно из рисунков, структура системного отделения является отражением структуры комплексного отделения, по крайней мере, в первых трех структурных позициях.

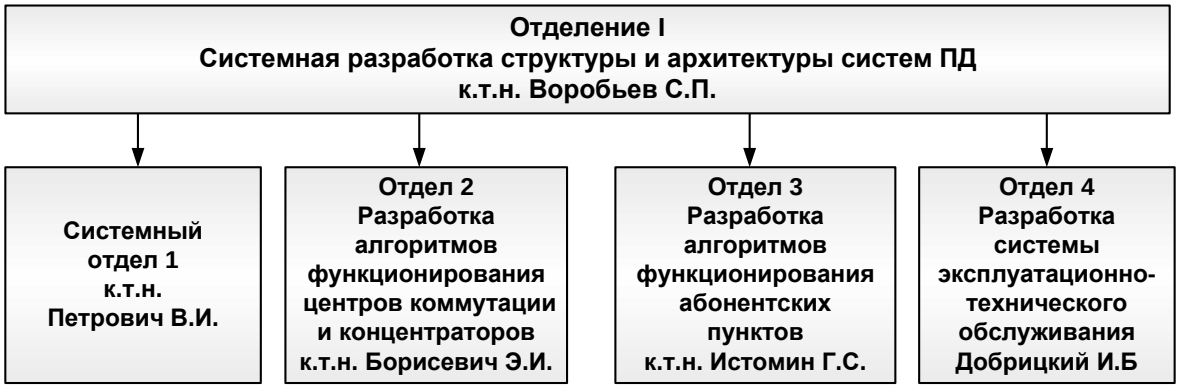


Рис. 20.2. Структура системного отделения для разработки структуры и архитектуры систем передачи данных

Это определило в дальнейшем функциональные связи между отделениями и отделами. Учитывался и человеческий фактор: начальник отдела разработки системных алгоритмов функционирования центров коммутации (ЦК) и концентраторов (Кц) Борисевич Э. И. до этого длительное время работал вместе с начальником отделения разработки КТС для ЦК и Кц Плешко Б. С., а начальник отдела разработки алгоримов функционирования абонентских пунктов (АП) Истомин Г. С. был в дружеских отношениях с начальником отделения по разработке КТС для АП Антошевским В. С.

Такая расстановка кадров способствовала значительному снижению числа конфликтных ситуаций, которые неизбежны при согласовании ТЗ и передаче разработанных материалов из одного подразделения в другое для дальнейшего продолжения работы.

Основные задачи разработки системы были распределены между отделами системного отделения следующим образом:

Системный отдел (обобщенный алгоритм функционирования сети):

разработка структуры и архитектуры системы;

анализ как структурных, так и архитектурных характеристик системы;

оптимизация структуры и архитектуры системы;

разработка общих принципов функционирования сети;

разработка обобщенного алгоритма функционирования сети;

разработка комплексных алгоритмов взаимодействия элементов сети;

разработка системных алгоритмов функционирования элементов сети;

подготовка и согласование ТЗ на разработку алгоритмического обеспечения (АО) элементов сети и выдача их в специализированные отделы.

Отдел разработки АО и ПО ЦК и Кц:

разработка принципов функционирования ЦК и Кц;

разработка внешнего АО ЦК и КЦ;

разработка внутреннего АО ЦК и Кц;

подготовка и согласование ТЗ на разработку ПО ЦК и Кц.

Отдел разработки АО и ПО АП:

разработка принципов функционирования модификаций АП;

разработка внешнего АО модификаций АП;

разработка внутреннего АО модификаций АП;

подготовка и согласование ТЗ на разработку ПО модификаций АП.

Отдел разработки системы эксплуатационно-технического обслуживания (ЭТО):

разработка принципов построения системы ЭТО;

разработка обобщенного алгоритма функционирования системы ЭТО;

разработка системных алгоритмов элементов системы ЭТО на объектах сети;

разработка структуры стенда для отладки КТС сети;

установка и наладка оборудования стенда;

отладка элементов ЭТО на стенде.

Понятия обобщенного, системного, комплексных и других алгоритмов были описаны в главе 6 при построении модели ЖЦ ИКС.

Работы велись в соответствии с методологией, описанной позднее в [3,4]. Структура и последовательность разработки АО и ПО системы передачи информации (СПИ) представлена на рис. 20.3.

Системный отдел вел разработку системного АО, по завершении которой подготавливал ТЗ на разработку АО элементов сети (ЦК, Кц, АП и др.).

Важнейшим принципом всей разработки АО являлся полноценный обмен полученной в результате работы информацией со всеми участниками разработки.

Структура взаимосвязей разработчиков по обмену информацией показана на рис. 20.4.

На рис. 20.4 обозначены следующие информационные взаимосвязи:

1–2, 1–3, 1–4, 1–II, 1–III, 1–IV, 1–ОКБ – передача для обсуждения и согласования разработанных документов по общим принципам функционирования сети, обобщенному алгоритму функционирования сети, комплексным алгоритмам взаимодействия элементов сети, системным алгоритмам функционирования элементов сети по принадлежности, а также ТЗ на разработку АО элементов сети по принадлежности;

2-1, 2-II, 2-ОКБ – передача для обсуждения и согласования разработанных документов по принципам функционирования ЦК и КЦ, внешнего и внутреннего АО ЦК

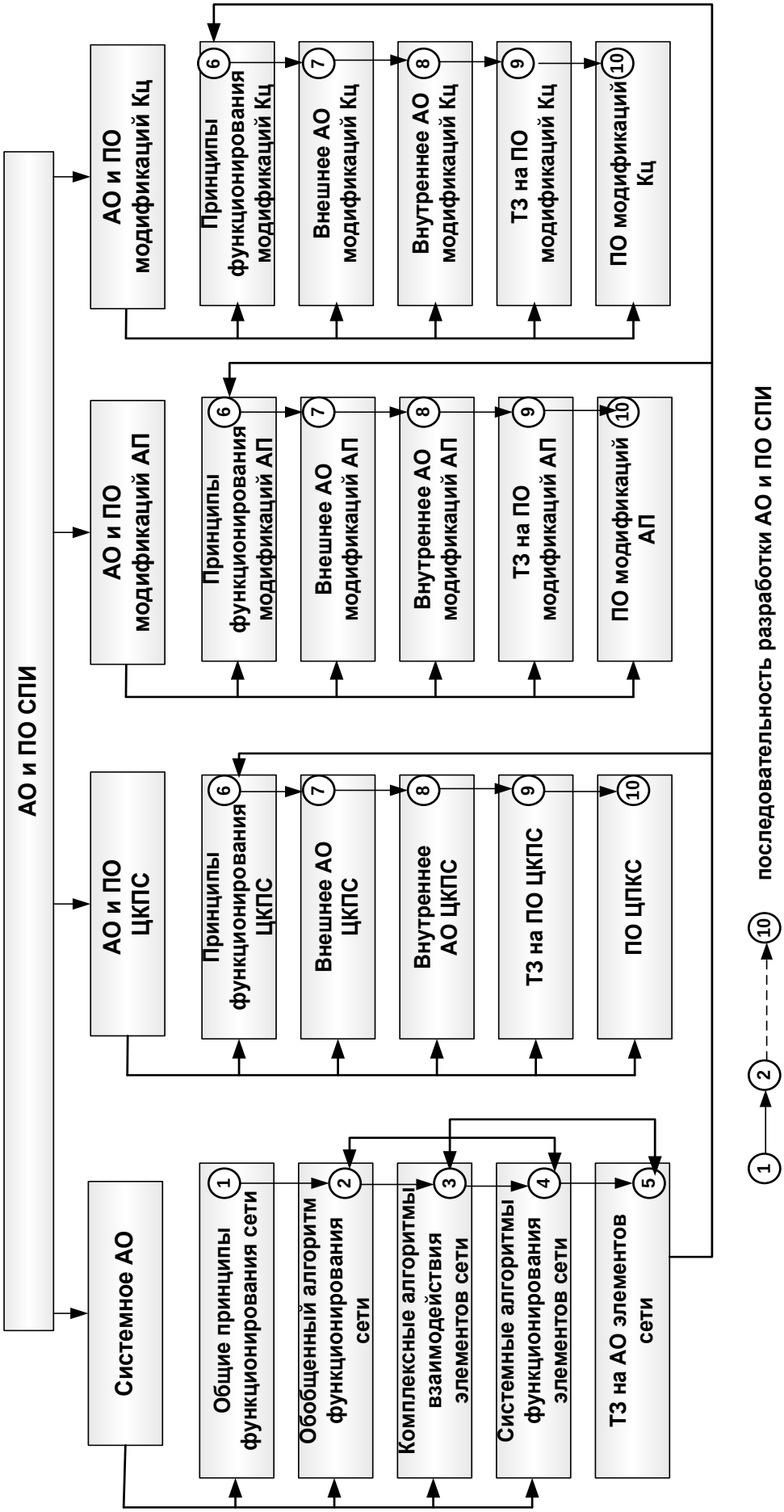


Рис. 20.3. Структура и последовательность разработки алгоритмического и программного обеспечения систем передачи информации

Рис. 20.4. Структура информационного взаимодействия разрабатывающих подразделений

и КЦ, а также ТЗ на разработку ПО ЦК и Кц;

3-1, 3-III, 3-ОКБ – передача для обсуждения и согласования документов по принципам функционирования, внешнему и внутреннему АО модификаций АП, а также ТЗ на разработку ПО модификаций АП.

