

Современные Телекоммуникации. Технологии и экономика

Под общей редакцией С. А. Довгого

**Эко-Трендз
МОСКВА, 2003**



УДК 621.39:338.47
ББК 32.88

Авторы: В.Л. Банкет, О.В. Бондаренко, П.П. Воробиенко,
О.В. Гайдук, Н.В. Гончар, О.В. Гофайзен, С.А. Довгий,
О.В. Копейка, О.Л. Нечипорук, Л.А. Никитюк, А.Я. Савченко,
М.И. Струкало, Е.А. Танащук, Н.А. Чумак.

Современные телекоммуникации. Технологии и экономика. Под общей редакцией С.А. Довгого. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 320 с.: ил.

ISBN 5-88405-051-8

Впервые в одной книге освещены как единый комплекс все проблемы телекоммуникаций – от теоретических основ теории связи и распределения информации через технологии, оборудование, сети, экономику, управление к регулированию в этой сфере. Раскрыты перспективные принципы построения телекоммуникационных и информационных сетей, сетевых служб, телекоммуникационных технологий и оборудования, а также проблемы управления сетью. Рассмотрены современные телекоммуникационные системы (Интернет, ISDN, SDH, ATM, Frame Relay, xDSL и др.), а также системы вещания, спутниковой и мобильной связи.

Освещены теоретические основы построения телекоммуникационных сетей и систем цифровой передачи сигналов, распределения информации и оптимизации сетей.

Проанализированы экономические проблемы развития телекоммуникаций как большой системы, включая аспекты экономической деятельности: маркетинг, финансовый менеджмент, инвестиционную политику, принципы тарифообразования и т.д. Сформулированы современные подходы к управлению телекоммуникационными компаниями и регулированию в сфере телекоммуникаций.

Книга рассчитана на специалистов и научных работников, специализирующихся в сфере телекоммуникаций, студентов и аспирантов.

ББК 32.88

ISBN 5-88405-051-8

© Авторы, 2003

**Федеральная целевая программа «Культура России»
(подпрограмма «Поддержка полиграфии и книгоиздания России»)**

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
✓ Глава 1. СЕТИ, СЛУЖБЫ И УСЛУГИ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	12
1.1. Телекоммуникационные и информационные сети.....	12
1.2. Услуги информационной сети, службы и платформы предоставления услуг	15
✓ Глава 2. ТЕНДЕНЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СФЕРЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В МИРЕ	19
2.1. Анализ состояния и перспектив развития мирового рынка телекоммуникаций.....	19
2.2. Стратегия развития телекоммуникационных компаний.....	28
Глава 3. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ КОМПАНИЯМИ	32
3.1. Демонополизация телекоммуникационного рынка: закономерности и особенности.....	32
3.2. Реформа организационно-экономического механизма функционирования телекоммуникационных компаний	34
3.3. Корпоративное управление в телекоммуникационных компаниях.....	37
3.4. Закономерности и особенности построения организационных структур управления телекоммуникационными компаниями	41
3.5. Управление финансами и инвестиционная политика телекоммуникационных компаний	52
Глава 4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЫНКОВ	56
4.1. Роль и задачи регулирования телекоммуникаций в условиях рынка	56
4.2. Регуляторный процесс. Принципы эффективного регулирования	59
✓ Глава 5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ.....	63
5.1. Понятие архитектуры сети.....	63
5.2. Топология сети	63
5.3. Организационная структура сети	65
5.3.1. Элементы сети, их назначение и характеристики	66
5.3.2. Структурные компоненты сети	67
5.4. Функциональная модель сети	69
5.5. Структура сетевого программного обеспечения	71
5.6. Протокольная модель сети	72

Глава 6. ЦИФРОВЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	74
6.1. Основы технологий коммутации каналов и пакетов.....	74
6.1.1. Основные понятия и определения.....	74
6.1.2. Пространственная коммутация цифровых каналов	76
6.1.3. Временная коммутация цифровых каналов	77
6.1.4. Пространственно-временная коммутация цифровых каналов.....	79
6.1.5. Принципы пакетной коммутации.....	80
6.1.6. Синхронные цифровые коммутационные поля	83
6.2. Технология цифровых телефонных сетей и узкополосная ISDN	85
6.2.1. Состояние и проблемы развития телефонных сетей.....	85
6.2.2. Основные принципы реконструкции и развития ТфОП.....	86
6.2.3. Технические требования к цифровым телефонным сетям	88
6.2.4. Узкополосная N-ISDN.....	93
6.3. Технологии локальных вычислительных сетей.....	103
6.3.1. Стандартизация локальных вычислительных сетей.....	103
6.3.2. Архитектура ЛВС	104
6.3.3. Сеть Ethernet	105
6.3.4. Сети с маркерным доступом.....	112
6.4. Оборудование локальных вычислительных сетей	116
6.4.1. Повторители и концентраторы.....	116
6.4.2. Мосты и коммутаторы.....	116
6.4.3. Маршрутизаторы	119
6.5. Технология IP сетей.....	121
6.5.1. Архитектура протоколов Интернета.....	121
6.5.2. Протокол сетевого уровня	124
6.5.3. Протоколы транспортного уровня	126
6.5.4. Маршрутизация в IP сетях	129
6.6. Технология Frame Relay	131
6.6.1. Архитектура и логические характеристики сети.....	131
6.6.2. Процедурные характеристики сети FR.....	134
6.7. Технология ATM и широкополосная ISDN	138
6.7.1. Принцип асинхронного переноса информации	138
6.7.2. Службы B-ISDN	139
6.7.3. Параметры нагрузки B-ISDN.....	141
6.7.4. Требования служб B-ISDN к семантической и временной прозрачности сети ATM.....	141
6.7.5. Классы служб	143
6.7.6. Особенности сетей с услугами B-ISDN	143
6.7.7. Протокольная модель B-ISDN	145
6.7.8. Физический уровень ATM	147
6.7.9. Уровень ATM	150
6.7.10. Уровень адаптации ATM	154
6.7.11. Плоскость пользователя.....	157
6.7.12. Плоскость управления.....	159
6.7.13. Плоскость менеджмента.....	163
6.7.14. Управление ресурсами	164

6.7.15. Общие принципы создания сети АТМ	168
6.8. Коммутационное оборудование	169
6.8.1. Цифровые системы коммутации	169
6.8.2. Коммутаторы АТМ	171
Глава 7. ЛИНИИ СВЯЗИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ	177
7.1. Технологии волоконно-оптических линий связи	177
7.1.1. Конструкция и области применения оптических волокон	177
7.1.2. Оптические параметры оптических волокон	181
7.1.3. Параметры передачи оптических волокон	182
7.1.4. Классификация и основные конструкции оптических кабелей	185
7.2. Системы передачи	186
7.3. Технологии абонентского доступа	192
Глава 8. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ РАДИОТЕХНОЛОГИИ	200
8.1. Спутниковые и радиорелейные системы передачи	200
8.1.1. Радиорелейные линии	201
8.1.2. Спутниковые системы связи и вещания	202
8.2. Системы и сети мобильной связи	207
8.2.1. Сотовая подвижная связь	208
8.2.2. Транкинговые системы и сети	216
8.2.3. Глобальные системы мобильной спутниковой связи	218
Глава 9. СИСТЕМЫ ВЕЩАНИЯ	220
9.1. Технологии, системы и службы вещания	220
9.1.1. Прогресс технологий в вещательных службах	220
9.1.2. Определение служб вещания и направления их стандартизации	220
9.1.3. Функции вещательной службы	222
9.1.4. Классификация систем вещания	222
9.2. Вещательные тракты и оборудование	227
9.2.1. Общая структура вещательного тракта	227
9.2.2. Скорости цифрового потока сигналов и сред передачи/хранения	228
9.2.3. Сжатие аудиовизуальной информации	228
9.3. Распределительные системы	236
9.3.1. Общие положения	236
9.3.2. Международная стандартизация систем вещания	238
9.3.3. Наземные (эфирные) распределительные системы	239
9.3.4. Спутниковые распределительные системы	241
9.3.5. Кабельные распределительные системы	243
9.3.6. Многоточечные микроволновые распределительные системы	247
9.3.7. Сотовые микроволновые распределительные системы LMDS и MVDS	248
9.3.8. Микроволновая интегрированная телерадиоинформационная система распределения информации (МИТРИС)	248

Глава 10. УПРАВЛЕНИЕ СЕТЬЮ, СИГНАЛИЗАЦИЯ, СИНХРОНИЗАЦИЯ.....	250
10.1. Система управления сетью. Основные положения концепции TMN.....	250
10.2. Сигнализация в сетях связи	254
10.2.1. Сигнализация в телефонных сетях общего пользования.....	254
10.2.2. Сигнализация в сетях ISDN	260
10.2.3. Сигнализация в сетях подвижной связи	262
10.2.4. Сигнализация в корпоративных сетях	266
10.2.5. Сигнализация в пакетных сетях	266
10.2.6. Сеть общеканальной сигнализации	267
10.3. Синхронизация сети	268
10.3.1. Общие положения.....	268
10.3.2. Синхронизация цифровых сетей	269
10.3.3. Основные требования к системам синхронизации ЦСК	269
 ПРИЛОЖЕНИЯ	 272
Приложение А. Цифровые методы передачи информации в телекоммуникационных системах.....	 272
Приложение Б. Теория распределения информации.....	279
Б.1. Потоки вызовов и нагрузка.....	279
Б.2. Характеристики качества обслуживания	281
Б.3. Методы расчета пропускной способности.....	283
Приложение В. Синтез и оптимизация телекоммуникационных сетей	285
В.1. Общее понятие о задачах синтеза и анализа сетей связи.....	285
В.2. Модельное представление сети связи как объекта синтеза и анализа.....	287
В.3. Элементы теории оптимизации на графах и сетях	288
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	 291
 Глоссарий	 293
 Список сокращений.....	 301
 Литература.....	 313

ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия характеризуются стремительным развитием телекоммуникаций, в значительной степени основанном на достижениях микроэлектроники и материаловедения, позволивших резко повысить как эффективность транспортирования, распределения, обработки, хранения информации, так и пропускную способность систем и сред передачи. Главная черта современных телекоммуникаций – передача и обработка сигналов в цифровом виде, теоретической основой которых является теорема Котельникова (Шеннона) о возможности эквивалентной замены аналогового сигнала дискретным, а значит и цифровым. Цифровизация дала возможность внедрить научные идеи, часто сформулированные еще до появления возможности их реализации, и в результате позволила строить экономически эффективные цифровые системы связи с расширенным, в сравнении с аналоговыми, спектром услуг.

В телекоммуникационных сетях используются разные методы коммутации, выбор которых обусловлен требованиями к качеству связи. При передаче интерактивной речи требуется минимальная временная задержка сигналов (иначе затруднительно вести диалог), а отдельные ошибки в сигналах малокритичны. Поэтому в телефонных сетях используют коммутацию каналов без сложных механизмов защиты от ошибок. При этом задержка сигнала определяется только скоростью распространения электромагнитных колебаний. Передача данных (ПД), наоборот, высокочувствительна к ошибкам и намного меньше – к задержкам. Поэтому в сетях ПД используют коммутацию пакетов и относительно сложные, но эффективные механизмы защиты от ошибок.

Противоречивые требования к передаче речи, подвижных изображений и данных – одна из причин существования различных сетей – телефонных, ПД и других, что экономически неэффективно. С началом цифровизации возникла и была воплощена в жизнь идея построения единой интегральной сети для всех видов передаваемой информации. Еще в 70-х годах компания Bellcore разработала концепцию построения узкополосной цифровой сети с интеграцией служб¹ (Narrowband Integrated Services Digital Network, N-ISDN) на базе телефонной сети общего пользования. Технология N-ISDN в 1984 г. была в основном стандартизована Международным консультативным комитетом по телефонии и телеграфии, называемым сейчас Международным союзом электросвязи (МСЭ International Telecommunication Union, ITU). Большинству пользователей ISDN предоставляется так называемый основной доступ (Basic Rate Access, BRA) к интегральной сети, т.е. два цифровых канала для передачи полезной информации (речь, данные, изображения, в том числе подвижные) со скоростью 64 кбит/с (каналы В) и один служебный канал 16 кбит/с (канал D) для абонентской сигнализации². Есть возможность доступа на первичной скорости 2048 кбит/с (Primary Rate Access, PRA), в котором пользователю предоставляются 30 каналов В³ и канал D со скоростью 64 кбит/с. Позже была разработана и реализована концепция широкополосной интегральной сети (Broadband ISDN, B-ISDN), предусматривающей предоставление пользователю цифровых потоков со скоростями 155 или 622 Мбит/с.

В области телефонной связи значительным достижением стало создание цифровых систем коммутации (ЦСК) и постепенная замена ими электромеханических аналоговых декадношаговых, координатных и квазиэлектронных АТС. Эта замена позволяет повысить качество и расширить спектр телефонных услуг, а также реализовать возможности и услуги N-ISDN

¹ Используют также термин «с интеграцией обслуживания».

² Это записывается как 2В+D.

³ Они могут также группироваться в каналы H_0 и H_1 со скоростью передачи 384 и 1920 кбит/с соответственно. В США предусмотрено 24 канала В.

(в некоторых ЦСК и В-ISDN) с одновременным повышением надежности и экономической эффективности сети. Современные ЦСК предусматривают коммутацию каналов для организации телефонной связи и услуг N-ISDN и коммутацию пакетов, позволяющую предоставлять пользователям широкополосные нетелефонные услуги, в том числе услуги В-ISDN.

Технология В-ISDN неразрывно связана с технологией асинхронного режима переноса (Asynchronous Transfer Mode, ATM), сущность которого в транспортировании любых видов информации в пакетах (ячейках) фиксированной длины (53 байта, включая пять байтов заголовка), объединяемых в едином цифровом тракте. Достоинства ATM:

- динамическое выделение полосы пропускания по запросу пользователя и, как следствие, повышение эффективности использования сетевых ресурсов;
- гибкая адаптируемость сети к изменениям требований к объему и скорости передачи информации и качеству обслуживания, позволяющая без проблем вводить новые услуги, в том числе с неизвестными пока характеристиками;
- высокая пропускная способность сети за счет предварительного виртуального соединения и минимизации времени обработки ячеек в узлах.

Параллельно с ATM развивалась технология ретрансляции кадров (Frame Relay, FR), созданная лабораторией Bell Labs компании AT&T. В 1988 г. протокол Frame Relay был представлен в виде Рекомендации ITU-T I.122. Вначале технология FR предусматривалась для высокоскоростной, по сравнению с традиционным для сетей ПД протоколом X.25, передачи данных в пакетах (кадрах) переменной длины (до 4096 байт). Однако позже было создано оборудование доступа к сети FR (Frame Relay Access Device, FRAD), позволяющее передавать речь в коротких пакетах, имеющих наивысший приоритет. Технология FR в некоторых случаях конкурирует с ATM, поскольку является более дешевой.

Технологии ISDN, ATM, FR дают возможность строить мультисервисную платформу интегрированной сети.

С появлением компьютеров возникла необходимость их объединения в вычислительные системы, а затем в компьютерные сети с целью коллективного использования информационных и вычислительных ресурсов. Таким образом, компьютеры стали терминалами сетей ПД. Многие корпоративные пользователи начали использовать локальные вычислительные сети (Local Area Network, LAN), построенные по стандартам IEEE 802.X¹. Для них требовались все большие производительности и размеры – в основном вследствие непрерывного совершенствования компьютеров и программного обеспечения, лавиноподобного роста числа прикладных программ, повышения эффективности производства при информатизации процессов управления. Для укрупнения LAN использовались повторители, концентраторы и мосты, но радикальное решение проблемы построения компьютерной сети любого размера появилось с разработкой маршрутизаторов и коммутаторов. Для стандартизации и успешного функционирования компьютерных сетей была создана иерархия протоколов взаимодействия открытых систем. Наиболее распространенным в мире стал стек протоколов TCP/IP, являющийся основой технологии Интернета. На его базе построена глобальная компьютерная сеть Интернет и множество корпоративных сетей. Этот стек протоколов первоначально был разработан для сети ARPANET (Advanced Research Project Agency Network) по инициативе Министерства обороны США. Разработка первого набора стандартов стека завершена в 1970 г., а в 80-х годах протоколы TCP/IP стали составной частью операционной системы UNIX v4.2². Сейчас технология Интернет стала мультисервисной, обеспечивающей передачу не только данных, но и другой информации, в частности речи (IP-телефония).

¹ Наиболее распространены сети типа Ethernet, Token Ring, FDDI, Fast и Gigabit Ethernet.

² Переход сети Интернет на протокол TCP/IP был осуществлен 1 января 1983 г. – *Прим. ред.*

Указанные телекоммуникационные технологии в своем развитии, с одной стороны, конкурируют, а с другой – взаимодействуют друг с другом, что дает возможность более полно использовать их преимущества.

Все телекоммуникационные технологии нуждаются в скоростных цифровых каналах для передачи все возрастающих объемов информации. В разработанной более сорока лет назад так называемой плезихронной цифровой иерархии (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH) систем передачи (системы ИКМ-30, ИКМ-120 и т.д.) весьма сложно организовать широкополосные каналы и выделять часть цифрового потока в промежуточных пунктах тракта передачи. Эти недостатки отсутствуют в системах передачи синхронной цифровой иерархии (Synchronous Digital Hierarchy, SDH). Технология SDH, принятая МСЭ в 1988 г., предусматривает перенос любых по скорости и структуре цифровых потоков в специальных кадрах, так называемых синхронных транспортных модулях (Synchronous Transport Module, STM) следующих уровней иерархии: STM0, STM1, STM4, STM16, STM64 и STM256 (соответственно со скоростями 51,84; 155,52; 622,08; 2488,32 и т. д. Мбит/с)¹.

Технология SDH требует более качественной, чем PDH, среды передачи, предпочтительно на основе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Преимущества ВОЛС – в малых затухании и дисперсии, позволяющих иметь длинные участки регенерации, в высокой помехоустойчивости и широкой полосе пропускания, позволяющих передавать информацию с большой скоростью. Качественные характеристики оптоволоконка постоянно улучшаются, что ведет к увеличению его пропускной способности и длины участка регенерации. Для повышения пропускной способности разрабатываются одномодовые волокна со сложным профилем показателя преломления вдоль поперечного разреза и внедряется спектральное уплотнение (мультиплексирование с разделением по длине волны) (Wavelength Division Multiplexing, WDM).

Новые телекоммуникационные технологии предлагают абонентам широкополосные услуги, но на участке абонентского доступа (так называемой «последней миле») традиционно используют медные кабели с относительно низкой пропускной способностью. Для ее повышения разработано семейство технологий цифровых абонентских линий (Digital Subscriber Line, xDSL)², позволяющее подключать симметричные и асимметричные (по скорости передачи) абонентские терминалы (от 64 кбит/с до нескольких Мбит/с).

Быстро прогрессируют и все шире распространяются радиотехнологии, одновременно повышается эффективность использования радиочастотного ресурса. Радиотехнологии, наряду с технологиями xDSL, решают проблемы «последней мили» (малоканальные радиорелейные системы, системы беспроводного доступа CDMA, WLL, DECT и др.). Радиорелейные системы передачи все меньше зависят от атмосферных условий и часто используются для образования альтернативной среды передачи с целью повышения живучести и пропускной способности сети. Возрастает и использование спутниковых линий связи, в первую очередь для образования магистральных участков транспортной сети, трансляции программ телевидения и организации мобильной связи. Особенно интенсивно развивается мобильная связь. Начинается переход к цифровым системам сотовой связи третьего поколения, внедряются все новые услуги, в частности, доступа к Интернету, передачи видеoinформации и т.п. Вскоре мобильных абонентов в мире станет заметно больше, чем фиксированных.

Происходят важные изменения технологий вещания. Пользователям доступны услуги стереовещания, телевидения высокой четкости, вещания данных, мультимедийного и интерактивного вещания.

¹ В США разработана подобная технология SONET для использования в волоконно-оптических сетях.

² x обозначает вариант технологии, например, ADSL (Asymmetric DSL) – асимметричная (по скорости передачи) цифровая абонентская линия

Конечная цель эволюционного процесса развития телекоммуникаций – создание Глобальной информационной инфраструктуры (Global Information Infrastructure, GII), предоставляющей пользователям набор услуг, обеспечивающих открытое множество приложений и охватывающих все виды информации и возможность ее получения в любом месте, в любое время, по приемлемой цене и с приемлемым качеством. Созданию GII способствует конвергенция (взаимопроникновение) технологий, используемых в сферах телекоммуникаций, компьютеров и потребительской электроники. На Правительственной конференции стран Большой семерки, проводившейся ЕЭС в феврале 1995 г., приняты основополагающие принципы, на которых должно базироваться развитие GII.

Технический прогресс совпал с кардинальным изменением рыночных отношений в области телекоммуникаций. Если еще 10 лет назад в подавляющем большинстве стран рынок услуг связи был монопольным, действовал фактически один оператор с государственной формой собственности, то сегодня все страны Европы и многие страны других континентов или демонополизировали сферу телекоммуникаций путем приватизации национального оператора и либерализации рынка, или находятся на пути к этому.

Благодаря успешно проведенной демонополизации сферы телекоммуникаций таких стран, как Великобритания, Германия, Франция, Япония, стало очевидным, что этот процесс приводит к значительному повышению эффективности отрасли. Главным фактором при этом выступает внедрение важнейшего рыночного стимула – свободной конкуренции. Демонополизация в корне изменила политические, экономические, организационные и технико-технологические аспекты деятельности как правительств, так и телекоммуникационных компаний и операторов.

Международные организации приложили немало усилий, чтобы приватизация национальных операторов и либерализация рынка были безболезненными. Ими разработаны и активно используются рекомендации по проведению приватизации, созданию регуляторных органов, формированию тарифной и конкурентной политики и многое другое. Этот опыт безусловно является полезным как для стран, прошедших демонополизацию, так и для тех, кто только становится на этот путь.

Очевидно, что революционные технологические и экономические изменения в сфере телекоммуникаций требуют от специалистов разнообразных современных знаний. Вполне естественно, что произошел и информационный взрыв – появилось огромное количество литературы по разным направлениям. Общий объем только одних стандартов и рекомендаций международных организаций составляет десятки тысяч страниц. Сориентироваться в море информации непросто. Поэтому возникла потребность в книге, которая системно и кратко изложила бы технические, экономические, правовые и управленческие аспекты телекоммуникаций. Именно такова цель предлагаемой книги, и авторы надеются, что она будет востребована.

Книга условно делится на четыре части. В первой рассмотрены основные принципы построения телекоммуникационных и информационных сетей, сетевые службы, телекоммуникационные технологии и оборудование, управление сетью (главы 1, 5–10). Значительное внимание уделено терминам и определениям, поскольку они служат основой для изучения любого материала и для взаимопонимания специалистов. Кратко изложены основные аспекты технологий, построения и функционирования оборудования и сетей.

Вторая часть посвящена рассмотрению вопросов экономического развития сферы телекоммуникаций. В экономической науке и практике принято разделять процессы на микро- и макроуровни. При написании этой части авторы ставили задачу оценки макропроцессов, происходящих в мировых телекоммуникациях. Такая оценка необходима для выявления причин возникшего кризиса, анализа развития сферы телекоммуникаций с точки зрения предоставляемых ею услуг. Экономика не такая строгая наука, как математика, вследствие чего

многие известные на сегодня понятия и определения имеют множество трактовок и неоднозначны в подходах к их исследованию. Применительно к термину «сфера телекоммуникаций» наблюдается такая же ситуация. Например, можно выделить следующие определения:

- а) «сфера телекоммуникаций» – это рынок производителей услуг + рынок производителей оборудования и технологий + рынок потребителей услуг + научные организации + регуляторные органы + проч.;
- б) «сфера телекоммуникаций» в условиях глобализации – это рынок видов услуг, удовлетворяющих любые потребности потребителей в любой точке земного шара (использовано при написании 2-й главы);
- с) «сфера телекоммуникаций» = а + б.

Причем одно определение не противоречит другому, а каждое из них может рассматриваться под тем или иным углом. На наш взгляд, это не содержит противоречий, скорее позволяет расширить для читателя предметную область, не ограничивая его и не навязывая ему какого-либо одного подхода.

В третьей части изложены современные подходы к управлению телекоммуникационными операторами и к регулированию в сфере телекоммуникаций. В ее основу положены исследования динамики развития организационных структур ведущих телекоммуникационных гигантов, адаптирующихся к изменчивому рынку. Особое место отведено регулированию, возникновение которого тесно связано с монополизацией сферы телекоммуникаций. Внедрение регуляторных принципов в систему организации работы телекоммуникаций является первоочередной задачей, целью которой является достижение справедливости, открытости и эффективности развития рынка (главы 3 и 4).

В последней, четвертой части, освещены теоретические основы построения телекоммуникационных сетей и систем, а именно – теории передачи сигналов, распределения информации и оптимизации сетей (приложения А, Б, В).

Таким образом, в книге дана информация, достаточная, чтобы у читателя сложилась целостная система знаний – от теоретических основ через технологии, оборудование, сети, экономическую, производственную и управленческую структуры операторов к регулированию в сфере телекоммуникаций.

Для более детального изучения изложенных в книге проблем можно обратиться к литературе, которая приведена в конце книги.

Авторский коллектив благодарит своих коллег д.т.н., проф. Э.А. Сукачева, к.т.н., проф. В.А. Брескина и к.воен.н. С.И. Апасова, принявших участие в работе над книгой.

Книга явилась результатом плодотворного сотрудничества ученых Одесской национальной академии связи им. А.С. Попова и ведущих специалистов ОАО «Укртелеком» и Госкомсвязи и информатизации Украины.

Книга рассчитана в первую очередь на специалистов, работающих в сфере телекоммуникаций. Она будет полезной студентам, обучающимся по этому направлению, а также широкому кругу читателей, которые хотели бы ознакомиться с современными телекоммуникациями.

ГЛАВА 1

СЕТИ, СЛУЖБЫ И УСЛУГИ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Телекоммуникационные и информационные сети

В последние десятилетия сети и системы связи стали важнейшими компонентами информационной инфраструктуры общества, произошла интеграция средств связи и вычислительной техники, постепенно стираются границы между локальными и глобальными сетями, и происходит конвергенция сетей, предназначенных для передачи разных видов информации [1]. Эти процессы породили понятия *телекоммуникационных* и *информационных* сетей.

Сектор стандартизации Международного союза электросвязи (ITU-T) определяет понятие «*телекоммуникация*» (telecommunication) как совокупность средств, обеспечивающих перенос информации, представленной в требуемой форме, на значительное расстояние посредством распространения сигналов в одной из сред (меди, оптическом волокне, эфире) или в совокупности сред. К указанным средствам, определяемым общим понятием «*средства телекоммуникаций*», относятся физические линии связи, системы передачи информации, системы распределения информации, устанавливаемые в узлах, где сходятся несколько линий связи, и прочее сетевое оборудование. Совокупность средств телекоммуникаций, обеспечивающих взаимодействие множества удаленных объектов, образуют *телекоммуникационную сеть* (telecommunication network). Удаленными объектами при этом могут быть как конечные системы сети, так и отдельные локальные и территориальные сети.

Сочетание методов передачи, мультиплексирования и коммутации, с помощью которых в телекоммуникационной сети обеспечивается транспортировка информации от источника до получателя, определяется понятием «*режим переноса*» (transfer mode). В зависимости от способа реализации режим переноса информации может быть синхронным либо асинхронным. *Синхронный режим переноса* (synchronous transfer mode) базируется на синхронном временном мультиплексировании и временном разделении каналов при транспортировке информации от одного узла коммутации к другому. При этом обеспечивается общая синхронизация всего тракта передачи от начала до конца. При *асинхронном режиме переноса* (asynchronous transfer mode) достаточно обеспечить синхронную передачу лишь между смежными пунктами сети, непосредственно соединенными линиями связи. В транзитном пункте блоки информации хранятся некоторое время в запоминающем устройстве, а затем передаются в следующий пункт сети, причем скорости во входящем и исходящем каналах могут не совпадать.

Особенности реализации того или иного режима переноса информации определяются понятием *телекоммуникационной технологии*. Используемая технология является определяющим фактором при оценке возможности использования телекоммуникационной сети для организации современной информационной сети. Телекоммуникационная сеть является транспортной

системой информационной сети, в которой информационные процессы, выполняемые в окончательных системах, порождают потоки перемещаемой информации.

Телекоммуникационные сети принято оценивать рядом показателей, отражающих возможность и эффективность транспортировки информации.

Для передачи информации требуется работоспособность телекоммуникационной сети во времени, т. е. выполнение заданных функций в установленном объеме на требуемом уровне качества в течение определенного периода эксплуатации сети и в произвольный момент времени. Работоспособность сети характеризуется надежностью и живучестью.

Надежность сети характеризует ее свойство обеспечивать связь, сохраняя во времени значения установленных показателей качества в заданных условиях эксплуатации. Она отражает влияние на работоспособность сети главным образом внутренних факторов – случайных отказов технических средств, вызываемых процессами старения, дефектами изготовления или ошибками обслуживающего персонала. Показателями надежности являются, например, отношение времени работоспособности сети к общему времени ее эксплуатации, вероятность безотказной связи и т.д.

Живучесть сети связи характеризует ее способность сохранять полную или частичную работоспособность при действии причин, кроющихся за пределами сети и приводящих к разрушениям или значительным повреждениям некоторой части ее элементов (пунктов и линий связи). Подобные причины можно разделить на стихийные и преднамеренные. К стихийным факторам относятся землетрясения, оползни, разливы рек и т.п., а к преднамеренным – ракетно-ядерные удары противника, диверсионные действия и др. Показателями живучести могут быть: вероятность того, что между любой заданной парой пунктов сети можно передать ограниченный объем информации после воздействия поражающих факторов; минимальное количество пунктов и/или линий сети, выход из строя которых приводит к несвязности сети относительно произвольной пары пунктов; среднее число пунктов, остающихся связными при одновременном повреждении нескольких линий связи, и др.

По экономическим соображениям сети не рассчитываются на безотказное во всех случаях обслуживание нагрузки, создаваемой окончательными системами. Величина реализованной нагрузки определяется пропускной способностью сети связи. Как правило, пропускную способность можно оценить количественно. Например, можно оценить величину максимального потока информации, который можно пропустить между некоторой парой пунктов (источник-приемник), или определить пропускную способность сечения сети, являющегося самым узким местом при разделении сети между источником и приемником на две части.

Пропускной способностью называют: а) максимальную интенсивность нагрузки, которая может быть обслужена с заданным качеством обслуживания вызовов; б) максимально допустимую скорость передачи информации, бит/с, при заданном качестве передачи (подробнее см. Приложение В). Качество обслуживания косвенно характеризуется эксплуатационными характеристиками сети (скоростью передачи данных, вероятностью ошибок и т.п.) и непосредственно показателями удобства пользования услугами, целостностью услуг (обычно оцениваемых в баллах) и др.

Телекоммуникационная сеть *рентабельна*, если затраты на ее организацию и обеспечение работоспособности окупаются доходом от предоставления услуг пользователям. Основной экономической характеристикой сети связи являются *приведенные затраты*, которые определяются стоимостью сети, затратами на ее эксплуатацию и управление.

Понятие *«информационная сеть»* включает все многообразие информационных процессов, выполняемых в окончательных системах и взаимодействующих через телекоммуникационную сеть. *Информационные процессы* в окончательных системах можно разделить на две группы. К первой относятся *прикладные процессы* ввода, хранения, обработки и выдачи различных

видов информации для нужд пользователей. *Прикладной процесс* (application process) – это процесс в оконечной системе сети, выполняющий обработку информации для конкретной услуги связи или приложения (пользователь, организуя запрос на предоставление той или иной услуги, активизирует в своей оконечной системе некоторый прикладной процесс). Прикладные процессы являются основными, а все остальные процессы – вспомогательными, предназначенными для обслуживания прикладных. Они составляют группу *процессов взаимодействия*, поскольку обеспечивают взаимодействие прикладных процессов. Прикладные процессы поддерживаются прикладными программами, а процессы взаимодействия – операционными системами.

Таким образом, информационная сеть – это совокупность территориально рассредоточенных оконечных систем и объединяющей их телекоммуникационной сети, обеспечивающей доступ прикладных процессов оконечных систем к ресурсам информационной сети и их совместное использование. Информационная сеть, в отличие от телекоммуникационной, обладает рядом возможностей, связанных с накоплением, хранением, переработкой всех видов информации, и обеспечивает механизмы эффективного ее поиска в любом месте сети и в любое время.

Потребитель информации, получивший доступ к информационной сети, становится ее *пользователем* (user). Пользователями могут быть физические и юридические лица (фирмы, организации, предприятия).

Оконечные системы информационной сети разделяют на:

- *терминальные* (terminal system), обеспечивающие доступ к сети и ее ресурсам;
- *рабочие* (server, host system), предоставляющие сетевое обслуживание (управление доступом к файлам, программам, сетевым устройствам, обслуживание вызовов и т.д.);
- *административные* (management system), реализующие управление сетью и отдельными ее частями.

Ресурсы информационной сети подразделяются на информационные, ресурсы обработки и хранения данных, программные и коммуникационные.

Информационные ресурсы – это информация и знания, накопленные во всех областях жизнедеятельности общества, а также продукция индустрии развлечений. Они хранятся и систематизируются в сетевых банках данных, с которыми взаимодействуют пользователи сети. Эти ресурсы определяют потребительскую ценность информационной сети и должны постоянно создаваться, расширяться и вовремя обновляться.

Ресурсы обработки и хранения данных – это процессоры сетевых компьютеров и объемы памяти их запоминающих устройств, а также допустимая продолжительность их использования.

Программные ресурсы представляют собой программное обеспечение (ПО), участвующее в предоставлении услуг и приложений пользователям, а также программы сопутствующих функций. К последним относятся: выписка счетов и учет оплаты услуг; навигация (обеспечение поиска информации в сети); организация сетевых электронных почтовых ящиков, мостов для телеконференций; преобразование форматов передаваемых сообщений; криптозащита информации (кодирование и шифрование); аутентификация (в частности, электронная подпись документов, удостоверяющая их подлинность) и др.

Коммуникационные ресурсы обеспечивают транспортировку информации и распределение потоков в коммуникационных узлах. Коммуникационные ресурсы характеризуются числом каналов (емкостью) линий связи, пропускными способностями трактов, коммутационными мощностями узлов и т.п. Они классифицируются в соответствии с типом телекоммуникационной сети: ресурсы коммутируемой телефонной сети общего пользования (ТфОП), ресурсы сети передачи данных с коммутацией пакетов, ресурсы сети мобильной связи, ресурсы наземной вещательной сети, ресурсы цифровой сети с интеграцией служб (ISDN) и т.д.

Все ресурсы информационной сети являются *разделяемыми*, т. е. могут использоваться одновременно несколькими прикладными процессами. Разделяемость может быть как фактической, так и имитируемой.

Конечная цель развития информационных сетей – создание Глобальной информационной инфраструктуры.

Глобальная информационная инфраструктура (Global Information Infrastructure, GII) должна предоставлять пользователям набор услуг, обеспечивающих открытое множество приложений, охватывающих все виды информации и дающих возможность ее получения в любом месте, в любое время, по приемлемой цене и с приемлемым качеством. основополагающие принципы, на которых должна базироваться GII, приняты Правительственной конференции стран Большой семерки, проведенной Комиссией по европейскому экономическому содружеству в феврале 1995 г. Это следующие принципы:

- обеспечение открытого доступа к сетям;
- гарантия всеобщего доступа к услугам, а именно *мобильности*, т. е. возможности доступа к услугам из разных мест и при движении (определение и локализация источника должны обеспечиваться сетью), и *номадизма*, т. е. непрерывности доступа в пространстве и времени или возможности перемещения в другое место с сохранением доступа к услугам вне зависимости от их доступности в местной среде;
- обеспечение равных возможностей для пользователей с учетом их культурного и языкового многообразия;
- международное сотрудничество с особым вниманием к наименее развитым странам;
- содействие открытой конкуренции и поощрение частных инвестиций.

Эти принципы будут реализовываться путем развития глобальных рынков для сетей, услуг и приложений; гарантирования конфиденциальности и защиты данных; защиты прав интеллектуальной собственности; сотрудничества в научно-исследовательской деятельности и в разработке новых приложений.

1.2. Услуги информационной сети, службы и платформы предоставления услуг

Обслуживание пользователей информационной сетью осуществляется путем предоставления услуг и приложений.

Услуга (service) предлагается сетью пользователю для удовлетворения его коммуникационных потребностей и характеризуется однократным потреблением. Ее стоимость зависит от вида и качества. Примеры услуг: отправка/получение сообщения по электронной почте, телефонное соединение и пр.

Приложение (application) в отличие от услуги предоставляется пользователю в виде многократно используемого конечного продукта. Это может быть, например, компакт-диск с обучающим курсом, специальный пакет программ для реализации мультимедийных услуг и пр.

Услуги традиционно предоставлялись индустрией электросвязи, в то время как индустрия информационных технологий изначально стала предоставлять приложения.