4-1, 4-2, 4-3, 4-II, 4-III, 4-IV, 4-ОКБ – передача для обсуждения и согласования документов по принципам построения, функционирования, алгоритмам взаимодействия и другим алгоритмам системы ЭТО, а также по структуре и составу стенда;

II-2 – передача для обсуждения и согласования документации по структуре и составу КТС ЦК и КЦ и их ПО, а также ТЗ на разработку ЦК и Кц;

III-3 – передача для обсуждения и согласования документации по структуре и составу КТС модификаций АП и их ПО, а также ТЗ на разработку модификаций АП;

ОКБ-II, ОКБ-III – передача разработанной документации по ПО ЦК, Кц и модификаций АП по принадлежности.

Пунктирные линии отражают взаимодействие структурных подразделений с начальником системного отделения, который является одновременно первым заместителем главного конструктора по системным вопросам. Это взаимодействие заключается, в основном, в обсуждении и решении спорных вопросов, а также контроле за процессом разработки.

Известно [7], что при разработке протоколов TCP/IP, которые в дальнейшем стали основой Интернета, разработчики, находящиеся в разных зданиях и даже городах США, были обязаны свои решения, замечания, предложения без задержек отправлять через компьютерную сеть всем участникам разработки с тем, чтобы каждый участник, решая свою конкретную задачу, имел представление о системе в целом.

Мы в то время еще не имели персональных компьютеров, поэтому проблему полной информированности участников разработки решали путем обмена документацией

в соответствии с рис. 20.4.

Выполнению принципа полной информированности, который, по нашему мнению, является основным в таких сложных разработках, способствовало также то, что весь коллектив разработчиков компактно размещался в двух соседних зданиях, а основные разработчики ПО из Краснодарского ОКБ «Икар» с начала работ были прикомандированы в НИИ ЭТУ и распределены по соответствующим отделам разработчиков, принимая непосредственное участие в разработке алгоритмов.

Такая организация работ позволила за короткое время создать ПО ЦК, Кц и АП, для которого после отладки на стендах института не потребовалось никаких существенных исправлений и доработок. Объем разработанного ПО для ЦК составил около 370 тыс. команд [3].

Необходимо отметить, что успеху работы способствовало глубокое понимание важности системных работ руководством института и главным конструктором. Из семи участников работы, представленных на соискание Ленинской и Государственной премий, шестеро фактически являлись системными разработчиками, внесшими наибольший вклад в идеологию построения системы.

Описанная выше организация и методология системного проектирования [3, 4] разрабатывалась для условий, когда все приходилось создавать вновь: от общих принципов построения сети, алгоритмов и программ до блоков и плат аппаратуры. Сегодня другая картина: рынок заполнен оборудованием различных компаний, в котором реализовано множество вариантов системных алгоритмов, отвечающих международным стандартам. В такой ситуации возрастает роль системного подразделения, которое должно выбрать необходимые модули, обеспечивающие все требования заказчика. А это, по нашему глубокому убеждению, невозможно без написания, широкого обсуждения и отработки системных алгоритмов, представленных выше на рисунке 20.3.

Для анализа системных алгоритмов на соответствие требованиям заказчика можно рекомендовать методологию, которая также была успешно опробована при разработке системы «Родник-2» [1, 4].

20.3. Телекоммуникации и национальная безопасность

Развал промышленности средств связи СССР произошел очень быстро. Открытых и скрытых причин этому много и они, конечно, еще будут детально исследованы. Но основные причины две:

Минсвязи и силовые ведомства прекратили покупать продукцию Минпромсвязи, переключившись на продукцию зарубежных компаний;

произошли развал КГБ СССР, резкое снижение финансирования Минобороны и, как следствие, сокращение заказов промышленности средств связи.

Это же относится, видимо, и к Минрадиопрому и Министерству электронной промышленности СССР.

Этот развал – свершившийся факт и о нем можно только сожалеть. Сожалеть о том, что молодым реформаторам не хватило мудрости и дальновидности, чтобы трезво оценить все последствия своих шагов. Однако взамен страна получила доступ к продукции зарубежных компаний, с которой наша не могла конкурировать. Мы получили мобильную связь, Интернет и много других мировых достижений науки и техники в достаточно короткие сроки. Но почти потеряли собственную науку и промышленность средств связи.

Подход, предложенный ФАПСИ при Президенте РФ и реализованный Мининформсвязи РФ в интересах развития отечественной индустрии телекоммуникаций за счет закупки и применения в сетях общего пользования и специального назначения исключительно импортного оборудования привел к тому, что ни одна из действующих сегодня в России телекоммуникационных систем не отвечает минимально необходимым

требованиям национальной безопасности [8]. Ситуация существенно усугубляется развертыванием производственных мощностей крупных зарубежных телекоммуникационных компаний и предоставлением им статуса российского производителя, что, с одной стороны, создает лишь иллюзию развития отечественного оборудования, а с другой – делает телекоммуникационную инфраструктуру страны крайне зависимой от иностранных поставщиков и уязвимой с точки зрения воздействия на нее иностранных спецслужб. В условиях обостряющегося политического и экономического противостояния стран, усиления террористической угрозы и смещения акцентов от традиционных силовых методов воздействия к нетрадиционным – информационным – создаются реальные предпосылки к проведению акций, направленных на разрушение телекоммуникационной инфраструктуры.

Согласно данным [www.cnews.ru] от 3 ноября 2006 г. именно для этих целей «…ВВС США создают командный центр киберпространства, где разместятся 25 тыс. человек, занятых различной военной деятельностью – от электронной борьбы до отключения финансовых и других сетей, если они будут представлять угрозу США».

Еще одним свидетельством имеющейся угрозы является наличие инцидентов, связанных с разрушением американской электронно-разведывательной системой «Эшелон» ряда компьютерных систем в некоторых странах, использующих импортированное из США оборудование.

Глубокое понимание того, что решение проблемы безопасности государства находится в области применения доверенного телекоммуникационного оборудования, привело китайское правительство к созданию мощного промышленного гиганта в лице компании Huawei, которая в сравнительно небольшой срок при государственной поддержке сумело не только осуществить импортозамещение, но и составить серьезную конкуренцию ведущим производителям мира.

Учитывая уязвимость действующей телекоммуникационной структуры в России, некоторые ведомства предпринимают определенные попытки к улучшению ситуации путем применения отечественных технологий обеспечения безопасности информации и защиты процесса функционирования самих сетей, а также использования отечественного доверенного сетевого оборудования и программного обеспечения. Однако эти попытки носят локальный, а не системный характер и не решают задачу в полном объеме.

Обострившиеся политическое и экономическое противоборство развитых стран при отстаивании национальных интересов, ужесточение конкурентной борьбы в области оборонно-промышленных, топливно-энергетических и других стратегических отраслей привели к необходимости пересмотра и изменения существующих подходов к организации контроля и управления информационными ресурсами – важнейшим фактором обеспечения жизнедеятельности, безопасности и технико-экономического прогресса государства. Именно информация о результатах инновационной деятельности, экономических показателях производства, направлениях научных исследований, состоянии и объемах мобилизационных мощностей, местах дислокации стратегически важных сооружений и др. становятся главным объектом промышленного и экономического шпионажа со стороны иностранных спецслужб и прямых конкурентов. При этом основным источником потенциальных угроз остаются телекоммуникационные сети, где вероятность несанкционированного доступа к информации наиболее высока в силу общедоступного характера их использования и сравнительно малых затрат, необходимых для проведения направленной разведывательной деятельности.

В России данная проблема стоит особенно остро, так как телекоммуникационная отрасль находится в сильнейшей зависимости от иностранных поставщиков оборудования и корпоративных операторов связи, преимущественно принадлежащих зарубежным партнерам. Это позволяет говорить об отсутствии возможности управления информационными потоками, а также о вероятности потери контроля над ними при проведении направленных акций со стороны иностранных спецслужб.

В еще худшем положении находятся отечественные предприятия оборонно-промышленного комплекса (ОПК), которые, с одной стороны, остаются важнейшим стратегическим звеном военной мощи страны и одним из немногих источников ее конкурентоспособности на внешнем и внутренних рынках, а с другой – имеют ограниченные телекоммуникационные возможности для обеспечения своей повседневной деятельности. На сегодняшний день большинство организаций ОПК оплачивают доступ к телефонной сети и Интернет для ведения открытых переговоров и передачи несекретных данных, которые так или иначе становятся достоянием заинтересованных лиц. По некоторым оценкам до 95 % информации о деятельности компании можно узнать из общедоступных источников. Учитывая происхождение телекоммуникационного оборудования и некоторых операторов связи в России, нетрудно оценить, где эта информация может собираться и какого качества информацией располагает потенциальный противник. Что касается информации, содержащей сведения, составляющие государственную тайну, то ее передача по сей день осуществляется в некотором смысле архаичными методами – фельдъегерской службой или с помощью телеграфа и все еще находящейся в эксплуатации межгосударственной сети передачи данных «Исток». Первая обладает наименьшей из известных видов связи оперативностью доставки. Телеграфные сети и СПД «Исток» имеют существенные ограничения по объемам передаваемых сообщений. Все это оказывает сугубо отрицательное влияние на экономическую эффективность и конкурентоспособность предприятий ОПК.

20.4. Предложения по возрождению промышленности средств инфокоммуникаций в России

Можно ли возродить промышленность средств инфокоммуникаций в России? И нужно ли? Нужно, без сомнения. Из-за необходимости обеспечения безопасности страны. Из-за нежелания унизительно ждать, когда новейшие достижения устареют за рубежом и только потом попадут к нам. Из патриотизма, в конце концов.

Вместе с тем необходимо отчетливо понимать, что отечественная промышленность в части средств инфокоммуникаций общего применения еще длительное время не сможет конкурировать с зарубежными компаниями и этот путь возрождения бесперспективен. Единственный вариант возрождения, по нашему мнению – это ориентация на оборонно-промышленный комплекс (ОПК) и силовые ведомства страны, для которых в силу их специфики все равно придется разрабатывать специальные средства, которые не подлежат широкому обсуждению и рассмотрению на предмет стандартизации в международном масштабе.

Ориентация ОПК традиционна и привычна для нашей страны. Все лучшие достижения в области электросвязи были получены в СССР в рамках военно-промышленного комплекса. В США также многие достижения разрабатываются и апробируют сначала в интересах Министерства обороны (МО), как случилось, например, с методом коммутации пакетов и идеологией Интернет. И сегодня в качестве примера уместно рассмотреть, как действует Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства – NASA. Оно было создано с целью преодоления кризиса в американской космической отрасли, допустившей отставание от СССР.

Сегодня NASA – правительственная организация, подчиняющаяся непосредственно вице-президенту США. Финансируется на 100 % из государственного бюджета. В 2006 году объем этого финансирования составил более 16 млрд. долларов. Почти 10 млрд. из них были направлены на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, а также на образовательные программы. Такой статус практически исключает влияние на деятельность NASA отдельных финансово-промышленных групп, высокопоставленных чиновников или конгрессменов. Не страхует

он лишь от просчетов самого руководства NASA, но это уже вопрос из области подбора кадров.

Главная задача NASA – обеспечение динамичного развития аэрокосмической отрасли с целью сохранения за США лидирующих позиций в мире. Для этого на основе анализа текущей ситуации и вероятностных прогнозов разрабатываются проекты долгосрочных программ и оперативные планы, оцениваются затраты на их выполнение. Одновременно NASA является органом стратегического планирования с функциями распределения заданий и средств между исполнителями. Агентство также обязано содействовать практической реализации перспективных разработок.

В своей деятельности NASA опирается на входящие в его состав 10 крупных научно-исследовательских центров, через которые (или через свою дирекцию, где около тысячи сотрудников) NASA может привлекать к работам из сторонних фирм, НИИ, КБ и университетов до 500 тысяч ученых и специалистов.

Такая схема организации и управления признана эффективной многими развитыми странами. Нельзя не согласиться с предложением автора [9], генерального директора ФГУП «ВИАМ», президента Ассоциации государственных научных центров, академика Каблова Е., что такую схему после определенной корректировки можно применить и в России. В частности, подобные структуры со своими дирекциями (администрациями) следовало бы сформировать для решения важнейших государственных задач. Гарантией их эффективности должны стать как отдельная строка в бюджете, так и авторитет руководящего звена. Лучше всего, если руководителя дирекции (администрации) будет утверждать президент РФ, а сам руководитель будет ежегодно отчитываться непосредственно перед правительством.

Главная идея возрождения и развития отрасли инфокоммуникаций в России заключается в следующем:

основой возрождения должна стать Межведомственная инфокоммуникационная сеть (МИКС), создаваемая в интересах государственных и правительственных органов, силовых ведомств, предприятий оборонно-промышленного комплекса, других организаций с высокими требованиями по обеспечению безопасности связи и информации, и построенная, в основном, на базе комплексов технических средств (КТС) отечественного производства, развитие которого и обеспечит возрождение и становление отечественной отрасли инфокоммуникаций;

для разработки, производства отечественного КТС и эксплуатации МИКС должна быть создана структура, являющаяся основой отрасли инфокоммуникаций;

стадия разработки МИКС и этап опытной эксплуатации с подключением абонентов отрасли инфокоммуникаций должны финансироваться из Государственного бюджета. На этом опытном районе должны отрабатываться все новые технические средства;

на последующих этапах эксплуатации к МИКС должны постепенно подключаться абоненты государственных и правительственных органов, силовых ведомств, предприятий ОПК и других заинтересованных организаций. Дальнейшее финансирование МИКС и предприятий отрасли инфокоммуникаций будет осуществляться, в основном, за счет прибылей от деятельности МИКС по оказанию услуг инфокоммуникаций своим абонентам;

после отработки основных КТС в МИКС отрасль может выйти на отечественный рынок инфокоммуникаций путем выполнения заказов на создание ведомственных, корпоративных инфокоммуникационных сетей с высокой степенью безопасности связи для заинтересованных организаций;

следующий этап выхода отечественных средств инфокоммуникаций на мировой рынок будет зависеть от успехов проекта «Сколково» и совместных работ с предприятиями отрасли по микроминиатюризации отечественной аппаратуры.

Идея представляется вполне реализуемой по следующим причинам:

не потребует очень больших затрат, т. к. ориентирована на создание сравнительно небольшой сети, которая в короткие сроки окупится и начнет давать прибыль. По этой же

причине на начальном этапе не потребуются большие производственные мощности, развитие которых будет идти постепенно по мере расширения внутреннего и мирового рынка;

на начальных этапах эксплуатации и развития МИКС важнейшим требованием к аппаратуре будет не конкурентоспособность с лучшими мировыми образцами, а соответствие стандартам и рекомендациям международных организаций по стандартизации в части идеологии построения, протоколов и интерфейсов. Это требование вполне выполнимо при условии активного участия наших разработчиков (не чиновников) в работах этих международных организаций;

достаточно длительный период развития сети до полного насыщения абонентской емкости, когда к МИКС будут подключены все абоненты государственных и правительственных органов, силовых ведомств, предприятий ОПК и других заинтересованных организаций, позволит полностью отладить производство высокотехнологичной аппаратуры, а многочисленные отечественные ноу-хау сделают выпускаемые технические средства конкурентоспособными на отечественном и мировом рынке.

Таким образом, МИКС может стать локомотивом возрождения и развития отечественной отрасли инфокоммуникацией, с одной стороны, являясь определенное время полигоном для отработки новейших информационных и телекоммуникационных технологий, а также технологий производства самой современной аппаратуры (с активным участием в проекте «Сколково»), с другой стороны, решит проблему высоконадежной, защищенной передачи информации для заинтересованных организаций на новой коммерческой основе, тем самым снимая финансовое бремя с государственного бюджета на свое содержание и развитие.

Литература

1. Воробьев С. П. Методика анализа вероятностно-временных характеристик алгоритмов передачи информации в сетях ПД с коммутацией пакетов // Техника средств связи. Сер. ТПС. Вып. 4(14). 1977. – С. 16–25.

2. Воробьев С. П., Злотников Ю. С. Сквозная защита информации от ошибок в сетях передачи данных с коммутацией пакетов // Техника средств связи. Сер. ТПС. Вып. 8(39). 1978. – С. 16–24.

3. Данилевский Ю. Г., Давыдов Е. Б., Воробьев С. П., Истомин Г. С. Опыт разработки алгоритмического и программного обеспечения современных сетей передачи информации // Средства связи. 1985. № 4. – С. 42–46.

4. Воробьев С. П. Технология и методологические основы проектирования системного алгоритмического обеспечения сетей передачи информации // Средства связи. 1989. № 3. – С. 60–67.

5. Воробьев С. П., Данилевский Ю. Г., Захаров Г. П. Принципы построения интегральной сервисной цифровой сети связи с коммутацией пакетов // Средства связи. 1985. № 4. – С. 5–12..

6. Воробьев С. П., Злотников Ю. С. Структура протоколов цифровых сетей связи с интеграцией служб на базе коммутации пакетов // Электросвязь. 1988. № 6. – С. 24–29.

7. Медведев Д. Л. Основные вехи в развитии методов пакетной коммутации // Электросвязь. История и современность. – 2006. № 1. – С. 20–24.

8. Давыдов Е. Б., Давыдов А. Е., Воробьев С. П. О возрождении промышленности средств связи России // Телекоммуникационные технологии. 2006. Вып. 2. – С. 145–152.

9. Каблов Е. Наука как отрасль экономики // Наука и жизнь. 2009. № 10. – С. 6–10.

10. Высоков М. С. История электросвязи Российской империи. – М.: Изд. ЗАО РетнНет. 2010. – 400 с.