Эффективность обслуживания пользователей сетью характеризуется номенклатурой и качеством предоставляемых услуг и приложений, а также степенью легкости и скоростью доступа к информации. В соответствии со спецификой требований пользователей можно разделить на три категории: люди на работе, люди дома и люди в дороге. В учреждении наиболее потребляемыми являются услуги телефонии, дополненные секретарскими услугами (на-

копление информации о поступивших вызовах, извещение о номере вызывающего абонента и т.п.), услуги электронной почты для передачи текстов, данных, факсимильных сообщений, услуги аудио- и видеоконференцсвязи, а также голосовой почты. Потребности в услугах связи в домашнем быту меньше, но имеются четкие тенденции расширения их номенклатуры, вызванные ростом количества частных деловых операций (взаимодействие с банком, страховой компанией, приобретение товаров), растут требования безопасности и т. д. К наиболее потребляемым в быту относятся услуги телефонии, электронной почты, а также такие услуги и приложения, как видео по запросу, развлечения (игры и пр.), телеобразование, предоставление информации по запросу, дистанционное управление и контроль коммунальных систем и домашней аппаратуры и пр. Подвижные абоненты потребляют в основном услуги телефонии, однако важное значение имеет и получение информации по запросу (локализация местоположения, состояние дорожного движения, возможные места парковки и т.п.).

Для предоставления услуг организуются специальные сетевые службы. *Службой сети* называется комплекс аппаратных, программных и организационных средств, реализующий услугу или набор услуг. До последнего времени для предоставления пользователям услуг конкретного вида строились отдельные специализированные сети: ТфОП, телеграфная сеть общего пользования, общегосударственная сеть передачи данных (ПД), сеть передачи программ телевизионного вещания и др. При этом понятие службы по существу идентифицировалось с сетью. С появлением так называемых телематических служб понятие службы приобрело более конкретный и самостоятельный смысл.

Телематические службы – пример расширения спектра услуг на базе существующих сетей. К ним относят: *телефакс* (использование ТфОП для факсимильной передачи сообщений), *датафакс* (использование каналов сети ПД для факсимильной передачи), *телекс* (передача текстовых сообщений по каналам сетей электросвязи), *видеотекс* (информационно-справочная служба, обслуживающая запросы пользователей на информацию из банков данных), *телетекст* (дополнение телевизионных программ информацией, передаваемой во время обратного хода луча кадровой развертки). Организация телематической службы связана с выбором некоторой платформы предоставления услуг, использующей ресурсы, как правило, уже существующих сетей.

Платформой предоставления услуг называется совокупность объединенных ресурсов сети или нескольких сетей, участвующих в производстве и предоставлении услуг. При формировании такой платформы могут быть задействованы ресурсы сетей общего пользования и частных сетей. Юридическое лицо (государственная структура или частная компания), являющееся собственником сети и обеспечивающее ее эксплуатацию, называется *оператором сети*. При организации платформы услуг могут быть использованы ресурсы сетей нескольких операторов, заключивших между собой коммерческие соглашения. Сетевые ресурсы, принадлежащие одному оператору, могут быть задействованы в различных платформах предоставления услуг. Конкретные услуги могут предоставляться и компанией, не являющейся собственником сети, а формирующей платформу предоставления услуг путем аренды сетевых ресурсов (например, выделенных каналов связи) у операторов сети. Такая компания называется *поставщиком услуг* (service provider), или *провайдером* и также является юридическим лицом, с которым пользователь устанавливает коммерческое соглашение на предоставление услуг и приложений. Примером являються провайдеры Интернета. Поставщики услуг, в отличие от операторов сети, более гибко реагируют на конъюнктуру рынка услуг связи.

В процессе цифровизации сетей электросвязи появилась возможность предоставления различных услуг на базе единой интегрированной сети как общей телекоммуникационной среды для передачи любых информационных сообщений, представленных в цифровом виде. Это повлекло за собой интеграцию и самих служб и, как итог, появление цифровых сетей с

интеграцией служб (Integrated Services Digital Network, ISDN). С точки зрения пользователя услуги интегральной сети можно классифицировать следующим образом:

- *телекоммуникационные услуги* (телефония, передача данных, телефакс, телетекст, аудио- и видеоконференцсвязь);
- *информационные услуги* (видеотекст, видео по запросу, телетекст);
- *услуги развлечений* (предоставление продукции индустрии развлечений);
- *услуги, базирующиеся на информации* (приобретение товаров на дому, когда по запросу пользователя организуется доставка товара на дом и т.п.).

Услуги могут предлагаться пользователям сети в обычной форме (со стандартным набором функций) либо с *расширенным набором функций*, обеспечивающим повышение их качества и удобства связи, например, сокращенным набором часто набираемых номеров, извещением о поступлении нового вызова в процессе сеанса связи, переадресацией вызовов, оплаты услуги вызываемым абонентом, отслеживания злонамеренных вызовов и т. п. Расширение функций предоставляемых услуг обеспечивается организацией *дополнительных услуг*. Они используются только по заявке пользователя и могут быть разными для разных абонентов. Разделение услуг на основные и дополнительные позволило организовать новый принцип предоставления услуг, при котором основная услуга может дополняться одной или несколькими дополнительными в зависимости от запроса пользователя. Реализация в сети дополнительных услуг в виде выделенной надстройки получила название *интеллектуализации сети*, так как при этом предусматривается широкое использование элементов искусственного интеллекта (экспертных систем, синтезаторов и распознавателей речи и т.п.). Концепция интеллектуальной сети (Intelligent Network, IN), определенная в Рекомендациях ITU-T серии Q.1200, предусматривает постоянное развитие спектра предоставляемых услуг и, как следствие, выделение отдельных стандартных компонентов услуг и приложений – независимых от услуг и друг от друга функциональных блоков (Service Independent Block, SIB), позволяющих компоновать из них практически любые услуги. Следует отметить, что технология IN может реализовываться на базе любой сети, но наибольший эффект дает на основе ISDN.

Службы ISDN, в соответствии с Рекомендациями ITU-T серии I.200, разделяют в зависимости от выполняемых стандартизованных функций на службы переноса (передачи) и телеслужбы. *Службы переноса* (bearer services) обеспечивают транспортировку информации с соблюдением установленных правил только между эталонными точками интегральной сети (стыками пользователь–сеть) и не обеспечивают совместимость функций оконечных устройств пользователей. *Телеслужбы* (teleservices) предназначены для организации связи пользователь–пользователь с поддержанием функций оконечных устройств и обеспечением их совместимости. Телефония, телетекст, телефакс, видеотекст являются примерами телеслужб. Кроме этого, вне зависимости от вида связи и функций оконечных устройств службы разделяют на интерактивные и распределительные (дистрибутивные, или вещательные). И те, и другие могут предлагаться как телеслужбы и как службы переноса.

Интерактивные службы предполагают двусторонний информационный обмен. К ним относятся: диалоговые службы, службы с накоплением и службы по запросу.

Диалоговые службы обеспечивают двусторонний обмен информацией в реальном масштабе времени (без промежуточного накопления) между пользователями или между пользователем и ЭВМ. В диалоговом режиме могут предоставляться услуги телефонии, телекса, телефакса, передачи данных и др.

Службы с накоплением предназначаются для непрямой связи пользователей с помощью промежуточного хранения информационных сообщений. Это хранение производится в центральных устройствах сети, например, в электронных почтовых ящиках, из которых сообще-

ния могут извлекаться адресатами либо автоматически переправляться сетью абоненту в соответствии с его условиями, в частности во время действия льготных тарифов. Службы с накоплением могут использоваться при передаче в режиме электронной почты аудио-, видео-сообщений, текста, данных. В связи с этим появились названия «голосовая почта», «видео-почта» и т.п.

Службы по запросу дают возможность пользователю получать информацию из банков данных. Примером является предоставление услуг видеотека и его разновидностей.

Распределительные службы без индивидуального управления со стороны пользователя распределяют сообщения от центрального источника информации к неограниченному числу абонентов, имеющих право приема. Пользователь может принимать или не принимать поток сообщений, но не может влиять на время его передачи и на содержание. Классические примеры таких служб – звуковое и телевизионное вещание, телетекст, однако возможны применения этих служб и для других видов сообщений. Распределительные службы с индивидуальным управлением со стороны пользователя организуются как канал видеографики и обеспечивают получение именно нужной информации в удобное время.

Отметим, что понятия «*службы переноса*» и «*телеслужбы*» введены для ISDN, но распространяются в принципе на любые информационные и телекоммуникационные сети. При рассмотрении услуг, предоставляемых этими службами, используются также понятия «*услуги переноса*» и «*телеуслуги*»¹.

Дальнейшее развитие технологии ISDN с переходом на оптоволоконную среду с применением асинхронной высокоскоростной пакетной передачи цифровых потоков обеспечило интеграцию более широкого спектра видов связи, включая кабельное телевидение. Поэтому Рекомендацией ITU-T I.362 введены четыре класса служб А, В, С, D (см. п. 6.7.5) с учетом наличия или отсутствия временной зависимости между источником и получателем, постоянной или переменной скорости передачи и режима установления связи с соединением или без него.

¹ В английской терминологии такого разделения нет. Термин *service* в зависимости от контекста, не всегда, кстати, определяемого однозначно, переводится как «услуга, служба, обслуживание, сервис» и даже «режим». Это, кстати, одна из причин путаницы при употреблении этих терминов в русскоязычной терминологии.

ТЕНДЕНЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СФЕРЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В МИРЕ

2.1. Анализ состояния и перспектив развития мирового рынка телекоммуникаций

Современные тенденции развития мировой сферы телекоммуникаций можно охарактеризовать как движение к глобализации, создание единого информационного пространства, единой унифицированной системы телекоммуникаций и стандартов обмена информацией, развитие информационной экономики, внедрение новых технологий в важные сферы жизнедеятельности общества.

Глобализация международных отношений, формирование глобальной информационной инфраструктуры и общего информационного наследия человечества, международная информационная политика, направленная на политическую, экономическую и культурную интеграцию мировых сообществ на основе использования новых перспективных технологий, создание эффективной системы обеспечения прав человека и социальных институтов, свободный доступ и обмен информацией – характерные признаки информационного общества, нового этапа существования цивилизации. Необходимость перехода к информационному обществу обуславливается становлением и доминированием в мировой экономике новых технологических укладов, переходом информационных ресурсов в реальные ресурсы социально-экономического развития, удовлетворением потребностей общества в информационных продуктах и услугах, возрастанием роли информационно-коммуникационной инфраструктуры в системе общественного производства, усовершенствованием образовательной, научно-технической и культурной сферы на основе международных информационных обменов, равноправное использование «глобального информационного блага» [1].

Феномен глобализации телекоммуникаций относят к последней четверти XX века и связывают с упорядочением международных потоков информации и коммуникации на глобальном уровне. Достижения компьютерных и коммуникационных технологий, глобальные возможности обмена информацией и интеллектуальными продуктами дают возможность одновременно формировать глобальный и региональный спрос, координировать производство товаров и услуг, ускорять открытие новых рынков и создавать новые производственные мощности в разных сферах сотрудничества – от традиционных до интеллектуальных.

Современная экономическая система основывается на традиционных принципах мирового развития, которые складывались веками. Рождающееся новое информационное общество изменяет приоритеты мирового хозяйства, определяет новые принципы взаимозависимости разных секторов производства, обмена продукцией, обмена информацией.

Научные исследования и практика применения новых технологий позволяют выделить четыре компонента нового информационного общества и, как следствие, создающейся новой информационной экономики:

- 1) информационные и коммуникационные технологии, Интернет;
- 2) информационная интеллектуальная собственность;
- 3) электронные информационные центры, базы и банки данных, видеопродукция, многоязычные переводные программные продукты, новые средства изображения;
- 4) общее информационное наследие (системы управления производством, биотехнологии, фармацевтическая продукция и т.д.).

Эти компоненты проявляются во всех секторах экономики, и их влияние возрастает по мере эволюции информационных и коммуникационных процессов. Взаимосвязь процесса глобализации с изменениями в назначении сферы телекоммуникаций показана на рис. 2.1.

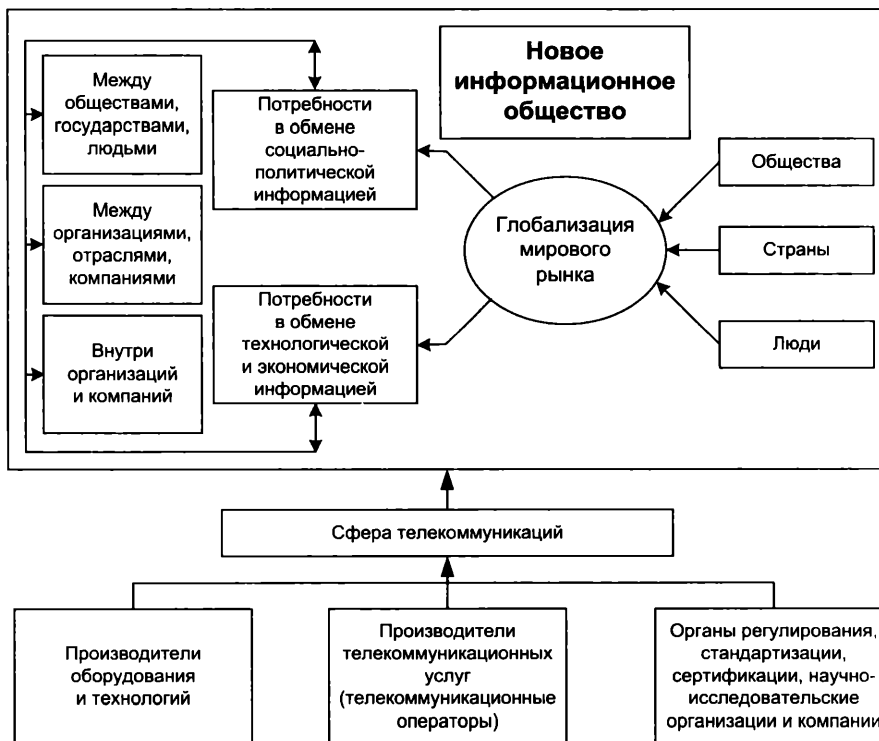


Рис. 2.1. Взаимосвязь процессов глобализации и развития сферы телекоммуникаций

Для развития нового информационного сообщества необходима Глобальная информационная инфраструктура, требующая адекватного технологического, экономического, организационно-производственного и структурного развития сферы телекоммуникаций. Сферу телекоммуникаций любой страны образуют телекоммуникационные компании, и, очевидно, что глобализация влияет на их реформирование соответственно потребностям современности и будущего. Это реформирование прежде всего связано с привлечением инвестиций для внедрения новых телекоммуникационных технологий, без которых невозможно удовлетворение потребностей общества в новых услугах.

Хотя в краткосрочной перспективе оценка мировой сферы телекоммуникационной остается осторожной, тем не менее в долгосрочной перспективе сохраняется тенденция положительного роста [2]. По результатам исследования Европейской обсерватории информационных

технологий общие затраты на телекоммуникационное оборудование в период с 1997 по 2001 гг. составили свыше 4000 млрд. долл. США. По оценкам агентства Thomson Financial в течение 1996–2001 гг. 890 млрд. долл. США было предоставлено банками как синдицированные кредиты, 415 млрд. долл. поступило из рынка долгосрочных облигаций, 500 млрд. – в виде частного капитала и через выпуск акций на фондовом рынке; остаток поступил от больших прибыльных компаний. Пять из десяти наиболее масштабных за всю историю соглашений о слиянии и приобретении компаний касались именно телекоммуникационной области [3] (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Десять крупнейших мировых соглашений о слиянии и приобретении компаний (2001 г.)

Компания	Покупатель	Стоимость соглашения, млн. долл. США
AT&T Broadband & Internet (США)	Comcast (США)	57547,1
Hughes Electronics (США)	EchoStar Communications (США)	31738,5
Compaq Computer (США)	Hewlett-Packard (США)	25263,4
American General (США)	American International Group (США)	23398,2
Dresdner Bank (Германия)	Allianz (Германия)	19655,9
Bank of Scotland (Великобритания)	Halifax Group (Великобритания)	14904,4
Wachovia (США)	First Union (США)	13132,2
Banacci (Мексика)	Citigroup (США)	12821,0
Telecom Italia (Италия)	Olivetti (Италия)	11972,5
Billiton (Великобритания)	BHP (Австралия)	11511,0

Источник: Thomson Financial

Результат – огромный излишек производственных мощностей в сфере телекоммуникаций, банкротства, значительные сокращения рабочих мест и резкое обесценивание ценных бумаг на фондовом рынке. Излишек мощностей в наиболее капиталоемкой части телекоммуникаций местами превышает 98%. Например, по оценкам аналитиков используется лишь 1–2% пропускной способности волоконно-оптического кабеля, который проложен через Европу и Северную Америку. На сегодня многие современные сети используют лишь одну десятую, а иногда еще меньшую долю этого потенциала.

В среднем каждые шесть дней второго полугодия 2001 г. один крупный оператор связи объявлялся банкротом, а его активы выставлялись на продажу. Финансовый кризис в этой сфере особенно ярко проявился после непогашения кредитов на сумму около 60 млрд. долл., выданных телекоммуникационным компаниям. Те небольшие суммы, которые могут быть выручены после их краха, также очевидно отражают масштабы кризиса. За второе полугодие 2001 г. процедуры банкротства было начаты относительно 31 телекоммуникационного оператора, большинство из них израсходовали сотни миллионов долларов для развития сетей. Кредиторы, пожелавшие возместить свои финансовые средства, столкнулись с тем, что рыночная цена имущества операторов уже не составляет и десятой части его первоначальной стоимости. По оценкам специалистов по вопросам ликвидации предприятий компании Ernst & Young в Великобритании, при продаже имущества можно возместить в среднем не более 10% суммы, израсходованной на развитие сети. А с учетом дополнительных затрат, таких как заработная плата и офисное оборудование, возмещенная сумма становится еще

меньшей. Как утверждают специалисты, которые осуществляли ликвидацию недавно обанкротившихся шести европейских телекоммуникационных компаний, в среднем от первоначальной стоимости имущества было возвращено только от двух до трех процентов.

Объемы кредитного капитала в телекоммуникационных компаниях начали сильно возрастать с 2000 г., особенно это коснулось европейских операторов. Кредитный капитал компании France Telecom возрос втрое – до 61 млрд. евро, причем финансовое покрытие достигло 2,15 млрд. долл., т.е. половины чистого дохода; кредитный капитал компании Deutsche Telecom достиг 56 млрд. евро; кредитный капитал British Telecommunications (BT) – 48 млрд. евро. Основной причиной этого стали значительные расходы на приобретение компаниями лицензий UMTS. Цены, установившиеся на лицензии в процессе проведения аукционов, достигали астрономических цифр, а доходы от продажи поступали в государственные бюджеты (например, 50,5 млрд. евро в Великобритании и 37,5 млрд. в Германии). К концу 2000 г. общие кредиты шести крупнейших европейских телекоммуникационных компаний (Telecom Italia, KPN, Telefonica, British Telecom, Deutsche Telecom, France Telecom) достигли колоссальной суммы – 233 млрд. евро (для сравнения – такой суммой исчисляется ВВП Бельгии). Это заставило аналитиков основных рейтинговых агентств, таких как Moody's и Standard and Poor's, снизить кредитный рейтинг основных европейских телекоммуникационных компаний. Если в начале 2000 г. компании KPN, BT, Deutsche Telecom, France Telecom имели рейтинг «АА», то в конце года он упал к «А». По оценкам этих агентств, наблюдается тенденция дальнейшего снижения рейтинга компаний [3].

Согласно исследованиям Pricewaterhouse Coopers, проведенным в 2001 г., объем инвестиций в технологические секторы экономики снизился на 40% по сравнению с 2000 г. При этом инвестиционный спад наблюдается буквально во всех отраслях. Самым глубоким – 50% и более – он оказался в таких секторах, как сектор услуг, производство электроники и компьютерного оборудования, производство полупроводников. Объем инвестиций в сфере телекоммуникаций упал на 38%.

Интернет. По прогнозам аналитиков, среднегодовой мировой темп роста количества пользователей Интернет между 2000 и 2005 гг. составит 19%, в то время как в США этот показатель не превысит 11%. К 2005 г. число пользователей Интернетом в мире достигнет 941,8 млн. (в 2001 г. их в общей сложности было около 497,7 млн.) [4].

В первом квартале 2001 г. поток инвестиций в Интернет-компании составлял 75% всего полученного финансирования, что несколько ниже максимального уровня 85%, отмеченного в конце 1999 г. Объем инвестиций в компании, связанные с Интернетом, упал на 43% (до 7,6 млрд. долл. в сравнении с 13,4 млрд. долл. в конце 2000 г.). Однако на конец 2002 г. эти данные должны значительно измениться в худшую сторону в связи с крахом всемирно известной корпорации WorldCom.

Особенно заметным, согласно совместному исследованию VentureOne и Pricewaterhouse Coopers, оказался спад инвестиций в сегменте инфраструктуры Интернета (на 52%, т.е. до 2,1 млрд. долл.), хотя этот сегмент оставался сильным в течение всего 2000 г., когда инвестиции в компании-провайдеры даже выросли в последнем квартале на 1,1 млрд. долл. благодаря относительно крупным суммам, вложенным в небольшое число компаний.

Согласно исследованиям аналитической фирмы Ipsos-Reid, число людей в мире, ежедневно использующих Интернет, оценивается примерно в 400 млн. (на первый квартал 2001 г.), что составляет 6% населения планеты. Основные причины неприобщения к Интернету:

- отсутствие потребности в нем (40% респондентов);
- отсутствие компьютера (33%);
- отсутствие интереса (25%).

По данным на 2001 г. наибольший процент пользователей Интернетом в США (60% населения, 168 млн. человек), Сингапуре (41,4%), Австралии (31,7%), Тайване (29,0%), Гонконге (22,6%), Южной Корее (21,2%), Китае (1,2%, 22,5 млн. человек) и в Индии (0,4%). По данным IDC число пользователей Интернетом в Азиатско-Тихоокеанском регионе (кроме Японии) вырастет от 65 млн. человек в 2000 г. до 240 млн. в 2005 г., а к 2003 г. в этом регионе будет 25% всех пользователей Интернетом в мире. Китай в 2001 г. может обойти Австралию и стать вторым крупнейшим рынком Интернета в этом регионе. В Японии в 2000 г. более 47 млн. человек (37,1% населения) имели доступ в Интернет. По сравнению с 1999 г. это количество выросло на 74%, причем существенную часть роста обеспечили мобильные телефоны: число пользователей мобильного Интернета за тот же период увеличилось в 4 раза, достигнув 25 млн. человек.

К мировым тенденциям, определяющим развитие рынков Интернета, относятся:

- активная консолидация провайдеров Интернета, которых в мире насчитывается более шести тысяч. Ключевой для консолидации является вертикальная интеграция с целью реализации синергетических эффектов, снижения затрат и расширения клиентской базы;
- рост спроса на высокоскоростной и широкополосный доступ с одновременным падением спроса на коммутируемый доступ и снижением маржи у провайдеров;
- освоение провайдерами Интернет новых бизнес-моделей: создание порталов и контент-проектов (как это активно делает, например, America OnLine).

По мнению экспертов инвестиционного банка Bear Stearns & Co., опубликовавшего аналитический доклад *Introducing Internet 3.0*, компании, готовые к распределению и децентрализации сетевых ресурсов, станут основными игроками на следующей стадии развития Интернета. В докладе отмечается, что Интернет прошел две стадии развития и сейчас начинается третья. Стадия «Интернет 1.0» была связана с развитием собственно сети, «Интернет 2.0» – с использующими эту сеть устройствами. Третья стадия «Интернет 3.0» будет в основном касаться программных средств, связывающих воедино эти устройства. Определяющим фактором на третьей стадии будет возможность для пользователей этих устройств беспрепятственно связываться между собой и с максимальной эффективностью использовать системные ресурсы. На второй стадии развития Интернета все пути вели в сетевой центр. Серверы доминировали в сети в вопросах содержания, обработки и хранения информации, а ПК служили в основном устройствами ее представления. На третьей стадии будет происходить размывание центра на базе построения распределенных Web-серверов, т.е. периферия превратится в основу Интернета. Устройства, подключенные к сети, смогут более эффективно использовать свои прежде незадействованные ресурсы. Доминирующая роль перейдет к ПК, и пользовательские устройства станут интегральной частью сети.

Согласно исследованиям компании IDC, число пользователей, использующих для доступа к Интернету кабельные модемы, к 2005 г. составит 57,5 млн. человек. Основанием для вывода послужило то, что число владельцев кабельных модемов в течение 2000 г. выросло на 178% и к концу года составило 7,2 млн. Доходы от продаж соответствующего оборудования выросли на 122%. Кроме того, дальнейший рост обусловливается все большим развитием мультимедийных приложений, доступ к которым возможен лишь при наличии широкополосного канала. Большинство подписчиков на услуги доступа по сетям кабельного телевидения живут в США – 53%, или 3,8 млн. абонентов. По прогнозу IDC, число пользователей кабельных модемов в Европе должно вырасти с 1 млн. в 2000 г. до 17,7 млн. в 2005 г. и составить 31% от общего числа активных Интернет-пользователей сетей кабельного телевидения. В то же время, чтобы успешно конкурировать с технологиями DSL, поставщики услуг досту-

па с помощью кабельных модемов должны решить ряд проблем, связанных с масштабируемостью, надежностью сетей кабельного телевидения, простотой установки и обслуживания абонентских устройств.

Согласно исследованию фирмы Cahners In-Stat Group, рынок домашнего доступа к Интернету в США, сильно выросший за последние пять лет, замедлил рост, в первом квартале 2001 г. отмечен даже отрицательный прирост за счет сокращения числа абонентов бесплатного Dial-Up. Аналитики этой фирмы прогнозируют, что коммутируемый способ останется доминирующим для домашнего доступа по крайней мере на ближайшие пять лет, а широкополосный доступ, на который в последний год возлагались большие надежды, не станет столь массовым, как ожидалось. Однако провайдеры будут стимулировать пользователей с коммутируемым доступом к переходу на широкополосный доступ, чтобы повысить свои доходы. И ожидается, что постепенно высокоскоростной Интернет станет более доступным.

Согласно исследованию компаний Arbitron Inc. и Coleman, 31% американцев имеют возможность широкополосного доступа в Интернет, из них 87% на работе, 27% – дома, 14% – и на работе и дома, причем 70% пользователей, выходящих в сеть из офиса, не намерены обзаводиться таким доступом дома.

Европейский рынок Интернет существенно отличается от американского. Он оказался не так чувствителен к финансовым неудачам Интернет-компаний, и число европейских пользователей стабильно растет. По данным исследовательской компании IDC 117 млн. европейцев (30%) к концу 2000 г. пользовались услугами Интернета. Аналитики прогнозируют рост этой цифры до 233 млн. к 2004 г., что составит почти 60% населения Европы. Ожидается, что объем сделок по Интернету вырастет до триллиона долларов к 2003 г.

По данным аналитической компании Yankee Group к 2005 г. количество абонентов цифрового телевидения (DTN) в Европе превысит число компьютеризированных пользователей глобальной сети. Иными словами, к этому времени интерактивные DTV-услуги станут более популярным способом подключения к Интернету. К 2005 г. в 81,2 млн. домов будут использоваться услуги DTV и TV, тогда как ПК с доступом в Интернет будут лишь в 80,6 млн. домов (для сравнения: цифры на начало 2001 г. – соответственно 24,5 и 45,4 млн.).

Электронная коммерция. По данным Forrester Research объем онлайн-продаж вырос в марте 2001 г. на 100 млн. долл. по сравнению с февралем, достигнув 3,5 млрд. долл. По оценкам Nielsen/Net Ratings рост таких продаж по сравнению с апрелем 2000 г. составил 35%. В настоящее время Европа отстает от США в развитии электронного бизнеса. По данным Gartner Group и Cisco общая стоимость транзакций в Великобритании, Германии и Голландии составляет 60% стоимости транзакций США. По данным компании IDC количество пользователей Интернетом в Западной Европе в конце 2001 г. превысило число пользователей в США. Помимо значительного увеличения числа пользователей, Западная Европа также обогнала Японию и стала регионом со вторым в мире объемом доходов от электронной коммерции.

Передача данных по волоконно-оптическим сетям. Мировой рынок волоконно-оптического кабеля и оборудования в 2001 г. рос значительно медленнее, чем в 2000 г. Согласно прогнозам, по итогам года общая длина проложенных волоконно-оптических кабелей в мире возросла примерно на 7%, а рынок систем с плотным спектральным уплотнением (DWDM) сократился на 17%. В начале второй половины 2001 г. спрос на оптическое волокно в мире начал падать. По мнению специалистов и аналитиков ряда компаний, с точки зрения состояния спроса и производства оптического волокна 2001 г. явился наихудшим по сравнению со всеми предыдущими годами становления волоконно-оптической индустрии. Основные рынки волоконной оптики (Западная Европа, Южная Корея) испытали спад. Исключение составили Китай и некоторые страны Латинской Америки, где рост продолжился. Такая ситуация возникла потому, что в расчете на быстрое получение доходов фирмы-поставщики телекоммуникационных и инфор-

мационных услуг построили избыточно большое количество волоконно-оптических линий и систем. Деньги вкладывались в отрасль без учета реальных потребностей пользователей. В итоге возникла ситуация, когда предложение на рынке информационных услуг значительно превысило спрос, и в результате доходы фирм сильно упали. Это и привело к падению спроса и производству оптического волокна. Но поскольку существенная часть денег, вложенных в строительство ВОЛС, была взята за счет кредитов и размещения акций, падение рынка вызвало банкротство целого ряда фирм. Этому способствовала отмена государственного контроля над бизнесом в области телекоммуникаций, а также переоценка спроса на ширину полосы информационного обмена со стороны Интернета. Рынок Интернета как новый вид телекоммуникационного бизнеса привлек слишком много бизнесменов, которые не сразу смогли понять и оценить его предельные возможности. Эти причины и особенно резкое замедление роста спроса на информационную полосу со стороны рынка Интернета, привели к неизбежному сокращению бизнеса в области телекоммуникационных услуг, в том числе и в области волоконно-оптической связи. Построенные ВОЛС и сети оказались в значительной степени невостребованными.

Перспективы на ближайшее будущее, как считают аналитики, также неутешительны: некоторые крупные потребители волоконно-оптического кабеля, в частности региональные компании фирмы Bell, уже объявили о сокращении количества заказов на волокно. Североамериканский рынок DWDM-систем, который в основном определяет объем продаж многих оптических компонентов и подсистем, упал на 33% по сравнению с 2000 г. (с 5,9 до 4 млрд. долл.).

Однако, по оценкам компании КМІ, сложившаяся ситуация хотя и неизбежная, но временная. Волоконно-оптическая индустрия, по-видимому, преодолет спад в ближайшие годы. Спрос на расширение полосы частот информационного обмена в мире продолжает расти, и его не может обеспечить никакая физическая среда, кроме оптического волокна.

Принимая во внимание достаточно быстрый рост спроса на полосу информационного обмена (по оценкам ряда специалистов, на 20–30% в год), а также то, что срок сохранности проложенного кабеля составляет по меньшей мере десятки лет, не может быть сомнений, что все проложенные волоконно-оптические кабели будут задействованы в ближайшие годы, а в ряде направлений уже возникает необходимость прокладки новых кабелей. Таким образом, по мнению специалистов КМІ и МСЭ спад рынка оптического волокна не будет глубоким. В ближайшие пять лет мировой рынок оптоволокна и кабеля должен стабилизироваться, а затем начать расти с ежегодным приростом от 10 до 20%. Рост мирового рынка оборудования для ВОЛС (оконечная аппаратура, коммутаторы, мультиплексоры, маршрутизаторы и т.д.) ожидается еще более высоким и может по некоторым компонентам достигнуть 50% в год [5].

Спутниковая связь. В 1999 г. в околоземном пространстве на геостационарной орбите вместе с резервными работало свыше 220 космических аппаратов связи и вещания с суммарным количеством реальных транспондеров равным 4745. Причем 2383 из них действовали в С-диапазоне, 2319 – в Ku-диапазоне и 43 – в Ka-диапазоне. По прогнозу в 2002 г. общее число транспондеров (в перечете на транспондеры с шириной полосы пропускания 36 МГц) составит 8839. Из них 3436 будут работать в С-диапазоне, 4546 – в Ku-диапазоне, 43 – в Ka-диапазоне [6].

Министры транспорта стран ЕС положительно решили вопрос о развертывании работ по созданию третьей в мире глобальной спутниковой системы позиционирования Galileo. По данным компании Pricewaterhouse Coopers общая стоимость Galileo составит 3,2 млрд. евро. Проект позволит сэкономить в течение следующих 20 лет в пять раз больше, если Galileo будет полностью введен в строй до 2008 г. (приблизительно в это время американцы могут значительно улучшить свою систему глобальной ориентации GPS). Форсировать работы по созданию Galileo необходимо еще и потому, что иначе европейцы рискуют остаться без необходимых радиочастот. Согласно докладу Еврокомиссии, через 20 лет все транспортные средст-

ва мира будут снабжены системой спутниковой навигации, и тогда отсутствие Galileo будет означать для Европы потерю важной составляющей независимости. Ожидается, что Galileo вступит в строй до конца 2005 г. В соответствии с проектом точность позиционирования в системе Galileo будет достигать 1 м, причем навигацию можно будет осуществлять и внутри зданий. Подобная точность будет достигаться за счет использования 30 спутников, работающих на высоте 24 тыс. км. В числе возможных применений системы – помощь в ориентировании для слепых и высокоточная навигация на воздушных трассах. Однако не менее важным станет использование Galileo в военных целях. В этой области европейские страны желают получить большую независимость от США, которые до сих пор обладали монополией на космическую навигацию [7–9].

Сотовая телефонная связь. В конце марта 2002 г. число абонентов сетей подвижной связи в мире достигло миллиарда, из них 678 млн. – абоненты сетей стандарта GSM, используемого в 174 странах [10]. По данным компании EMC число пользователей сетей 3G в мире превышает 5 млн., включая абонентов сетей cdma2000 1x в Корее. Мобильным доступом в Интернет пользуются не более 5% абонентов сотовых сетей. Число операторов сотовой связи в 210 странах мира превышает 1100. Средний доход на одного абонента (ARPU) по всему миру составляет 34 долл. Среднее число коротких сообщений службы SMS, посылаемых каждым абонентом GSM в месяц, около 40. По прогнозу EMC число абонентов сотовой связи удвоится в 2005 г., а в лидеры по количеству пользователей выдвинутся азиатско-тихоокеанский и латиноамериканский рынки [11].

Среди основных тенденций развития рынка сотовой связи аналитики отмечают возрастание объема передачи данных в общем объеме услуг сотовой связи. Большинство операторов сотовых сетей считают, что основной потенциал и основные источники будущих доходов лежат в сфере неголосовых услуг. Услуги навигации, мобильная коммерция и мобильные платежи, мобильный Интернет, сетевые игры, потоковое аудио и видео, обмен мультимедийными сообщениями – все это направления, которые станут прибыльными в ближайшие два-четыре года. Так, по прогнозам экспертов в сетях связи 2,5/3 поколения в общем объеме оказанных услуг передача речи и SMS будут занимать около 38%; услуги банкинга, мобильного офиса, мобильного доступа в Интернет – по 15%; информационные услуги – 10%; услуги определения местоположения и передачи телеметрических данных – от 5 до 7% [10]. То, что большинство подобных услуг полноценно реализуется только в сетях 3-го поколения, подтолкнул многих операторов мобильной связи к приобретению дорогостоящих лицензий на право предоставлять услуги связи в стандартах 3-го поколения. Это поставило операторов в сложные условия – потраченные средства нужно возвращать, для чего надо создать комплекс услуг на базе новых сетей, а это также требует серьезных инвестиций. Одна из стратегий операторов заключается в том, чтобы передать все функции по созданию новых услуг своим партнерам, но при этом пытаться контролировать ключевые звенья процесса получения дохода. Причем предполагается не столько финансовый контроль, сколько сохранение ключевых функций, необходимых для работы этого процесса. По такому пути пошел японский оператор NTT DoCoMo, создав портал i-mode, обеспечивающий абонентов комплексом современных услуг мобильной связи, включая передачу потокового видео, на доступ к которому сегодня подписались более 30 млн. пользователей. Чтобы добиться этого, NTT DoCoMo определил четкие стандарты для мобильных терминалов, контролируя таким образом производителей оборудования, взял на себя биллинг и построил свой мобильный портал, контролируя таким образом поставщиков услуг. Наиболее перспективных из них компания NTT DoCoMo покупает, чтобы получить также и финансовый контроль над партнерами [12].

Второй важной тенденцией является появление на рынке виртуальных операторов. Это компании, которые покупают нагрузку у традиционных операторов сотовых сетей и под своей

торговой маркой продают его своим клиентам. Обострение конкуренции между крупными операторами в каждом из регионов, а также достаточное единообразие услуг голосовой связи приводят к тому, что показатель ARPU (доход на одного абонента) некоторых европейских операторов сотовой связи приближается к отметке 13–15 долларов в месяц, что практически на грани окупаемости. В таких условиях операторам, чтобы застраховаться от превратностей рынка, зачастую выгодно продавать свою нагрузку оптом по льготной цене так называемым виртуальным операторам. Подобная модель работы распространена, например, в Великобритании, где одним из крупнейших виртуальных операторов является компания Virgin, известная на рынке развлекательной продукции (видео-, звукозаписи и т. п.). Пользуясь известностью своей марки у молодежи, компания предлагает купить свои SIM-карты в тех местах, где традиционно продаются молодежные товары. Создав на базе сети оператора сотовой связи пакет популярных молодежных услуг (SMS, электронные открытки и мелодии), а также удобных для молодежи тарифов, компания всего за год подключила 750 тыс. абонентов. При этом виртуальным операторам не надо вкладывать средства в строительство дорогостоящих сетей, поэтому они могут быть гораздо более гибкими в отношении различных рыночных сегментов (оперативно внедрять наиболее актуальные для каждого из сегментов услуги, эффективно использовать ценную дифференциацию).