СПИСОК УСЛОВНЫХОБОЗНАЧЕНИЙ И АББРЕВИАТУР

Русскоязычные

АДИКМ – адаптивная (разностная) дифференциальная импульсно-кодовая модуляция
АИМ – амплитудно-импульсная модуляция
АКД – аппаратура окончания канала данных
АКС – адресное кодовое слово
АЛ – абонентская линия
АП – абонентский пункт
АПД – аппаратура передачи данных
АО – алгоритмическое обеспечение
АРБ – абонентский радиоблок
АС – абонентская система
АСП – аналоговая система передачи
АСУ – автоматизированная система управления
АТ – абонентский терминал
АТС – автоматическая телефонная станция
АУ – абонентское устройство
АУП – абонентская установка пользователя
АФАР – активная фазированная антенная решетка
АФМ – амплитудно-фазовая модуляция
АЧХ – амплитудно-частотная характеристика
БД – банк данных
БЗ – банк знаний
БИ – банк информации
БИС – большая интегральная схема
БКК – быстрая коммутация каналов
БКП – быстрая коммутация пакетов
БКТСС – базовый комплекс технических средств и служб
БПП – блок приемопередатчиков
БС – базовая станция
БСД – базовая станция доступа
БЭЧВ – бортовой эталон времени и частоты
ВВХ – вероятностно-временные характеристики
ВКС – видеоконференцсвязь
ВМО – Всемирная метеорологическая организация
ВНП – валовой национальный продукт
ВОК – волоконно-оптический кабель
ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи
ВОРИПД – волоконно-оптический распределенный интерфейс передачи данных
ВОС – взаимосвязь открытых систем
ВСК – выделенный сигнальный канал
ВСС – взаимоувязанная сеть связи
ВТ – служба виртуального терминала
ГИИ – глобальная информационная инфраструктура
ГИС – геоинформационные системы
ГК – гибридная коммутация
ГТС – городская телефонная сеть
ГЦТКС – глобальная цифровая телекоммуникационная сеть
ЕСЭ – Единая сеть электросвязи

ЖЦ – жизненный цикл
ЖЦС – жизненный цикл системы (сети)
ЗС – земная станция
ИБ – информационный блок
ИБД – интерфейсные блоки данных
ИКИ – инфокоммуникационная инфраструктура
ИКМ – импульсно-кодовая модуляция
ИКС – инфокоммуникационная сеть
ИКТ – инфокоммуникационные технологии
ИП – информационные процессы
ИПС – информационно-поисковая служба
ИС – информационная служба
ИСЗ – искусственный спутник земли
ИСО – международная организация по стандартизации
ИСЦСС – интегральная сервисная цифровая сеть связи
ИТ – информационные технологии
ИУС – интерфейсное устройство станции
ИЦС – интегральная цифровая сеть
КА – космический аппарат
КАМ – квадратурная амплитудная модуляция
КБ – конструкторское бюро
КБС – контроллер базовой станции
КДОН/ОК – коллективный доступ с опознаванием несущей и обнаружением конфликтов
КК – коммутация каналов
КМД – кольцевая сеть с маркерным доступом
КО – качество обслуживания
КП – коммутация пакетов
КПД – коэффициент полезного действия
КрК – кроссовая коммутация
КС – коммутация сообщений
КТВ – кабельное телевидение
КТС – комплекс технических средств
КТЧ – канал тональной частоты
КУ – канал управления
Кц – концентратор
ЛАЛ – лазерная атмосферная линия
ЛВС – локальная вычислительная сеть
ЛЦТ – линейный цифровой тракт
ЛЭП – линия электропередач
МАК – мультисервисный абонентский концентратор
МДВР – множественный доступ с временным разделением
МДКР – множественный доступ с кодовым разделением
МДПР – множественный доступ с пространственным разделением
МДЧР – множественный доступ с частотным разделением
МИКС – межведомственная инфокоммуникационная сеть
МКД – мультисервисный коммутатор доступа
МККР – Международный консультативный комитет по радио
МККТТ – Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии
МКРЧ – Международный комитет по регистрации частот

МОС – Международная организация стандартов
МРТС – межрегиональная транспортная сеть
МС – местная (или мобильная) станция
МСКТВ – мультисервисная сеть кабельного телевидения
МСУ – мультисервисный сетевой узел
МСЭ – международный союз электросвязи
МТ – мобильный телефон
МФС – международный функциональный стандарт
МЦКП – магистральный центр коммутации пакетов
НГЛК – номер группы логических каналов
НИИ – научно-исследовательский институт
НИР – научно-исследовательская работа
НЛК – номер логического канала
НСТ – новые сетевые технологии
НТП – научно-технический прогресс
ОАУ – объекты административного управления
ОВ – оптоволокно
ОГ – орбитальная группировка
ОГСПД – Общегосударственная система передачи данных
ОГСПГ – Общегосударственная система передачи газет
ОГСТГС – Общегосударственная система телеграфной связи
ОГСТФС – Общегосударственная система телефонной связи
ОГСФС – Общегосударственная система факсимильной связи
ОК – оптический кабель
ОКР – опытно-конструкторская работа
ОКС – общий канал сигнализации
ООД – оконечное оборудование данных
ОП – оконечный пункт
ОПК – оборонно-промышленный комплекс
ОР – опытный район
ОС – операционная система
ОУ – объект управления
ОЦК – основной цифровой канал
ОШ – общая шина
ПА – подвижный абонент
ПБД – протокольные блоки данных
ПД – передача данных
ПК – персональный компьютер
ПО – программное обеспечение
ПП – прикладные процессы
ПП – приемо-передатчик
ПСПС – пейджинговые системы подвижной связи
ПЦИ – плезиохронная цифровая иерархия
РВ – радиовещание
РИИ – российская информационная структура
РОС – решающая обратная связь
РОС-АП – решающая обратная связь с адресным переспросом
РОС-ОЖ – решающая обратная связь с ожиданием
РОС-ПП – решающая обратная связь с повторной передачей последовательности
РП – радиоприемник
РРВ – распространение радиоволн

РРЛ – радиорелейные линии
РРС – радиорелейные станции
РС – ретрансляционная станция
РСД – ретрансляционная станция доступа
РСОП – радиотелефонные системы общего пользования
РТС – региональная транспортная сеть
РЭС – радиоэлектронное средство
РЦ – региональный центр
САД – сеть абонентского доступа
САО – системное алгоритмическое обеспечение
САТ – стационарный абонентский терминал
САУ – служба административного управления сетью
СБ – служба безопасности
СБАД – сети беспроводного абонентского доступа
СБД – сервисные блоки данных
СГППСС – сеть глобальной персональной подвижной спутниковой связи
СЕ – сигнальная единица
СКД – сети коллективного доступа
СКС – структурированная кабельная сеть
СМО– сеть массового обслуживания
СОД – сеть обмена данными
СП – система передачи
СПВ – система персонального вызова
СПД – сеть передачи данных
СПДОП-КП – сеть передачи данных общего пользования с коммутацией пакетов
СПР – сеть подвижной радиосвязи
СПРВ – система персонального радиовызова
СР – стадия разработки
СРП – сборщик-разборщик пакетов
ССОП – сеть связи общего пользования
ССПС – сотовая система подвижной связи
ССС – система спутниковой связи
СТ – сквозной тракт
СТС – сельская телефонная сеть
СУ – система управления
СЦИ – синхронная цифровая иерархия
СЭ – стадия эксплуатации
СЭОУИ – сервисный элемент общей управляющей информации
СЭР – стадия эксплуатации и развития
СЭУА – сервисный элемент управления ассоциацией
СЭУО – сервисный элемент удаленных операций
ТВ – телевидение
ТВ ВЧ телевидение высокой четкости
ТГ – телеграфные каналы
ТГА – телеграфный аппарат
ТДС – технологическая диспетчерская связь
ТЗ – техническое задание
ТКС – телекоммуникационная сеть
ТО – терминальное оборудование
ТС – транспортная сеть
ТСПС – транкинговая система подвижной связи

ТУК – темп удвоения капитала
ТФ – телефонная связь
ТфОП – телефонная сеть общего пользования
ТЧ – тональная частота
УАТС – учрежденческая АТС
УД – узел доступа
УДС – управление доступом к среде
УЗО – устройство защиты от ошибок
УК – узел коммутации
УМСС – универсальная мобильная система связи
УМТС – универсальная мобильная телекоммуникационная система
УС – узел связи
У-ЦСИС – узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
ФБ – функциональный блок
ФИМ – фазово-импульсная модуляция
ФКС – федеральная комиссия по связи
ФМШПС – фазово-манипулированный широкополосный или шумоподобный сигнал
ФХ – функциональная характеристика
ЦАЛ – цифровая абонентская линия
ЦК – цифровой канал
ЦКК – центр коммутации каналов
ЦКП – центр коммутации пакетов
ЦКПС – центр коммутации пакетов и сообщений
ЦКС – центр коммутации сообщений
ЦС – центральная станция
ЦСИО – цифровые сети с интеграцией обслуживания
ЦСИС – цифровые сети с интеграцией служб
ЦСИУ – цифровые сети с интеграцией услуг
ЦСП – цифровые системы передачи
ЦСПАЛ – цифровые системы передачи для абонентских линий
ЧТП – частотно-территориальное планирование
ШВ – шкала времени
ШК – широкополосный канал
ШПС – широкополосный сигнал
ШСМ – широкополосные спутниковые мультисервисные (сети)
Ш-ЦСИО – широкополосная цифровая сеть интегрального обслуживания
Ш-ЦСИС – широкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
ЭВМ – электронно-вычислительная машина
ЭМВ – электромагнитные волны
ЭМВОС – эталонная модель взаимосвязи открытых систем
ЭМС – электромагнитная совместимость
ЭПУ – элемент прикладных услуг
ЭС – экспертная система
ЭТО – эксплуатационно-техническое обслуживание