Следующая важная тенденция – увеличение функциональных возможностей сотовых телефонов за счет дополнительных функций как диктофона, аудио- и видеоплеера, фотоаппарата, карманного органайзера, игровой приставки и т.д. По данным компании Gartner Dataquest объем продаж мобильных телефонов в мире в 2001 г. упал на 3,2% – до 399,6 млн. штук. Этот показатель снизился впервые за всю историю существования отрасли, при этом в 1996–2000 гг. рынок рос в среднем на 60% ежегодно. Лидером объема продаж остается Nokia – финская корпорация контролирует 35% мирового рынка мобильных телефонов, тогда как по итогам 2000 г. она занимала 30,6% рынка. Таким образом, Nokia удалось еще больше увеличить отрыв от ближайшего конкурента – американской компании Motorola (14,8% против 14,6% в 2000 г.) и приблизиться к отметке 40%, достижение которой в 2001 году было названо основной целью компании на ближайшую перспективу. Резко упали показатели Ericsson – 5,5% против 10%, в 2000 г. шведскую корпорацию обошли Siemens и Samsung. В качестве основных причин сокращения объемов продаж телефонов Gartner называет экономический спад в развитых государствах, насыщение рынков большинства стран, а также неспособность производителей существенно усовершенствовать новые модели, предлагаемые потребителям [13]. В этих условиях производители ищут различные способы увеличения объемов продаж сотовых телефонов. Как показывают итоги выставки CeBit 2002, чтобы стимулировать спрос, в сотовых телефонах предусматриваются указанные выше дополнительные функции, в частности последние модели поддерживают игры на базе языка Java и позволяют абонентам загружать новые игры в память телефона.

Финская компания Sonera объявила о запуске 26.09.02 г. в коммерческую эксплуатацию первой европейской сети мобильной связи UMTS. Опытная зона Sonera работает в Хельсинки, Тампере, Турку и Улу с начала 2002 г. Это первая в Европе 3G-сеть, покрывающая несколько городов (другие опытные сети, как правило, ограничиваются несколькими базовыми станциями). Сначала сеть будет обеспечивать базовые возможности UMTS, а более сложные функции будут подключаться по ходу работы. Основной поставщик сетевой инфраструктуры – компания Nokia. О намерении в 2002 г. запустить в коммерческую эксплуатацию 3G-сеть заявлял и British Telecom, но точная дата пока не объявлена [14].

Негативные экономические сдвиги, охватившие сферу телекоммуникаций в 2001 г., сказались не только на финансовых показателях деятельности участников рынка, но и на сокращении персонала. За последние полгода было сокращено свыше 300 тыс. рабочих мест в об-

ласти производства телекоммуникационного оборудования и ожидается сокращение 200 тыс. рабочих мест у телекоммуникационных операторов (табл. 2.2) [15–28].

Таблица 2.2. Объемы сокращения рабочих мест в сфере телекоммуникаций

Компания	Сектор	Количество сокращенных рабочих мест
China Unicom	Оператор связи	34478
WorldCom Group	Альтернативный оператор связи	6832
British Telecom	Оператор связи	6000
Cable and Wireless	Оператор сети	5500
NTL	Кабельный оператор	5000
Qwest	Местный оператор связи	4000
France Telecom	Оператор связи	3000
Global Crossing	Провайдер сетевых услуг	2000
Winstar	Альтернативный оператор связи	2000
Level 3 Communications	Оператор широкополосных сетей	1400
Covad Communications	Оператор широкополосных сетей	1200

Стоимость акций всех операторов связи и производителей телекоммуникационного оборудования на фондовых рынках упала до 3800 млрд. долл. США (во время пика в марте 2000 г. она составляла 6300 млрд. долл. США). Для сравнения: во время финансового кризиса в конце 90-х годов стоимость всех фондов стран Азии снизилась лишь на 813 млрд. долл. США. Во время бума на фондовом рынке Великобритании компании, работающие в области ТМТ (технологии, медиа, телекоммуникации), занимали 40% индекса FTSE 100. Сейчас они занимают не больше 15%, причем такие компании, как Spirent, Energis, Marconi, Colt, CMG и Telewest, вскоре покинут свои места в FTSE 100. Несмотря на значительные колебания на Уолл Стрит, мировая финансовая система остается достаточно стабильной и довольно стойко реагирует на резкий спад стоимости телекоммуникационных компаний. Хотя потери в четыре раза превысили потери во время азиатского кризиса, они не привели к банковскому или инвестиционному обвалу, как это случилось осенью 1998 г., когда центральные мировые банки и правительственные органы должны были принимать специальные меры для стабилизации ситуации [29].

2.2. Стратегия развития телекоммуникационных компаний

Многогранность проблемы внедрения новых экономических механизмов в функционирование сферы телекоммуникаций и деятельность телекоммуникационных компаний требует определения основных методологических подходов к организации управления ими. Развитие этих подходов показано в табл. 2.3.

Переход к рыночным отношениям коренным образом изменяет задачи и характер управленческой деятельности в телекоммуникационных компаниях. На первый план выходят новые цели: изменение формы собственности путем акционирования, привлечение инвесторов, максимизация прибыли, увеличение рыночной стоимости предприятия в интересах новых собственников. Приспособление компании к новым условиям функционирования требует внутренней перестройки, изменений в выполняемых функциях, преобразования организа-

Таблица 2.3. Развитие методологических подходов к организации управления

	Научные подходы		
	Процессный	Системный	Ситуационный
Представление об объекте управления	Предприятие как совокупность объекта и субъекта управления	Предприятие как открытая система	Предприятие в микро- и макросреде
Главная составная объекта управления	Производственный и управленческий процессы	Предприятие в микро- и макросреде	Конкретные ситуации функционирования предприятия в микро- и макросреде
Внос в методологию управления	Методология проектирования автоматизированных систем управление	Универсальные понятия и исследовательские приемы объектов с учетом внутреннего многообразия, целостности, органической взаимосвязи их элементов и внешней среды: методология стратегического управления	Операционный подход к анализу и разработке решений
Критерий оценки результативности управления	Эффективность управления	Разработка и реализация глобальной стратегии предприятия	Критерии глобальной оптимизации

ционной структуры, пересмотра всей системы распределения прав, полномочий и ответственности. Для долгосрочного выживания компании необходимо разработать определенный перечень последовательных шагов и выяснить, что именно надо делать для достижения успеха. Процесс изменений охватывает аналитическую и прогнозную деятельность, разработку возможных мероприятий и выбор соответствующей стратегии, поскольку любые преобразования будут так или иначе затрагивать структуру компании и отличаться степенью (частичные или радикальные) и уровнями вмешательства (индивидуум, группа, подразделение, организация в целом). Очевидно, что в этих условиях на первый план выходит необходимость внедрения стратегического управления.

Практика показывает, что телекоммуникационные компании, осуществляющие комплексное стратегическое управление, работают более успешно, получая более высокую прибыль. Стратегия определяет цели и основные пути их достижения, благодаря чему компания получает единое направление действий.

Суть стратегического управления в том, что существует четко организованное комплексное стратегическое планирование, и, с другой стороны, структура управления организацией отвечает «формальному» стратегическому планированию и построена так, чтобы обеспечить возможности разработки долгосрочной стратегии достижения целей компании [8]. Стратегическое управление в телекоммуникационных компаниях можно рассматривать как динамическую

совокупность пяти взаимосвязанных процессов, между которыми существуют устойчивые обратные связи и каждый из которых влияет на остальные и на всю их совокупность (рис. 2.2).

Стратегическое управление определяет последовательность действий организации по разработке и реализации стратегии. Процесс стратегического планирования содержит:

- определение миссии телекоммуникационной компании;
- формирование целей телекоммуникационной компании;
- оценку и анализ внешней среды;
- управленческое исследование сильных и слабых сторон;
- анализ стратегических альтернатив;
- выбор стратегии;
- реализацию стратегии;
- оценку стратегии и контроль ее реализации.

Стратегическое управление предусматривает разработку стратегии развития компании, которую можно определить как систему управленческих и организационных решений, направленных на выполнение определенных задач и миссии, что в итоге приводит к повышению эффективности деятельности и росту экономических показателей. Итак, управление предусматривает формирование и формализацию пакета мероприятий, которые позволят компании в перспективе изменить свое положение на рынке. Это фактически разработка так-

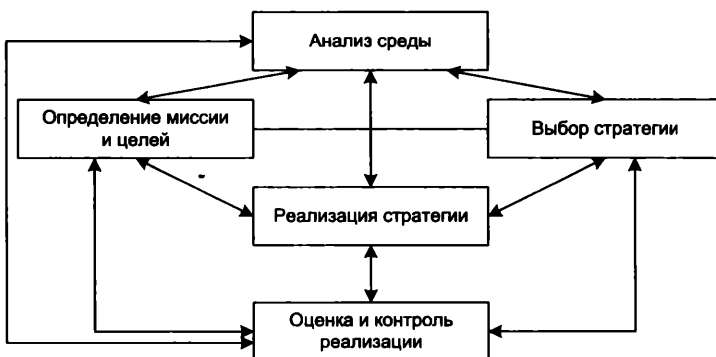


Рис. 2.2. Структура стратегического планирования

тических задач, которые в будущем обеспечат выполнение стратегических целей. В большинстве случаев первоочередными тактическими задачами являются недопущение банкротства и достижение финансовой стабильности. В целом процесс стратегического планирования на примере телекоммуникационной компании (оператора) показан на рис. 2.3.

Миссия и цели ведущих телекоммуникационных компаний в большинстве случаев совпадают, отражая их стремление к расширению сферы влияния, быстрому и широкомасштабному внедрению новейших технологий, захвату мировых нераспределенных сегментов телекоммуникационного рынка.

Миссия и цели ведущих телекоммуникационных компаний в большинстве случаев совпадают, отражая их стремление к расширению сферы влияния, быстрому и широкомасштабному внедрению новейших технологий, захвату мировых нераспределенных сегментов телекоммуникационного рынка.

Стратегия развития, широко освещаемая во всех средствах массовой информации и выступлениях высших менеджеров компаний, заключается в построении транснациональных телекоммуникационных корпораций, способных удовлетворять потребности потребителей и формировать у них спрос на перспективные виды услуг типа 3G-5G.

Несмотря на финансовые проблемы, которые сейчас решают практически все ведущие телекоммуникационные компании Европы, общая стратегия их развития предусматривает создание мощной организационно-структурной, технологической, финансовой и ресурсной базы, способной обеспечить компаниям лидирующее положение на мировом рынке телекоммуникаций.

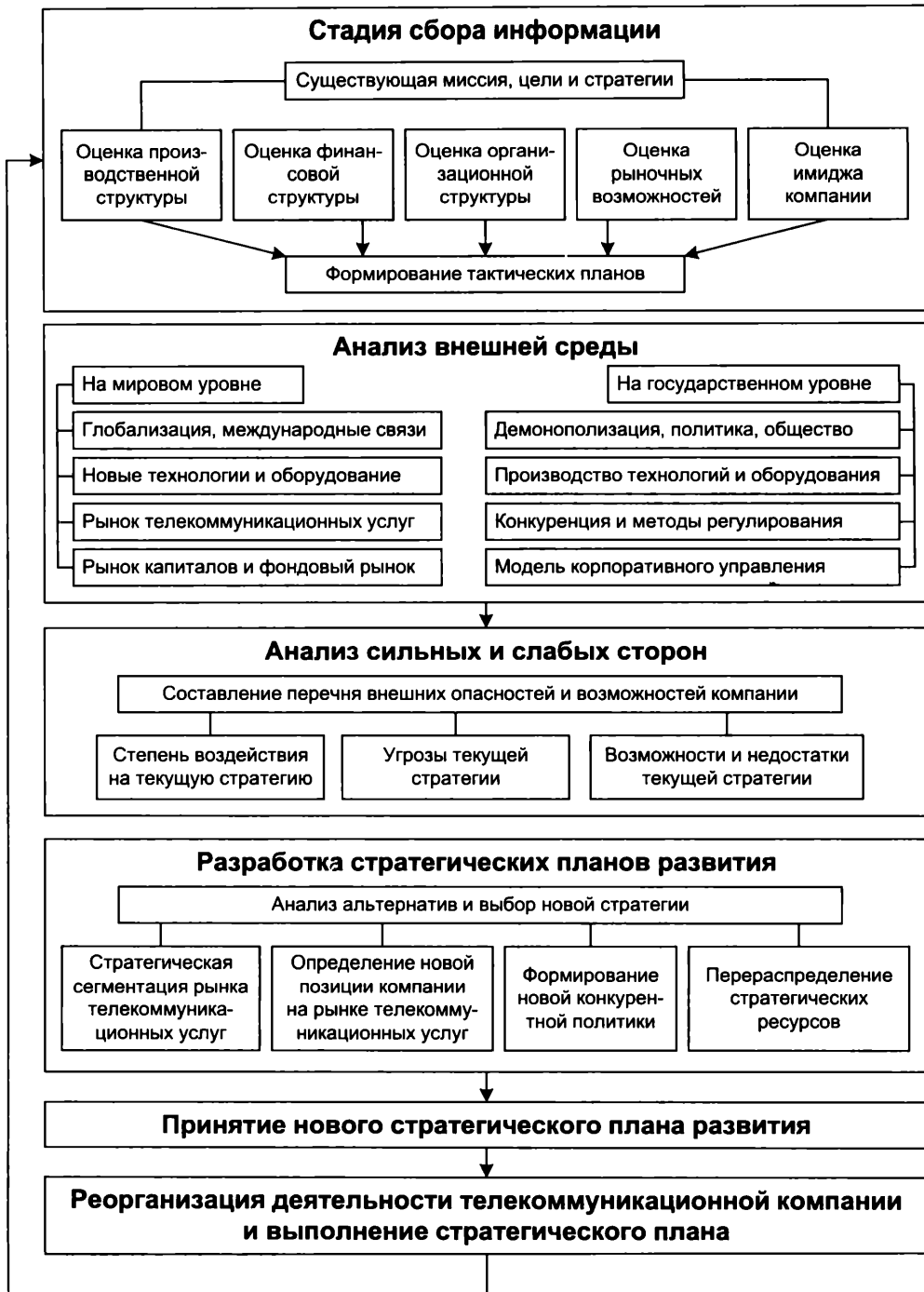


Рис. 2.3. Процесс стратегического планирования в телекоммуникационной компании

Глава 3

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ КОМПАНИЯМИ

3.1. Демонополизация телекоммуникационного рынка: закономерности и особенности

Конец XX века ознаменовался окончательным отказом от государственной монополии в сфере телекоммуникаций. Опыт и достижения ведущих стран мира подтверждают необходимость и экономическую целесообразность демонополизации телекоммуникационного рынка как для национального оператора, так и для государства в целом.

Демонополизация сферы телекоммуникаций – это осуществление законодательных, политических и экономических действий по преобразованию монопольного рынка в конкурентный путем приватизации национального оператора и либерализации телекоммуникационного рынка страны. Необходимость проведения приватизации и либерализации связана прежде всего с желанием максимально повысить экономическую эффективность сферы, что невозможно без использования преимуществ научно-технической революции, которые, в свою очередь, требуют весомых капитальных вложений. Поскольку объемы таких инвестиций превышают возможности бюджета одной страны или компании, надо было найти какой-то другой способ поиска финансовых поступлений для модернизации и развития телекоммуникационных компаний. Изменение формы собственности, являющееся следствием приватизации, позволило перенести бремя государственных затрат на плечи частных инвесторов. Стимулирование конкуренции через либерализацию рынка подтолкнула бывших монополистов к активизации собственной деятельности, разработке новых механизмов функционирования, которые стали базироваться прежде всего на основах экономической целесообразности и эффективности. Среди главных факторов, стимулировавших либерализацию телекоммуникационных рынков стран мира, следует назвать:

- необходимость привлечения капитала частного сектора с целью расширения и усовершенствования телекоммуникационных сетей, внедрения новых видов услуг;
- более быстрое внедрение инноваций, высокое качество обслуживания потребителей;
- развитие международной торговли телекоммуникационными услугами, потребность в которой была вызвана появлением транснациональных и международных корпораций как платежеспособных потребителей за услуги высочайшего качества.

Либерализация оказала значительное содействие комплексному техническому перевооружению, увеличению объема финансового оборота, возрастанию поступлений в государственный бюджет не только от реформированных национальных операторов, но и от новых телекоммуникационных компаний, которые пришли на телекоммуникационный рынок. Созданная таким образом конкурентная среда превратила современную сферу телекоммуникаций в прибыльную и высокотехнологическую отрасль, которая способна влиять на экономическое развитие страны и стимулировать его.

Поскольку приватизация зачастую длится довольно долго и осуществляется в несколько этапов, процесс либерализации может начинаться в момент завершения приватизации национального оператора. В таких случаях либерализация становится частью процесса приватизации, так как значительно влияет на реформирование производственно-финансовой деятельности национального оператора. Кроме того, либерализация не всегда касается всего телекоммуникационного рынка страны. Процесс демополизации рынка может развиваться по нескольким сценариям:

1. Приватизируется национальный оператор, разрабатывается институт регулирования телекоммуникационного рынка, после чего все сегменты рынка открываются для конкурентов, начинается либерализация телекоммуникационного рынка страны, при которой все участники находятся в более или менее равных условиях.

2. Приватизация национального оператора сопровождается частичной либерализацией отдельных наиболее прибыльных сегментов (мобильная связь, Интернет-услуги и др.), создается институт регулирования. После завершения приватизации национального оператора для конкурентов открываются все сегменты рынка, но на уровне регуляторного органа для деятельности заранее определенных операторов создаются более благоприятные условия.

3. Осуществляется либерализация телекоммуникационного рынка страны, на фоне которой приватизируется национальный оператор.

Абсолютно понятно, что выбор того или иного сценария зависит от политических, финансовых и экономических факторов, что, в свою очередь, влияет на срок осуществления приватизации, распределение полученных финансовых поступлений между государством, инвесторами и оператором, позиции приватизированного оператора в созданной новой конкурентной среде.

Анализируя приватизацию в разных странах мира, можно выделить определенные закономерности, присущие этому процессу:

- подготовка и формирование законодательной базы;
- разработка прозрачного механизма приватизации национального оператора;
- предприватизационная подготовка путем реструктуризации телекоммуникационной компании;
- продажа первого пакета акций инвестору;
- либерализация телекоммуникационного рынка страны;
- стратегическая и структурная переориентация телекоммуникационной компании соответственно требованиям новых собственников с одновременным сохранением профиля;
- перераспределение собственности и появление новых инвесторов (этапы повторных продаж пакетов акций);
- достижение финансовой стабилизации и регистрация акций компании на Нью-Йоркской фондовой бирже соответственно требованиям Комиссии по ценным бумагам и фондовых бирж правительства США (US SEC).

К особенностям приватизации следует отнести:

- время начала приватизации и ее продолжительность;
- соблюдение последовательности этапов приватизации;
- источник поступлений инвестиций;
- количество промышленных инвесторов;
- распределение полученных от приватизации средств;
- состояние технологического развития телекоммуникаций;
- объем международной деятельности.

Особенности приватизационного процесса нельзя рассматривать как положительные или отрицательные факторы, но само изучение особенностей их влияния на результаты требует оценки прежде всего для тех стран, где приватизация только начинается. Совершенно ясно, что «пионеры» приватизации наряду со всеми трудностями находились в более благоприятных условиях, так как имели возможность надеяться на получение как внутренних, так и внешних инвестиций. Сейчас вопрос привлечения иностранного капитала является очень сложным и проблематичным.

Большинство так называемых «свободных» средств уже использовано, более или менее «надежные» операторы приватизированы, а остались лишь те, которые находятся в зоне большого риска либо не являются инвестиционно привлекательными. Приватизация, как уже отмечалось, имеет определенные закономерности, без которых она не может осуществляться. Их соблюдение требует времени, поэтому искусственное сокращение срока ее проведения приводит к отрицательным последствиям. Следует также указать, что на результаты приватизации влияет состояние технологического развития оператора, поскольку от этого зависит как его стоимость, так и привлекательность для инвесторов, наличие международной деятельности, поскольку увеличивается интерес к оператору со стороны его иностранных клиентов.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что для создания благоприятных условий развития сферы телекоммуникаций необходимым фактором успеха является на данное время проведение ее монополизации. Главная цель – приватизация национального оператора, которая невозможна без проведения таких мероприятий, как:

- создание нормативно-правовой базы приватизации оператора, защиты инвесторов, регулирование либерализованного телекоммуникационного рынка; установление взаимоотношений между операторами, властью, регуляторными органами;
- существование фондового рынка, механизмов его регулирования, модели корпоративных отношений, присутствие института профессиональных участников, финансовых и нефинансовых гарантов, так как от этого зависят эффективность эмиссии и продажи ценных бумаг, появление крупных и мелких инвесторов.

3.2. Реформа организационно-экономического механизма функционирования телекоммуникационных компаний

Говоря о достижении экономической эффективности телекоммуникационной компании, необходимо учитывать формы и методы управления, которые направлены на наращивание объемов деятельности и прибыли. На современном этапе развития крупные телекоммуникационные компании проходят путь от простой концентрации капитала до разработки специального инструментария, обеспечивающего этот процесс. Соответственно этому появляется особый аппарат, предусматривающий создание специальных подразделений, назначение которых заключается в разработке механизмов неуклонного развития телекоммуникационной компании. Они являются одним из основополагающих новых средств организации деятельности, которые не только внедряются, но и изменяют структуру организации управления компаний.

Эволюция отношений собственности, а также составляющих организационного механизма телекоммуникационной компании находят свое отражение в усложнении структуры, ее развитии, распределении функций управления в соответствии с объемами имущественных прав. Технологические и общемировые преобразования, характеризующие этот процесс, ус-

ложняют структуру и находят конкретное отражение в развитии обобщенной структуры телекоммуникационной компании, рассредоточении функций управления.

Бывшие национальные телекоммуникационные операторы не заботились о поиске рынков сбыта услуг, анализе приоритетов потребителей, поиске источников финансовых поступлений для внедрения результатов научно-технического прогресса. Все производство развивалось лишь с частичным учетом запросов потребителей, так как существовало гарантированное финансирование со стороны государства-собственника. Исторически и технологически обусловленные преобразования в сфере телекоммуникаций последней четверти минувшего века стимулировали появление новых требований к телекоммуникационной компании. Признавая, что абсолютной стойкой системы не существует, телекоммуникационные компании начали руководствоваться производственно-конъюнктурной составной частью экономического успеха. При анализе последовательности действий и результатов выполнения стратегических задач телекоммуникационные компании столкнулись с необходимостью поиска источников и средств, с помощью которых можно не только сохранять конкурентоспособность, но и заранее создавать условия для постепенного экономического роста. Американский экономист Д. Фолкнер, характеризуя задачи, которые стоят перед стратегическим планированием, определил, что данный вид деятельности «должен не только показывать путь развития корпорации, но и предоставлять возможность руководству модифицировать его в зависимости от непостоянности внешней среды» [1].

Во второй половине XX века стабильность и наращивание объемов производства, которые раньше определяли стратегию руководства, начали уступать место гибкости, адаптивности, что первоначально определялось переходом к рынку, а позднее – достижениями научно-технической революции. В этих условиях закрепившаяся как аксиома жесткая организационная структура корпорации превратилась в тормоз, сдерживающий ее развитие.

Поиск новых методов, обусловленный переходом к интенсивному типу воспроизводства, сопровождался усложнением технологического уровня, расширением производственных связей, качественным прыжком в развитии информационных технологий [2].

Трудности регулирования взаимодействием структурных элементов вызвали необходимость повышения их роли в производственной деятельности телекоммуникационных компаний.

Мы рассматриваем телекоммуникационные компании как с макроэкономической, так и с микроэкономической точек зрения. Очевидно, что, с одной стороны, главная цель компании – удовлетворение спроса потребителей с высокими потребительскими свойствами при минимальных затратах, а с другой, – максимизация прибыли путем лучшего использования рыночных возможностей и собственных внутренних ресурсов.

Исходя из понятия телекоммуникационной компании как системы, анализ основных ее аспектов – производственно-технического, организационного и экономического – доказывает, что все они находятся в постоянном взаимодействии, но схемой реализации этого взаимодействия является именно структура. Отсюда вытекает, что структура компании как до, так и после изменений должна не только сохранять качественные и количественные показатели любого из аспектов, но и увеличивать их количественные характеристики.

В структуре современных телекоммуникационных компаний ярко выражен дивизиональный принцип, предполагающий, что каждое направление деятельности закрепляется за отдельно выделенной компанией. Реформа бывших национальных операторов привела к необходимости обособления финансово-кредитной, маркетинговой, инвестиционной и стратегической деятельности. Адекватно этому современные телекоммуникационные компании внедряют в свою практику и структуру подразделения, отвечающие за указанные направления.

Признавая отсутствие статичности структуры, скажем, что наличие обязательного существования определенных структурных подразделений, а именно, дивизионов (дочерних

компаний), является необходимым условием выживания телекоммуникационной компании и обуславливается несколькими факторами.

1. *Номенклатура предоставляемых услуг* (маркетинговая деятельность). При наличии децентрализации в структуре и закреплении за дивизионами обязанности предоставления определенного вида услуг, количество дивизионов корректируется в соответствии с необходимостью внедрения или отказа от того или иного вида услуг. Например, если компания не предоставляет мультисервисные услуги, то и соответствующего дивизиона вообще не будет, или он будет создаваться в том случае, если стратегия развития будет предусматривать перспективность предоставления услуг в этом сегменте рынка в будущем. Если компания откажется, например, от предоставления телеграфных услуг, сразу же дивизион этого направления будет ликвидирован или переориентирован на другой сегмент рынка услуг связи.

2. *Технология производства* (производственная деятельность). В зависимости от технологии производства услуги уровень расположения филиалов может колебаться от районного до регионального. Например, если речь идет о фиксированной телефонии (стационарные телефоны) уровень территориального распределения офисов не может быть выше, чем региональный. Но говоря о мобильной связи, можно ограничиться крупными городами, так как технологический уровень производства этих услуг не требует большой рассредоточенности офисов.

3. *Инвестиционная привлекательность* (инвестиционная деятельность). Этот аспект приобретает силу при приватизации предприятия. Появление нового собственника непременно сопровождается изменениями в верхнем эшелоне управления, построении его новой структуры. Наряду с этим, более мощный владелец изменяет структуру всей компании по примеру собственной, поскольку приобретенная компания становится его структурным подразделением.

4. *Доходность акций* (фондовая деятельность и финансы). Эта экономическая характеристика результатов работы дивизионов в большинстве случаев является решающей при принятии решения о создании или ликвидации дивизиона. Доходность акций – это индикатор фондовой деятельности компании и критерий отбора, поскольку, отслеживая движение средств на фондовом рынке, руководство компании или вводит, например, предоставление услуг третьего поколения, если акции дивизионов конкурентов возрастают, или уничтожает эту составную либо репрофилирует ее на предоставление услуг качественно нового уровня.

5. *Конкурентная борьба*. Этот двигатель экономического развития подталкивает руководство к постоянному поиску оптимальной организации деятельности для повышения прибыли. Для телекоммуникационных компаний появление конкуренции – это новая реальность, которая, отражаясь на структуре компании через внедрение новых составляющих, стимулирует выполнение новых функций маркетинга, стратегического планирования, аудита, финансового менеджмента, инвестиционной политики. В структуре современных телекоммуникационных компаний, как правило, эти направления деятельности также возлагаются на отделенную компанию или дивизион.

Понятно, что перечень перечисленных аспектов не является исчерпывающим, ведь структура телекоммуникационной компании как открытой системы, взаимодействующей с внешней средой, не является ограниченной, но принимается базовой для более глубокого понимания ее роли и значения в достижении финансового успеха.

Оптимальность построения внутренних связей структуры с точки зрения максимизации основных показателей и есть основа экономического роста. Переход телекоммуникационных компаний на дивизионный тип оправдан слабой технологической связью дивизионов (что более характерно для европейских компаний). Касаясь стран, только вступающих на путь демонаполизации, с недостаточно развитой производственной и технологической базой, можно утверждать, что дивизионализация для них становится требованием, необходимым для перспективного развития.

Функция структуры в экономическом развитии состоит, во-первых, в направленности на повышение эффективности контроля разнообразных производственных и финансовых единиц в середине компании. Ради этого осуществляется упрощение иерархии, строится более согласованная система взаимосвязи, контроля и подчинения структурных подразделений. Во-вторых, связь между подразделениями организуется таким образом, чтобы максимально полно и быстро выполнять задачи высшего руководства, которые также направлены на повышение экономической эффективности деятельности компании в целом и подразделений, в частности.

Для достижения долгосрочного экономического роста наряду с дерегуляцией компания должна сохранять контроль над всеми подразделениями, для чего используются разные способы.

Очевидно, что структура компании зависит от особенностей ее деятельности. В зависимости от выполняемых задач выбираются организационно-правовые формы предприятия и места размещения дочерних фирм. Организационные структуры формируются в «привязке» к конкретным рынкам, методам работы, производственно-финансовым связям и существующим моделям корпоративного управления.

3.3. Корпоративное управление в телекоммуникационных компаниях

Корпоративное управление – это система соглашений между органами акционерного общества и его владельцами (акционерами) о способах управления деятельностью компании. Управление телекоммуникационными корпорациями осуществляется путем внедрения системы выбираемых и назначаемых органов, которые руководят деятельностью корпорации для обеспечения максимально возможной прибыли.

Согласно определению Мирового банка, корпоративное управление соединяет в себе нормы законодательства, нормативные положения и практику хозяйствования в частном секторе, что позволяет компании получать финансовые и людские ресурсы, эффективно осуществлять хозяйственную деятельность и, таким образом, продолжать свое функционирование, обеспечивая долговременную экономическую стабильность путем повышения стоимости акций и поддерживая интересы всех людей, которые участвуют в компании (участников корпоративных отношений), и общества в целом.

Главными характерными чертами эффективного корпоративного управления являются: прозрачность финансовой информации и информации о деятельности компании; осуществление контроля за деятельностью исполнительного органа; всесторонняя защита прав и законных интересов акционеров; независимость контрольного органа в определении стратегии компании, мониторинг его деятельности. Эффективное корпоративное управление требует от руководства действий согласно интересам собственников (акционеров) и направлено на обеспечение максимально возможной прибыли и увеличение стоимости акций в рамках действующего законодательства.

Корпоративное управление в телекоммуникационных компаниях обеспечивается корпоратизацией, состоящей в:

- концентрации капитала путем слияния и поглощения компаний, создании на этой основе стратегических альянсов;
- глобализации деятельности, т. е. распространении услуг, а также в создании дочерних структур на наиболее привлекательных рынках, в том числе и зарубежных;
- интернационализации капитала, обусловленной возрастанием числа транснациональных компаний.

Акционирование прошло огромный путь развития, постепенно пополняясь новыми элементами и способами организационного, экономического и правового характера. К главным этапам развития акционирования следует отнести:

- формирование корпораций;
- разработка механизмов корпоративного управления акционерного общества;
- внедрение концепции управления с ориентацией на инсайдеров, аутсайдеров, менеджеров;
- развитие рынка ценных бумаг;
- формирование структуры управления корпорацией.

Независимо от сектора экономики, к которому принадлежит компания, ее акционирование и дальнейшая трансформация организационно-производственной структуры осуществляется по общим правилам и принципам, присущим существующей системе экономических отношений. Поскольку, с одной стороны, большинство развитых государств поддерживают и направляют процесс приватизации в направлении корпоратизации, а с другой, – эффективность такого способа хозяйствования доказана практически, результаты внедрения корпоративных отношений приблизительно одинаковы и отличаются лишь моделями корпоративных отношений, сложившихся на фондовом рынке той или иной страны.

При сравнительном анализе специалисты оперируют в основном тремя моделями корпоративного управления: американской, немецкой и японской. Расхождения между этими моделями состоят в особенностях акционерной формы собственности, формировании состава ключевых участников корпоративных отношений, формировании состава акционеров, формировании состава Совета директоров, существующей законодательной базой и др.

Определим главные понятия, которые применяются при исследовании. Управление телекоммуникационными компаниями осуществляется путем внедрения системы выборных и назначенных органов, которые руководят деятельностью телекоммуникационной корпорации для обеспечения максимально возможной прибыли. Корпорации функционируют на основании собственных уставов, в которых отражены главные цели и виды деятельности, права и обязанности органов управления. Вышестоящим органом управления корпорации является Общее собрание акционеров, которое, как правило, проходит раз в год. Главные вопросы, которые рассматриваются общим собранием, – внесение изменений в устав, прекращение деятельности, создание и прекращение деятельности дочерних компаний, филиалов и представительств.

На Общем собрании акционеры избирают Наблюдательный совет и делегируют ему свои полномочия для осуществления текущего управления. Председатель Наблюдательного совета может быть избран как на общем собрании, так и на заседании Наблюдательного совета. При Наблюдательном совете создаются:

- номинационный комитет, который проводит подбор квалифицированных кандидатов в члены Наблюдательного совета и рекомендует их к избранию, кроме того, он может проводить подбор кандидатов на должность председателя Правления и прочие ключевые должности;
- комитет по вопросам аудита, который напоминает ревизионную комиссию, но имеет более упрощенную структуру;
- комитет стратегического планирования или комитет по вопросам финансов и инвестиций, которые углубленно изучают соответствующие вопросы и предоставляют рекомендации на рассмотрение Наблюдательного совета.

Правление является исполнительным органом корпорации и осуществляет повседневное управление делами в границах полномочий, предоставленных Общим собранием. Его работу контролирует Наблюдательный совет. Правление несет ответственность за выполнение ре-

шений Общего собрания и Наблюдательного совета. В отличие от членов Наблюдательного совета члены Правления обязаны быть специалистами и иметь специальные знания в области менеджмента, экономики и телекоммуникаций. Возглавляет Правление Председатель, который полностью отвечает за управление текущей деятельностью, а именно:

- осуществляет стратегическое планирование и оперативное управление;
- распоряжается имуществом и средствами;
- представляет интересы корпорации в отношениях с учреждениями, предприятиями, организациями и гражданами;
- принимает на работу и освобождает работников, за исключением тех, которые избираются Общим собранием;
- организует работу по выполнению решений Общего собрания и Наблюдательного совета и подает в них отчеты;
- открывает банковские счета;
- распределяет обязанности между заместителями, определяет их полномочия;
- действует от лица корпорации без доверенности, подписывает соглашения, контракты и др.;
- издает приказы и распоряжения в рамках своей компетенции.

Ревизионная комиссия избирается Общим собранием и подотчетна ему. Цели ее деятельности:

- контроль за финансово-хозяйственной деятельностью Правления, осуществляемый путем проведения проверок для выявления действительного финансового состояния;
- предоставление результатов этих проверок соответствующим органам управления для выявления недостатков и злоупотреблений, которые могут быть допущены Правлением во время его управления финансовой деятельностью корпорации [3].

Сравнительный анализ моделей корпоративного управления приведен в табл. 3.1 [4].

Таблица 3.1. Анализ моделей корпоративного управления

Модель	Основные признаки корпоративного управления
Состав акционеров	
Англо-американская	Преобладание институциональных инвесторов над частными
Немецкая	Основные инвесторы – банки и корпорации. Большое влияние оказывают иностранные инвесторы
Состав Совета директоров	
Англо-американская	Совет директоров состоит из «инсайдеров» (людей, которые работают в корпорации или тесно связаны с ее управлением) и «аутсайдеров» (лиц или учреждений, которые непосредственно не связаны с корпорацией и ее управлением). Председатель Совета директоров и Генеральный директор корпорации – одно и то же лицо (власть концентрируется в одних руках). Количество независимых директоров явно возрастает. Размер совета – 13–15 членов
Немецкая	Корпорациями управляют Наблюдательный и Исполнительный советы (двухпалатное правление). Наблюдательный совет назначает и распускает Исполнительный совет, утверждает решения высшего руководства и управляет Исполнительным советом. Заседание Наблюдательного совета происходят один раз

Продолжение табл. 3.1

Модель	Основные признаки корпоративного управления
Немецкая	<p>в месяц. Исполнительный совет отвечает за текущее управление компанией. Он состоит исключительно из работников корпорации. В Наблюдательный совет входят лишь представители рабочих/служащих и представители акционеров. Размер Наблюдательного совета зависит от размера компании. Отличия модели:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) закон устанавливает размер Наблюдательного совета, который не изменяется; 2) в Наблюдательный совет входят представители рабочих/служащих компании. <p>Членами Наблюдательного совета, который избирается акционерами, обычно являются представители больших акционеров (банков и корпораций)</p>
Законодательная база	
Англо-американская	<p>Взаимоотношения между менеджментом, директорами и акционерами регулируются сборником законов и правил. В США федеральное агентство, комиссия по ценным бумагам и фондовым биржам регулирует рынок ценных бумаг, отношения между акционерами, а также акционерами и корпорациями, вводит правила раскрытия информации для корпорации. В Великобритании законодательные рамки корпоративного управления вводятся парламентом и регулируются правилами некоторых организаций (например, комиссией по ценным бумагам и инвестициям). Большую роль играют фондовые биржи, широко применяющие лизинг, уровень раскрытия информации и прочие требования</p>
Немецкая	<p>Федеральные и местные законы Германии благодаря крепким федеральным традициям имеют влияние на корпоративное управление. Уставы акционерного общества и фондовой биржи, коммерческие правила, закон о промышленной демократии и равноправии служащих входят в состав федерального законодательства. Рынок ценных бумаг тоже регулируется федеральным агентством</p>
Механизм взаимодействия между ключевыми участниками	
Англо-американская	<p>Зарегистрированные акционеры получают по почте полную информацию о проведении собраний, годовой отчет корпорации, бюллетени для голосования. Акционеры могут голосовать заочно, без присутствия на общем собрании</p>
Немецкая	<p>В целом система ориентирована на ключевых участников, мелким акционерам тоже отводится много внимания. Полноправному участию акционеров препятствует то, что большинство акций – это акции на предъявителя, которые не регистрируются. Корпорации объявляют о проведении годового собрания в правительственных изданиях и направляют годовые отчеты и повестку дня в банк-депозитарий, который направляет их акционерам. Акционер дает банку поручения, за которые банк имеет право голосовать в срок до 15 месяцев. Если поручение не выдано, банк голосует так, как считает нужным, что приводит к конфликту интересов между банком и акционером. Однако мелкие акционеры не исключаются из процесса и могут вносить свои предложения</p>

Очевидно, что акционирование телекоммуникационной компании приводит к формированию новых принципов построения структуры. Формирование структуры в этом случае сталкивается с объективной необходимостью учета интересов новых собственников. Как уже отмечалось, их количественный и качественный состав устанавливает определенные принципы управления компанией, что неминуемо отражается на построении ее структуры (органов управления, Наблюдательного совета, Правление и т. п.) и, как следствие, на экономических результатах.