Англоязычные

AAL – ATM adaptation Layer (уровень адаптации ATM)
ABR – Available Bit Rate (доступная скорость в битах)
AC – Access Control (управление доступом)

ACSE – Association Control Service Element (см. СЭУА)
ACTS – Advanced Communications Technologies services (передовые технологии услуги связи – Европейская исследовательская программа)
ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line (асимметричная цифровая абонентская линия)
ANSI – American national Standards Institute (Американский национальный институт стандартов)
APCO – Association of Public safety Communications Officials international (ассоциация официальных представителей служб связи органов общественной безопасности)
ARPA – Advanced Research Projects Agency (агентство перспективных научных исследований)
ATD – Asynchronous Time Division (асинхронное временное разделение)
ATM – Asynchronous Transfer mode (сеть асинхронной передачи данных)
BGP – Border Gateway Protocol (пограничный межсетевой протокол)
BIDS – Broadband Integrated Distributed Star (широкополосная интегрированная «звездообразная» сеть доступа)
B-ISDN – Broadband ISDN (см. Ш-ЦСИС),
BPL – Broadband over Power Line (широкополосный доступ по силовым линиям)
BPON – Broadband over a Passive Optical Network (широкополосные сети на базе пассивных оптических сетей)
BS – Base Station (см. БС)
CAP – Carrierless Amplitude and Phase modulation (амплитудно-фазовая модуляция без несущей)
CAS – Channel Associated Signaling (см. ВСК)
CASE – Computer Aidedsoftware Engineering (компьютерное автоматизированное проектирование программного обеспечения)
CBR – Constant Bit Rate (постоянная скорость в битах)
CD – Collision detection (обнаружение коллизий)
CCS – Common Channel Signaling (см. ОКС)
CDMA – Code Division Multiplexing Access (см. МДКР)
CEPTO – Conference of European Postal and Telecommunications Operators (Европейская конференция администраций почт и связи)
CIR – Committed Information Rate (гарантированная скорость передачи)
CLLM – Consolidated Link Layer Management (объединенный протокол управления каналом)
CM – Cycle Master (главная станция)
CMIP – протокол общей управляющей информации
CMISE – Common Manager Information Service Element (см. СЭОУИ)
CMTS – Cable ModemTermination System (терминальная система кабельных модемов)
CSMA/CD – carrier-sense-multiply-access with collision detection (см. КДОН/ОК)
CT – Cordless Telephony (беспроводная телефония)
CWDM – Coarse Walength Division Multiplexing (грубое спектральное мультиплексирование)
DA – Destination Address (адрес назначения)
DAVIC – Digital Audio/Visual Interface Council (совет по цифровым аудио/видео интерфейсам)
DCE – Data Channel Equipment (см. АКД)
DCT – Discrete Cosine Transform (дискретное косинусоидальное

преобразование)

DECT – Digital European Cordless Telephone (Европейский стандарт цифровой беспроводной телефонии)

DLCI – Data Link Connection Identifier (идентификатор виртуального канала данных)

DMT – Discrete Multi Tone (многочастотный способ модуляции)

DOCSIS – Data Over Cable Service Interface Specifications (спецификация на передачу данных через сеть кабельного телевидения)

DoD – Department of Defense (Министерство обороны США)

DSL – Digital Subscriber Loop или Line (см. ЦАЛ)

DSLAM – Digital Subscriber Loop Access Multiplexer (см. ЦСПАЛ)

DSP – Digital Signal Processor (специальные цифровые сигнальные процессоры)

DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum (см. ФМ ШПС)

DSU – Date Service Unit (см. УОД)

DTE – Data Terminal Equipment (см. ООД)

DVB – Digital Video Broadcasting (стандарт цифрового видеовещания)

EC – European Commission (Европейская комиссия)

EDGE – Enhanced Date Rates for GSM Evolution (технологии высокоскоростного радиодоступа)

ETSI – EuropeanTelecommunications Standards Institute (Европейский институт телекоммуникационных стандартов)

FC – Frame Control (управление кадром)

FCS – Frame Check Sequence (проверочная последовательность)

FCS – Fast Circuit Switching (быстрая коммутации каналов)

FDD – Frequency Division Duplex (частотное разделение каналов)

FDDI – Fiber Distributed Data Interface (оптоволоконный интерфейс распределения данных)

FDM – Frequency Division Multiplexing (метод частотного мультиплексирования)

FDMA – Frequency Division Multiple Access (см. МДЧР)

FEC – Forwarding Equivalence Class (класс эквивалентности трафика)

FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum (см. ППРЧ)

FPLMTS – Future Public Land Mobile Telecommunications Systems (перспективная сухопутная мобильная телекоммуникационная система общего пользования)

FPS – Fast Packet Switching (быстрая коммутация пакетов)

FR – Frame Relay (ретрансляция кадров)

FRAD – Frame Relay Access Device (устройство доступа к сети FR)

FTP – File Transfer Protocol (протокол передачи файлов)

FTTH – Fiber To The Home (оптическая система передачи до квартиры)

GMPCS – Global Mobile Personal Communications by Satellite (глобальная персональная система мобильной спутниковой связи)

GOSIP – Government Open System Interconnection Profile (правительственные профили)

GPRS – General Packed Radio Service (услуги пакетной передачи)

GSM – Group Special Mobile (рабочая группа для разработки единого европейского стандарта цифровой мобильной радиосети)

GUI – Graphic User Interface (графический интерфейс пользователя)

HDLC – High-level Data Link Control (высокоуровневый протокол управления звеном данных)

HDSL – High bit rate Digital Subscriber Line (высокоскоростная цифровая АЛ)
HFC – Hibrid Fiber-Coaxial (гибридная оптико-волоконная структура)
HSCSD – High Speed Circuit Switched Date (высокоскоростная передача данных с коммутацией каналов)
HTTP – Hyper Text Transport Protocol (протокол передачи гипертекстовой информации)
IAB – Internet Architecture Board (совет по архитектуре Интернет)
IANA – Internet Assigned Numbers Authority (агентство по выделению имен и уникальных параметров протоколов Internet)
ICMP – Internet Control Message Protocol (протокол обмена управляющими сообщениями)
ICP – Internet Content Provider (поставщик интернет-контента)
IDN – Integrated Digital Network (см. ИЦС)
IDN – International Data Numbers (международная система нумерации)
IETF – Internet Engineering Task Force (инженерная проблемная группа Интернет)
IFOS – Integrated Fiber-Optic Subscriber system (интегрированная оптоволоконная система абонентского доступа)
IGMP – Internet Group Management Protocol (межсетевой протокол управления группами)
IGRP – Interior Gateway Routing Protocol (протокол маршрутизации и внутренних шлюзов)
IMS – IP Multimedia Subsystem (подсистема среды IP-мультимедиа)
IMT-2000 – International Mobile Telecommunication-2000 (международные мобильные телекоммуникации 2000 – проект)
IN – Intelligent Network («интеллектуальная сеть»)
IP – Internet Protocol (межсетевой протокол)
IPX – Internet Protocol extended (расширенный Интернет-протокол)
IRTF – Internet Research Task Force (научно-исследовательская проблемная группа Интернет)

ISDN – Integrated Services Digital Network (см. ЦСИС).
ISO – International Standards Organization (см. МОС)
ISP – Internet Service Provider (оператор услуг Интернет или интернет-провайдер)
IST – Information Society Technologies (исследовательская программа Комиссии ЕС «Технологии информационного общества»)
ISU – Integrated Service Unit (специальное абонентское устройство)
ITU – International Telecommunication Union (см. МСЭ)
IXP – Internet exchange Points (точки обмена интернет-трафиком)
LAN – Local Area Network (локальные сети)
LANE – LAN Emulation (эмуляция локальной сети)
LAPB – Link Access Protocol, Balanced (процедура управления звеном данных)
LAPF – Link Access Protocol, Frame Relay (процедура управления звеном FR)
LCI – Local Channel Identifier (идентификатор логического канала)
LCN – Logical Channel Number (см. НЛК, НГЛК)
LDP – Label Distribution Protocol (протокол распределения меток)
LLC – Logical Link Control (управление логическим каналом)
LMDS – Local Multipoint Distribution Service (технология трансляции телевизионных программ)
LMI – Local Management Interface (интерфейс локального управления)
LPP – Lightweight presentation protocol (упрощенный протокол

представления)

LSP – Label Switching Path (путь, по которому проходит пакет в MPLS-сети)

LSR – Label Switching Router (маршрутизатор, коммутирующий по меткам)

MAC – Media Access Control (управление доступом к физической среде)

MAN – Metropolitan Area Network (городские сети)

MIB – Management Information Base (информационная база управления)

MII – Media Independent Interface (независимый от среды интерфейс)

MMDS – Multichannel Multipoint Distribution System (технология предоставления многоканальных многоточечных распределительных услуг)

MPEG – Motion Pictures Expert Group (группа разработки совместимых стандартов компрессии телесигналов)

MR FCS – Multirate FCS (многоскоростная быстрая коммутация каналов)

MPLS – Multi Protocol Label Switching (многопротокольная коммутация меток)

MPOA– Multi Protocol Over ATM (многопротокольная маршрутизация по ATM)