Модель корпоративных отношений строится согласно существующих в государстве принципов организации фондового рынка. Именно эти принципы, степень развития, наличие специальных финансовых институтов, которые обеспечивают минимизацию риска, инструментальный состав ценных бумаг – вот новое окружение, в которое попадает телекоммуникационная компания после приватизации. От него зависит модель корпоративных отношений, которая будет сформирована в компании и будет влиять на структуру, способы управления, эффективность функционирования.

3.4. Закономерности и особенности построения организационных структур управления телекоммуникационными компаниями

В условиях демонополизации рынка очень трудно строить прогнозы развития тех или иных отраслей. Сейчас определенно нельзя сказать, насколько положительный результат дали бы в нашей стране реформы, примененные в других странах. Нужно помнить, что ни один, пусть даже самый удачный опыт, нельзя копировать в другой стране, на другом предприятии без учета множества факторов.

Однако известны общие тенденции и направления развития теории и практики управления, существуют изменения, схожие по своей природе и характеру, хотя и происходящие в разных странах в разное время. Все компании рано или поздно проходят через определенные этапы развития.

Рассмотренные далее изменения уже произошли или еще происходят в организационном строении телекоммуникационных компаний, которые наиболее ярко представлены на мировом телекоммуникационном рынке – одном из самых динамично развивающихся и многообещающих рынков настоящего времени.

В данном разделе описана и проанализирована организационная структура наиболее известных телекоммуникационных компаний Западной Европы. Специалисты называют организационную структуру этих компаний горизонтальными. Здесь необходимо заметить, что каждая новая организационная структура, возникающая в процессе эволюционного развития, обладает характеристиками существующей модели, наделяя ее новыми свойствами и чертами. Таким образом, то, что специалисты называют горизонтальной моделью, является развитой дивизиональной структурой, где дивизионы внутри корпорации разделены по так называемому бизнес-принципу. Проще говоря, разделены по направлениям деятельности компании, охватывая в общей сумме определенный рынок. Это форма организации компаний приходит на смену организации компании по географическому принципу. При новой организационной структуре сокращается число иерархических уровней внутри предприятия, что в полной мере отвечает тенденциям формирования организации будущего. Дивизионы наделяются большей автономностью и ответственностью за принятие важных управленческих решений при сохранении центрального контролируемого процесса распределения ресурсов и оценки результатов.

British Telecom (BT) – один из лидеров на мировом рынке телекоммуникаций. Деятельность компании на сегодняшний день включает все основные направления в сфере предоставления телекоммуникационных услуг. Это услуги местной, междугородной, международной связи, мобильная связь, Интернет, информационные технологии нового поколения и их развитие.

Организационная структура British Telecom на сегодняшний день представляет собой совокупность дочерних компаний, каждая из которых ориентирована на определенный сегмент телекоммуникационного рынка.

Во главе всех предприятий находится холдинговая компания BT Group plc, у которой сконцентрированы контрольные пакеты акций дочерних предприятий, входящих в состав группы. Каждое дочернее предприятие обладает юридической и хозяйственной самостоятельностью, однако подчиняется холдингу в финансовом отношении.

В состав группы входят следующие компании (рис. 3.1):

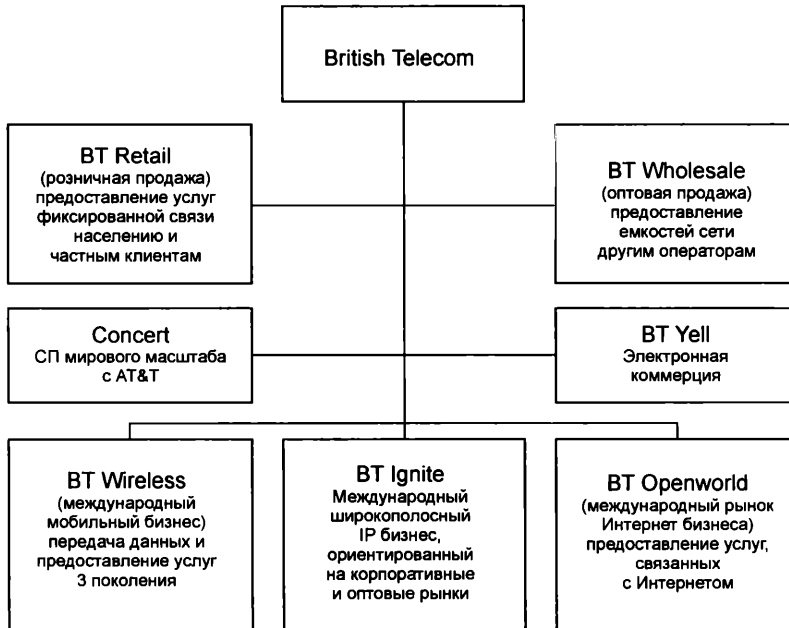


Рис. 3.1. Организационная структура компании BT до 2001 г.

BT Ignite – компания, ориентированная на оптовые рынки и рынки корпоративных клиентов на международном уровне и предоставление услуг широкополосной IP-телефонии;

BT Openworld предоставляет огромный спектр услуг, связанных с использованием широкополосных каналов доступа в Интернет;

BT Yell – компания, которая занимается выпуском телефонных справочников, а также формирует компьютерную базу данных для своих клиентов, облегчая для них поиск необходимой информации. В годовом обороте British Telecom прибыль от продажи продукции компании Yell составляет 4%. В настоящее время компания выходит на рынок электронной коммерции;

British Telecom совместно с американской корпорацией AT&T объединены в совместное предприятие мирового масштаба Concert. Эта компания является лидером в предоставлении коммуникационных услуг на мировом уровне для международных клиентов, предоставляя в их пользование всевозможные каналы связи;

BT Retail занимается проводной телефонией, обслуживает население и частных клиентов;

BT Wholesale занимается предоставлением мощностей и сетей другим операторам.

Управление BT Retail и BT Wholesale было разделено на две самостоятельные компании относительно недавно – в 2000 г.

В настоящее время компания BT Wireless не входит в организационную структуру предприятия, однако является дочерним предприятием British Telecom. Компания занимается предоставлением услуг мобильной связи и развитием услуг нового поколения.

Последняя реструктуризация в компании British Telecom произошла в 2001 г. (рис. 3.2). Результатом стало выделение из группы компании BT Wireless и создание двух объединений. В одно входят компании BT Retail, BT Wholesale, BT Openworld, BT Ignite. Эта группа предприятий именуется Future BT, и ее стратегия нацелена на создание и совершенствование единой европейской сети, а также на формирование группы, которая была бы нацелена на развитие информационных услуг.

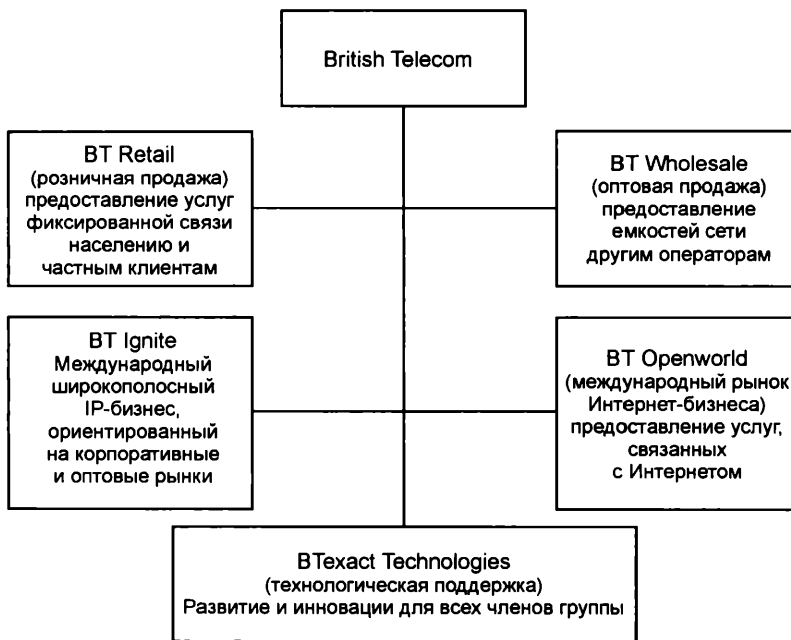


Рис. 3.2. Организационная структура компании BT после 2001 г.

Новая структура также характеризуется появлением новой дочерней компании BTexact Technologies, которая занимается развитием, совершенствованием и инновационной деятельностью в пределах всей группы, облегчая работу компаниям, которые непосредственно предоставляют услуги связи. Компания вошла в состав группы только в 2001 г.

Другое объединение – это компания BT Wireless, в которую войдут все дочерние или акционированные компании British Telecom не только в Великобритании, но и по всей Европе. Ожидается, что эта группа предприятий станет быстрорастущим и развивающимся сектором, который займет устойчивое положение на рынке услуг третьего поколения [36]. Планируется создание на рынке услуг независимого беспроводного оператора [5].

Руководству компании British Telecom удалось оптимизировать все процессы, изменив направление деятельности с географической ориентации на рыночную ориентацию.

Все дочерние компании группы также имеют собственную организационную структуру, которая выглядит примерно одинаково. На рис. 3.3 изображены организационные структуры компаний BT Retail и BT Wholesale.

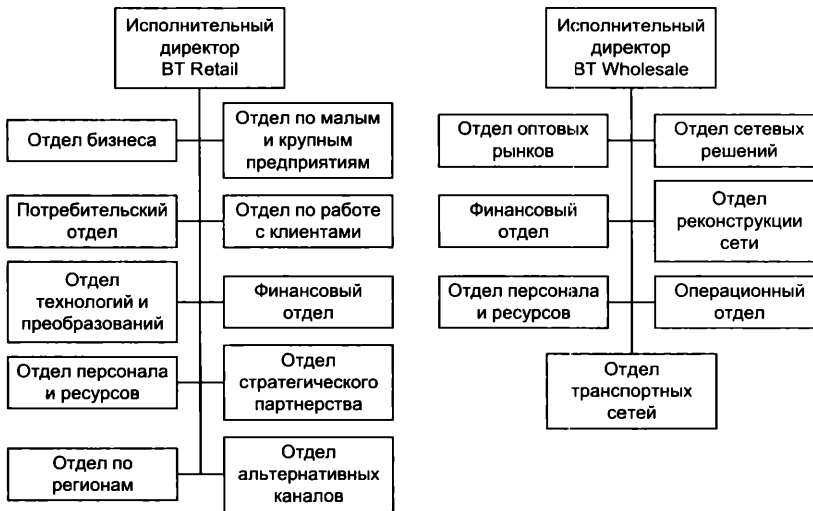


Рис. 3.3. Организационная структура дочерних компаний BT

Организационная структура TDC. Телекоммуникационный рынок Дании был либерализован относительно недавно – в 1996 г., а уже в 1997 г. Tele Denmark заключил договор о стратегическом партнерстве с Ameritech, которая владеет 42% акций датского Телекома.

В настоящее время TDC – равноправный участник мирового телекоммуникационного сообщества, в чем немалую роль сыграли связи компании с американскими партнерами. Во главе компании, также как и Великобритании, находится холдинг TDC Group. В состав холдинга входят следующие компании (рис. 3.4).

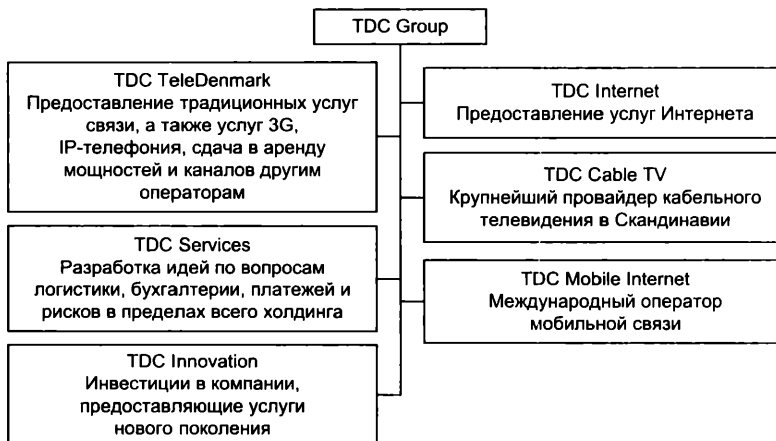


Рис. 3.4. Организационная структура компании TDC

TDC Tele Denmark – крупнейшее в группе дочернее предприятие с широчайшим спектром предоставляемых услуг. Компания, ранее занимающаяся фиксированной телефонией, сумела приспособиться к требованиям современного рынка и в настоящее время не только сдает в аренду линии связи и предоставляет лицензии на их пользование, занимаясь при этом

развитием сети, но и является крупнейшим провайдером IP-телефонии. TDC Tele Denmark сумела сосредоточить в себе традиционные услуги наравне с внедрением новых технологий.

TDC Mobile Internet – бесспорный лидер на рынке предоставления мобильных услуг Дании. Компания постоянно расширяет свои границы в сторону наиболее перспективных рынков Европы. В 2000 г. 75% дохода компания получила именно благодаря международной деятельности. На территории Дании TDC Mobile Internet действует через компанию TDC Mobile и по сравнению со странами Северной и Западной Европы занимает самый большой сегмент национального рынка. TDC Mobile Internet является одним из инвесторов UMC.

В состав группы также входят дочерние компании TDC: Internet NDC, предоставляющая услуги Интернета; Cable TV – один из крупнейших провайдеров кабельного телевидения в Скандинавии, который только в Дании предполагает услуги кабельного телевидения более чем 800 тыс. клиентам; TDC Directories – компания, специализирующаяся на издательстве телефонных справочников. В последние годы компания диверсифицирует свою деятельность, пробуя свои силы на новом рынке электронной коммерции. В настоящее время TDC Directories – вторая по величине издательская компания на рынке Дании.

В состав группы входит TDC Innovation – компания, которая занимается инвестированием в развитие услуг новых поколений (услуг третьего-пятого поколений).

Следующий участник группы – TDC Services – компания-разработчик по вопросам счетов, бухгалтерии, логистики, платежей и управления рисками. Эта компания функционирует на благо всей группы TDC и обслуживает дочерние компании, решая финансовые вопросы.

Деятельность компании на национальном рынке включает пять основных направлений: сотрудничество и предоставление услуг корпоративным клиентам (обслуживание бизнеса), предоставление услуг населению, обслуживание оптовых клиентов, установка оборудования и обслуживание сети. На международной арене компания представлена предприятиями InterNordia (Швеция), Tele Danmark (США), ELTele (Норвегия).

Данную структуру компания обрела в 2000 г., сменив имя с Tele TDC Mobile International Danmark на TDC, создав новые дочерние предприятия, новую организационную структуру, изменив свою ориентацию на клиента. Тем самым компания обеспечила себе почву для дальнейшего развития и роста.

Организационная структура Deutsche Telekom. Deutsche Telekom (DT AG) – самая крупная телекоммуникационная компания Европы со множеством дочерних и ассоциированных предприятий в Германии и за рубежом, является третьей по величине на мировом телекоммуникационном рынке.

Растущий потенциал рынка телекоммуникаций потребовали от структуры компании повышения гибкости, и с 1996 г. Deutsche Telekom, вслед за Великобританией, постоянно приспособливает и изменяет свою структуру в соответствии с новыми требованиями, формируя новую платформу для расширения и углубления деятельности компании.

Реорганизация компании Deutsche Telekom происходила путем вовлечения различных аспектов деятельности фирмы и нашла свое отражение в изменении подразделений с абсолютно разными целями и задачами.

Целями организационных изменений было наделение структурных подразделений ответственностью за результаты своей деятельности и самостоятельностью в принятии управленческих решений в пределах своего рыночного сегмента. Стратегия была сформирована так, чтобы обеспечить необходимую последовательность работ и их согласованность без потерь времени в ходе производственных процессов. Каждое структурное подразделение стремится к достижению своих целей на своем рыночном сегменте, а руководство компании DT AG обеспечивает стратегическое руководство по всем направлениям деятельности.

Процесс реструктуризации крупной компании невозможно провести за короткий промежуток времени, в противном случае это может привести к негативным последствиям и результатам. Начавшийся процесс реструктуризации в 1996 г. нашел свое отражение в измененной структуре только к 2001 г. (рис. 3.5).

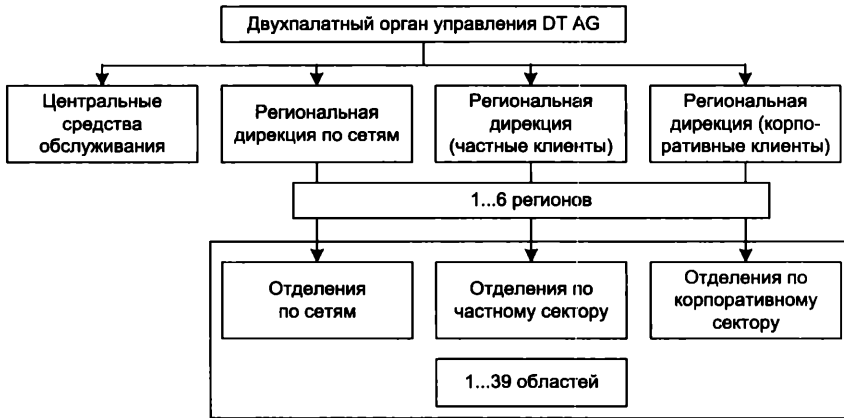


Рис. 3.5. Организационная структура DT AG до 2001 года

Переориентация компании оптимизировала производственные процессы и позволила сократить численность персонала в центральных подразделениях. Контроль доходов и расходов компании свидетельствует о том, что произошедшие в компании изменения помогли высвободить значительный потенциал, сохранив, а в последствии и повысив эффективность, снизив при этом издержки.

Новая организационная структура с 2001 г. сужает рамки принятия решений, концентрируя ответственность на руководителях соответствующих подразделений. 39 отделений и 6 региональных дирекций были реорганизованы. Большое внимание было уделено формированию каналов прохождения информации. Важным аспектом является то, что компании удалось избежать массовых увольнений сотрудников, перераспределив персонал во вновь организованные подразделения, которым необходимы квалифицированные кадры.

Руководство DT AG организовало деятельность компании по четырем основным направлениям: T-COM, T-SYSTEM, T-MOBILE, T-ONLINE. В дополнение к существующим штаб-квартирам и центральным обслуживающим зонам появился еще один сегмент Others, который включает в себя некоторые иностранные дочерние предприятия. Кроме новых подразделений T-MOBILE и T-ONLINE, которые нацелены на исследование рынка, оставшаяся часть деятельности была переориентирована на клиента. В то время, как T-Com концентрировала свои усилия на обслуживании населения, малых и средних предприятий, T-Systems специализировалась на отечественных и международных клиентах, обслуживание которых ведется по безналичному расчету (key account customers).

Изменения, произошедшие в компании с 1996 г., отражены на рис. 3.6.

Ниже приведено описание, которое иллюстрирует развитие Deutsche Telekom в четырех новых направлениях.

В новой структуре T-Com управляет и поддерживает обслуживание местного населения (41 млн.) и приблизительно 350 000 малых и средних предприятий в Германии. T-Com также продолжает управлять всеми международными каналами. Широкополосный кабельный доступ, большая часть дорогостоящих бизнес-услуг и все оконечное оборудование – сфера дея-

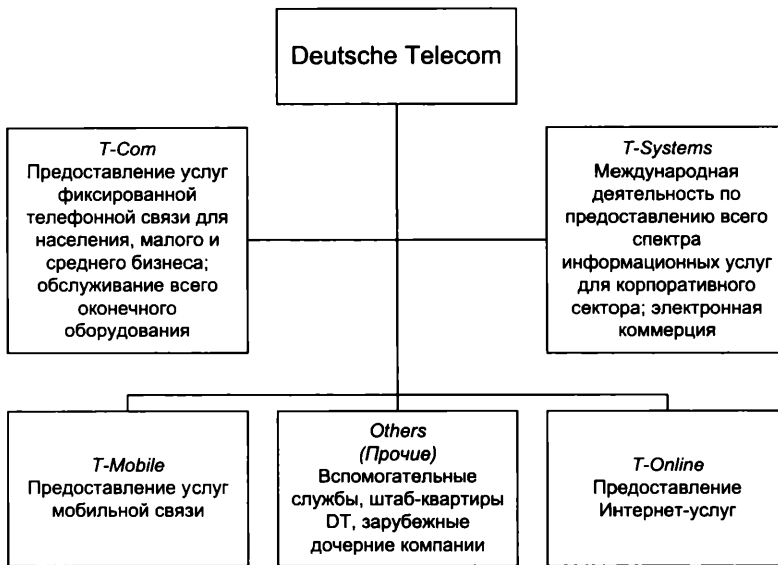


Рис. 3.6. Организационная структура DT после 2001 г.

тельности T-Com Sales. T-Com является связующим сетевым звеном и платформой для всех остальных подразделений и видов деятельности.

T-Systems обслуживает клиентов по безналичному расчету. T-Systems предоставляет весь спектр услуг в секторе информационных технологий и телекоммуникаций. Компании удалось успешно развить данный вид услуг, и в настоящее время Deutsche Telekom предлагает не только вышеперечисленные услуги, но и успешно выходит на рынок электронной коммерции.

Данные услуги являются на сегодняшний день самыми многообещающими, и благодаря сотрудничеству с известной немецкой компанией Systemhaus, Deutsche Telekom на сегодняшний день занимает второе место в Европе по предоставлению клиентам услуг в сфере информационных технологий. В первом полугодии 2001 г. прибыль была на 46,2% выше, чем за первое полугодие 2000 г. Более того, высокий уровень по сравнению с 2000 г. был достигнут в сфере IP-телефонии благодаря сотрудничеству с крупными корпоративными клиентами.

T-Mobile – дочернее предприятие Deutsche Telekom, которое предоставляет услуги мобильной связи. Через свои компании T-Mobile предоставляет услуги в Германии, Англии, США, Австрии и Чехии, а также является держателем акций мобильных компаний в Польше, Нидерландах и России. T-Mobile планирует предоставлять новую мобильную услугу стандарта UMTS во многих странах. Deutsche Telekom T-Mobile является материнской холдинговой компанией для многих мобильных компаний. Наблюдается неуклонный рост числа дочерних предприятий по предоставлению услуг мобильной связи. Наибольший рост наблюдается в Германии и Великобритании. На сегодняшний день Deutsche Telekom – вторая по величине компания по предоставлению услуг мобильной связи в Германии с количеством абонентов около 9,2 млн. (на конец 1999 г.). На рынке мобильной связи доля Deutsche Telekom составляет 39%.

T-Online – дочернее предприятие Deutsche Telekom, предоставляющее услуги Интернета. Вместе со своими представителями в Германии, Испании, Португалии, Австрии Deutsche Telekom – самый крупный провайдер данного вида услуг во всей Европе. Поскольку данный

вид услуги является одним из самых перспективных, Deutsche Telekom действует не только через T-Online, но также через DeTeMedien, компанию, работающую бок о бок с T-Online.

Прибыль, полученная от деятельности данного подразделения за первую половину 2001 г., на 33,6% выше по сравнению с тем же периодом в 2000 г. Этот рост обеспечен, прежде всего, растущим числом дочерних предприятий.

Рыночный сегмент Deutsche Telekom, названный на рис. 3.6 «Прочие», включает в себя подразделения, деятельность которых не может быть выделена в отдельное направление. Сюда входят штаб-квартиры Deutsche Telekom, различные вспомогательные службы, такие как обслуживание счетов клиентов и оценки реального имущества. Зарубежные дочерние предприятия и компании, которые не могут быть выделены в отдельный сегмент из-за вида их деятельности или структуры клиентов, которых эти компании обслуживают, также объединены в сегмент «Прочие». Это в основном касается МАТАV (Венгерский Телеком) и Словенского Телекома.

В заключение добавим, что на декабрь 1999 г. компания Deutsche Telekom владела 13,3 млн. каналов цифровой связи, что в количественном отношении больше, чем общее число подобных каналов в США. После реконструкции сети в восточной части Германии Deutsche Telekom, по мнению специалистов, имеет наиболее развитую с точки зрения технологии инфраструктуру телекоммуникационных услуг в мире [6].

Рассмотрев организационное строение телекоммуникационных компаний стран Западной Европы, обратим внимание на общие изменения, произошедшие в этих компаниях за последние несколько лет. Главной чертой этих изменений стала переориентация на рынок и клиента. Структурные единицы формируются не с точки зрения географического расположения, а как самостоятельные подразделения, каждое из которых занимает свой сегмент на рынке.

Реструктуризация по новому принципу бизнес-подразделений помогает компании сократить среднее управленческое звено, что, в свою очередь, сокращает расходы компании. Однако еще более важным достижением становится сокращение путей прохождения информации внутри компании. Это очень важное преимущество, так как от скорости прохождения информации от клиента до высшего эшелона власти и от скорости принятия правильного управленческого решения зависит положение компании на современном рынке. В настоящее время в условиях жесткой конкуренции становится особо важным воплощение в жизнь запросов клиентов и своевременная реакция компании на малейшие колебания спроса на рынке услуг.

Еще одним важным аспектом реструктуризации является то, что высшее управленческое звено получило возможность заниматься непосредственно вопросами стратегического планирования и ориентации компании. Это стало возможным благодаря тому, что руководители соответствующих дочерних предприятий наделяются большими полномочиями в принятии решений, а соответственно и ответственностью за воплощение этих решений в жизнь.

Другой характерной особенностью предприятий нового поколения является постоянное расширение границ бизнеса, интеграция в мировое сообщество, а также инвестирование в зарубежные компании.

Практика показывает, что финансовые и технологические вложения транснациональных компаний в местные предприятия чаще всего приводят к положительным результатам для всех участников. Со стороны компании-инвестора – это способ повысить прибыль, расширить свой рынок, создать новый синергический эффект. Для компании, которая получает иностранные инвестиции и технологии, это возможность, иногда единственная, активизировать, оживить свою деятельность, получить необходимую финансовую и техническую поддержку, возможность довести свою мощность до реально существующей в данный момент на рынке, выжить в конкурентной среде. Интересной деталью реорганизации Deutsche Telekom и British Telecom является разделение на подсистемы частных и корпоративных клиентов. В British Telecom – это

BT Retail и BT Wholesale, в Deutsche Telekom – T-Com и T-Systems. Однако в Дании пошли другим путем, объединив в дочернее предприятие TDC Tele Danmark и корпоративных и частных клиентов, но создав отдельное подразделение инвестирования в перспективные компании. В состав группы предприятий British Telecom входит компания VTexact Technologies, которая занимается инновационной деятельностью для всех остальных участников группы. В составе группы дочерних предприятий TDC существует подобное предприятие – TDC Services, которое занимается разработками в направлениях бухгалтерии, логистики, платежей и управления рисками. Эта компания функционирует на благо всей группы TDC.

В целом вся деятельность компаний ориентирована на сравнительно небольшое количество направлений. Это дает руководству возможность без особого труда управлять компаниями. Предприятие не становится громоздким, разноплановым в управлении.

Горизонтальные корпорации помогают сократить вертикальное администрирование, исчезает необходимость в промежуточном звене, а следовательно, соблюдается важнейшее на сегодняшний день требование к компании – сокращаются этапы прохождения информации внутри предприятия.

Указанные выше изменения, произошедшие в компаниях, открывают для них новые возможности географического расширения рынков, увеличения номенклатуры предоставляемых услуг. Гибкость и способность адаптироваться к изменениям становятся сегодня более важными факторами, чем постоянное стремление добиваться результатов любой ценой.

Реструктуризация – эволюционный и естественный этап с точки зрения развития и дальнейшего процветания компании. Это тот шаг в своем развитии, который делают на определенном этапе своего развития все крупные компании. Это то, к чему сейчас стремятся телекоммуникационные операторы стран восточной Европы.

Хотя страны Восточной Европы еще не достигли уровня высокоразвитых стран, настоящая и прогнозируемая динамика свидетельствует, что пройдя самую низкую точку спада (в основном в 1993 г., Польша ранее), страны сумели преодолеть трудности процесса трансформации административно-командной экономики в рыночную и достигли определенных позитивных результатов.

Трансформация экономики стран Центральной и Восточной Европы характеризуется различными предпосылками. Однако истинная природа рыночных реформ достигается в результате передачи государственных предприятий в частные руки. В таких странах, как Венгрия, Польша, Чехия, приватизация стала переломным моментом и стержнем всей хозяйственной трансформации. Для того чтобы приватизация стала для предприятия положительным фактором развития и стимулом реструктуризации, необходимо наличие важнейшего фактора – привлечения внешних источников финансирования, в идеальном случае финансирование за счет оптимального сочетания – собственного капитала, акционерного и привлеченных средств (займы, облигации). Но выпуск акций и облигаций предполагает наличие развитого рынка капитала, которого до сих пор нет ни в одной из ниже рассмотренных стран.

Рассмотрим опыт трансформации структур телекоммуникационных компаний стран Восточной Европы как один из возможных путей дальнейшего развития, в частности, российских компаний.

Организационная структура МАТАV. МАТАV – ведущая венгерская телекоммуникационная компания, предоставляющая весь спектр услуг связи, включая услугу кабельного телевидения. МАТАV является наиболее развитой телекоммуникационной компанией Восточной Европы и по своему организационному строению наиболее сходна с ведущими компаниями Западной Европы.

В декабре 1989 г. отрасль «Венгерская почта» была разделена на три самостоятельные подотрасли: почту, телевидение и телекоммуникации. Однако МАТАV Hungarian Telekom как

официальный наследник бывшего государственного предприятия был создан в 1991 г. и до конца 1993 г. оставался на 100% государственной собственностью. В июле 1993 г. началась подготовка тендера для приватизации МАТАV, и уже к декабрю того же года владельцами 30,29% доли компании становится MagyarCom (DT+Ameritech International Telecommunicational Companies). В денежном выражении доля была оценена в 875 млн. долл. США. К началу 1992 г. МАТАV уже обслуживала 72% населения Венгрии и покрывала 70% территории страны. Необходимо заметить, что приватизация МАТАV стала самой большой сделкой такого рода во всей Центральной и Восточной Европе, а также самыми большими иностранными инвестициями в Венгрию за всю ее историю. Ноябрь 1997 г. – третий этап приватизации МАТАV, ее акции впервые были выставлены на продажу на бирже в Будапеште и Нью-Йорке. На рынке было представлено 20% акций – самое большое предложение для общественности за историю Венгрии по сей день. МАТАV стала первой компанией Центральной Европы, акции которой были представлены на торгах на знаменитой New York Stock Exchange.

На июль 2000 г. собственность Deutsche Telekom в МАТАV составляла 59,53%, остальные 40,47% акций были распроданы более мелким держателям, 1 золотая акция принадлежит правительству Венгрии.

В настоящее время МАТАV входит в десятку крупнейших компаний, которые возглавляют список предприятий с самыми высокими котировками акций на фондовой бирже. Компания обеспечила себе стабильное положение именно благодаря успешно проведенной приватизации. Важным аспектом стала высокая доля привлечения иностранных инвестиций, а то, что доля капиталовложений в Венгрии в целом (27,9%) и в МАТАV, в частности, принадлежит именно немецким компаниям, отвечает историческим традициям венгерской экономики. Немецкие инвестиции в Венгрию с 1990 до 1997 г. составляют 39,7% в общей массе иностранных капиталовложений.

Рассмотрим изменения, которые произошли в МАТАV после приватизации.

Процесс реструктуризации пришел в компанию в 1998 г. Компания осознала, что наступило время новой организационной структуры. Если раньше региональные операторы объединялись по функциональному принципу, то на этот раз руководство компании решило объединить их по принципу бизнес-подразделений, что в полной мере соответствовало духу Западной Европы и общей мировой тенденции развития организационных структур крупных корпораций.

Кроме указанных на рис. 3.7 дочерних компаний, в структуру также входят следующие компании, доля МАТАV в которых составляет 50% и менее:

Hunset Magyar Urtavkozlesi Koordinacios Egyesules – компания, предоставляющая услуги спутниковой связи, созданная по инициативе министерства транспорта и водного управления для представления Венгрии в международных спутниковых организациях EUTELSAT, INTELSAT, INMARSAT;

Emitel Tavkozlesi Rt. – компания, предоставляющая услуги местной связи. В 1994 г компания выиграла право на предоставления услуг в трех основных регионах Венгрии (доля МАТАV – 50%);

Magyar RTL Televisio Rt. – телевизионная компания, вещающая на национальном канале (доля МАТАV – 25%);

TELE-DATA – компания, занимающаяся формированием базы данных, телефонными справочниками, а в последнее время компания – реализацией юбилейных золотых и серебряных монет от имени Национального Банка Венгрии (для МАТАV – 50,9%, остальными 49,1% владеют компании Германии).

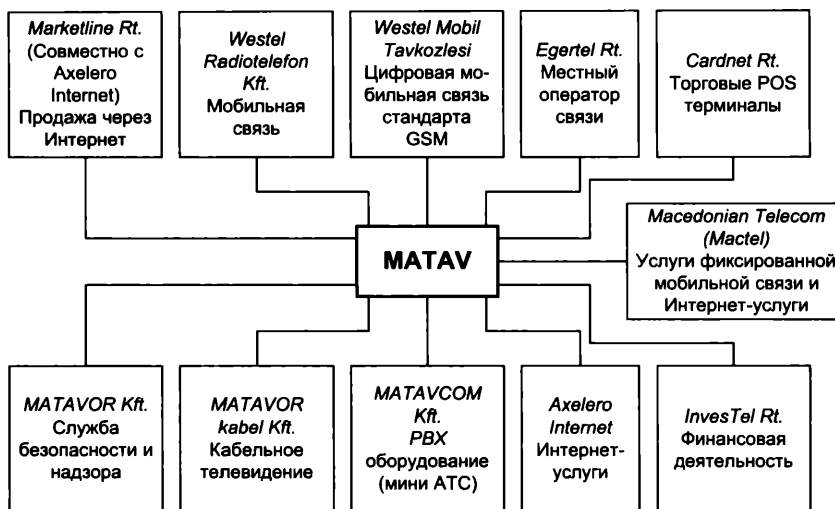


Рис. 3.7. Организационная структура MATAV после реструктуризации

Рассмотренная организационная структура разрабатывалась в соответствии с новой стратегией MATAV, которая фокусирует усилия компании на максимальной ориентации на клиента, рационализации издержек и расходов. Подобная структура способна максимально быстро реагировать на изменения вкусов клиентов, сохраняя при этом технологические преимущества и продолжая наращивать свое положение на телекоммуникационном рынке.

В противовес старой «географической» структуре, новая бизнес-структура проще и тоньше, с меньшим числом иерархических уровней. Каждое горизонтальное подразделение имеет взаимосвязанные «главные» (front) и двухуровневые (back) офисы, которые находятся в прямом контакте с клиентами, что позволяет быстрее реагировать на малейшие колебания спроса [7].

Результатом новой структуры является то, что продукция достигает рынка и потребитель быстрее, компания реагирует быстрее на рыночные изменения, а сама структура, благодаря своей гибкости, трансформируется к новым условиям без потерь.

Таким образом, организационная структура ведущих телекоммуникационных компаний прошла приблизительно одинаковые стадии изменений и усовершенствований как в процессе приватизации, так и после ее завершения. Общие черты организационных структур ведущих операторов следующие:

- наличие группы дочерних компаний с собственной структурой управления, подчиненной исполнительному директору, имеющих определенную независимость в производственной и финансовой деятельности, но выполняющих общие стратегические планы;
- наличие региональных офисов и пунктов обслуживания потребителей;
- наличие ассоциированных членов корпорации (группы);
- наличие Совета директоров;
- наличие Наблюдательного совета с подчиненными комитетами (исполнительному, аудиторскому, номинаций, вознаграждений и т.п.).

Отличительными чертами организационных структур являются:

- постепенное выделение и обособление компаний по обслуживанию финансовой и инвестиционной деятельности корпорации;

- появление компаний, отвечающих за предоставление услуг Е-коммерции и компаний, развивающих новые технологические и научные направления;
- объединение дочерних компаний в холдинговую компанию;
- наличие вариантов оптимизации количества региональных представительств путем создания объединенных структурных региональных подразделений, которые обслуживают отделенную компанию и, по необходимости, дочерние компании.

Определенным достижением современного управления телекоммуникационными корпорациями можно считать создание структуры управления, которая оптимизирована для деятельности в конкурентных условиях внутреннего рынка и быстрого реагирования на присоединение новых телекоммуникационных компаний и национальных операторов других стран.

3.5. Управление финансами и инвестиционная политика телекоммуникационных компаний

Процесс корпоратизации требует наличия соответствующей экономической инфраструктуры. Речь идет о существовании эффективного фондового рынка и возможностей по привлечению различных видов капиталовложений. Формирование цепочки акционирования – корпоратизация – реструктуризация компании открывает руководству новые перспективы по внедрению разнообразных способов и методов финансирования деятельности компании.

Существующие финансовые рынки опираются на большие сбережения юридических и физических лиц. Поэтому получение дополнительных средств, которые нужны телекоммуникационным компаниям во время приватизации, происходит путем продажи-приобретения ценных бумаг. Вся деятельность, связанная с эмиссией и оборотом ценных бумаг, происходит на рынке ценных бумаг или на фондовом рынке. Роль фондового рынка в новых экономических отношениях, в которых работает телекоммуникационная компания, определяется условиями кредитной системы, которые складывались исторически, долей акционерных обществ в производстве ВВП, степенью рассредоточения собственности в виде ценных бумаг, их значением как объекта вложения капитала, развитостью рынка и участием финансовых институтов в обороте ценных бумаг. Главная цель деятельности фондового рынка – создание благоприятных условий для получения инвестиций [8]. Влияние фондового рынка на экономическую эффективность деятельности телекоммуникационной компании наблюдается в нескольких аспектах, среди которых следует выделить:

1. Наличие фондового рынка как средства изменения формы собственности в телекоммуникационной компании, так как ее перераспределение устанавливает новые организационные и функциональные связи между структурными элементами системы, управленческими уровнями, руководителями и т.п.

2. Инструментальный состав ценных бумаг, от которого зависят возможности акционеров и вообще компании по проектированию финансовых потоков между структурными единицами, распределению и перераспределению капитала на всех руководящих уровнях, между собственниками.

3. Существование финансовых гарантов (инвестиционных банков или Советников) и возможностей по привлечению их к процессу приватизации, а в дальнейшем – к фондовой деятельности телекоммуникационной компании, поскольку на первом этапе взаимодействия именно на них возлагаются задачи поиска будущего собственника компании.

Любая рыночная деятельность, операции телекоммуникационных компаний на фондовом рынке связаны с очень большим риском. Поэтому для их защиты как участников рынка ценных

бумаг, создания условий его развития, привлечения максимального количества заинтересованных юридических и физических лиц в развитых странах сформированы такие институты, как гаранты рынка ценных бумаг. Гарантами называют финансовые и нефинансовые организации, главная цель деятельности которых состоит в уменьшении риска и повышении экономической эффективности от деятельности своих клиентов на рынке ценных бумаг.

Существование гарантов позволяет телекоммуникационным компаниям удачно осуществлять продажу акций, рассчитывать на минимизацию риска от эмиссии, найти наилучшего промышленного инвестора и т. д.

В финансовом менеджменте под внутренними и внешними источниками финансирования понимают соответственно собственные и привлеченные (заемные) средства. Известны различные классификации источников средств. Одна из возможных наиболее общих из них представлена на рис. 3.8.

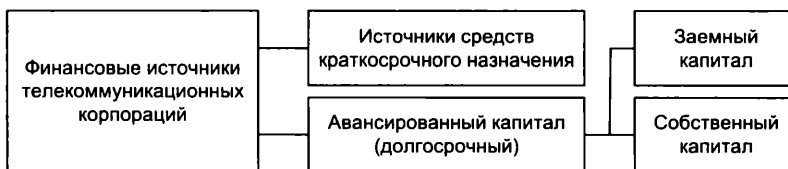


Рис.3.8. Структура источников финансов корпораций

Основным элементом приведенной схемы является собственный капитал. Источники собственных средств представлены на рис. 3.9.

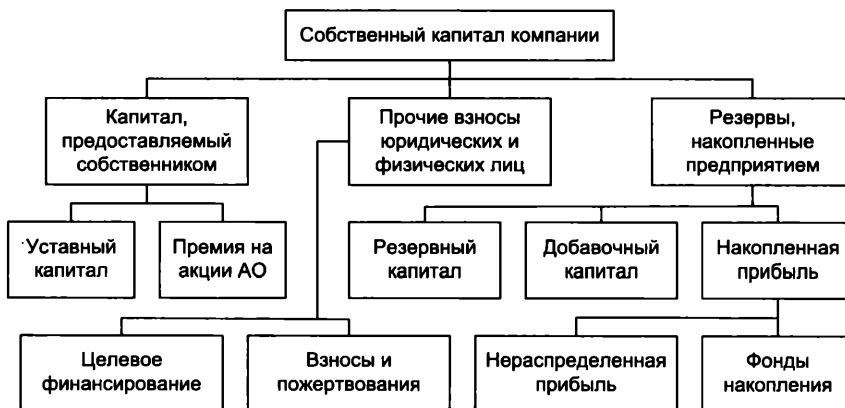


Рис 3.9. Структура собственного капитала телекоммуникационной компании

Принципиальное отличие между источниками собственных и заемных средств кроется в юридической причине – в случае ликвидации компании его владельцы имеют право на часть имущества предприятия, которая остается после расчетов с третьими лицами.

Компания стремится направить потоки денежных средств, генерируемые ее активами, по различным руслам, чтобы привлечь инвесторов с разными приоритетами, благосостоянием и налоговыми ставками.

Наиболее простым и важным финансовым источником является акционерный капитал, получаемый либо за счет эмиссии акций, либо за счет нераспределенной прибыли.

Прибыль является основным источником средств динамично развивающейся компании. В балансе она присутствует в явном виде как нераспределенная прибыль, а также в завуалированном виде – как созданные за счет прибыли фонды и резервы. В условиях рыночной экономики величина прибыли зависит от многих факторов, основным из которых является соотношение доходов и расходов.

Прибыль – основной источник формирования резервного капитала (фонда). Этот капитал предназначен для возмещения непредвиденных потерь и возможных убытков от хозяйственной деятельности, т.е. является страховым по своей природе. Порядок формирования резервного капитала определяется нормативными документами, регулирующими деятельность компании, а также его уставными документами.

Максимальное число акций, которое может быть выпущено, называется уставным (разрешенным к выпуску) акционерным капиталом. Этот максимум указывается в свидетельстве о регистрации корпорации и может быть превышен только по решению акционеров. Уставный капитал представляет собой сумму средств, предоставленных собственниками для обеспечения уставной деятельности компании.

При создании компании вкладами в его уставной капитал могут быть денежные средства, материальные и нематериальные активы. В момент передачи активов в виде вклада в уставной капитал право собственности на них переходит к хозяйствующему субъекту, т.е. инвесторы теряют вещные права на эти объекты. Таким образом, в случае ликвидации компании или выхода участника из состава общества он имеет право лишь на компенсацию своей доли в рамках остаточного имущества, но не возврат объектов, переданных им в свое время в виде вклада в уставный капитал. Уставный капитал, следовательно, отражает сумму обязательств компании перед инвесторами. Держатели акций обеспечивают весь капитал фирмы, принимая на себя весь деловой риск и получая все выгоды.

Следующим по значимости источник финансирования – заемный капитал. Держатели долговых обязательств имеют право на фиксированные регулярные выплаты процентов и получение основной стоимости долга по окончании срока. Но долговые обязательства компании не могут расти беспредельно. Если она не выплатит свой долг, то может стать банкротом. Обычно это приводит к тому, что держатели долговых обязательств становятся владельцами компании и либо распродают активы компании, либо продолжают использовать их, начиная новое руководство.

Выплаты процентов рассматриваются компанией как расходы и вычитаются из налогооблагаемой прибыли до уплаты налога. Дивиденды по обыкновенным акциям, напротив, выплачиваются из прибыли после уплаты налога. Следовательно, государство предоставляет налоговые субсидии на использование заемного капитала, которые не распространяются на собственный капитал.

Разнообразие видов долговых обязательств, используемых корпорациями, очень велико. Они разделяются на категории по срокам, условиям погашения, старшинству, надежности, рискованности, процентным ставкам, порядку выпуска и валюте, в которой выражаются долговые обязательства.

Кроме того корпорации используют различные производные ценные бумаги, которые позволяют им страховать от внешних рисков, таких как колебание цен на товары, риски процентных ставок и обменных курсов иностранной валюты. Производные ценные бумаги включают свободно обращающиеся опционы, фьючерсные и форвардные контракты и свопы.

В целом, говоря об управлении финансами, руководство телекоммуникационной компании решает двоякую задачу. С одной стороны, это принятие инвестиционных решений или планирование долгосрочных вложений, с другой – это поиск и привлечение источников финансирования.

Инвестиционные решения или инвестиционная политика телекоммуникационных компаний, как правило, нацелены на приобретение или создание компаний; диверсификацию вложений через приобретение ценных бумаг компаний, не связанных со сферой телекоммуникаций; покупку прав на пользование землей, ресурсами, зданиями, оборудованием и технологиями или их приобретение, включая и другие коммерческие права, ценности и активы.

В своей финансовой практике телекоммуникационные компании широко применяют мировую практику управления корпоративными финансами, которая связана с оценкой активов компании, формированием инвестиционного портфеля, диверсификацией риска, игрой на валютных и финансовых рынках, бизнес-планированием, принятию решений по финансированию и оценкой его эффективности, формированием структуры капитала компании и политикой управления задолженностью и т.д. [9].

Следует отметить, что финансовые проблемы многих телекоммуникационных компаний, описанные в предыдущих главах, серьезно отразились на приоритетах финансового менеджмента. Главная цель – максимальное высвобождение капитала за счет продажи имущества, прав собственности и дочерних предприятий по всему миру. Ожидаемые от этого денежные поступления концентрируются компаниями на погашение кредитов и займов.

ГЛАВА 4

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЫНКОВ

4.1. Роль и задачи регулирования телекоммуникаций в условиях рынка

Как уже отмечалось, демонополизация сферы телекоммуникаций вызывает необходимость создания новой формы организации телекоммуникационного рынка. Важным моментом при этом становится институт регулирования. *Регулятор (регуляторный орган)* – это правительственное агентство, независимый институт или назначенный правительством официальный ответственный за координацию работы всего или части телекоммуникационного рынка страны. Необходимость регулирования либерализованного рынка вызвана следующим:

- целесообразно создать благоприятные условия выхода на рынок новых операторов, регламентировать их взаимоотношения с уже существующими операторами, предотвращать злоупотребления и махинации, поддерживать деятельность телекоммуникационного рынка на основах свободной конкуренции;
- необходимо предотвращать антиконкурентное поведение существующих на рынке операторов, возможное, в частности, путем завышения цен за взаимосоединение с их сетями сетей новых операторов;
- необходимо регулировать цены для обеспечения операторам гарантированного дохода, достаточного для финансирования текущих эксплуатационных расходов и новых инвестиций;
- целесообразно регулировать нормы прибыли операторов с монопольной или доминирующей позицией на рынке для предотвращения получения ими чрезмерных доходов;
- требуется повышать эффективность телекоммуникационного рынка путем установления оптимального соотношения используемых операторами ресурсов, их минимизации, справедливого перераспределения преимуществ между потребителями и операторами, перебалансировании тарифов;
- необходимо решать задачи всеобщего доступа (*universal access*) и всеобщего обслуживания (*universal service*) для расширения и поддержки доступности телекоммуникационных услуг для общественности, обеспечения всеми видами правительственной, социальной, образовательной, медицинской информации, электронной коммерции с целью стимулирования политического, экономического и культурного единства всех членов мирового сообщества.

Задачи регулирования телекоммуникационного рынка в разных странах отличаются. Правительства большинства стран рассматривают связь как важную услугу для населения и, если сети телекоммуникаций не находятся в их подчинении, обычно сохраняют за собою роль регулирующего органа, чтобы иметь уверенность, что услуги связи предоставляются в соответствии с национальными и общественными интересами. Несмотря на возможные от-

личия в методах регулирования, основные задачи регуляторного процесса в телекоммуникациях одинаковы. Основные среди них таковы:

- содействие всеобщему доступу к основным услугам связи;
- содействие эффективному предоставлению услуг, обеспечению высокого качества обслуживания, предоставлению перспективных видов услуг по доступным ценам;
- предотвращение злоупотреблений, например, завышения цен, антиконкурентного поведения доминирующих операторов на телекоммуникационных рынках, где не сформированы условия конкуренции или либерализация не удалась;
- защита прав потребителей, включая право собственности;
- поддержка интеграции и взаимосоединения телекоммуникационных сетей всех операторов;
- оптимизация использования невозобновляемых ресурсов – частотного спектра, номерного пространства и прав отвода.

Государственное регулирование частных операторов началось в США и Канаде в конце XIX века. В большинстве стран на протяжении XX века правительства сохраняли за собой право управлять телекоммуникационным рынком путем государственного администрирования. Эта ситуация значительно изменилась только в 90-х годах с проведением повсеместной либерализации телекоммуникационных рынков стран мира. За последние годы количество регуляторных органов быстро растет (в конце 2000 г. достигло 96) по многим причинам. Главная – внедрение в области телекоммуникаций реформ, приведших к перераспределению политических, регуляторных и эксплуатационных функций (табл. 4.1). Регуляторные органы в большинстве случаев создавались одновременно с приватизацией национальных операторов, поэтому их целью было обеспечение выполнения государственной политики в этом секторе. Частные монополии, в отличие от государственных, нормально воспринимали регуляторные процессы, тем более, что приток новых конкурентов повысил необходимость в регуляторах, играющих роль рефери между новыми и существующими операторами. Важно отметить, что независимые органы регулирования функционируют независимо от министерств, также отвечающих за предоставление услуг связи. Отметим также, что, несмотря на рост числа регуляторных органов, следует ожидать значительный спад уровня регулирования после широкого внедрения конкуренции на телекоммуникационных рынках стран мира.

На регуляторные органы возлагается выполнение большинства реформ телекоммуникационного сектора, разрабатываемых государством. Поскольку на процесс внедрения регулирования в каждой отдельной стране влияет множество факторов, на международном уровне была проведена работа по определению важнейших общих черт и разработке последовательности действий при осуществлении реформ телекоммуникационного рынка. Ее результаты отображены в международных торговых принципах, разработанных Всемирной торговой организацией (ВТО) как стандарты.

Некоторое время назад министерство или другой правительственный орган объединял в себе функции диктатора телекоммуникационной политики, собственника и оператора национальной сети электросвязи. При этом необходимости регулирования не было, так как единый государственный орган разрабатывал решения, внедрял их и осуществлял управление сектором. Однако приватизация и либерализация телекоммуникационного рынка привели к разделению труда между государством, регуляторной организацией и операторами. Поэтому сейчас стандартная организационная структура рыночных отношений на телекоммуникационном рынке имеет вид, представленный на рис. 4.1.

Приведенное структурное распределение больше соответствует рыночному типу предоставления телекоммуникационных услуг, чем правительственному. Оно также упрощает согласование с регуляторными документами ВТО, которые составлены для органов регулирования

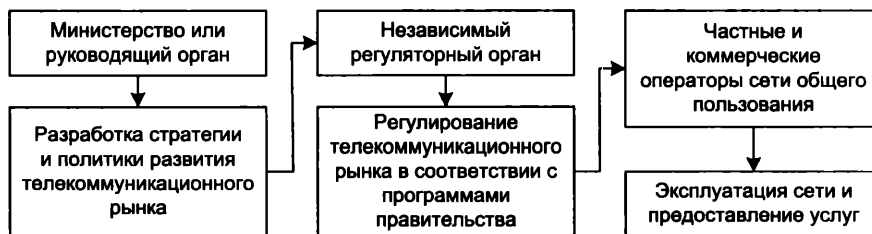


Рис. 4.1. Организационная структура телекоммуникационного регулируемого рынка

независимых от телекоммуникационных операторов. Кроме того, таким образом можно значительно упрощать расхождения во взаимосоединении. Определенные общие мировые реформы в секторе телекоммуникаций и их задачи представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Реформы в секторе телекоммуникаций

Виды реформ	Основные задачи
Приватизация	Привлечение финансирования для развития телекоммуникационной инфраструктуры Повышение эффективности сектора, внедрение новых услуг Гарантирование государству получения доходов от приватизации
Лицензирование операторов-конкурентов	Расширение спектра услуг Увеличение эффективности сектора введением конкуренции Снижение цен, улучшение качества предоставляемых услуг Стимулирование инноваций и предоставление перспективных услуг Гарантирование прибыли от государственного лицензирования
Внедрение прозрачных процессов регулирования	Закрепление успеха в лицензировании и доверия государству Увеличение прибыли государства от лицензирования новых услуг Укрепление доверия к рынку, привлечение новых инвестиций и инвесторов
Обязательное взаимосоединение	Устранение препятствий развитию конкуренции Содействие конкуренции в предоставлении новых услуг (например, широкополосный Интернет)
Регулирование верхнего уровня цен	Стимулирование доминирующих операторов к эффективному предоставлению услуг Более простой, чем регулирование нормы прибыли (rate of return regulation), метод регулирования предотвращения завышения цен Сокращение запаздывания регулирования, своевременность регулирования цен
Целевые фонды всеобщего доступа	Повышение эффективности и производительности в политике обеспечения всеобщего доступа Замена менее прозрачных и потенциально антиконкурентных перекрестных субсидий
Снятие препятствий международной торговле в телекоммуникациях	Увеличение инвестиций в развитие телекоммуникационного рынка Развитие конкуренции на рынке телекоммуникаций Улучшение глобальной связи, развитие глобальной информационной инфраструктуры

4.2. Регуляторный процесс. Принципы эффективного регулирования

Регуляторные органы применяют разнообразные процедуры регулирования. В зависимости от законодательных ограничений они могут выдавать различные типы «регуляторных инструментов»: уставы, решения, приказы, декреты, правила, полисы, замечания, резолюции. Цель этих инструментов состоит в том, чтобы в рамках полномочий органов регулирования принять решение, направленное на осуществление регуляторной политики. Принятие регуляторных решений может быть трудным. Заинтересованные стороны могут энергично продвигать, лоббировать, поддерживать разные результаты многих регуляторных решений. В большинстве случаев одни стороны удовлетворены регуляторным решением, другие – нет. «Решительные» регуляторные органы в определенных ситуациях обязательно создают победителей и побежденных, нерешительные – из-за боязни обидеть участников рынка откладывают решения или идут на неосуществимые компромиссы, что может навредить развитию сектора и, в конечном счете, не помочь никому. Принципы правильного принятия регуляторных решений хорошо известны: это – прозрачность, объективность, профессионализм, эффективность, независимость.

Законы и юриспруденция большинства стран предусматривают руководство и принуждение в процессе принятия регуляторных решений. Процедурные правила и законодательная система в разных странах варьируются. Тем не менее существуют общие тенденции. Есть два фундаментальных правила процедурной справедливости. Не являясь обязательными для регуляторных органов, во многих странах они авторитетны, а их использование зачастую облегчает возникающие при регулировании проблемы политического и общественного характера. Эти правила следующие:

1. Предоставить заинтересованным сторонам возможность выбора, в противном случае, прежде, чем принять решение, обосновать и сделать свой выбор с учетом интересов всех сторон. Это правило выражается латинским законодательным принципом: *audi alteram partem* – «услышьте другую сторону». Нарушение этого процедурного правила ведет к тому, что в некоторых судебных системах суды аннулируют регуляторные решения в рамках общего права. В других судебных системах это правило является частью неписаного кодекса основной процедурной справедливости, применяемого регуляторными органами. Это правило является прагматическим основанием так же, как и законодательное. Если интересы всех заинтересованных сторон не будут приняты во внимание, регуляторы рискуют принять решение, игнорирующие важные факторы. Использование этого правила содействует принятию более правильных и понятных решений.

2. «Не будьте своим судьей». Это правило основано на другом латинском законодательном принципе: *nemo iudex in sua causa debet esse*. Оно трактуется так: регуляторные органы должны избегать пристрастности. Они не должны принимать решения по вопросам, в которых сами заинтересованы. Они также не должны принимать решение по вопросам, в которых заинтересованные компетентные люди, осведомленные о тонкостях ситуации, могут принять позицию одной из сторон в ущерб другой. Применение этого правила содействует объективности и справедливости процесса регулирования.

Существуют разнообразные процедуры, позволяющие регуляторным органам принимать верные регуляторные решения. Выбор процедур изменяется в зависимости от целей решений. Разработаны следующие требования, способствующие достижению верности принимаемых решений:

- учитывать процессы, происходящие в обществе, публиковать общие замечания, включая комментарии к предложенным правилам, подходам, другим важным решениям в регулировании телекоммуникационного рынка;

- планировать процессы, повышающие заинтересованность общества, предоставлять второстепенную информацию и альтернативы принимаемых решений в виде замечаний или консультационных документов;
- публиковать на web-сайте все решения, правила, процедуры, замечания и консультационные материалы по регулированию, используя его для сотрудничества со всеми участниками телекоммуникационного рынка, включая производителей оборудования и программного обеспечения, общественность для всеобщего обсуждения принимаемых регуляторных решений;
- требовать от основных операторов предоставления общественно-значимой технической, экономической и финансовой информации, модели обслуживания и процедуры рассмотрения жалоб;
- для комплексного решения вопросов использовать такие альтернативные способы разрешения споров, как посредничество и арбитраж с привлечением независимых экспертов;
- целенаправленно разрабатывать, реализовывать и широко освещать в средствах массовой информации графику и правила процесса принятия регуляторных решений.

Несмотря на то, что мировой рынок телекоммуникаций находится в переходном периоде, общие направления изменений в большинстве стран одинаковые. Поэтому можно выделить общие принципы эффективного регулирования.

1. Принцип минимизации регуляторного вмешательства после внедрения конкуренции.

Поскольку преимущества приватизации и либерализации могут быть утрачены или существенно ограничены обременительными регуляторными мерами, регулирование должно направляться на развитие рынка свободной конкуренции, так как он лучше удовлетворяет запросы потребителей, чем рынок, контролируемый правительством. Таким образом, на начальной стадии либерализации требуется решительное регулирование, а с развитием конкуренции степень регулирования должна уменьшаться. Исключением становится только международная деятельность, так как для реализации соглашений, развивающих конкуренцию в этом направлении, необходима сильная регуляторная деятельность. Тем не менее, объем новых регуляторных мер должен формироваться осторожно, чтобы они могли в полной мере обеспечивать эффективные средства достижения реальных целей.

2. Гармонизация региональных и международных регуляторных стандартов. Сегодня большую часть телекоммуникационного оборудования и программного обеспечения выпускает относительно небольшая группа производителей, сети с определенными технологическими особенностями имеют общепринятую архитектуру и т. д. Это требует гармонизации телекоммуникационных технологий и регуляторных стандартов, поскольку телекоммуникационные рынки развиваются в направлении регионализации и глобализации. Если регуляторные органы одной страны будут устанавливать более жесткие требования, чем в других странах, то это может значительно навредить участникам их телекоммуникационного рынка. Поэтому регуляторные органы, поддерживающие конкуренцию, должны учитывать международные положения по регулированию и внедрять комплексное регулирование. Экономические и технологические регуляторные механизмы, подтвердившие свою эффективность, сразу же, как правило, внедряются в международную практику. Усиление коммуникативности для гармонизации общих регуляторных подходов между регуляторными органами и операторами тоже укрепляет регулирование.

3. Внедрение конкуренции. Вмешательство регуляторного органа абсолютно необходимо при создании конкурентных условий. Либерализация рынка нуждается в решении вопросов, связанных с лицензированием новых конкурентов и существующих операторов на основе прозрачности и равноправия в получении инвестиций; с защитой новых операторов от злоупот-

реблений со стороны существующих доминантов для предотвращения антиконкурентных действий последних и других действий, тормозящих создание основ свободной конкуренции.

4. *«Регулирование по принципам».* Органы регулирования должны избегать принятия решений по комплексным вопросам без тщательного предварительного анализа ситуации. Поэтому во многих случаях они устанавливают определенные принципы принятия решений или схемы, чтобы не тратить время на решение одинаковых проблем. Предварительное объявление принципов позволяет избежать ненужного обсуждения. Решения регулирующих органов даже по общим вопросам должны быть прозрачными, оставляющими возможность обществу обсуждать их и совершенствовать. Такой подход обеспечивает доверие к регуляторным органам и к принимаемым ими решениям.

5. *Стимулирование эффективной работы операторов.* Для этого внедряются лучшие примеры правильного регулирования, ведется постоянный обмен информацией по итогам экономически эффективной операторской деятельности, стимулируется использование современных информационных технологий. Это позволяет «учиться на чужих ошибках», повышать уровень принимаемых решений и достигать стабильного экономического роста телекоммуникационного рынка страны.

Указанные принципы могут быть адаптированы для потребностей переходных экономик или тех телекоммуникационных рынков, которые только встали на путь либерализации. Однако специально для развивающихся стран ведущими мировыми специалистами были разработаны дополнительные стратегические принципы, перечень и эффективность которых даны в табл. 4.2. Использование дополнительных стратегических принципов носит рекомендательный характер.

Таким образом, регулирование играет важную роль в развитии конкурентной среды на телекоммуникационном рынке страны. Главные сферы и средства регулирования перечислены ниже.

Лицензирование услуг в области телекоммуникаций. Различают следующие виды лицензирования: индивидуальные, специфические лицензии для операторов и общие, неклассифицированные разрешения на полностью либерализованные услуги, не требующие лицензии. Регулирование через лицензирование осуществляется выдачей операторам лицензий на право предоставления услуг; выдачей общих разрешений на основании лицензий, уже имеющихся у операторов; выдачей лицензий на использование спектра; проведением аукционов, лотерей; сравнительной оценкой операторов (например, по частотному спектру) и др. Для организации процесса лицензирования должны быть установлены критерии отбора, дееспособности и ответственности операторов, спектр лицензируемых услуг и содержание лицензии.

Взаимосоединение. Регулирование вопросов взаимосоединения требует решения процедурных, финансовых, технических и эксплуатационных вопросов. Процедурные вопросы – это установление соглашений относительно взаимосоединения, определение роли регулирования и ее реализации в переговорах по взаимосоединению, ликвидации расхождений, генерировании регуляторных директив и др. Финансовые вопросы – это определение структуры и установление тарифов – фиксированных, переменных, пиковых, сверхпиковых, разрешаемых и т.п.; определение специфических затрат и др. Технические и эксплуатационные вопросы – это получение информации о действующих операторах, конкурентах, потребителях, пунктах и точках взаимосоединения, обеспечение доступа к разрешаемым компонентам сети, создание условий для общего использования и размещения технических устройств, равного доступа, осуществление контроля за качеством обслуживания и т.п.

Регулирование цен возможно путем установления цен по усмотрению, регулирования нормы прибыли, определения побудительных типов регулирования, распределения прибыли, регулирования верхнего уровня цен. Последняя форма регулирования используется наиболее часто. Регулирование верхнего уровня цен осуществляется по формуле верхнего уровня цен с

Таблица 4.2. Дополнительные стратегические принципы регулирования

Стратегический принцип	Ожидаемый эффект		
	Снижение потребности в регулирующих агентствах	Расширение возможности регулирования	Эффективное использование ресурсов
Усиление конкуренции	•	√	√
Предварительная подготовка регуляторных норм	•	√	√
Установление норм заимосоединений	•		√
Сохранение разумных обязательств доминирующего оператора	•		√
Сосредоточение лицензирования на главных операторах	•		√
Предварительное перераспределение цен	•		√
Снижение регулирования с развитием конкуренции	•		
Внедрение прозрачных процессов регулирования		•	
Государственная поддержка инвестиций		•	
Принцип закрытости международных обязательств		•	
Функции внешнего регулирования			•
Внедрение альтернативных принципов решения споров	√	√	•
Включение оператора в работу		√	•
Создание многосекторных агентств			•
Повышение региональной производительности			•
Условные обозначения: • – первичные преимущества, √ – вторичные преимущества			
<i>Источник: Smith P. and Wellenius B. 1999.</i>			

расчетом переменных методами «глядя вперед» и «глядя назад». В процессе регулирования цен важно определить «корзину» услуг, внедрить ограничения ценообразования по отдельным видам услуг и т.п.

Политика конкуренции. Регуляторные органы внедряют базовые основы конкуренции путем принятия определенной политики. Ее концепция заключается в определении рынка, рыночной власти, меры доминирования, основных возможностей и определенных барьеров для операторов. При антиконкурентном поведении доминирующих операторов регуляторные органы вмешиваются в рыночные отношения для предотвращения злоупотреблений, например, отказов поставлять необходимые средства обслуживания, перекрестного субсидирования, вертикального раздувания цен и т.п.

ГЛАВА 5

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ

5.1. Понятие архитектуры сети

Информационную сеть как сложную систему можно описать путем расчленения ее на множество структур, каждая из которых содержит элементы, выделенные на соответствующем уровне рассмотрения сети.

Архитектурой информационной сети называют совокупность физических, логических и структурных элементов сети, связей между ними и правил их взаимодействия. Архитектура отображается иерархическим многоуровневым описанием сети в виде моделей, каждая из которых выделяет существенные элементы своего уровня абстрагирования.

Описание информационной сети с позиций системного подхода основывается на методологических принципах системологии, изучающей закономерные свойства больших (сложных) систем [5]. Перечислим некоторые из них.

Иерархичность – расположение частей и элементов целого – в порядке от высшего к низшему. Следуя этой закономерности, сеть можно расчленять на отдельные подсети (сегменты) низшего порядка.

Коммуникативность – множественность связей в системе, внешних – со средой и внутренних – между подсистемами и элементами. В связи с этим сеть, как правило, можно рассматривать и как подсеть, т.е. как подсистему или элемент системы более высокого порядка и как самостоятельную систему, включающую подсистемы (сегменты) более низкого порядка.

Эмерджентность – проявление системой интегративного качества, не свойственного отдельным ее элементам. Так, например, в информационной сети можно выделить такие функционально важные и относительно независимые подсистемы, как транспортная, распределения информации, управления сетью. Ни одну из них в отдельности нельзя отождествить с информационной сетью, и только их взаимосвязь отражает это понятие. С другой стороны, лишь изучение отдельных подсистем может углубить представление о системе в целом.

Благодаря этим свойствам любую из подсистем сложной системы можно выделить как самостоятельную систему и исследовать ее архитектуру. В зависимости от уровня рассмотрения можно говорить об архитектуре сети в целом, сетевого программного обеспечения, терминального комплекса, коммутационной системы и даже об архитектуре отдельной интегральной схемы.

Заметим также, что видение архитектуры сети зависит от профессиональной ориентации исследователя. Например, проектировщик, анализируя архитектуру сети, рассматривает ее топологию, организационную структуру, протокольную модель. Оператор сети прежде всего интересуется ее физической структурой. Разработчик сетевого программного обеспечения сконцентрирует внимание на функциональной структуре сети.

5.2. Топология сети

На уровне общего представления любая сеть состоит из совокупности *пунктов* и соединяющих их *линий*, взаимное расположение которых характеризует связность сети и ее спо-

способность обеспечивать информационный обмен между пунктами. Топология сети отображает ее связность. Различают *физическую* и *логическую* топологию. Физическая топология отражает размещение пунктов сети и связывающих их линий в пространстве, логическая – дает представление о путях, по которым в сети может быть организовано взаимодействие между источниками и потребителями информации.

Для исследования топологических особенностей сети ее пункты удобно изобразить в виде *точек*, а соединяющие их линии – в виде *дуг*. Такая геометрическая фигура носит название *граф*. Точки в графе называют *вершинами*, а дуги, если не учитывается их направленность, – *ребрами*. Граф является *топологической моделью* структуры информационной сети (подробней топологические модели рассмотрены в Приложении В).

Выбор топологии сети является первой задачей, решаемой при ее построении, и определяется требованиями к экономичности и надежности связи. Топология сети выбирается сравнительно просто, если известен набор стандартных (базовых) топологий, из которых она может быть составлена. Рассмотрим ряд базовых топологий и их особенности.

Двупунктная топология типа «точка – точка» является наиболее простой и содержит сегмент сети, непосредственно связывающий физически и логически два пункта. Надежность такого сегмента можно повысить введением резервной связи, обеспечивающей стопроцентное резервирование, называемое *защитой типа 1+1*. При выходе из строя основной связи сеть автоматически переключается на резервную. Несмотря на простоту, именно эта базовая топология широко используется при передаче больших потоков информации по высокоскоростным магистральным каналам. Она же используется как составная часть радиально-кольцевой топологии (в качестве радиусов). Двупунктная топология с резервированием типа 1+1 может рассматриваться как вырожденный вариант топологии «кольцо» (см. ниже).

Древовидная топология может иметь разные варианты (рис. 5.1). Особенностью сегмента сети с древовидной топологией является то, что связность n пунктов на физическом уровне достигается при минимальном количестве ребер $R = n - 1$, что обеспечивает высокую экономичность сети. На логическом уровне количество путей передачи информации между каждой парой пунктов в таком сегменте всегда равно $h = 1$. С точки зрения надежности это достаточно низкий показатель. Повышение надежности в таких сетях достигается введением резервных связей (например, защиты типа 1+1).

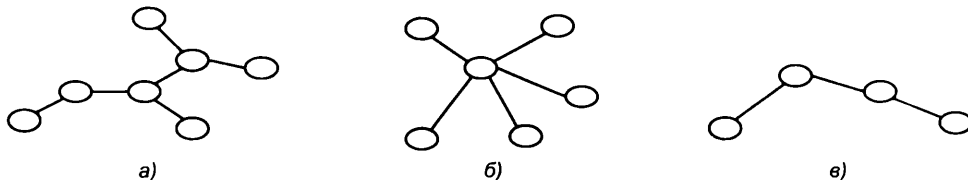


Рис. 5.1. Древовидная топология: а – дерево, б – звезда, в – цепь

Древовидная топология находит применение в локальных компьютерных сетях, телефонных сетях сельских районов, сетях абонентского доступа.

Топология «кольцо» (рис. 5.2) характеризует сеть, в которой к каждому пункту присоединены две и только две линии. Кольцевая топология широко используется в локальных компьютерных сетях, в транспортных сетях, а также в сетях абонентского доступа, организуемых с использованием оптических кабелей.

Число ребер графа, отображающего физическую топологию, равно числу вершин: $R = n$, что дает сравнительно невысокие затраты на сеть. На логическом уровне между каждой парой пунктов могут быть организованы $h = 2$ независимых пути (прямой и альтернативный),

что обеспечивает повышение надежности связи, особенно при использовании резервирования типа 1+1, так называемого *двойного кольца* (рис. 5.3). Двойное кольцо образуется парами физических соединений между смежными пунктами, причем информационный поток направляется в двух противоположных направлениях, одно из которых используется как основное, второе – как резервное.

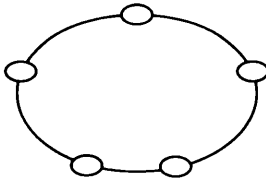


Рис. 5.2. Топология «кольцо»

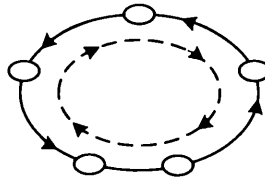


Рис. 5.3. Топология «двойное кольцо»

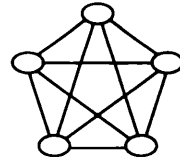


Рис. 5.4. Полносвязная топология

Полносвязная топология (рис. 5.4) обеспечивает физическое и логическое соединение пунктов по принципу «каждый с каждым». Полносвязный граф, имеющий n вершин, содержит $R = n(n - 1)/2$ ребер, что определяет высокую стоимость сети. Количество независимых путей между каждой парой пунктов $h = n - 1$, поэтому на логическом уровне возможно большое число обходных путей, что дает максимальную надежность связи, особенно при использовании в обходных направлениях альтернативных сред распространения сигналов (например, волоконно-оптической и радиорелейной линий). Эта топология характерна для сегментов территориальных сетей.

Ячеистая топология (рис. 5.5). В ней каждый пункт имеет непосредственную связь с небольшим числом ближайших пунктов. При большом числе вершин число ребер $R \approx rn/2$, где r – количество ребер, инцидентных каждой вершине. Ячеистые сегменты обладают высокой надежностью связи при меньшем числе ребер по сравнению с полностью связным сегментом.

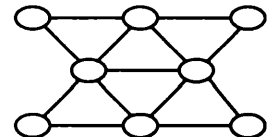
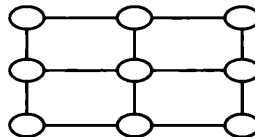
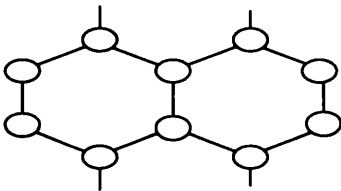


Рис. 5.5. Ячеистая топология

Использовать полностью связную и ячеистую топологии целесообразно лишь в сегментах с значительной нагрузкой, так как их реализация связана со значительными затратами.

5.3. Организационная структура сети

Организационная структура отображает устройство сети в целом, т.е. ее назначение, основные характеристики элементов и композиционные принципы объединения элементов в структурные компоненты, рассматриваемые как отдельные подсети – *сегменты* информационной сети.

5.3.1. Элементы сети, их назначение и характеристики

Элементами любой сети в общем случае являются пункты и связывающие их линии. Пункты сети подразделяются на *оконечные* и *узловые*.

В оконечных пунктах (ОП) (endpoints) размещается терминальное (оконечное) оборудование сети, а также рабочие системы и информационные ресурсы, определяющие функциональное назначение ОП. Так, например, ОП могут предназначаться для обеспечения доступа к сети, к телекоммуникационным службам или для сопряжения различных сегментов сети. В двух первых случаях ОП называют *узлом доступа* (access node).

При организации доступа пользователей в сеть функциями терминального оборудования соответствующих ОП в общем случае являются ввод-вывод информации и ее обработка в соответствии с задачами пользователей.