MRCS – Multirate Circuit Switching (многоскоростная коммутация каналов)

MRFCS – Multirate FCS (многоскоростная быстрая коммутация каналов)

MSC – Mobile Switches Center (мобильный центркоммутации)

MT – MobileTerminal (см. МС)

MVDS – Multipoint Video Distribution System (технология трансляции телевизионных программ)

NGN – Next Generation Network (сеть следующего поколения)

NGS – New Generation Services (услуга нового поколения)

NII – National Information Infrastructure (национальная информационная инфраструктура)

N-ISDN – Narrow-band ISDN (см. У-ЦСИС)

NMS – Network Management System / Service (сетевые системы (службы) управления)

NNI – Network Network Interface (интерфейс межсетевого взаимодействия)

NWK – Net WorK (сетевой уровень)

OSI – Open System Interconnection (см. ВОС)

OSPF – OpenShortestPathFirs (открытый протокол предпочтительного выбора кратчайшего пути)

PAD – Packet Assembler-Disassembler (см. СРП)

PAM–S – Pulse-amplitude modulation (см. АИМ)

PCD – Pulsecode modulation (см. ИКМ)

PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy (см. ПЦИ)

PDU – Protocol Data Unit (см. ПБД)

PHY – Physical Layer (протокол физического уровня)

PLP – Packet-Layer Protocol (протокол сетевого уровня)

PMA – Physical Media Access (доступ к физическому уровню)

PMA – Physical Medium Attachment (подуровень физического присоединения)

PMD – Physical Medium Dependent (подуровень зависимости от физической среды)

PON – Passive Optical Network (пассивная оптическая сеть)

POP – Point of Presence (точка присутствия)

PPM – Pulse-Position Modulation (см. ФИМ)

PPP – Point-to-Point Protocol (протокол «точка-точка»)

PSDN – (сети пакетной коммутации)

PSE – Packet Switching Exchange (см. ЦКП)

PVC – Permanent Virtual Circuit (постоянный виртуальный канал)

QAM – Quadrature Amplitude Modulation (см. КАМ)

QoS – Quality of Service (качество сервиса)
QPSK – Quadrature Phase Shift Keying (квадратурно-фазовая модуляция)
RFID – Radio Frequency Identification (радиочастотная идентификация)
RLL – Radio Local Loop (абонентский радиодоступ)
ROSE – Remote Operations Service Element (см. СЭУО)
RSVP – Resource reservation Protocol (протокол резервирования ресурсов)
RTP – Real-time Transport Protocol (протокол передачи данных в реальном времени)
SA – Source Address (адрес источника)
SARM – Set Asynchronous Response Mode (установка асинхронного режима ответа
SCCP – Signaling Connection Control Part (подсистема управления соединениями сигнализации)
SCP – Service Control Point (узел управления услугами)
SDH – Synchronous Digital Hierarchy (см. СЦИ)
SDMA – Space Division Multiple Access (см. МДПР)
SDSL – Symmetric Digital Subscriber Line (симметричная абонентская цифровая линия)
SG – Signaling Gateway (шлюз сигнализации)
SGSN – Serving GPRS Support Node (службы пакетной передачи данных сервисного узла)
SIM – Subscriber Identity Module (модуль идентификации абонента)
SLA – Service Level Agreement (соглашение об уровне обслуживания)
SNMP – Simple Network Management Protocol (простой протокол управления сетью)
SNRM – Set Normal Response Mode (установка нормального режима ответа)
SP – Switch Point (пункт сигнализации)
SQL – Structured Query Language (язык структурированных запросов)
SSP – Service Switching Point (узел коммутации услуг)
STB – Set-Top Box (специальная ТВ-приставка)
STM – Synchronous transport modul (синхронный транспортный модуль)
STP – Signaling Transfer Point (транзитный пункт сигнализации)
SU – Signal Unit (см.СЕ)
SVC – Switch Virtual Circuit (временной виртуальный канал)
TCP – Transmission Control Protocol (протокол управления передачей)
TDD – Time Division Duplex (временное разделение)
TDM – Time Division Multiplexing (мультиплексирование с временным разделением)
TDMA – Time Division Multiple Access (см. МДВР)
TE – Terminal Equipment (см. ТО)
TETRA – Trans-European Trunked Radio (стандарт трансевропейской транкинговой системы радиосвязи)
TMN – Telecommunication Management Network (сеть управления связью)
TPON – Telephony over a Passive Optical Network (телефония на базе пассивных оптических сетей)
UA – Unnumbered Acknowledgement (ненумерованное подтверждение)
UDP – User Datagram Protocol (дейтаграммный протокол пользователя)

UI – Unnumbered Information (управляющий кадр).
UMTS – Universal Mobile Telecommunication System (см. УМТС)
UNI – User Network Interface (интерфейс «пользователь-сеть»)
UTP – Unshielded Twisted Pair (кабель на основе неэкранированной витой пары)
UWB – UltraWideband (сверхширокополосные сети)
VBR – Variable Bit Rate (переменная скорость в битах)
VC – Virtual Channel (виртуальный канал)
VDSL – Very high data rate Digital Subscriber Line (высокоскоростная абонентская цифровая линия)
VoD – Video on Demand (видео по запросу)
VoDSL – Voice over DSL (передача речевых сигналов по цифровым линиям САД)
VoFR – Voice over Frame Relay (голос поверх Frame Relay)
VoIP – Voice over IP (голос поверх IP)
VP – Virtual Path (виртуальный путь)
VPN – Virtual Private Network (виртуальная частная сеть)
WAN – Wide Area Network (глобальные сети)
WAP – Wireless Application Protocol (протокол для беспроводных приложений)
WBC – Wide Band Channel (широкополосный канал)
WDM – Wavelength division Multiplexing (технология оптического мультиплексирования по длинам волн)
WLAN – Wireless Local Area Network (беспроводные локальные сети)
WLL – Loop (беспроводный абонентский доступ)
WMAN – Wireless Metropolitan Area Networks (беспроводные сети масштаба города)
WPAN – Wireless Personal Area Network (беспроводные сети для реализации концепции «интеллектуальный дом»)
WWW – World Wide Web (Глобальная гипертекстовая информационная система – всемирная паутина)
xDSL – разновидности DSL

Сведения об авторах и составителях

Станислав Павлович Воробьев – доктор технических наук, профессор, Лауреат Государственной премии СССР, Лауреат премии Правительства РФ. Ведущий научный сотрудник АО «НИИ «Рубин» (г. Санкт-Петербург). В 1965-1968 гг. принимал участие в настройке и опытной эксплуатации систем передачи данных на объектах ПВО страны. Руководитель и заместитель руководителя более 60-ти НИОКР, в том числе по созданию первых в стране интегрированных сетей передачи информации с коммутацией пакетов (Государственная премия СССР, 1987 г.) и систем массового информационного обслуживания на базе сетей кабельного телевидения (премия Правительства РФ, 2002 г.). В 1987 г. впервые продемонстрировал на экспериментальном районе интегральной цифровой сети с коммутацией пакетов одновременную передачу пакетизированной речи и пакетов данных в паузах речи.

Автор более 200 научных работ. Занесен в биографическую энциклопедию «Связь России», 2008 г.

Валерий Игоревич Курносов – доктор технических наук, профессор, заслуженный работник связи РФ. Заместитель генерального директора АО «НИИ «Рубин» (г. Санкт-Петербург) по научной работе. Председатель специализированного диссертационного совета, действительный член РАЕН. В 80-х годах принимал участие в разработке, производстве и эксплуатации систем военной связи. В 90-х годах – начальник кафедры телекоммуникационных систем Военной Академии связи. Профессор кафедры Санкт-Петербургского университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича.

Автор более 200 научных работ, в том числе 13-ти монографий.

Александр Евгеньевич Давыдов – доктор технических наук. Генеральный директор ФГУП АО «Воентелеком» (г. Москва). Руководитель проекта «Российский защищенный интернет», научный руководитель и главный конструктор ряда НИОКР с освоением в серийном производстве технических средств телекоммуникаций для силовых ведомств, руководитель проекта комплексного оснащения систем связи цифровым телекоммуникационным оборудованием.

Автор более 100 научных работ, в том числе 5-ти монографий.

Вячеслав Викторович Ефимов – кандидат технических наук, доцент. Советник генерального директора АО «НИИ «Масштаб» (г. Санкт-Петербург) по научной работе. Участвовал в разработках математического, программного и информационного обеспечения автоматизированных систем управления специального назначения. Научный руководитель и главный конструктор ряда НИОКР по созданию аппаратно-программных средств инфокоммуникационных систем для силовых ведомств.

Автор более 100 научных работ, в том числе 3-х монографий.

Г. П. Захаров – воин, ученый, организатор

5 февраля 2019 года исполнилось 105 лет со дня рождения замечательного человека, храброго воина, крупного ученого, талантливого организатора, генерала, Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора военных наук, профессора Григория Павловича Захарова.

Родился он в 1914 году в небольшом селе Боровское Кустанайской области Казахстана.