Пункт, предоставляющий пользователям доступ к службам сети для получения телекоммуникационных услуг, называют также *сервисным узлом* (service node). В нем реализованы интерфейсы абонент-сеть (User Network Interface, UNI) для доступа пользователей и интерфейс сервисного узла (Service Node Interface, SNI) для взаимодействия с сетью.

В ОП, сопрягающем разные сегменты, может устанавливаться граничный коммутатор, мультиплексор ввода-вывода либо специальное оборудование, выполняющее функции межсетевого преобразователя (*шлюза*) при сопряжении сетей разных телекоммуникационных технологий.

Узловой пункт (node point), или *узел сети* (node) представляет собой пункт, в котором сходятся две и более линий связи и который является промежуточным на пути следования потоков данных. В узле сети могут одновременно или раздельно выполняться разные функции, основными из которых являются коммутация, концентрация, мультиплексирование и маршрутизация.

Коммутация (switching) – это процесс установления связи между сходящимися в узле линиями при распределении информационных потоков в сети в соответствии со схемой маршрутизации. Коммутация может быть оперативной (на время сеанса связи) и долговременной (кроссовой), осуществляемой путем кроссирования сходящихся в узле линий.

Концентрация (concentration) заключается в объединении нескольких входных информационных потоков с целью получения более мощного выходного потока, обеспечивающего эффективную загрузку линии.

Мультиплексирование (multiplexing) обеспечивает передачу нескольких потоков информации по одной линии путем закрепления за каждым из них фиксированной части ресурса пропускной способности линии. Это фиксированное распределение остается неизменным даже при отсутствии передаваемой информации, т. е. функция концентрации здесь отсутствует.

Маршрутизация (routing) – это процедура поиска пути между двумя пунктами сети на основе адресной информации и таблиц трасс маршрутов.

Линии связи обеспечивают передачу информационных потоков в форме сигналов и в общем случае представляют собой сооружения, включающие среду распространения сигналов и комплекс оборудования, позволяющего использовать ее в режиме разделения. Физической средой могут быть медные пары проводов, оптическое волокно, эфир. В зависимости от типа среды линии связи принято делить на *проводные* и *беспроводные*.

К проводным относятся линии, в которых сигналы распространяются в искусственно созданной направляющей среде, например, по проводам, имеющим изоляционные покрытия и помещенным в защитные оболочки, – такие линии называют *кабельными* (КЛС). Для обеспечения значительной дальности передачи в КЛС через определенные интервалы организуют усилительные пункты. Проводными являются и *волоконно-оптические линии связи* (ВОЛС),

использующие в качестве среды распространения диэлектрические материалы, в частности тонкие стеклянные волокна. Их важным достоинством является отсутствие в конструкции дефицитных меди, алюминия, свинца и др.

Термин «радиолиния» определяет линии, в которых сигналы передаются в виде радиоволн в открытом пространстве без искусственных направляющих сред. Достоинства радиолиний – в возможности быстрого развертывания, сравнительно невысокой стоимости, возможности связи с подвижными объектами (автомобилями, кораблями, космическими летательными аппаратами и пр.).

Радиолинии, состоящие из нескольких или многих участков, в пунктах на границах которых сигнал принимается, усиливается и передается в следующий пункт, называются *радиорелейными* (РРЛ). Разновидностью РРЛ являются *спутниковые радиолинии*.

5.3.2. Структурные компоненты сети

Композиционные принципы объединения элементов сети в относительно самостоятельные структурные компоненты – *сегменты сети* – классифицируются, как правило, по масштабности сегмента, выполняемой им функциональной задаче, а также используемой телекоммуникационной технологии. Основной задачей сегментации сети является максимизация доли потоков, замыкающихся внутри сегментов и минимизация доли, циркулирующей между сегментами.

Классификация сегментов сети по масштабному признаку может быть представлена иерархией сетей (рис. 5.6):

- локальная сеть (Local Area Network, LAN), в которой основная часть нагрузки замыкается внутри небольшой территории, учреждения, промышленного предприятия и т.п.;
- территориальная сеть (Metropolitan Area Network, MAN) (сеть мегаполиса), предназначенная для обслуживания территории крупного населенного пункта или небольшого региона;
- крупномасштабная территориальная сеть (Wide Area Network, WAN), предназначенная для объединения сетей типа LAN, MAN, расположенных на территории большого региона, государства, континента, а также на разных континентах. Это магистральная сеть преимущественно с использованием оптического волокна в качестве среды передачи.

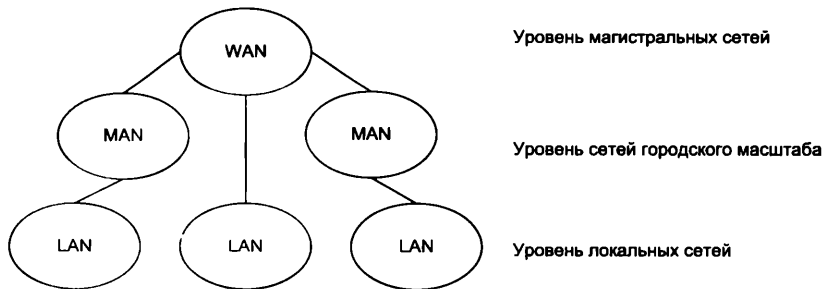


Рис. 5.6. Иерархия сегментов сети на основе масштабного признака

Любая из сетей LAN, MAN, WAN в свою очередь может быть разбита на ряд сегментов меньшего масштаба, отражающих логическую структуризацию сети, в которой каждый из

сегментов выполняет конкретную функциональную задачу в формировании общесетевого обмена. Связность сегментов на любом уровне обеспечивается магистральными (магистральными сегментами).

Объединение оконечных пунктов внутри сегмента и реализация магистральных сегментов могут осуществляться путем использования *общей коммуникационной среды* либо посредством *узлообразования*.

Использование общей коммуникационной среды обычно экономически выгодно. При этом нагрузка, генерируемая одной оконечной системой, поступает на все остальные, но воспринимается лишь той, адрес которой является адресом получателя. Примерами сетевых сегментов с общей разделяемой средой являются небольшие одноранговые локальные сети с шинной топологией, а также территориальные сети, построенные по принципу транспортного кольца.

Узлообразование позволяет реализовать коммутируемую топологию сегмента путем размещения в его узлах оборудования с функциями канального и сетевого уровней модели взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection, OSI). При этом, в отличие от общей коммуникационной среды, обеспечивается хорошая масштабируемость сети, высокая производительность и надежность, но при большей стоимости. Примерами таких сетей являются магистральные сегменты высокоскоростных локальных сетей, а также территориальные сети, построенные по радиально-узловому принципу.

Сеть (сегмент сети), построенная как связующая магистраль, называется *опорной* (backbone network). Возможны разные топологические варианты построения магистрали, отсюда и разные названия опорной сети: «хребтовая сеть», «транспортное кольцо», «коммутируемая магистраль», каждое из которых по-своему оправдано в рамках конкретной задачи.

Опорная сеть может быть организована на любом из уровней (LAN, MAN, WAN), везде, где решается задача логической сегментации сети с целью повышения ее надежности, производительности и т.д. Совокупность опорных сетей разных уровней обеспечивает иерархическую связность распределенной сети. Следует отметить, что функции опорной сети для маломасштабных сегментов (LAN, MAN) может выполнять один узел. Такая вырожденная магистраль получила название *схлопнутой магистрали* (collapsed backbone) или *опорного узла* (Backbone Node). Примером может служить объединение локальных сетей в центральной точке с помощью маршрутизатора. Опорный узел перераспределяет нагрузку между оконечными пунктами сегмента либо сегментами одного уровня, образуя таким образом сегмент более высокого уровня, и концентрирует потоки, направляемые за его пределы.

Опорную сеть верхнего уровня в иерархии связности распределенной сети принято называть *транспортной* (transport network). Она реализуется в виде системы высокоскоростных трактов (сегментов), по которым передается нагрузка к более медленным сегментам регионального и локального уровней.

Термин «транспортная сеть» отражает не столько масштабность, сколько функциональность сегмента. Вследствие этого опорные сети небольших территориальных сетей, построенные с использованием технологий транспортных сетей, тоже часто называют транспортными. Во всех случаях сопряжение сегментов с транспортной магистралью осуществляется в узлах доступа, которые являются ее оконечными пунктами.

Рассматривая функциональность как композиционный принцип, *сетью доступа* (access network) называют сегмент или совокупность сегментов, образующих тракты, по которым территориально рассредоточенные оконечные пункты информационной сети взаимодействуют с узлом доступа к транспортной сети. В частности, сегмент сети, через который терминальные системы пользователей взаимодействуют с сервисным узлом, называют *сетью абонентского доступа* (customer access network).

Транспортные сети и сети доступа по функциональным признакам могут рассматриваться как самостоятельные структурные компоненты – функциональные сегменты телекоммуникационной сети.

В концепции информационной сети вся совокупность сегментов телекоммуникационной сети, обеспечивающих взаимодействие терминальных систем пользователей с рабочими системами, предоставляющими доступ к информационным и вычислительным ресурсам, может трактоваться как *удаленный доступ* (*remote access*). Методы его реализации могут существенно отличаться схемами организации глобальных связей и функциями используемых программных продуктов.

Образование платформ предоставления услуг пользователям также основано на объединении сетевых компонентов по функциональности. Совокупность сегментов глобальных коммуникаций, объединяющая операторов связи или поставщиков услуг при организации единой платформы предоставления услуг, называется *базовой сетью* (*Core Network*).

Технологически отличающиеся сегменты разных размеров (от всей сети до отдельного фрагмента) появились из-за эволюционного развития информационных сетей при бурном развитии сетевых технологий. Наличие таких сегментов характерно для всего периода перехода к единой мультисервисной платформе предоставления услуг. Классифицируя их по функционально-технологическому признаку, употребляют понятия: аналоговая сеть, цифровая сеть, сеть ISDN, IP-сеть, сеть SDH, сеть FR (Frame Relay), сеть ATM и т. п.

5.4. Функциональная модель сети

Функциональная модель абстрактно описывает сеть на *логическом уровне*, не зависящем от принципов ее физической реализации. Модель отображает взаимосвязь сетевых функций, рассматриваемых в качестве элементов.

Функция представляет собой логический элемент, выполняющий определенную задачу. Физически функция может быть реализована аппаратно или в виде программного продукта (функционального объекта). В последнем случае функции принято называть *объектами*. При физической реализации функций допускается их группирование в отдельные функциональные подсистемы, называемые *логическими модулями*.

Различают следующие основные типы функций, выполняемых в сети:

- *прикладные функции* – объекты приложений пользователей и администрации сети;
- *функции управления услугами* – объекты, позволяющие строить услуги из компонентов услуг и связанных с ними ресурсов и управлять взаимодействием пользователей с этими услугами;
- *функции административного управления сетью* – объекты, осуществляющие управление всеми другими функциями;
- *функции обработки и хранения данных* – объекты, обеспечивающие вызов и управление объектами приложений, их взаимодействие, а также извлечение запрашиваемых данных либо помещение их в базу данных;
- *коммуникационные функции* – функции транспорта и управления потоками информации (при их перераспределении в коммуникационных узлах).

Порядок взаимодействия функций сети определяет связи элементов функциональной модели. Полная спецификация такого взаимодействия между отдельными функциями (объектами) или логическими модулями называется *логическим интерфейсом*. Он определяет набор правил взаимодействия элементов и формат представления обмениваемой информации. Логический интерфейс между функциями (объектами) одного типа называется *протоколом*.

Логический интерфейс между коммуникационными функциями называют *функциональной эталонной точкой телекоммуникационной сети*.

Функции (объекты) объединяют в логические модули по следующим принципам:

Образование модулей сегментов сети на функциональном уровне. Примером может быть совместная реализация транспортной функции и функции управления потоками в сегментах телекоммуникационной сети (рис. 5.7). Кстати, любую телекоммуникационную сеть, рассматриваемую как совокупность логических модулей сегментов с функциями транспортирования и управления потоками, в функциональной модели часто называют *транспортной сетью* (еще одна трактовка понятия транспортной сети).

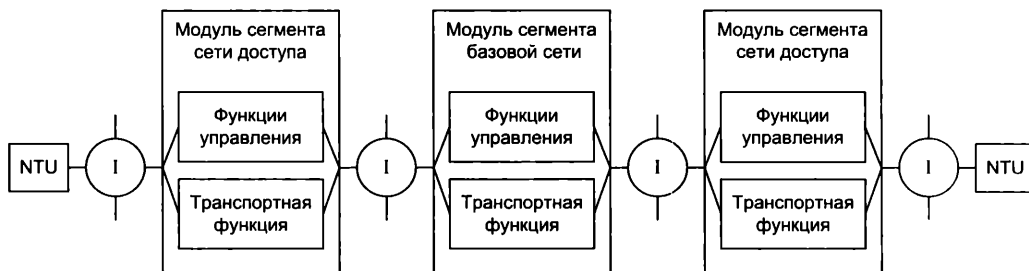


Рис. 5.7. Пример образования модулей сегментов на функциональном уровне:
I – интерфейс (функциональная эталонная точка), NTU – сетевое окончание (терминатор)

Образование домена. В этом случае функции объединяют по принципу принадлежности. При этом не требуется учитывать их совместное действие при реализации в аппаратных средствах или программных продуктах. Примерами могут служить домен пользователя (рис. 5.8) и домен сетевого оператора (рис. 5.9).

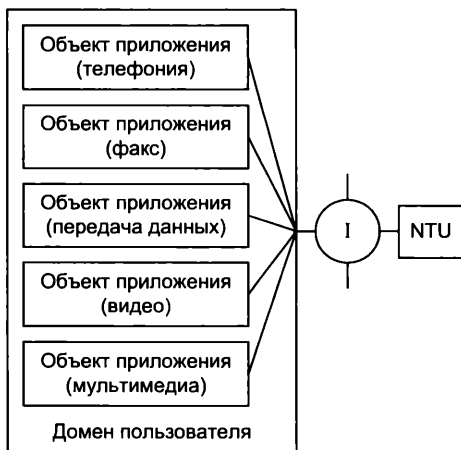


Рис. 5.8. Пример образования домена пользователя

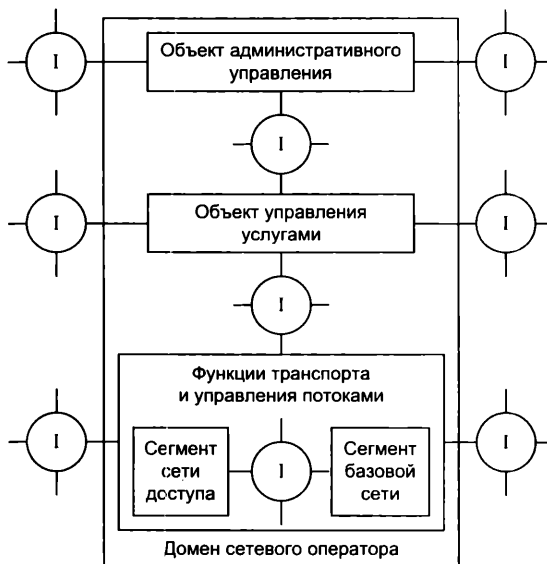


Рис. 5.9. Пример образования домена сетевого оператора

Конкретный состав функций (объектов) домена называется *конфигурацией*. Конфигурации доменов пользователей и сетевых операторов могут быть разными и зависят от многих факторов, основным из которых является возможность сети предоставлять разные услуги и приложения.

Образование платформы предоставления услуг базируется на сочетании модулей сегментов и доменов разных операторов связи, участие которых требуется для предоставления конкретной услуги или набора услуг.

5.5. Структура сетевого программного обеспечения

Сетевое программное обеспечение является ресурсом, участвующим в организации платформ предоставления услуг. Элементами его структуры являются программные модули, в которых реализованы логические элементы сети. Иерархия программного обеспечения (ПО) может быть представлена в следующем виде:

- прикладное ПО;
- промежуточное ПО;
- базовое ПО.

В *прикладном ПО* реализованы объекты приложений. Различают два типа приложений, которые влияют на структуру организации ПО, – локально ограниченные и распределенные. *Локально ограниченное приложение* устанавливается, вызывается, управляется и выполняется полностью в пределах одной оконечной системы и не требует привлечения коммуникационных функций (например, редактирование документа на компьютере пользователя). *Распределенное приложение* состоит из нескольких компонент, которые могут выполняться в разных оконечных системах и, следовательно, требуют взаимодействия (например, совместное редактирование документа пользователями, расположенными в разных местах). Компоненты распределенного приложения могут неоднократно использоваться другими приложениями. В этом случае они становятся объектами промежуточного ПО и поддерживают услуги, связанные с возможностями интеллектуальных сетей (Intelligent Network, IN).

Промежуточное ПО реализует в сети функции управления услугами и функции административного управления сетью. Объекты обеих групп взаимодействуют посредством коммуникационных функций. Посредством промежуточного ПО в сети реализуется концепция интеллектуальной сети и сети управления телекоммуникациями (Telecommunication Management Network, TMN).

Базовое ПО поддерживает возможности выполнения и взаимодействия объектов прикладного и промежуточного ПО, обеспечивая среду взаимодействия с коммуникационными функциями и логическими интерфейсами пользователей. Среда взаимодействия организует унифицированные программные комплексы – *сетевые операционные системы*. К базовому ПО относятся также логические компоненты программно реализуемых коммуникационных функций, поддерживающие связи между удаленными объектами, и объекты обработки и хранения данных, реализуемые в системах управления базами данных, серверах обработки транзакций и др.

Характер взаимодействия между объектами определяется типом *объектного интерфейса*, который подобен протоколу и функциональной эталонной точке. Различают следующие типы объектных интерфейсов:

- *прикладной протокол* (Application Protocol, AP) – логический интерфейс между прикладными объектами;

- *интерфейс прикладных программ* (Application Program Protocol, API) – логический интерфейс между прикладными объектами и объектами промежуточного ПО, которые поддерживают прикладные объекты;
- *протокол промежуточного ПО* (Middleware Protocol, MP) – логический интерфейс между объектами промежуточного ПО;
- *интерфейс базовых программ* (Base Program Interface, BPI) – логический интерфейс между объектами промежуточного и объектами базового ПО, которые поддерживают объекты промежуточного ПО;
- *интерфейс человек-компьютер* (Man-Computer Interface, MCI) – логический интерфейс между пользователем и, главным образом, объектами базового ПО, однако возможно и между объектами промежуточного ПО и даже объектами приложений.

5.6. Протокольная модель сети

Протокольная модель описывает правила работы сети на уровне взаимодействия объектов и логических модулей при реализации основных процессов передачи и обработки информации. В этой модели все правила (протоколы) взаимодействия сгруппированы по функциональному назначению в отдельные группы – *протокольные блоки*. Протокольные блоки располагаются в иерархическом порядке, и каждый из них представляет перечень протоколов взаимодействия объектов некоторого уровня (рис. 5.10).

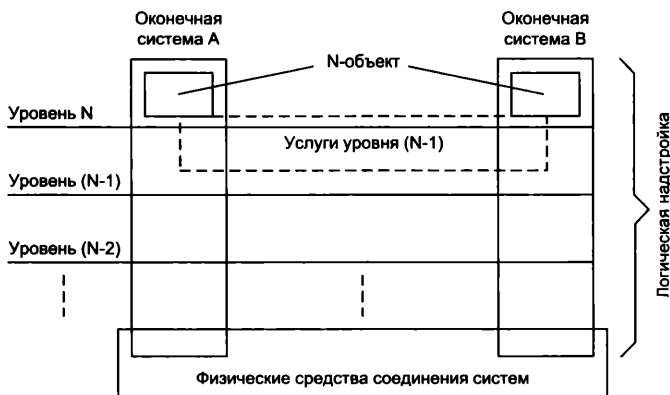


Рис. 5.10. Принцип построения протокольной модели

Задачи уровня N выполняют N -объекты, имеющие локальные функции этого уровня. Протокольные блоки разбиты по уровням таким образом, что возможность выполнения задач уровня N целиком зависит и

обеспечивается участием объектов предыдущего уровня ($N - 1$) и так далее. Таким образом, каждый нижестоящий уровень предоставляет услуги вышестоящим уровням.

Любой объект уровня N при переходе в активное состояние выдает:

- 1) информацию, передаваемую между N -объектами (данные пользователя) и не связанную с операциями «соединения» этих объектов;
- 2) управляющую информацию для уровня ($N - 1$), с помощью которой осуществляется координация процедур «соединения» N -объектов.

Правила взаимодействия объектов в протокольной модели определяют стандарты для конкретной сети и классифицируются как *протоколы* (стандарты взаимодействия объектов одного уровня с другим) и *интерфейсы* (стандарты взаимодействия объектов соседних уровней). Эти понятия аналогичны предыдущим моделям.

Международная организация стандартизации (ISO), анализируя опыт создания информационных сетей и компьютерных систем во многих странах мира, разработала концепцию по-

строения вычислительных сетей, названную *архитектурой открытых систем*. В соответствии с этой концепцией была создана и в 1983 году утверждена *эталонная модель взаимодействия открытых систем* (Open System Interconnection basic reference model, OSI), которая позволила ввести международные стандарты, определяющие и регламентирующие разработки таких систем и сетей [16]. В модели OSI определено семь уровней (рис. 5.11).

Высшим, седьмым, уровнем модели OSI является *прикладной*, на котором осуществляется управление взаимодействием прикладных процессов, выполняющихся в терминальных системах пользователей и конечных системах сети, с которыми они взаимодействуют. Соответственно протокол взаимодействия объектов седьмого уровня получил название *прикладного*.

На шестом уровне, *представления*, сообщения, поступившие с седьмого уровня, перекодируются в вид, в котором должны быть представлены любые сообщения в данной сети. Таким образом, сеть не накладывает ограничений на применение разных типов ЭВМ в качестве конечных систем. Здесь же могут выполняться функции сжатия данных, их шифрование.

Пятый уровень, *сеансовый*, предназначен для открытия сеанса связи между удаленными процессами пользователей. Оно сопровождается присвоением условных адресов – номеров точек ввода/вывода информации, или *портов* взаимодействующих конечных систем. С момента занятия портов сообщению присваиваются номера исходящего и входящего портов.

Четвертый *транспортный* уровень, протокол которого называется *транспортным*, обеспечивает транспортировку данных от отправителя к получателю и определяет способ транспортировки сообщения по сети. Характерным является разделение сообщения, поступающего с верхнего уровня, на небольшие блоки, снабжаемые заголовками с адресной и служебной информацией и в виде *пакетов* запускаемые в сеть. На этом уровне контролируется правильность порядка поступления пакетов к конечному пользователю.

Сетевой протокол, выполняемый на третьем уровне, обеспечивает выбор маршрута, по которому будут следовать пакеты сообщения.

Канальный, второй уровень обеспечивает запрос физического соединения с соседним пунктом в выбранном на сетевом уровне маршруте и организует необходимую последовательность передачи пакетов. При этом они могут группироваться, образуя структуру, называемую *кадром*. Кадр, даже если включает лишь один пакет, снабжается специальным заголовком и обрамляющими его разграничителями. Здесь же осуществляются контроль правильности принятых в узле пакетов и в случае обнаружения ошибок запрос на повторную передачу пакета.

На первом, *физическом* уровне обеспечивается интерфейс с передающей средой и выполняется побитовая передача кадров по линии связи.

В отличие от эталонной модели ВОС, протокольные модели конкретных сетей допускают введение дополнительных подуровней и могут включать не все уровни. Однако их построение основывается на тех же принципах.

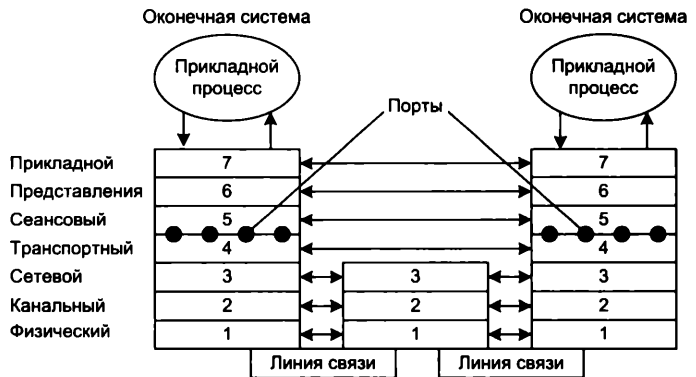


Рис. 5.11. Эталонная модель ВОС

ГЛАВА 6

ЦИФРОВЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

6.1. Основы технологий коммутации каналов и пакетов

6.1.1. Основные понятия и определения

Коммутация – это процесс *установления соединения* между определенными входом и выходом системы, *поддержания* его на время передачи информации пользователя и последующего *рассоединения*. Коммутация называется *цифровой*, если осуществляется с помощью операций с цифровыми сигналами, переносящими информацию пользователя, без их превращения в аналоговую форму. Различают два основных вида цифровой коммутации: *коммутация каналов* и *коммутация сообщений*. Если сообщения пользователя коммутируются сегментами одинаковой длины, то имеет место *коммутация пакетов*.

При цифровой коммутации каналов (channel switching) сначала создается сквозное соединение между входом и выходом системы, а затем по этому соединению в реальном времени происходит обмен информацией пользователей. Операции с цифровыми сигналами, переносящими информацию, сводятся к их записи и считыванию, поэтому физического соединения входа с выходом не существует. Вызовы, поступающие при занятости всех путей соединения, как правило, теряются. Обмен в реальном времени определяет основную область использования коммутации каналов – передачу речи. Недостаток систем с этим видом коммутации – относительно плохое использование каналов.

Коммутация сообщений (message switching) принципиально отличается от коммутации каналов тем, что выполняется не в реальном времени, не требует сквозного соединения между входом и выходом системы, а избыточные сообщения не теряются, а запоминаются и передаются с задержкой. Соответственно в системе образуются так называемые *виртуальные соединения*, могут быть значительными время использования каналов и длительность доставки сообщений. Последнее делает ее, как правило, малоприменимой для речевого обмена.

Коммутация пакетов (packet switching) отличается от коммутации сообщений тем, что передаваемые сообщения разделяются на пакеты (сегменты) одинаковой длины и каждый пакет передается независимо, как только освобождается доступный канал связи. На принимающей стороне надо восстановить сообщение, скомпоновав его из пакетов, принятых в разные моменты времени и, возможно, по разным каналам связи. Коммутации пакетов свойственны *асинхронный способ передачи* и предоставление канала только при необходимости передачи пакета. *Быстрая коммутация пакетов* (Fast Packet Switching, FPS) пригодна для передачи любых сообщений, в частности и речевых, в реальном времени.

В сетях электросвязи коммутацию выполняют коммутационные станции и узлы, которые могут быть как автономными внесистемными, так и образованными на оборудовании цифровой системы коммутации (ЦСК). Сейчас сети развиваются преимущественно на ЦСК.

Цифровой системой коммутации называют единый территориально распределенный аппаратно-программный комплекс, состоящий из основного опорного оборудования (ОпО), выполняющего коммутацию и управление и централизующего функции технической эксплуатации и обслуживания системы, и из выносных коммутационных (ВКМ) и абонентских модулей (ВАМ), соединенных с ОпО и, возможно, друг с другом цифровыми *внутрисистемными* соединительными линиями (СЛ). Под ВКМ понимают автономную часть ЦСК, способную независимо функционировать в сети в качестве отдельной станции и только в процедурах технической эксплуатации управляемую от ОпО, а под ВАМ – вынесенную от ОпО или ВКМ часть системы, полностью управляемую от ОпО или ВКМ и обеспечивающую подключение абонентских линий (это может быть абонентский концентратор, мультиплексор или иное ведомое по управлению абонентское оборудование)¹. Внутрисистемные СЛ могут иметь специфические для ЦСК линейные стыки и протоколы сигнального обмена.

При коммутации каналов системные ресурсы затрачиваются в основном на установление и только в малой степени – на поддержание соединений. Коммутации сообщений и пакетов свойственно обратное соотношение. ЦСК с коммутацией каналов являются синхронными, с коммутацией пакетов – асинхронными с адресно-кодовой коммутацией. Современные ЦСК [1–4], приспособленные для предоставления услуг цифровой сети с интеграцией служб (Integrated Services Digital Network, ISDN), объединяют эти свойства и обеспечивают:

- установление сквозных соединений путем коммутации каналов;
- установление виртуальных соединений путем коммутации пакетов;
- подключение цифровых оконечных абонентских устройств для обмена речевой и другими видами информации, в частности пакетными данными.

Основным для ЦСК обычно является синхронное узкополосное цифровое коммутационное поле (ЦКП – digital switching network), коммутирующее только каналы, в том числе и при передаче по ним сообщений или пакетов. Современные ЦСК имеют также дополнительные широкополосные блоки пакетной коммутации, построенные на принципах быстрой коммутации пакетов и асинхронного способа переноса информации (FPS & ATM).

К синхронным ЦКП подключаются четырехпроводные цифровые уплотненные линии (ЦЛ) – групповые тракты с временным разделением каналов. Каждая ЦЛ имеет два двухпроводных тракта: передачи, подключаемый ко входу (входящая ЦЛ), и приема – к выходу ЦКП (исходящая ЦЛ). Коммутация заключается в установлении, поддержке и дальнейшем рассоединении в ЦКП соединения временных каналов входящих и исходящих ЦЛ. Каждое интеллективное (диалоговое) соединение требует четырехпроводной коммутации.

В ЦСК разных типов ЦКП могут коммутировать цифровые потоки с разными скоростями, структурами цикла передачи и способами модуляции. Наиболее распространены ЦКП, рассчитанные на стандартные первичные 32-канальные групповые тракты ИКМ со скоростью 2048 кбит/с и 8-разрядными кодовыми словами. Некоторые ЦКП коммутируют 32-канальные тракты, образуемые из стандартных добавлением к каждому кодовому слову дополнительных восьми служебных битов², что удваивает скорость передачи. Оборудование, коммутирующее тракты синхронной цифровой иерархии (SDH), используется преимущественно на первичной сети для ее модернизации и превращения в современную транспортную сеть, способную переносить и перераспределять любые цифровые информационные потоки, независимо от их скорости и структуры. Некоторые современные ЦСК тоже способны коммутировать тракты первого уровня SDH (155,22 Мбит/с) и, соответственно, предоставлять

¹ Разные типы ЦСК имеют собственные конкретные названия ОпО, ВКМ и ВАМ.

² В ЦСК разных типов назначение этих служебных разрядов разное.

услуги широкополосной В-ISDN (Broadband ISDN). Существуют также ЦСК, коммутирующие каналы трактов с дельта-модуляцией.

Синхронные ЦКП всегда имеют модульное построение. В пределах одной минимальной конструктивной единицы наращивания емкости ЦКП (блока, модуля) коммутация может выполняться одним из следующих способов:

- если любое кодовое слово ЦЛ всегда переносится в другой каналный интервал (КИ) этой же ЦЛ, то коммутация называется *временной*;
- если кодовое слово определенной ЦЛ всегда переносится в одноименный КИ другой ЦЛ, то коммутация называется *пространственной*;
- если кодовое слово определенной ЦЛ может переноситься в разные КИ разных ЦЛ, то коммутация называется *пространственно-временной*.

Коммутационные блоки одинакового типа объединяются в каскады, или ступени искания. Соответственно со способом коммутации различают каскады (ступени) следующих типов: **В** (временной), **П** (пространственной) и **Вп** (пространственно-временной коммутации). Совокупность каскадов (ступеней) искания образует коммутационное поле. Как правило, ЦКП дублируется и состоит из двух одинаковых совокупностей каскадов (ступеней) – *плоскостей* ЦКП. Обычно обе плоскости работают параллельно и одинаково, но для реального переноса информации выбирается та из них, которая считается активной (вторая – пассивна)¹. Такая организация работы ЦКП предотвращает потери соединений в случае их переключения на другую плоскость. Возможна и работа обеих плоскостей в режиме разделения нагрузки.

6.1.2. Пространственная коммутация цифровых каналов

Блок пространственной коммутации временных каналов (БПК) переносит кодовые слова любого КИ в одноименный КИ другой ЦЛ. В общем случае он состоит из коммутационной матрицы, в горизонтали которой включены N входящих (ВЛ), а в вертикали – M исходящих ЦЛ (ИЛ), и из управляющего устройства (УУ). Матрица управляется от отдельных входов, количество которых зависит от типа ее элементов. Управляющей информацией для БПК являются адреса ВЛ и ИЛ, которые надо коммутировать в заданном КИ. Эти адреса должны быть занесены в УУ и сохранены в нем до окончания соединения, поэтому УУ строится на запоминающих элементах и называется адресным запоминающим устройством (АЗУ), или управляющей памятью.

Информация об адресе точки коммутации поступает в АЗУ из блока управления (БУ) более высокого уровня по шинам данных (ШД), адреса (ША) и управления (ШУ). Структура и объем памяти АЗУ определяются построением коммутационной матрицы и значениями N и M . В случае реализации матрицы на микросхемах И-ИЛИ для каждой точки коммутации нужен отдельный управляющий вход, т. е. всего их надо $N \times M$. На такой вход подается один из n возможных временных сигналов, определяющих номер КИ, в котором должна выполняться коммутация. Если же матрица реализована на мультиплексорах (МХ) (рис. 6.1,а) или демультиплексорах (ДМХ) (рис. 6.1,б), то число управляющих входов уменьшается, так как сигналы управления передаются в кодированном виде. Возможно построение коммутационной части БПК и на программируемых логических матрицах (ПЛМ) с комбинационной логикой, содержащих матричные схемы M_1 и M_2 , выполняющие соответственно логические операции конъюнкции и дизъюнкции (рис. 6.1,в). Использование ПЛМ заметно сокращает число схемных элементов.

¹ Возможен выбор по статистике сбоев: сначала выбирается плоскость с лучшими характеристиками, а при ее отказе или ухудшении качества передачи информации автоматически выполняются переключение на резервную плоскость и диагностирование для локализации повреждения.

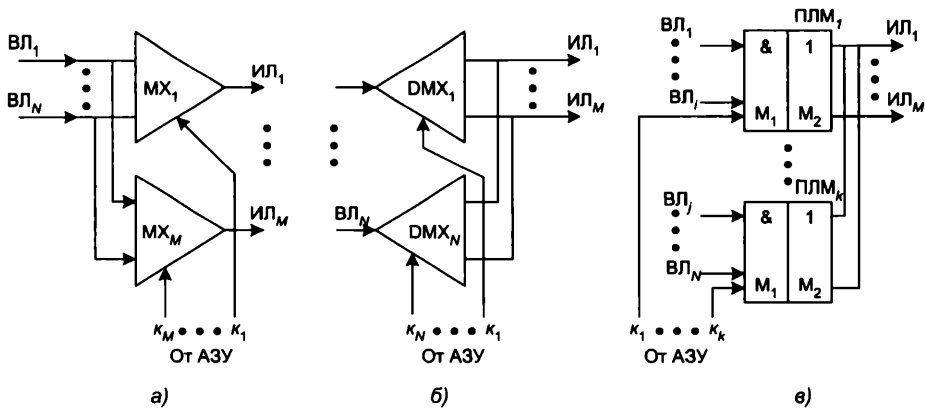


Рис. 6.1. Способы построения БПК

Независимо от способа реализации матрицы соединения должны устанавливаться на длительность КИ τ_k , поэтому для точки коммутации сигнал управления надо подавать на протяжении заданного КИ, откуда следует, что адрес этой точки надо записать в ту ячейку АЗУ, которая читается в этом КИ, а число ячеек АЗУ должно соответствовать числу каналов n в коммутируемых трактах. Емкость ячейки определяется способом реализации матрицы и числом точек коммутации. Обычно АЗУ разделяют на секции, каждая из которых управляет группой точек коммутации, относящихся к отдельной ВЛ или ИЛ, – соответственно различают *управление по входам* и *управление по выходам*. Например, в первом случае, при реализации БПК на демультиплексорах в i -ю ячейку k -й секции АЗУ заносится номер ИЛ, которую надо скоммутировать с k -й ВЛ в i -м КИ. Секции АЗУ получают адресную информацию от УУ в произвольной последовательности (по ША – номер ячейки, по ШД – номер ИЛ и по ШУ – сигнал записи), а считывается эта информация из ячеек упорядоченно, соответственно последовательности КИ.

Для ускорения коммутации используют параллельную (одновременную) передачу всех r разрядов кодового слова – тогда скорость передачи возрастает в r раз. Это требует, однако, применения дополнительных последовательно-параллельных преобразователей кодовых слов на выходе каждой ВЛ и параллельно-последовательных – на входе каждой ИЛ.

Невозможность соединять разноименные каналы означает наличие в БПК внутренних блокировок, поэтому для построения ЦКП такие блоки используют только совместно с блоками временной коммутации.

6.1.3. Временная коммутация цифровых каналов

Временная коммутация состоит в передаче кодовых слов любых КИ входящей ЦЛ в любые КИ исходящей ЦЛ. Блок временной коммутации (БВК) должен под управлением АЗУ перенести кодовое слово из одного КИ в другой, что требует задержки информации КИ на время, определяемое соотношением номеров КИ, но не превышающее длительности цикла $T_{ц}$, поскольку в последнем случае информация в коммутируемом КИ входящей линии заменилась бы следующим кодовым словом. Для коммутации КИ _{i} ВЛ с КИ _{j} ИЛ при $j > i$ нужна задержка $\tau_{i,j} = (j - i)\tau_k$, если же $i > j$, то $\tau_{i,j} = (n - i + j)\tau_k$.

Коммутационная часть БВК может строиться на элементах задержки или на информационном запоминающем устройстве (ИЗУ). В первом случае ее называют устройством сдви-

га. Это устройство представляет собой линию задержки из $n - 1$ последовательных ячеек (каждая на длительность КИ τ_k), выходы которых объединены через схемы И, управляемые от АЗУ, и общую схему ИЛИ. Такая схема достаточно проста, но ее недостаток – последовательная передача кодовых слов. Для параллельной передачи надо увеличить число схем И и ИЛИ в r раз, но тогда экономичней становится использование ИЗУ.

На рис. 6.2 дана структурная схема БВК со статическим ИЗУ и параллельным режимом коммутации. Регистр записи (РЗ) на входе ИЗУ преобразует последовательный код в параллельный, т.е. действует в режиме последовательной записи кодовых слов из ВЛ (по двум проводам) и параллельного их считывания в ячейки ИЗУ (по отдельным проводам для каждого разряда). Для обратного преобразования на выходе ИЗУ есть регистр считывания (РС). Устройства ИЗУ и АЗУ могут работать в режиме циклической записи и ациклического считывания или, наоборот, ациклической записи и циклического считывания. Обычно первый режим реализован в ИЗУ, второй – в АЗУ.

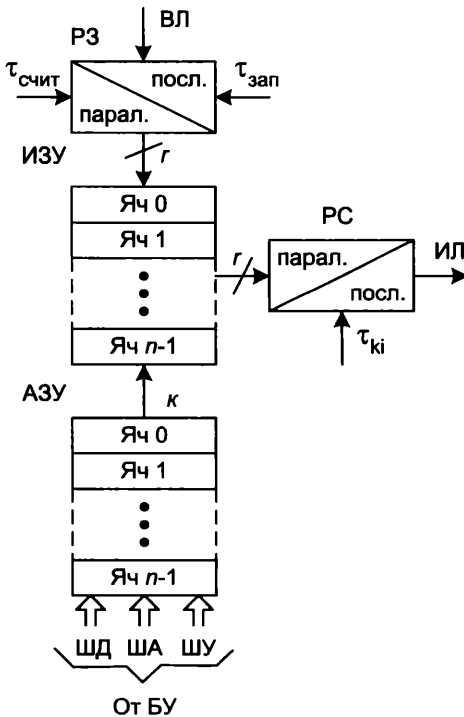


Рис. 6.2. Блок временной коммутации со статическим ИЗУ

функционировать в разных режимах записи и считывания. Иногда для увеличения емкости и быстродействия применяют параллельные ИЗУ, работающие в режиме разделения записи и считывания: в одном цикле выполняется запись в первое ИЗУ и считывание из второго, в следующем цикле – наоборот и т.д.

Недостаток БВК – неспособность коммутировать каналы нескольких ЦЛ. Поэтому для обслуживания группы ЦЛ необходимо объединить несколько БВК в общее ЦКП с помощью БПК или блока пространственно-временной коммутации (БПВК).

считывания или, наоборот, ациклической записи и циклического считывания. Обычно первый режим реализован в ИЗУ, второй – в АЗУ.

Рассмотрим алгоритм работы БВК (рис. 6.2) при управлении коммутацией по выходу. Пусть надо скоммутировать КИ₃ ВЛ с КИ₈ ИЛ в прямом (А→В) и КИ₂₈ ВЛ с КИ₁ ИЛ в обратном направлении передачи (В→А). Для этого БУ записывает в АЗУ: в Яч₈ номер КИ₃ ВЛ и разрешение на коммутацию, в Яч₁ – номер КИ₂₈ ВЛ и разрешение на коммутацию. С этого момента соединение установлено. Информация КИ₃ ВЛ последовательно записывается в РЗ и в начале следующего КИ тактовым сигналом считывается из РЗ и параллельно передается в Яч₃ ИЗУ, где хранится до момента считывания, определяемого сигналом, поступающим при чтении содержания Яч₈ АЗУ в начале КИ₈. При этом кодовое слово из Яч₃ ИЗУ параллельно передается в РС, а отсюда последовательно считывается в КИ₈ ИЛ. Аналогично коммутируется и КИ₂₈ ВЛ с КИ₁ ИЛ, так как в Яч₁ АЗУ занесен адрес (номер) Яч₂₈ ИЗУ.

Отметим, что разрядность ячеек ИЗУ равна числу бит r кодового слова, а ячеек АЗУ – определяется числом каналов ЦЛ и способом обработки кодовых слов при записи и считывании из ИЗУ. Обычно ИЗУ и АЗУ выполняются как специализированные интегральные схемы, способные

6.1.4. Пространственно-временная коммутация цифровых каналов

По определению, пространственно-временная коммутация обеспечивает перенос информации из любых КИ входящих ЦЛ в любые КИ исходящих ЦЛ. В общем случае к БПВК подключены N ВЛ и M ИЛ, поэтому в любом КИ информацию всех ВЛ надо передать во все ИЛ, что требует ускорения коммутации в M раз по сравнению с записью кодовых слов из ВЛ в ИЗУ. Для управления считыванием информации из ИЗУ промежутки КИ разделяются на вторичные интервалы (рис. 6.3). Их обычно $M + 2$, так как кроме интервалов $t_1 \dots t_M$, закрепленных за ИЛ для считывания кодовых слов из ячеек ИЗУ, нужны интервалы начала (t_n) и конца (t_k) вторичного цикла: t_n – для записи кодовых слов в ИЗУ, t_k – для их записи в исходящие регистры ИЛ.

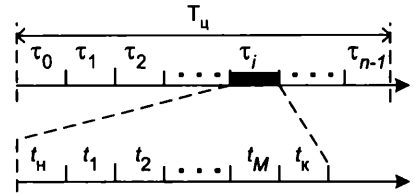


Рис. 6.3. Структура цикла

Рассмотрим БПВК на примере схемы рис. 6.4. В ней N секций ИЗУ по числу ВЛ. Каждая ВЛ имеет регистр РЗ для последовательно-параллельного преобразования кодовых слов. Каждая ИЛ имеет буферный регистр (БР) и регистр РС для обратного преобразования кодовых слов.

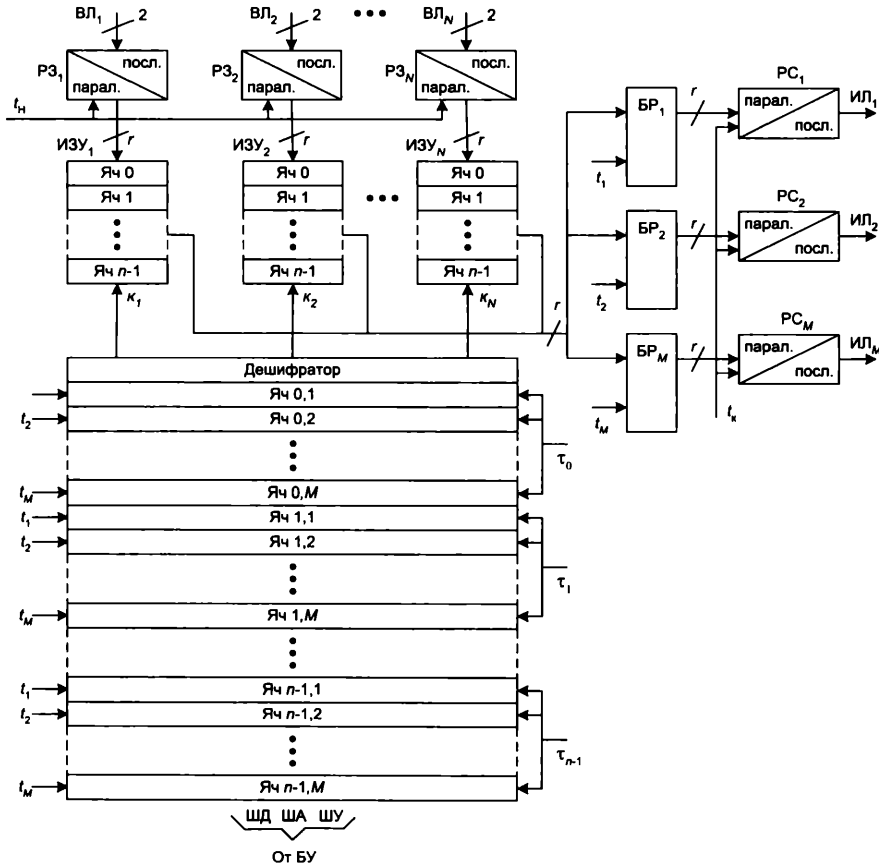


Рис. 6.4. Функциональная схема блока пространственно-временной коммутации

Блок АЗУ имеет $n \times M$ ячеек, каждая из которых закреплена за определенным КИ конкретной ИЛ. Адресную информацию в ячейки АЗУ записывает БУ в режиме произвольного доступа к памяти, а считывается она в режиме последовательного доступа, т. е. циклично. Соединение установлено после записи в нужную ячейку АЗУ адресов (номеров) секции ИЗУ, ее ячейки и бита разрешения коммутации.

Кодовые слова КИ ВЛ последовательно записываются в соответствующие РЗ, откуда в интервале t_n следующего КИ параллельно передаются в ИЗУ в режиме последовательного доступа к памяти. В ячейке ИЗУ записанное кодовое слово сохраняется на протяжении цикла передачи $T_{ц}$, а затем заменяется следующим словом этого же КИ. Момент считывания из ИЗУ определяется двумя временными интервалами: нужным канальным τ_i и одним из вторичных $t_{1...l_M}$, соответствующим нужной ИЛ. Считываются кодовые слова из ИЗУ в БР параллельно и ациклично, в режиме произвольного доступа. Из БР эти слова параллельно передаются в регистры РС во вторичном интервале t_k , а затем последовательно, бит за битом, из РС считываются в КИ исходящих линий. Так как передача кодового слова из ячейки ИЗУ в РС длится КИ, то имеет место сдвиг канальной информации в ИЛ относительно ВЛ на один КИ. Для его компенсации можно считывать кодовые слова из ИЗУ на один КИ раньше, соответственно закрепив ячейки АЗУ за канальными интервалами.

Рассмотрим пример. Пусть коммутируется КИ₁ ВЛ₃ с КИ₂ ИЛ_М. Блок управления по ША указывает Яч_{2М} АЗУ, в которую надо занести номера нужных секции ИЗУ (3) и канала ВЛ (1), выдает эти номера по ШД и дает по ШУ сигнал «запись». Учитывая задержку на один КИ, Яч_{2М} АЗУ опрашивается сигналами $\tau_{ки-1} = \tau_1$ и t_M и из нее считываются адреса «3» секции ИЗУ и «1» ячейки, в которой содержится кодовое слово КИ₁ ВЛ₃. Эти адреса открывают выход Яч₁ третьей секции ИЗУ и отсюда это кодовое слово параллельно записывается в БР_М. Тактовым импульсом t_k оно в конце КИ₁ параллельно передается в РС_М и далее в КИ₂ последовательно считывается в ИЛ_М.

Отметим, что БПВК в разных ЦСК и цифровых АТС имеют разные параметры N , M , n и r и, как правило, реализуются на специализированных интегральных схемах. Обычно БПВК занимает съемную печатную плату. Для удобства сравнения параметры БПВК приведем в виде: $N/n_r \times M/n_r$. Такая запись означает, что в БПВК включено N ВЛ, каждая на n КИ по r разрядов, и M ИЛ по n r -разрядных КИ. Тогда, например, БПВК некоторых ЦСК имеют параметры: $32/32_8 \times 32/32_8$ и $128/32_8 \times 128/32_8$ в системе «Квант-Е»; $4/128_8 \times 4/128_8$ в системе EWSD; $16/768_{16} \times 16/768_{16}$ в системе 5ESS-2000.

6.1.5. Принципы пакетной коммутации

Как уже отмечалось, быстрая коммутация пакетов пригодна для обслуживания разноскоростных потоков, переносящих любую информацию – от данных до интерактивных телефонных разговоров и качественных программ телевидения. Это позволяет пользователю в каждом сеансе связи получать полосу частот, соответствующую текущей потребности, и оплачивать только реально использованные ресурсы сети. Определение «быстрая» означает, что обеспечиваются скорости передачи более 100 Мбит/с, задержки передачи (без учета времени пакетизирования информации) на уровне нескольких миллисекунд и соответственно быстрое установление виртуальных соединений.

Особенности пакетной коммутации вызваны необходимостью самостоятельной маршрутизации каждого пакета с помощью адресной информации, имеющейся в его заголовке. Блок пакетной коммутации (БПК) можно построить из отдельных коммутационных элементов (КЭ) на n входов и столько же выходов ($n \times n$). В простейшем случае это может быть КЭ 2×2 (рис. 6.5).

Функции КЭ 2×2 заключаются в направлении пакета, поступившего по любому из двух входов на один из двух выходов. Для этого КЭ анализирует заголовки пакета и образует нужное соединение. В варианте 2×2 при этом достаточно информации одного двоичного разряда – в зависимости от его значения (0 или 1) пакет передается на выход 0 или выход 1. КЭ может выполнять и функции сортировки, передавая пакеты с числом меньшим адресом на верхний выход (рис. 6.5). В зависимости от конкретного места КЭ в схеме БПкК, он может анализировать разные разряды адреса пакета. Возможны и дополнительные функции КЭ: анализ нескольких разрядов, удаление проанализированного разряда, подсчет пакетов, буферизация пакетов, которые от разных входов направляются к одному выходу. Пример реализации КЭ 2×2 на мультиплексах показан на рис. 6.6.

Простейший пакетный коммутатор, имеющий минимальное количество КЭ, – это так называемый «баньяновский» коммутатор. Если он создается на КЭ 2×2 , то при k каскадах имеет $n = 2^k$ портов (входов и выходов). Пример коммутатора 8×8 показан на рис. 6.7 [5]. Принцип самонашрутизации иллюстрируют штриховые линии, указывающие путь прохождения пакетов с адресами 101 и 010. Независимо от номера входа эти пакеты всегда передаются на соответствующие выходы.

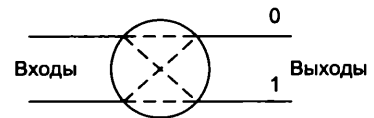


Рис. 6.5. Основной элемент пакетной коммутации 2×2

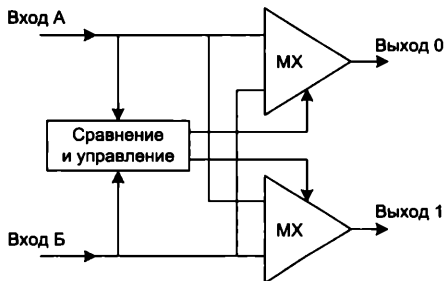


Рис. 6.6. Пример реализации КЭ 2×2

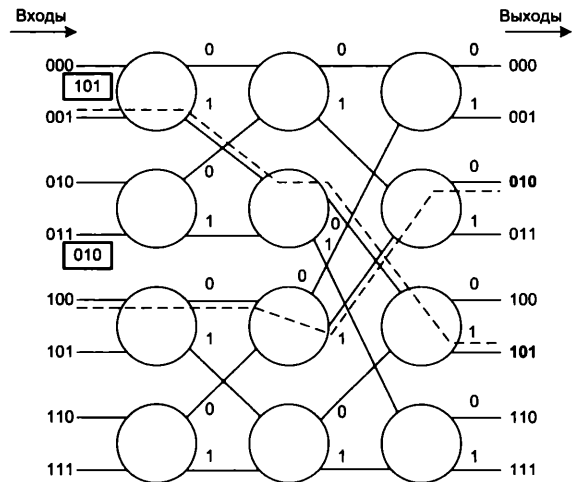


Рис. 6.7. Пакетный «баньяновский» коммутатор

Недостаток такого коммутатора – возможность «конфликтов» между пакетами, которые разными путями направляются на один и тот же КЭ. Предотвратить потери пакетов в таких ситуациях, т.е. сделать коммутатор внутренне неблокирующим, можно с помощью буферной памяти в КЭ или работы коммутатора с большей скоростью, чем надо для обслуживания входящих пакетов. Возможна и предварительная сортировка пакетов таким образом, чтобы их пути не пересекались в КЭ. Следующая проблема – снятие блокировки на выходе при одновременном поступлении пакетов разными путями на один и тот же выход (рис. 6.7). Одно из ее решений – введение фильтрующей схемы – «ловушки» (trap) с функцией выявления пакетов с одинаковыми адресами и направления «лишних» пакетов на схему задержки (на время пакетного цикла), откуда они снова поступают на фильтрацию. Структурная схема БПкК с предварительной сортировкой и фильтрацией дана на рис. 6.8.

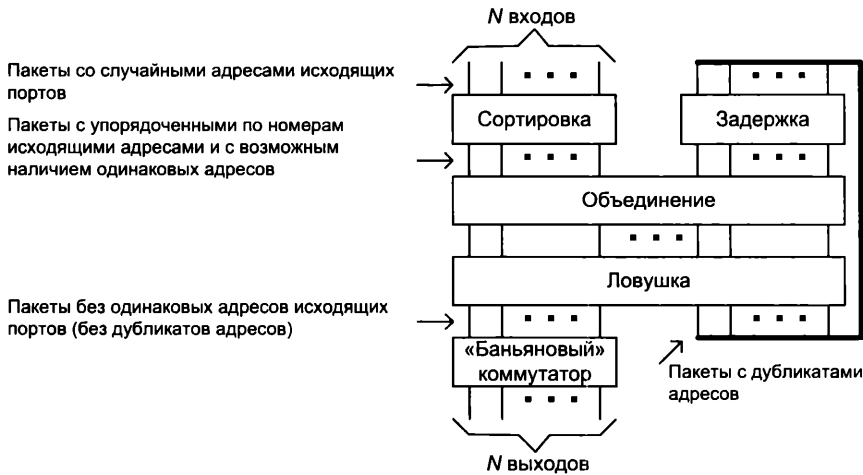


Рис. 6.8. БПкК с сортировкой и фильтрацией

Возможно и иное решение: анализ адресов в КЭ и, при их совпадении, передача одного из пакетов на выходной порт и запрос по цепи обратной связи повторной передачи второго пакета из входного буфера. Обратная связь усложняет КЭ 2×2 в сравнении с рис. 6.6. Блокировку выходов в БПкК

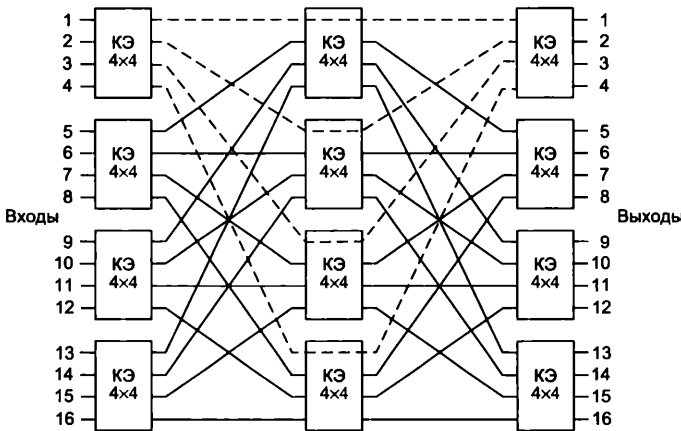


Рис. 6.9. Трехкаскадный пакетный коммутатор 16×16 с обходными путями передачи пакетов

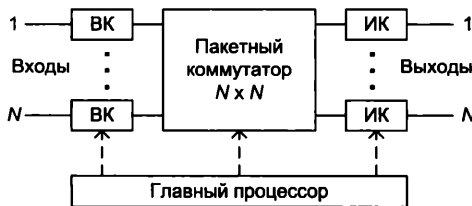


Рис. 6.10. Обобщенная структура БПкК

можно также ликвидировать за счет выделения одному терминалу нескольких выходных портов, но это резко увеличивает число КЭ и, как правило, непрактично.

Если емкости КЭ в коммутаторе больше, чем 2×2 , между любым входом и выходом существует несколько путей, поэтому предварительная сортировка пакетов не требуется. На рис. 6.9 дан пример схемы 16×16 на неблокируемых КЭ 4×4 , в которой каждый КЭ имеет буфер для каждого входа, принимает и коммутирует пакеты в асинхронном режиме. Штриховые линии показывают четыре возможных пути передачи пакетов между входом и выходом.

Обобщенная структура БПкК дана на рис. 6.10. Любая входящая и исходящая линия

оборудуется собственным контроллером (ВК и ИК), обеспечивающим анализ и трансляцию заголовков, буферное хранение и передачу пакетов. Главный процессор управляет коммутатором и контроллерами.

6.1.6. Синхронные цифровые коммутационные поля

Подсистемы коммутации и управления ЦСК территориально распределены, поэтому ЦКП обычно имеет несколько каскадов. *Каскад* – локально сосредоточенная группа однотипных блоков, выполняющих одинаковую коммутационную функцию. Обозначим его **В**, **П** или **В_п** соответственно типу блоков, из которых он образован.

Обычно ЦКП зеркально симметрично относительно условной линии, разделяющей его на правую и левую половины. Такая структура упрощает управление полем и наращивание его емкости. Четырехпроводная коммутация реализуется *неразделенным* однонаправленным (рис. 6.11,а) или *разделенным* на две части двунаправленным ЦКП (рис. 6.11,б).

ЦКП называют *однородным*, если в нем любое соединение устанавливается через одинаковое число каскадов. Обычно ЦСК имеют неоднородные ЦКП, в которых, например, соединения между абонентами одного ВКМ замыкаются через каскад **В_п**, разных ВКМ – через каскады **В_п** исходящего ВКМ, **П** или **В_п** ОпО и **В_п** входящего ВКМ. При этом каждый коммутационный блок (коммутатор) должен переключать и межблочные, и внутривлочные связи.

ЦКП характеризуются также возможными видами соединений. Различают одноканальные, распределительные и многоканальные соединения (последние предусмотрены не всегда). *Одноканальные* соединения образуются коммутацией одного канала для передачи речи, данных и пр. (рис. 6.12,а). *Распределительные* нужны для передачи сигналов одного источника нескольким приемникам одновременно, например для параллельной посылки «ответа станции» одного цифрового тонального генератора нескольким вызывающим абонентам (рис. 6.12,б). *Многоканальные* соединения (рис. 6.12,в) нужны для обмена сигналами, требующими объединения нескольких каналов 64 кбит/с, например для передачи программ звукового вещания. Кодовые слова этих каналов надо передавать через ЦКП с жестко одинаковыми задержками. Требуется коммутировать каналы 128, 384 (канал Н₀) и 1920 (Н₁) кбит/с.

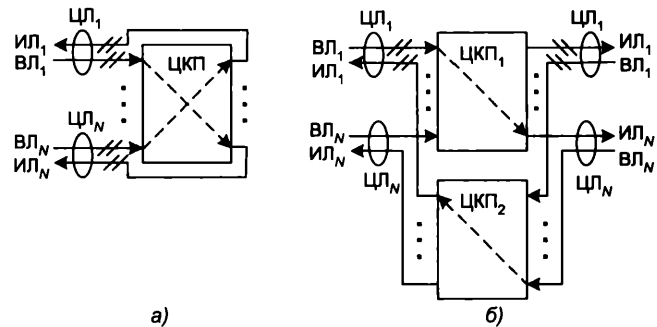


Рис. 6.11. Реализация четырехпроводной коммутации:
а – неразделенное (однонаправленное) ЦКП;
б – разделенное (двунаправленное) ЦКП

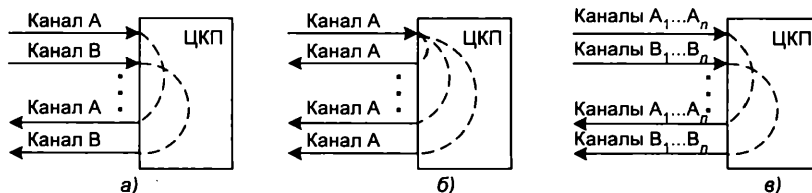


Рис. 6.12. Типы соединений:

а – одноканальное; б – распределительное; в – многоканальное

Учитывая достижения в уплотнении сигналов¹, такие ЦКП способны коммутировать даже телевизионные программы. Отметим, что все соединения в ЦКП могут устанавливаться по требованию или полупостоянно (например, для каналов сигнализации и управления).

Считается, что ЦКП обладает *функциональной полнотой*, если может соединять любой КИ любой ВЛ с любым КИ любой ИЛ. Функционально полные ЦКП можно разделить на классы по базовой структуре ЦКП и ее модификациям, вызванным возможным наличием дополнительных элементов для предварительного мультиплексирования (МХ) и последующего демультимплексирования (DMX) цифровых трактов. Различают следующие классы синхронных ЦКП:

- «Пространство–Время–Пространство» – базовые структуры $\Pi \cdot k \cdot \mathbf{B} \cdot l \cdot \Pi \cdot k$ и их модификации МХ– $\Pi \cdot k \cdot \mathbf{B} \cdot l \cdot \Pi \cdot k$ –DMX, где k и l – число каскадов;
- «Время–Пространство–Время» – $\mathbf{B} \cdot k \cdot \Pi \cdot l \cdot \mathbf{B} \cdot k$ и МХ– $\mathbf{B} \cdot k \cdot \Pi \cdot l \cdot \mathbf{B} \cdot k$ –DMX;
- «Пространство–Время/Пространство–Пространство» и «Время/Пространство–Пространство–Время/Пространство» – подклассы, образованные из предыдущих классов заменой коммутаторов \mathbf{B} на \mathbf{B}_{Π} ;
- «Время/Пространство» – $\mathbf{B}_{\Pi} \cdot k$ и МХ– $\mathbf{B}_{\Pi} \cdot k$ –DMX;
- неоднородные «Кольцевые ЦКП».

В современных ЦК структуры ЦКП преимущественно $\mathbf{B}_{\Pi} \cdot k \cdot \Pi \cdot l \cdot \mathbf{B}_{\Pi} \cdot k$ (например, в SESS, EWSD) и $\mathbf{B}_{\Pi} \cdot k$ (в SI2000, «Квант-Е» и др.).

Функционирование ЦКП рассмотрим на примере схемы $\mathbf{B}_{\Pi} \cdot \Pi \cdot \mathbf{B}_{\Pi}$ (рис. 6.13). Каскад А построен из S БПВК, в каждом из которых k цифровых ВЛ и столько же исходящих промежуточных линий (ПЛ), все по n каналам. БПВК под управлением своего АЗУ коммутирует $kn \times kn$ каналов, а общее число ВЛ $N = k \times S$. Каскад В имеет один БПК емкостью $N \times N$ цифровых ПЛ. Каскад С зеркально симметричен каскаду А. Кодовые слова коммутируются последовательно, поэтому БПК построен на одной коммутационной матрице и управляется АЗУ, разделенным на N секций по n ячеек. Емкость и пропускная способность такого ЦКП ограничены параметрами пространственного коммутатора.

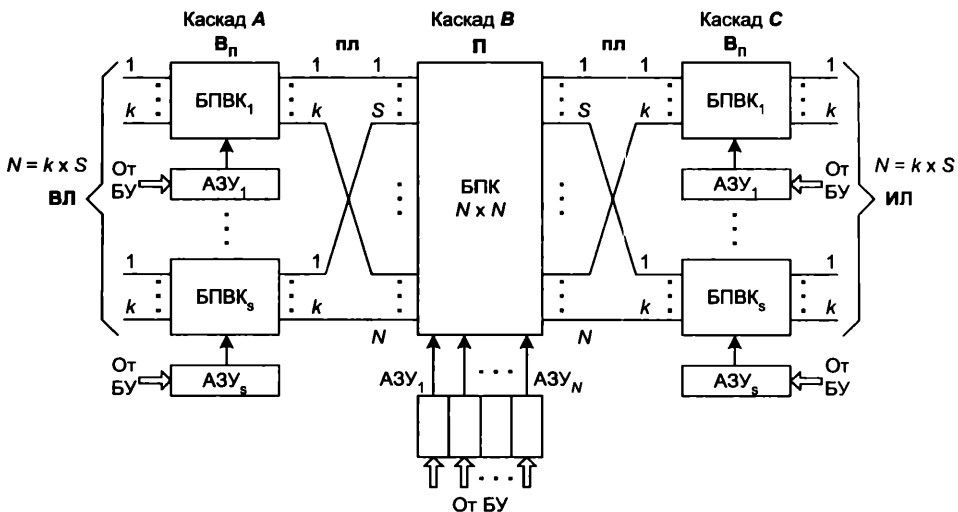


Рис. 6.13. Функциональная схема ЦКП класса $\mathbf{B}_{\Pi} \cdot \Pi \cdot \mathbf{B}_{\Pi}$

¹ Стандартный речевой сигнал требует скорости 800 бит/с, а качественный видеосигнал – 1,5 Мбит/с.

Рассмотрим алгоритм соединения. Пусть надо соединить KI_1 ВЛ₁, включенной в БПВК₁ каскада А, с KI_5 ИЛ_k в БПВК₅ каскада С. Так как перезаписывать кодовые слова из ИЗУ каскада А в ИЗУ каскада С можно в разных КИ, то БУ записывает бит коммутации и номера KI_1 и ВЛ₁ в любую свободную ячейку АЗУ₁ каскада А. Коммутация в БПВК длится КИ, поэтому для считывания кодовых слов из исходящего регистра РС и передачи их через каскад В используется следующий КИ управления. Аналогично, для записи слов из входящего регистра РЗ в ИЗУ каскада С нужен следующий, относительно каскада В, КИ управления. Если запись в АЗУ₁ сделана, например, в i -ю ячейку (Яч_i), закрепленную за ПЛ₁, т.е. в КИ_i управления, то на каскаде В надо в KI_{i+1} управления записать в Яч_{i+1} секции АЗУ, закрепленной за ПЛ к нужному БПВК₅ каскада С, координаты точки коммутации и бит коммутации. В одну из свободных ячеек АЗУ₅ каскада С, соответствующую выбранной ПЛ, в KI_{i+2} надо занести номера требуемых KI_5 и ИЛ_k и бит коммутации. Такой относительно сложный алгоритм позволяет упростить каскад П.

6.2. Технология цифровых телефонных сетей и узкополосная ISDN

6.2.1. Состояние и проблемы развития телефонных сетей

Развитые страны за последние пять лет почти вдвое повысили уровень цифровизации телефонной сети (ТС) при медленном росте абонентской плотности, которая почти достигла уровня насыщенности для квартирных абонентов, но продолжает расти в деловом секторе¹. Дальнейшее развитие ТС этих стран идет по пути замены старых станций на современные ЦСК, имеющие и средства широкополосной пакетной коммутации, в частности на системы нового поколения Softswitches [2]. В некоторых развивающихся и даже в малоразвитых странах с телефонной плотностью 5–7% уровень цифровизации ТС достигает 80% благодаря тому, что их сети развиваются исключительно на цифровом оборудовании, которое обеспечивает высокое качество услуг и тем самым стимулирует новый спрос.

В большинстве стран СНГ состояние телефонных сетей общего пользования (ТфОП) в целом неудовлетворительно: низок уровень цифровизации (за исключением междугородной сети); преобладающая часть аналогового оборудования в значительной степени отработала ресурс; разнообразие типов оборудования затрудняет централизацию техэксплуатации и ведет к значительным эксплуатационным расходам; обеспеченность местных сетей соединительными линиями (СЛ) недостаточна, а их состояние часто плохое. На сегодня низкий платежеспособный спрос на услуги связи и недостаточные инвестиции в связь не обеспечивают надлежащих развития и реконструкции ТфОП и, соответственно, широкого ассортимента и высокого качества услуг. Поэтому доминирующим операторам часто целесообразно наращивать телефонную плотность только в рамках удовлетворения платежеспособного спроса и сосредотачивать усилия на улучшении качественного состояния ТфОП. Важно развивать каждую конкретную сеть на малом числе типов ЦСК (одном или двух), не допуская внедрения внесистемных станций. Выбирать тип ЦСК желательно с учетом перспектив дальнейшей эволюции ТфОП в широкополосную пакетную сеть. Для значительного уменьшения повреждаемости и кардинального решения проблем качества услуг надо согласованно с внедрением ЦСК цифровизировать межстанционные соединения,

¹ Согласно [7] в ряде стран в 2000 г. при абонентской плотности 130% рост составил ≈10 телефонов на 100 деловых абонентов в год.

достигать полной обеспеченности СЛ для всех цифровых станций, постепенно ликвидировать длинные абонентские линии (АЛ) (в частности, установкой ВАМ) и вводить современные технологии абонентского доступа на новых АЛ.

6.2.2. Основные принципы реконструкции и развития ТфОП

Эти принципы для России, Украины и ряда других стран СНГ могут быть следующими.

Междугородная сеть. Целью ее реконструкции и развития должно быть превращение в скоростную транспортную сеть, пригодную для качественного обслуживания прогнозируемых объемов нагрузки любого типа. В перспективе междугородная сеть должна слиться с транспортной сетью АТМ. В первую очередь надо демонтировать аналоговые АМТС и УАК с переключением их нагрузки на существующие цифровые опорно-транзитные станции (ОПТС) и на устанавливаемые магистральные коммутаторы АТМ. В дальнейшем цифровые АМТС и ОПТС также целесообразно постепенно заменять коммутаторами АТМ с оптимизацией количества и пропускной способности последних. Заменяемые цифровые АМТС и ОПТС можно, при некотором переоборудовании, использовать для предоставления услуг местной связи.

Городские телефонные сети (ГТС). Целью реконструкции и развития ГТС должно быть: улучшение технического состояния; внедрение современных услуг связи, имеющих спрос; привлечение новых платежеспособных пользователей и, как следствие, возростание доходов оператора.

Достичь этой цели можно только путем реконструкции и развития ГТС на современном высокотехнологичном цифровом оборудовании коммутации и передачи. Оно экономически выгодно, так как позволяет заметно увеличить доходы оператора за счет предоставления новых услуг и резкого снижения эксплуатационных расходов, особенно при централизации технической эксплуатации. Эти выгоды достигаются при значительных начальных капиталовложениях, что требует их концентрации, привлечения средств пользователей и осторожного подхода к удовлетворению социально-значимых нужд. Надо также учитывать, что указанные выгоды достижимы только при соблюдении определенных принципов реконструкции ГТС, а неупорядоченное внедрение разносистемных и внесистемных (не относящихся к ЦСК) цифровых станций малоэффективно.

Цифровое коммутационное оборудование на ГТС следует, как правило, внедрять методом «наложенной сети», по которому соединения между абонентами цифровых станций всегда обслуживаются цифровой, между абонентами аналоговых АТС – аналоговой частью ГТС, а между абонентами цифровых и аналоговых станций – с одним переходом между этими частями. Следует внедрять оборудование только территориально распределенных ЦСК (а не автономных внесистемных станций) и концентрировать однотипное оборудование. Число типов ЦСК для одной ГТС должно быть минимальным, оптимально – один или два. Услуги узкополосной N-ISDN (Narrowband ISDN) следует предусматривать только при наличии спроса, но внедряемые ЦСК должны обеспечивать возможность их предоставления, что, в свою очередь, требует общеканальной сигнализации ОКС № 7. Важно также, чтобы эти ЦСК могли, при необходимости, обеспечивать широкополосную коммутацию и стыки с транспортной сетью АТМ. Соблюдение этих принципов облегчит централизацию технической эксплуатации цифровой сети, гарантирует максимально возможную реализацию преимуществ ЦСК и высокое качество услуг связи.

В абонентской нумерации наложенную сеть, образованную на оборудовании ЦСК и, возможно, на существующих автономных цифровых АТС, следует выделять как отдельный узловой район (УР), емкость которого может значительно превышать обычную сто тысячную

границу. Соответственно этому организуются связи с аналоговой частью ГТС, в которую цифровые ОПТС или транзитные станции (ТС), образованные на базе ОпО системы или ее ВКМ, включаются в роли станций, объединяющих функции узлов входящих (УВС, УВСМ) и исходящих (УИС) сообщений и коммутационного узла заказно-соединительных линий (ЗСЛ), в том числе и на ГТС без узлообразования. На правах УР, как правило, целесообразно включать даже первую устанавливаемую на ГТС цифровую станцию ЦСК.

Стыки ЦСК с аналоговой частью ГТС желательно выполнять цифровыми СЛ. Новые образуемые пучки СЛ должны быть исключительно цифровыми. Часто целесообразно соединять цифровые станции оптоволоконным кольцом, оборудованным цифровой системой передачи (ЦСП) SDH. При установке ОпО или ВКМ вместо демонтируемой электромеханической АТС могут временно использоваться имеющиеся аналоговые СЛ, если оборудование ЦСК блоками стыков с ними заметно дешевле, чем цифровизация СЛ.

На ГТС опорное оборудование ЦСК следует, как правило, использовать в качестве ОПТС, обеспечивающей большинство стыков с аналоговой частью ГТС и централизующей техобслуживание, эксплуатацию и административное управление для всего территориально распределенного оборудования ЦСК.

ВКМ целесообразно устанавливать в качестве опорных станций (ОПС) ГТС (при включении в них только АЛ) или ОПТС (при включении также и внешних СЛ или СЛ к другим ВКМ системы).

ВАМ приближают оборудование к абонентам и уменьшают общую длину АЛ, что особенно эффективно в микрорайонах с низкой плотностью населения (места малозаженной застройки, пригороды, садово-парковые зоны). Часто выгодно выносить ВАМ или ВКМ в зону обслуживания существующих аналоговых АТС, в частности непосредственно в их помещения для предоставления качественной связи и дополнительных услуг платежеспособным абонентам. При этом желательно, чтобы установочная плата компенсировала полную стоимость станционного номера при переключении с существующей АТС и полную стоимость сетевого номера для новых абонентов. Номера аналоговых станций, освобожденные при таком переключении, могут предоставляться льготной части очереди на установку телефона. В дальнейшей перспективе аналоговая АТС демонтируется, а ее абоненты переключаются на соответственно наращиваемый модуль ЦСК.