В семилетнюю школу крестьянской молодежи пошел в 1922 году сразу во 2-йкласс и закончил ее с отличием в 1928 году. В 1930 году Г. П. Захаров поступил в Свердловский техникум связи и окончил 4-летний курс за три года с дипломом 1-го разряда. Его оставляют в техникуме и здесь он в свои 18 лет начинает преподавательскую деятельность. Вскоре Г. П. Захаров становится заместителем директора этого техникума, а в 1934 году поступает во Всесоюзный заочный электротехнический институт связи. Закончить институт помешала война.

В 1941 году в звании младшего лейтенанта Г. П. Захаров призывают в действующую армию и с первого до последнего дня Великой Отечественной войны находится на ее фронтах. Он помощник, а затем начальник связи 170-й стрелковой дивизии, заместитель начальника связи 29-й общевойсковой армии, а последние два года войны – начальник связи легендарной 1-й танковой армии. Его боевые заслуги отмечены орденом Боевого Красного Знамени, двумя орденами Красной Звезды, двумя орденами Отечественной войны I-й степени, орденом Отечественной войны II-й степени, 17-ю медалями.

Была в этой военной жизни и своя романтика. В одной из танковых битв Григорий Павлович был сильно контужен и попал в медсанбат, где и встретил свою настоящую любовь на всю жизнь.

Она явилась как сказка,
Маленькая медсестра,
С крестиком на повязке,
Насмешлива и шустра.

Они и сейчас болеют
Первой весной на двоих.
Любовь до юбилеев
Ждет поэтов своих.

(*из стихотворения, посвященного Г. П. Захарову к его 70-летнему юбилею*)

Ольга Васильевна прошла с ним всю войну и более 50 лет была всегда рядом, обеспечивая генералу надежный тыл.

После войны Г. П. Захаров полностью посвятил себя научной деятельности. В 1947 году он окончил полный курс Военной академии связи с золотой медалью (за первые три курса экзамены сдал экстерном с зачетом ряда дисциплин заочного института связи), и, оставшись в Академии, до 1971 года вел интенсивную научно-исследовательскую и преподавательскую работу. До 1954 года Г. П. Захаров работал на кафедре организации связи в должности старшего преподавателя и заместителя начальника кафедры.

Вспоминая совместную работу с Г. П. Захаровым в то время, Лауреат Государственной премии, доктор военных наук, профессор Б. Я. Дудник отмечает его особую активность в совершенствовании курсов лекций, методик преподавания, учебников и учебных пособий, а также в исследовании опыта организации связи на фронтах Великой Отечественной войны и его внедрения в обучение слушателей и

практику войск. На основе проведенных исследований Г. П. Захаров в 1952 году подготовил и защитил кандидатскую диссертацию.

Но в полной мере творческий талант ученого и организаторские способности Григория Павловича раскрылись в период его работы начальником Военно-научной группы (ВНГ) академии. Эта группа была создана в 1954 году во исполнение приказа Министерства обороны СССР для разработки капитального труда «Проблемы связи в свете дальнейшего развития военного искусства». Аналогичные подразделения были созданы в 1957 году и в других военных академиях. Это были годы первой послевоенной революции в военном деле, обусловленные принятием на вооружение в США и СССР ядерного оружия. Сложилась ситуация, когда колоссальный опыт недавно окончившейся войны оказался недостаточным для обоснования путей решения возникших проблем организации связи и построения систем связи в условиях ядерной войны. Требовались количественные методы анализа и синтеза систем военной связи, а их не было, как не было и достаточной математической подготовки у специалистов ВНГ. Григорий Павлович организовал регулярные занятия для членов ВНГ по новейшим математическим методам исследований, а все «неостепененные» офицеры группы по его настоянию занялись разработкой диссертаций по тематике ВНГ, отдельные сотрудники были направлены на специальные циклы лекций.

Это был первый этап освоения методов математического моделирования таких сложных объектов, каковыми являются системы военной связи, который начался с математических методов обработки статистических данных о работе систем связи, методов расчета пропускной способности и потерь вызовов в сетях телефонной связи, оценки надежности направлений связи. Вскоре Григорий Павлович представил для обсуждения свои предложения о применении в войсках методов математической статистики количественных показателей качества функционирования связи. Это было непривычно для офицеров, недавно вернувшихся с войны, где ничего подобного не было, поэтому многие встретили эти новации «в штыки». Однако Начальник войск связи поддержал инициативу ВНГ, утвердил подготовленную группой инструкцию и подписал распоряжение войскам связи. Так одна из начальных практических инициатив Григория Павловича способствовала повышению качества военной связи, а поступающие в ВНГ статистические данные, особенно о работе связи на учениях войск, служили необходимыми исходными данными для исследований и разработок систем военной связи.

Начатое по инициативе Григория Павловича широкое внедрение в исследование систем военной связи математических методов было подлинной революцией в науке об организации военной связи. Разработанные им лично и под его руководством методы количественного анализа систем военной связи включались в учебники и курсы лекций, вооружая выпускников академии самыми передовыми идеями в области связи, которые затем распространялись в войсках, военных НИИ и предприятиях промышленности, куда в то время командировались многие офицеры.

В конце 50-х годов в Вооруженных силах началась «волна» автоматизации управления войсками. В 1959 году ВНГ была расширена для исследования этих проблем и Г. П. Захаров активно включился в новый круг задач. Он стал идеологом разработки первой в наших Вооруженных силах автоматизированной системы связи, предназначенной для обеспечения автоматизированного управления войсками фронта в наступательной операции с применением ядерного оружия.

В этот же период были подготовлены и опубликованы многочисленные научные труды Григория Павловича, среди которых докторская диссертация (1963), монографии по анализу систем связи, справочники, учебные пособия и множество статей. Большой вклад он внес и в разработку коллективного труда «Проблемы связи в свете современного военного искусства», ради которого создавались военно-научные группы. В частности, по важнейшей проблеме живучести военных систем связи Г. П. Захаровым и его группой был разработан принцип построения полевых систем связи объединений на основе сочетаний

линий прямой связи и сети связи общего пользования – известной «решетки», который с некоторым развитием применяется до настоящего времени.

В процессе всех этих исследований Г. П. Захаровым была создана ставшая позднее широко известной научная школа в области анализа, синтеза и математического моделирования сетей и систем связи. Разработанные научной школой методологические основы исследования систем связи оказали существенное влияние на дальнейшее развитие теории и практики военной связи.

В 1971 году после увольнения в запас генерал-майор Г. П. Захаров был принят на работу в ЛНПО «Красная Заря». Система, системный подход – эти термины используют сегодня даже высокие политические деятели, когда хотят сказать о комплексном, объемлющем все нюансы подходе к решению различных задач. Григорий Павлович в начале 70-х стал одним из основателей первого в объединении системного подразделения, которому впоследствии стали поручать разработку наиболее крупных и ответственных систем связи. Сам он был руководителем более 80-ти научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и одновременно заведовал кафедрой в Ленинградском электротехническом институте связи имени проф. М. А. Бонч-Бруевича.

Он одним из первых в стране понял перспективность метода коммутации пакетов для сетей связи и уже с 1972 года в своих лекциях, докладах на конференциях, в статьях убедительно показывал его достоинства. Во многом благодаря Г. П. Захарову разработчики ЛНПО «Красная Заря» уже в 1974 году взяли этот метод в основу построения разрабатываемых сетей передачи данных, идеология которых оказалась, как мы сегодня видим, близкой к принципам построения сети Интернет. Одна из таких сетей начале 80-х годов была внедрена в эксплуатацию, а работа удостоена Ленинской и Государственной премий.

Благодаря энергии и научному авторитету Григория Павловича в ЛНПО «Красная Заря» были созданы аспирантура и диссертационный Совет по защите докторских и кандидатских диссертаций, которые функционируют до сих пор. Многие десятки докторов и кандидатов технических наук, аттестованные этим Советом, эффективно трудятся в разных городах России. Сам Григорий Павлович был научным руководителем более двух десятков докторов наук и около 70-ти кандидатов наук. Я тоже с гордостью причисляю себя к его ученикам, т. к. под его руководством подготавливал и кандидатскую и докторскую диссертации.

Здесь в ЛНПО «Красная Заря» Г. П. Захаров стал основоположником научной школы в области методов построения и оптимизации сетей передачи данных с коммутацией пакетов и широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания. Из этой школы вышли известные ученые и руководители крупных разработок: Лауреат Ленинской премии, канд. техн. наук Ю. М. Баранов; Лауреат Государственной премии и премии Правительства РФ, докт.техн. наук, проф. С. П. Воробьев; Лауреат Ленинской премии, докт. техн. наук, проф. Е. Б. Давыдов; Лауреат Ленинской и Государственной премий,канд. техн. наук, проф. Ю. Г. Данилевский; Лауреат премии Правительства РФ, докт. техн. наук, проф. Н. И. Лычагин; Лауреат премии Правительства РФ, канд. техн. наук О. В. Махровский; Лауреат Государственной премии и премии Правительства РФ, докт. техн. наук, проф. В. И. Мирошников; Лауреат Ленинской премии, докт. техн. наук, проф. В. И. Петрович; Лауреат Государственной премии, канд. техн. наук Б. С. Плешко; Лауреат Государственной премии и премии Правительства РФ, докт. техн. наук, проф. В. С. Шибанов.

Характерной чертой этой школы была ее тесная связь с практикой, с разработкой и внедрением конкретных технических средств и систем в эксплуатацию. Все научные работы перечисленных выше ученых базировались на исследовании и анализе проведенных и проводимых ими собственных разработок, изобретений, полученных технических решений, в результате которых рождались новые идеи, концепции, методы анализа, оптимизации и моделирования систем, новые направления исследований. А всеми этими процессами очень тонко и грамотно руководил Григорий Павлович.

Огромный практический опыт, широчайшая эрудиция позволили ему для каждого находить нужный совет, подсказать новую идею. Григорий Павлович занимал скромную должность начальника отдела, на большее он не претендовал, но был единственным начальником отдела из 20-тысячного коллектива объединения, кому руководство предоставило отдельный кабинет. Многие начинающие ученые занимали более высокие должности, но всегда за советом к Григорию Павловичу приходили в его кабинет, где, кстати, проходили и заседания редакционной коллегии научно-технического журнала «Техника средств связи», главным редактором которого до конца своих дней был фактически Г. П. Захаров, хотя формально в соответствии с обычаями того времени на эту должность назначались руководители предприятия.

Многие помнят, какие шумные, интересные, часто очень эмоциональные были обсуждения статей на редколлегии, где после вопросов и ответов, выступлений рецензентов Григорий Павлович профессионально, критически и очень нелицеприятно подводил итоги обсуждения каждой статьи, не взирая на должности и звания авторов. Журнал рассылался во многие города СССР, где были институты и предприятия связного профиля, и пользовался огромной популярностью.

Рост авторитета ЛНПО «Красная Заря» в СССР в 70–80-е годы как крупнейшего системного разработчика технических средств и систем связи обязан, наряду с практическими достижениями объединения, и этому направлению деятельности Г. П. Захарова.

Идеи, предложения Григория Павловича по решению большого числа проблем, с которыми сталкивались инженеры и ученые в 70–80-х годах, отразились в его многочисленных докладах и выступлениях на школах, семинарах и конференциях разного уровня и ранга. По воспоминаниям профессоров О. Н. Ивановой и А. Д. Харкевича, Г. П. Захаров ежегодно выступал на майских Всесоюзных научных сессиях, посвященных Дню радио. Запомнился его доклад, содержащий глубокий анализ эволюции телефонной связи, на 36-й Всесоюзной научной сессии в 1981 году, где он до удивления правильно отразил пути развития телефонной техники на 2-3 пятилетних периода. Его прогнозы о важности изучения и разработок оптоэлектронных (фотонных) АТС, о развитии интегральных сетей связи на базе коммутационных систем с пакетной коммутацией хорошо совпадают с практикой наших дней.

На 47-й сессии в 1992 году Григорий Павлович доложил результаты своей большой работы по сравнению способов коммутации, режимов работы сети и методов переноса сообщений, а также по моделированию широкополосной сети интегрального обслуживания с целью выбора и обоснования пропускной способности каналов связи и производительности центров коммутации пакетов для топологии сети типа ЕАСС, охватывающей всю территорию России. Результатом этой работы явилось определение пропускной способности направлений связи и необходимой производительности центров быстрой коммутации пакетов.

Творческое наследиеГригория Павловича и его школы изучено пока еще совсем мало, а оно было бы очень полезно молодым людям, желающим послужить науке о современных инфокоммуникациях. Сегодня многие перспективные задачи, решаемые молодыми учеными в своих диссертациях, очень близки к задачам анализа, оптимизации и моделирования широкополосных сетей связи интегрального обслуживания (на современном языке – это инфокоммуникационные сети 4-го и 5-го классов), которые в свое время решал Г. П. Захаров и его ученики. Может быть, было бы правильным и стратегически эффективным начинать молодым людям вхождение в науку инфокоммуникаций с изучения этого наследия. Какую-то часть его мы постарались изложить в настоящей энциклопедии.

В личной жизни Григорий Павлович был скромен, непритязателен. У него не было ни дачи, ни машины. На работу он часто ходил пешком (около трех км). Гостеприимство его было известно многим. Главным же украшением дома была, конечно, Ольга Васильевна, прекрасная жизнерадостная женщина, жена и верный друг Григория

Павловича более 50-ти лет. Гордость отца – его сын Игорь – доктор наук, военный моряк, адмирал. И еще множество книг и чудесная фотогалерея собак разных пород. Техническую литературу (более 2000 книг) сын передал в библиотеку Военной академии связи.

Вот ситуация, когда Григорий Павлович пользовался своим генеральским званием. Когда надо было ехать в командировку, он звонил на вокзал и представлялся: «Говорит генерал Захаров. Мне нужен билет…». Сбоев никогда не было. В Москве Григорий Павлович всегда останавливался в скромной гостинице Советской армии, где его прекрасно знали и предоставляли одноместный номер. Иногда мы ездили вместе, и тогда я освобождался от необходимости доставать билет и обивать пороги гостиниц – диванчик в его номере был к моим услугам. И другие его сослуживцы-попутчики считали большой удачей ехать в командировку с Григорием Павловичем.

У него было много общественных нагрузок, некоторые очень ответственные: член Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Совете Министров СССР, член пленума координационного комитета по вычислительной технике при Президиуме АН СССР, член пленума Ленинградской организации общества «Знание», член Президиума Ленинградского областного правления научно-технического общества радиоэлектроники и связи им. А. С. Попова и еще с десяток других. Все это он мог выдержать только потому, что жизнь его была строго регламентирована, подчинена давно установленному порядку, в котором основное место занимала его работа. Научный подход просматривался во всем, в том числе в отношении сохранения бодрости, здоровья. Известно, например, что последствия контузии долго мешали ему и медицина была бессильна. Тогда он провел настоящую исследовательскую работу над собой, изучил множество медицинской литературы и поставил себе диагноз – как оказалось, правильный. Боли и припадки прекратились и больше не повторялись.

За свою трудовую жизнь Григорий Павлович провел в качестве руководителя или заместителя руководителя более 130-ти НИОКР, результаты которых были проанализированы, обобщены и опубликованы более чем в 370-ти печатных работах, 31-й монографии, 10-ти учебниках и учебных пособиях, 4-х авторских свидетельствах на изобретения.

Григорий Павлович работал до последнего дня, а те дни в 1993–1994 годах были очень трудными. Легко представить, какие чувства испытывал ветеран Отечественной войны, патриот своей страны, убежденный сторонник справедливого социального государства, видя развал СССР и всего того, что ему было дорого. Финансирование работ, которым посвятил свою жизнь Г. П. Захаров, практически прекратилось, наши институты тогда еле выживали.

6 января 1995 года Григорий Павлович пришел с работы домой и его разбил инсульт. Сопротивляться он уже не мог и, не дожив до 81 года меньше месяца, умер. Прощались с ним в Военной академии связи: огромное стечение его друзей, учеников, сослуживцев, каждые 10 минут смена караула, речи.

Похоронен Г. П. Захаров с воинскими почестями на Серафимовском кладбище Санкт-Петербурга.

Ольга Васильевна не прожила без него и двух месяцев.

При написании этой славной и немного грустной биографии, кроме памяти автора о совместной работе с Г. П. Захаровым в течение 24-х лет в ЛНПО «Красная Заря», использованы воспоминания его сослуживца проф. Б. Я. Дудника, а также сотрудников ИППИ РАН, профессоров О. Н. Ивановой и А. Д. Харкевича, опубликованные научно-техническом сборнике «Телекоммуникационные технологии», вып. 1, 1995 г., посвященном памяти Г. П. Захарова.

Большая благодарность ученице Г. П. Захарова канд. техн. наук А. Г. Расчесовой за попытку начать исследование наследия Григория Павловича и предоставленные материалы. Успеха ей в этом благородном деле.

Профессор С. П. Воробьев

Редакционная коллегия энциклопедического издания:
С. П. Воробьев, А. Н. Буренин, П. А. Будко, А. Е. Давыдов, Е. Б. Давыдов, В. В. Ефимов, И. А. Кулешов, В. И. Курносов, С. И. Макаренко, В. В. Масановец, С. П. Присяжнюк

Авторы и составители
первого тома энциклопедии:
Станислав Павлович Воробьев (ответственный редактор),
Александр Евгеньевич Давыдов,
Вячеслав Викторович Ефимов (ответственный секретарь),
Валерий Игоревич Курносов

Рецензенты первого тома энциклопедии:
доктор технических наук, профессор *Евгений Борисович Давыдов*
(АО «НИИ «Масштаб»),
доктор технических наук, профессор *Сергей Прокофьевич Присяжнюк*
(ЗАО «Институт телекоммуникаций»)

Инфокоммуникационные сети
Энциклопедия

Том 1
Инфокоммуникационные сети: классификация, структура, архитектура, жизненный цикл, технологии

Изд. 2-е, перераб и доп.

Техн. редактура 2-го издания:
В. В. Ефимов, С. И. Макаренко, В. М. Коровин

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел групп»
197372, Санкт-Петербург,
пр. Богатырский, дом 32, корп. 1 лит. А, пом. 6Н.
http://publishing.intelgr.com
Тел.: +7 (812) 945-50-63
E-mail: publishing@intelgr.com

ISBN 978-5-6042710-9-4

Гарнитура «TimesNewRoman». 46,25 п.л.
Тираж 600 экз. Подписано в печать 20.10.2019.

Материалы изданы в авторской редакции