Операторы ГТС для увеличения прибыли прогнозируют абонентский спрос и конкуренцию на рынке услуг и соответственно расширяют свою деятельность: организуют пункты присутствия Интернета (Internet Point Of Presence, IPOP), вводят радиодоступ на базе современных цифровых стандартов, при наличии спроса внедряют широкополосные услуги и пр.

Техэксплуатация и обслуживание ГТС должны обеспечивать требуемое качество услуг связи и эффективное функционирование сети при минимальных эксплуатационных расходах. Это требует создания современных центров техэксплуатации (ЦТЭ) и внедрение средств телеконтроля и телеуправления на периферийных объектах зоны их обслуживания. На ЦТЭ нужны программно-аппаратные средства накопления и обработки контрольно-диагностической информации и мобильные группы специалистов, оснащенные необходимыми техническими и транспортными средствами. Нужна и организация централизованного обслуживания абонентов.

Перевод станции ГТС на централизованное техобслуживание и работу без постоянного присутствия персонала требует передачи на ЦТЭ данных охранной и противопожарной сигнализации помещения, контроля его климатических условий (температура, влажность), состояния оборудования станции, устройств электропитания, линейных сооружений и систем передачи.

Станции ЦСК обязательно должны обслуживаться ЦТЭ этой ЦСК. Для внесистемных станций целесообразность полной или частичной централизации эксплуатации и выбор нужных средств ЦТЭ должны решаться отдельно. В любом случае должна предусматриваться по крайней мере централизованная автоматизация отдельных процессов техэксплуатации имеющимися у оператора аппаратными и программными средствами. Такая система автоматизации должна быть постоянно развивающейся.

Телефонные сети сельских районов (ТССР) – это местные сети с собственным зонавым индексом, предоставляющие телефонные услуги на территории всего района и имеющие единую систему тарификации для всех его населенных пунктов (включая райцентр и поселки городского типа).

Для района, центром которого является областной центр или город областного подчинения с численностью населения свыше 100 000 человек, телефонная сеть района практически слита с городской сетью с точки зрения организации междугородной и зонавой связи, системы тарификации и должна развиваться как составная часть этой ГТС (комбинированной).

При реконструкции ТССР следует на базе одной ЦСК сбалансированно развивать связь во всех поселениях района. Отметим, что для России и Украины характерно наличие относительно большого числа средних (свыше 500 жителей) сельских населенных пунктов (СНП), в которых нет АТС, и малых СНП (до 100 жителей) вообще без телефонной связи¹.

Как и для ГТС, все типы ЦСК должны иметь ОКС № 7, возможности предоставлять услуги ISDN и, при необходимости, обеспечивать широкополосную коммутацию и стыки с транспортной сетью АТМ.

Учитывая дефицит инвестиций, цифровизацию ТССР надо начинать с установки в райцентре модулей ЦСК, достаточных для выполнения функций центральной станции (ЦС) с абонентской емкостью, обеспечивающей удовлетворение спроса всех платежеспособных пользователей райцентра на современные услуги связи (не менее 500 номеров). Прежняя аналоговая ЦС может временно сохраняться с включением в ЦСК на правах оконечной (ОС) или узловой станции (УС). Все ОС и УС, имеющие цифровые СЛ, следует переключить на новую ЦС. Одновременно или по мере изыскания средств в городских и больших сельских поселениях района следует устанавливать ВКМ ЦСК с функциями ОПТС и емкостями, достаточными для обслуживания всех платежеспособных пользователей. В отдельных случаях координатная АТС, имеющаяся в СНП, может подключаться к такому ВКМ на правах ОС.

Таким образом будет осуществляться поэтапное гибкое наращивание цифровых зон и абонентской емкости сети с постепенным снятием с эксплуатации аналоговой техники, что позволит создать цифровую ТССР и предоставлять современные услуги связи гарантированного качества всем жителям района (включая скоростной доступ к Интернету, электронную почту, услуги ISDN и пр.).

6.2.3. Технические требования к цифровым телефонным сетям

Основа цифровых телефонных сетей – цифровые системы коммутации. ЦСК имеет функциональные подсистемы разного назначения, реализуемые аппаратно-программными средствами. В современной ЦСК есть подсистемы:

- *узкополосной коммутации* – для проключения, поддержки и разъединения соединений каналов 64 кбит/с (иногда также и групп каналов);

¹ В таких малых СНП должны быть установлены телефоны, доступные всем их жителям.

- *широкополосной пакетной коммутации*, которая на базе асинхронного режима переноса информации коммутирует разноскоростные цифровые потоки (от двух до 155 и более Мбит/с)¹;
- *узкополосного абонентского доступа* – для стыка с АЛ, т. е. согласования с их электрическими параметрами, аналого-цифрового преобразования речевых сигналов для аналоговых АЛ (ААЛ), организации каналов цифровых АЛ (ЦАЛ), сигнализации по АЛ² (она образована абонентскими комплектами (АК) ААЛ и устройствами сетевого (Network Termination, NT) и линейного (Line Termination, LT) окончания ЦАЛ);
- *широкополосного абонентского доступа* – для стыка со скоростными АЛ – оптическими, а также использующими технологии xDSL;
- *линейного доступа*, обеспечивающая аналогичные функции для СЛ и образованная линейными комплектами этих СЛ;
- *сигнализации* – для сигнального взаимодействия во внешних и внутрисистемных направлениях связи и по АЛ;
- *синхронизации*;
- *электропитания*;
- *управления*, обеспечивающая функционирование вышеназванных подсистем и образованная взаимодействующими УУ блоков и модулей ЦСК;
- *техэксплуатации и административного управления*, которая поддерживает интерфейс человек-машина для контроля и управления системой со стороны персонала; собирает и анализирует данные аварийной сигнализации; автоматически реконфигурирует оборудование (выключает поврежденное и включает резервное), диагностирует поврежденные блоки, информирует персонал; тарифицирует вызовы и регистрирует параметры нагрузки.

Возможно и наличие подсистем *абонентского радиодоступа* (для фиксированных абонентов и абонентов с ограниченной мобильностью) и *подвижной связи*, образующей сотовую сеть цифрового стандарта GSM-900 (или иного).

Совместимость ЦСК и разнотипных внесистемных АТС обеспечивается стандартизацией линейных и абонентских стыков, а также методов сигнального обмена и сигнальных кодов. В общем случае на цифровой станции предусматриваются следующие, регламентированные МСЭ, типы стыков (рис. 6.14):

Стык Z_1 (часто обозначается просто **Z**) для подключения ААЛ. Он образуется между АК с функциями BORSCHT и физической ААЛ.

Функции BORSCHT таковы:

B (Battery feed) – питание микрофона (часто с возможностью регулирования тока);

O (Overvoltage protection) – защита станционного оборудования от высоких напряжений в АЛ (главным образом от собственных напряжений питания микрофона и посылки вызова, а основная защита от посторонних напряжений выполняется на кроссе);

R (Ringing) – подключение в АЛ сигнала вызова 25 Гц;

S (Supervision) – контроль состояния шлейфа АЛ и прием от абонента сигналов занятия, шлейфового набора номера и отбоя;

C (Coding) – кодирование и декодирование, т.е. аналого-цифровое преобразование, фильтрация и усиление (иногда автоматически регулируемое);

¹ Эта подсистема есть не во всех ЦСК, хотя в современных условиях она практически обязательна.

² Совместно с подсистемой сигнализации.

Стык V_2 для подключения ВАР (концентраторов) в ЦКП станции трактами $E1$ (2048 кбит/с). Далее в ВАР обеспечиваются стыки Z и U с АЛ.

Стык V_3 доступа 30B+D к ISDN на первичной скорости (2048 кбит/с) для подключения цифровых интегральных учрежденческих АТС, локальных компьютерных сетей или скоростных многофункциональных терминалов.

Стык V_4 для подключения ВАР (мультиплексоров). Между мультиплексором и физическими АЛ стыки Z и U .

Универсальный стык V_5 , имеющий две модификации – $V_{5,1}$ и $V_{5,2}$, позволяющие соответственно подключить один тракт $E1$ (до 30 ААЛ или каналов В основного доступа без концентрации) и до 16 трактов $E1$ – линий доступа 30B+D к оборудованию беспроводного доступа (Wireless Local Loop, WLL), к блоку широкополосного доступа и пр., с возможной концентрацией от 1:1 до 8:1 и отдельными сигнальными каналами в каждом тракте. Порты с таким стыком имеют собственные протоколы: управления соединениями ISDN, управления телефонными соединениями, назначения несущих каналов (типа В) и, только для $V_{5,2}$, управления трактами и защиты (переключения на другой тракт при отказах). При реализации этих стыков не нужны порты со стыками V_1 – V_4 .

В широкополосных блоках доступа (ШБД), т.е. пакетных коммутаторах АТМ, предусматриваются аналогичные широкополосные стыки V_{B5} с оптическими (или коаксиальными) АЛ на скорости 155 или 622 Мбит/с. Кроме этого, ШБД имеют стыки с транспортной сетью АТМ на уровне синхронного транспортного модуля STM-1 или STM-4.

Стык А для цифровых СЛ (ЦСЛ) – стандартных 32-канальных линейных трактов (ЛТ) типа $E1$.

Стык A_1 для ЦСЛ – 16-канальных трактов $E\frac{1}{2}$ (1024 кбит/с), аналогичных ИКМ-15. Этот стык не стандартизован международно и есть только в ЦСК, приспособленных к потребностям ТССР стран СНГ (SI2000, Квант-Е). Для его образования применяют специальные разделители трактов, преобразующие тракт 2048 кбит/с в два по 1024 кбит/с.

Стык В для ЦСЛ – 128-канальных трактов $E2$ (8448 кбит/с). Этот стык в ЦСК, как правило, не реализован.

Стык C_1 между оборудованием аналого-цифрового преобразования, подключаемым в порты ЦКП, и четырехпроводными аналоговыми СЛ (АСЛ) одно- и двустороннего, в том числе универсального использования, физическими (ФСЛ) или уплотненной системой передачи с частотным разделением каналов (СП ЧРК). Стык имеет модификации, отличающиеся практически только уровнями передачи и приема: C_{11} – для каналов СП ЧРК, C_{12} – для четырехпроводных ФСЛ, оканчивающихся на встречной АТС линейными комплектами; C_{13} – для ФСЛ, которые непосредственно, без линейных комплектов, включаются во входы и выходы четырехпроводных ступеней искания аналоговых АТС. Реальной потребности в стыках C_{12} и C_{13} нет.

Стык C_2 между оборудованием аналого-цифрового преобразования, подключаемым в порты ЦКП, и двух- или трехпроводными ФСЛ. Стык имеет модификации: C_{21} – для СЛ от аналоговой транзитной, C_{22} – от аналоговой опорной станции. Реальной потребности в стыках C_{21} нет.

Для стыков нормируются электрические параметры линий, скорости и структуры циклов передачи, уровни передачи и приема, полные сопротивления, затухание асимметрии относительно земли и т.п. Для станционного четырехполюсника в разных вариантах соединений между стыками нормируются: номинальное рабочее затухание и его допустимые изменения; амплитудная и амплитудно-частотная характеристики (соответственно зависимость затухания от уровня входного сигнала и от частоты); групповое время прохождения сигнала и

его отклонения от номинала; уровни шумов, суммарные искажения; допустимые уровни помех (переходных, импульсных, внеполосных); джиттер и блуждания фазы, а также коэффициент битовых ошибок.

Типовые потребительские технические характеристики ЦСК. К этим характеристикам предъявляются определенные, часто формально не обязательные требования, которые, однако, могут быть принципиальными при выборе типа ЦСК для реконструкции или развития сети. Они касаются номенклатуры емкостей, возможных типов АЛ и абонентских терминалов, допустимых параметров нагрузки, спектра услуг, вариантов сигнального обмена, номенклатуры стыков, возможностей сетеобразования, возможностей техэксплуатации, удельного энергопотребления, климатических условий эксплуатации, надежности и стоимости одного порта.

Номенклатура емкостей. Принципиальных ограничений общей емкости нет, но для большинства ЦСК она находится в пределах 300000 номеров. Хотя вся емкость может сосредотачиваться в одном месте (в ОпО), но из экономических соображений ОпО редко имеет свыше 30000 номеров. Диапазон требуемых емкостей ВКМ зависит от назначения системы – для ТССР обычно надо минимум 60–250, максимум 4000–10000 номеров, для ГТС – соответственно 500–2000 и 10000–30000. Для ВАМ типовые емкости составляют 60–1000 номеров, хотя для ТССР часто нужны ВАМ особенно малой емкости (4, 8, 16, 32 АЛ). Развитые ЦСК имеют несколько типов ВКМ и ВАМ на разную предельную емкость. Эти емкости обеспечиваются при соответствующем нагрузке числе СЛ. Для ТС требуемое число СЛ (каналов) обычно достигает 60–90 тысяч.

Типы АЛ и абонентских терминалов и параметры нагрузки. От ЦСК требуется подключение двухпроводных ААЛ, двух- и четырехпроводных ЦАЛ и, в современных условиях, линий радиодоступа, ЦАЛ технологий xDSL и оптических АЛ. Должна иметься возможность подключения к ААЛ разнотипных стандартных телефонов со шлейфовым или частотным набором, с дополнительными кнопками #, * и *Flash*, а также стандартных факсимильных аппаратов, компьютеров с модемами и т.п. Для части ААЛ желательна возможность подключения спаренных телефонов, таксофонов с переполюсовкой проводов при ответе абонента, линий спецслужб и других с серийным исканием и терминалов со счетчиками тарифных импульсов 16 кГц. Минимально допустимая для ЦСК средняя общая удельная нагрузка ААЛ колеблется в пределах 0,1–0,2 Эрл. ЦАЛ доступа 2B+D обеспечивают подключение обычных (через адаптеры) и специфических для ISDN терминалов, рассчитанных на стыки S или T. В ЦСК должна предусматриваться средняя удельная нагрузка таких ЦАЛ до 0,3 Эрл или выше для каждого канала В. Параметры нагрузки широкополосных ЦАЛ даны в п. 6.7.3. Методы расчета пропускной способности систем коммутации даны в Прил. В.

Возможности сетеобразования. Для ЦСК должны предусматриваться любые типы СЛ (цифровые, аналоговые физические и уплотненные), организованные в любой среде распространения (медные и оптические кабели, радиорелейные и спутниковые линии). Должна быть возможность объединения нескольких направлений в общем ЛТ с выделением каналов в ЦКП промежуточных станций или средствами системы передачи. ЦСК должна позволять любое физически возможное на сети число обходных направлений связи. Надо, чтобы ВКМ и ОпО могли организовываться в произвольные топологические, в частности кольцевые и цепные структуры. Желательно, чтобы ЦСК позволяла образовывать узко- и широкополосную ISDN, сотовую сеть мобильной связи и обеспечивала доступ к сети Интернет и транспортной сети АТМ.

Возможности техэксплуатации. Все территориально распределенное оборудование ЦСК должно обслуживаться и управляться из единого ЦТЭ, образованного на базе ОпО. Для ВКМ целесообразно предусматривать установку при необходимости простых модулей техоб-

служивания. Желательно, чтобы при ЦТЭ имелась система специализированных рабочих мест для непосредственного обслуживания абонентов: помощи в установлении соединений, выдачи справок о междугородных и международных кодах, номенклатуры услуг связи, тарифов и пр. и приема от абонентов заказов на отдельные дополнительные услуги и жалоб. Оборудование ЦТЭ должно иметь стык Q3 с сетью управления электросвязью (Telecommunication Management Network, TMN).

Основными функциями ЦТЭ должны быть:

- прием и отображение сигналов о аварийных ситуациях и повреждениях;
- прием, обработка и анализ данных о параметрах нагрузки и качестве обслуживания, а также автоматическое генерирование и анализ результатов контрольных вызовов;
- оперативный контроль состояния и функционирования территориально распределенного оборудования ЦСК, ее АЛ и СЛ и управление конфигурацией оборудования;
- прием заявлений от абонентов зоны обслуживания и проверка устранения отказов;
- диагностирование отказов, проведение восстановительных и планово-ремонтных работ в зоне обслуживания;
- контроль выполнения восстановительных работ;
- прием, обработка, анализ и длительное сохранение тарифных данных и организация расчетов с абонентами;
- административное управление АЛ (ввод в эксплуатацию и удаление АЛ, установка и модификация категорий и номеров абонентов, выявление источников значительной нагрузки, запрос и выдача соответствующих данных и т.п.);
- административное управление СЛ (ввод и удаление направлений связи и их линий, модификация таблиц маршрутизации, кодов направлений и способов сигнализации);
- накопление, сохранение и анализ эксплуатационной документации;
- техобслуживание средств системы централизованной техэксплуатации;
- ведение технической отчетности;
- взаимодействие с высшими уровнями управления телефонной сети.

Удельное энергопотребление. Для современных ЦСК общая удельная мощность энергопотребления от источника опорного напряжения не должна превышать 1,0 Вт/номер для ОпО и ВКМ системы и 0,6 Вт/номер для ее ВАМ.

Надежность. К надежности ЦСК предъявляются такие основные требования: среднее число повреждений в пересчете на одну АЛ не должно превышать 0,05 за год, а средняя длительность ликвидации повреждения без учета времени до прибытия персонала может быть до 30 минут.

Климатические условия эксплуатации. ОпО и ВКМ системы должны нормально функционировать в стандартных условиях эксплуатации (обычно при температурах от 0 до +30°C и относительной влажности от 10 до 80% с кратковременно допустимыми предельными значениями + 45°C и 90%). Иногда возможны более жесткие требования, например, для ВАМ или ВКМ, устанавливаемых на ТССР в непригодных помещениях, желательна возможность работы при температурах по крайней мере от –5°C.

6.2.4. Узкополосная N-ISDN

Узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб N-ISDN – это цифровая телефонная сеть, части абонентов которой предоставляется возможность использования двух или 30 коммутируемых каналов типа В (64 кбит/с) для обмена разной аудиовизуальной информации.

ей и данными, соответствующими определенным службам¹ сети. Возможен обмен телефонной, видеотелефонной, факсимильной (факс группы 4) и другой информацией.

Топологическая структура сети с услугами N-ISDN отличается от традиционной телефонной сети только обязательным наличием цифровых станций, способных предоставлять названные услуги и объединенных сетью ОКС №7, и возможным наличием специализированных центров предоставления услуг (с функциями уровней 1–7 модели OSI). Цифровые станции должны быть оборудованы блоками абонентского доступа на основной (Basic Rate Access, BRA) и на первичной скорости (Primary Rate Access, PRA). Доступ BRA предусматривает предоставление абоненту двух каналов типа В (Basic – 64 кбит/с) для передачи речи, данных и т.п. и одного канала типа D (Data – 16 кбит/с) для сигнализации и передачи телеметрических пакетных данных (что записывается как 2B+D₁₆). Для доступа PRA предусматривается общая скорость 2048 кбит/с и структура 30B+D₆₄. Используется цифровая абонентская сигнализация (Digital Subscriber Signalling, DSS).

Функциональная архитектура ISDN определяет иерархию и взаимодействие функций сети и принципиально отличается от ТСОП. Функциональные принципы ISDN не зависят от ее аппаратной реализации. Они таковы:

- а) поддержка множества речевых и неречевых услуг малым числом типов соединений и многофункциональными интерфейсами «пользователь-сеть»;
- б) реализация коммутируемых (с коммутацией каналов и пакетов) и некоммутируемых соединений из конца в конец и их комбинаций;
- в) по возможности, новые внедряемые услуги должны быть совместимы с коммутацией цифровых соединений 64 кбит/с;
- г) сеть должна иметь интеллектуальность для обеспечения сложных услуг, для эксплуатации и управления сетью (для части услуг интеллектуальность сети может дополняться в терминалах пользователей и специализированных центрах предоставления услуг);
- д) должна применяться послынная функциональная структура всех систем, связанных с процессами доступа к сети, установления соединений и т.п.;
- е) допускаются национальные варианты конфигурации ISDN, но должны быть стандартизованы и международно совместимые услуги, интерфейсы «пользователь-сеть» и возможности взаимодействия сетей ISDN.

Услуги переноса, телеуслуги и их атрибуты. Возможности ISDN определяются множеством функций, поддерживающих все ее основные и дополнительные услуги. Услуги ISDN делят на две группы: услуги переноса (bearer services) и телеуслуги (teleservices). *Услуги переноса* обеспечивают возможности ISDN нижнего уровня (low-layer capabilities), заключающиеся в передаче информации пользователя между интерфейсами «пользователь – сеть», т.е. между стыками S, T, точнее называемые стыками «сеть – терминал или система пользователя». Например, это услуги передачи потока 64 кбит/с без ограничений или структурированно по октетам, полупостоянное предоставление канала и т.п. Услуги переноса поддерживаются множеством функций сети низших уровней 1–3 модели OSI.

Телеуслуги соответствуют возможностям высокого уровня (high-layer capabilities), заключающимся в предоставлении пользователям основных (телефонная связь, видеотекст и т.п.) и дополнительных услуг, доступ к которым осуществляется в интерфейсах «терминал пользователя – абонент». Телеуслуги поддерживаются множеством функций сети низших

¹ Службой называют организационно-технический комплекс, обеспечивающий предоставлений услуг определенного вида. Различают телефонную службу, факсимильную службу, службу передачи данных и др.

уровней и функций терминалов низших и высших (4–7) уровней. Сеть может, как опцию, иметь функции высших уровней, но она не обеспечивает их совместимость в абонентских терминалах.

Все услуги полностью характеризуются множеством атрибутов. При запросе конкретной услуги абонентский терминал явно или неявно сообщает ее атрибуты станции. Для услуг переноса Рек. I.130 устанавливает три категории атрибутов нижнего уровня: а) переноса информации; б) доступа; в) общие.

Атрибуты переноса информации и их значения для N-ISDN таковы:

- **режим переноса** – коммутация каналов или пакетов;
- **скорость переноса** – 64, 2×64, 384, 1920 кбит/с;
- **возможности переноса** – речь; аудио 3,1 или 7 или 15 кГц; видео; неограниченная цифровая информация;
- **структура информации** – тактированная 8 кГц; цельные блоки данных; с ограниченными дифференциальными задержками пакетов или с передачей их в КИ; неструктурированная;
- **установление соединения** – по требованию, постоянно, с резервированием;
- **симметричность переноса** – однонаправленный, двунаправленный симметричный или асимметричный;
- **конфигурация связи** – двухпунктная, многопунктная, распределительная.

Атрибуты доступа и их значения (могут отличаться в двух пунктах доступа одного соединения):

- **каналы и скорость доступа** – D_{16} , D_{64} , В, H_0 (384 кбит/с), H_{11} (1536 кбит/с), H_{12} (1920 кбит/с);
- **уровни 1, 2, 3 протоколов сигнального доступа** – номера Рек. МСЭ, определяющие соответствующие протоколы в протокольном стеке станции;
- **уровни 1, 2, 3 протоколов информационного доступа** – номера Рек. МСЭ.

Общие атрибуты (значения не стандартизованы): дополнительные услуги, качество обслуживания, возможности взаимодействия, аспекты техобслуживания и коммерческие.

Для телеуслуг установлено две категории атрибутов низшего уровня (переноса информации и доступа), атрибуты высокого уровня и общие.

Атрибуты низшего уровня и общие аналогичны услугам переноса. Атрибуты высшего уровня и их значения:

- **тип информации пользователя** – речь, звук, текст (телетекс), факс (телефакс 4), текст-факс, интерактивный текст (телекс), видеотекст, видео, данные (включая телеметрические);
- **протокол уровня 4** (транспортного) – X.224, T.70 или другой;
- **протокол уровня 5** (сеансового) – X.225, T.62 или другой;
- **протокол уровня 6** (представления) – G.711, T6, T.61, серии T.400 или другой; дополнительно, если надо, устанавливаются атрибуты: **разрешения** (200, 240, 300, 400 пикселей на дюйм или иное) и **графический режим** (альфа-мозаичный, геометрический, фотографический и т.п.);
- **протокол уровня 7** (прикладного) – T.60, серии T.500.

Глобальные и элементарные функции и функциональная архитектура N-ISDN. *Функция ISDN* – это различаемая характеристика, описывающая функциональные возможности определенного оборудования, системы или сети с точки зрения разработчика. Число функций ограничивается, насколько можно. Возможности ISDN описываются функциями статически и

динамически. Статическое описание задает перечень функций с их характеристиками, динамическое – показывает взаимодействие функций, размещенных в разных устройствах, и сигналы, координирующие взаимодействие.

Функции ISDN разделяют на *глобальные* (Global Functions, GF) и *элементарные* (Elementary Functions, EF). Глобальные определяют возможности ISDN и имеют в низших протокольных уровнях (1–3) глобальную значимость для всего оборудования, задействованного в соединении. Есть два вида GF: *основные* (Basic GF, BGF) и *дополнительные* (Additional GF, AGF). Функции BGF поддерживают основные услуги и связаны с типами соединений ISDN. Функции AGF относятся к возможностям ISDN поддерживать дополнительные услуги.

Каждой глобальной функции соответствует множество элементарных функций низшего функционального уровня, приданных разным функциональным объектам (ФО), задействованным в предоставлении услуги связи (терминалам, сети и т.п.), т.е. $GF = \{EF1, EF2, EF3, \dots, EFn\}$. EF – это статическое описание возможности выполнения действия в отношении ресурса в определенных условиях. Для создания GF соответствующие ей EF должны иметься в одном или нескольких ФО ISDN (но конкретный объект может не иметь полного набора этих EF). Главный вид GF – это функции, относящиеся к соединению (Connection Related Functions, CRF).

Динамическое описание возможностей ISDN создается с помощью *диаграмм информационных потоков*, показывающих последовательность событий в течение всего времени вызова, и *исполнительных процессов* (Executive Process, EP), характеризующих использование элементарных функций в определенном ФО, всегда дающее конкретные результаты, называемые действиями функционального объекта (Functional Entity Actions, FEA). Процесс EP определяется входной информацией, требуемой для его выполнения, и выходной информацией FEA действий ФО.

Глобальные функции ISDN. Основные глобальные функции разделяются на такие категории (классификация AGF не определена):

- *управления соединением (connection handling)*: функции, позволяющие устанавливать, удерживать и освобождать соединения (например, функции сигнализации пользователь-сеть);
- *маршрутизации (routing)*: функции, определяющие приемлемый путь соединения (например, анализ набранного номера);
- *управления ресурсами (resources handling)*: функции, позволяющие управлять ресурсами, требуемыми для соединения (оборудованием передачи, коммутационными ресурсами, запоминающими устройствами и т. п.);
- *контроля (supervision)*: функции, проверяющие ресурсы, использованные для соединения, с целью выявления аварийных ситуаций, соответствующей сигнализации и, при возможности, решения этих проблем (например, выявления и исправления ошибок передачи);
- *техэксплуатации (operation and maintenance)*: функции, обеспечивающие возможность управлять правильным функционированием услуг и сети как для абонентов, так и для администрации сети;
- *тарификации (charging)*: функции, обеспечивающие администрации сети возможности начисления платы абонентам, т. е. функции сети по определению, сбору и сохранению тарифной информации;
- *взаимодействия (interworking)*: функции, обеспечивающие взаимодействие как сетей, так и услуг, т.е. позволяющие устанавливать соединения из конца в конец между

абонентами ISDN и других сетей и т.п. (что требует анализа запроса услуги, сигнального взаимодействия, анализа набранного номера, данных маршрутизации, ввода и удаления блоков взаимодействия и т.п.);

- *обработки блоков данных уровней 2 и 3 (layer 2 and 3 data unit handling)*: функции обработки этих блоков данных на фазе переноса информации для соединений пакетного режима.

Элементарные функции ISDN. Есть *основные* (Basic EF, BEF) и *дополнительные* (Additional EF, AEF) *элементарные функции*, являющиеся соответственно компонентами глобальных функций BGF (возможно и AGF) и AGF. Как пример в табл. 6.1 даны несколько BEF, определенных в Рек. I.310 для установления соединений.

Определены также дополнительные элементарные функции (AEF00...AEF14), относящиеся к дополнительным услугам, в частности:

AEF00 – вставка и подавление дополнительных ресурсов (тональных сигналов и т.п.): функция станции по управлению (резервирование, вставка, освобождение) дополнительными ресурсами, связанными с дополнительными услугами;

AEF05 – мост: функция ФО обеспечения больше двух участников в одном соединении;

AEF14 – опция показа данных: функция терминала по представлению информации пользователю.

Функциональная реализация запроса основной услуги. Процесс реализации запроса основной услуги ISDN включает следующие этапы:

а) *Анализ запроса услуги (service request examination)*

анализируется запрос основной услуги, содержащий набор значений атрибутов, и определяется тип соединения (с коммутацией каналов, пакетов, полупостоянное), способный поддерживать эту услугу:

- входные данные (input): запрос услуги с набором значений ее атрибутов;
- процесс (process): рассмотреть запрос и определить надлежащий тип соединения;
- выходные данные (output): тип(ы) соединения.

б) *Выбор соединительного элемента (Connection element selection)*

выбираются определенные соединительные элементы. Тип соединения имеет постоянное значение из конца в конец. Соединение разделяется на меньшие функциональные компоненты, называемые «соединительными элементами» (канал или иной ресурс соединения):

- входные данные: тип соединения;
- процесс: определить соединительный элемент(ы) для формирования соединения данного типа;
- выходные данные: соединительный элемент(ы).

в) *Определение набора функций (function set determination)*

определяется набор функций, требуемых для установления выбранных соединительных элементов:

- входные данные: соединительный элемент;
- процесс: выбрать функции, нужные для установления соединительного элемента;
- выходные данные: набор функций.

Функциональная архитектура сети с услугами N-ISDN. Основная архитектурная модель ISDN с функциональной точки зрения показана на рис. 6.15 (Рек. I.324). Местные функциональные возможности ISDN обеспечиваются местной станцией и, иногда, дополнительным оборудованием (мультиплексы, кросс-коннекторы). Иногда дополнительные функ-

Таблица 6.1. Некоторые основные элементарные функции

Функция	Название	Определение
Управление соединением (connection handling) BEF 100... BEF 114		
BEF100	Анализ характеристик запрашиваемой услуги (characteristics of service requested examination)	Функция ФО по определению характеристик запрашиваемой услуги (атрибутов услуги переноса и, необязательно, дополнительных услуг) путем анализа информации от вызывающего терминала
BEF101	Определение типа соединительных элементов (connection elements type determination)	Функция ФО по определению типа соединения и соединительных элементов, нужных для предоставления запрашиваемой услуги
BEF105	Управление установлением соединения (establishment control)	Функция ФО по установлению соединения в ФО
BEF107	Анализ правомочности относительно услуги (service related authorizations examination)	Функция ФО по определению правомочности пользователя относительно основных и дополнительных услуг, на которые пользователь был подписан
BEF110	Проверка совместимости дополнительных услуг (supplementary services compatibility checking)	Функция сети по проверке совместимости запрашиваемых дополнительных услуг (например, с затребованной услугой переноса для телеуслуги, с другими запрашиваемыми дополнительными услугами) и по проверке согласованности их параметров
BEF112	Сигнальное взаимодействие (signalling interworking)	Функция ФО по поддержке взаимодействия систем сигнализации
Маршрутизация (routing) BEF200... BEF205		
BEF200	Идентификация номера ISDN (ISDN number identification)	Функция ФО по определению номера ISDN интерфейса пользователь-сеть (он должен отвечать плану нумерации ISDN)
Управление ресурсами (resources handling) BEF300... BEF310		
BEF310	Часы реального времени (real time clock)	Функция ФО по обеспечению информации о реальном времени
Контроль (supervision) BEF400... BEF404		
BEF403	Выявление перегрузок (detection of congestion)	Функция ФО по выявлению перегрузок во время поиска пути соединения
Техническая эксплуатация (operation and maintenance) BEF500... BEF501		
BEF501	Уведомление об отказе (fault report)	Функция ФО по регистрации причин неудач попыток установления соединения
Тарификация (charging) BEF600 .. BEF605		
BEF605	Тарифная информация (charging information)	Функция сети по указанию пользователю размера платы за (текущее) использование услуги
Взаимодействие (interworking) BEF700... BEF703		
BEF700	Согласование скорости (rate adaptation)	Функция ФО по адаптации, в соответствии с установленным методом, битовой скорости пользователя или выделенной сети к битовой скорости ISDN

ции низших уровней (Additional Low Layer Functions, ALLF) могут быть реализованы вне ISDN, в специальных узлах или терминалах. Основные и дополнительные функции высших уровней (Basic High Layer Functions, BHLF) и (Additional High Layer Functions, AHLF) могут быть реализованы в сети ISDN или в других сетях (Рек. I.210).

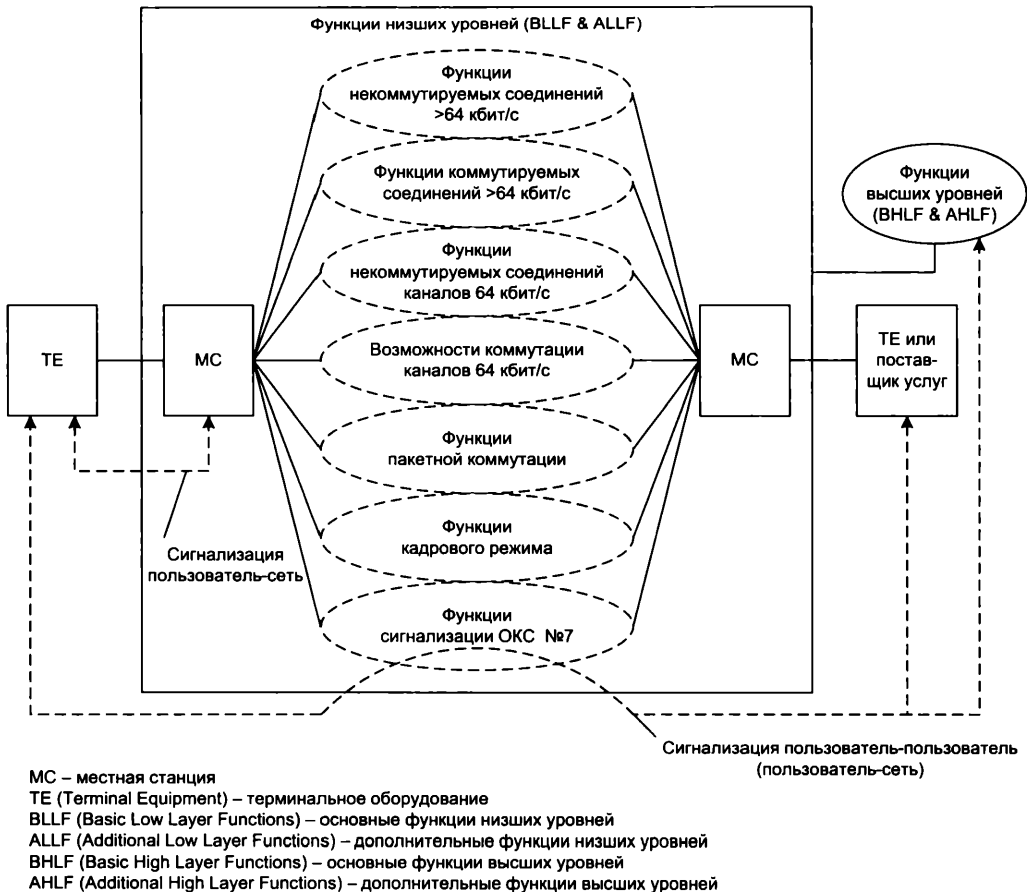
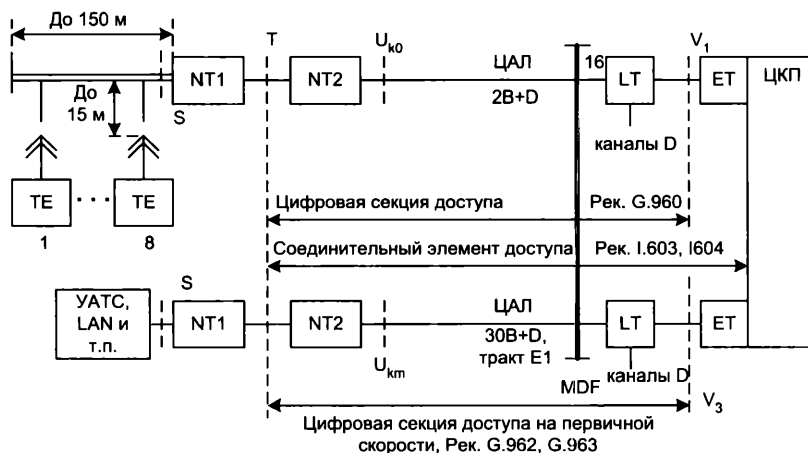


Рис. 6.15. Функциональная архитектура сети с услугами N-ISDN

Организация абонентского доступа к N-ISDN. На рис. 6.16 показаны основные варианты конфигурации абонентского доступа к N-ISDN, соответствующие Рек. I.414. Требования к эталонным точкам V определены Рек. Q.512, к S и T – Рек. I.430, I.431.

ЦАЛ доступа $2B + D_{16}$ включены в цифровые АК – линейные окончания LT. Эти АЛ используются групповыми (фирмы, учреждения и пр.) и индивидуальными абонентами и цифровыми таксофонами. В ЦАЛ можно одновременно пользоваться всеми каналами – B1, B2 для информации пользователя и D для абонентской сигнализации и, возможно, телеметрических данных.

ЦАЛ доступа $30B + D_{64}$ обеспечивают подключение интегральной учрежденческой АТС, локальной компьютерной сети (LAN) или многофункционального скоростного терминала ISDN.



MDF (Main Distribution Frame) – главный щит переключений (кросс)

Рис. 6.16. Абонентский доступ к N-ISDN

У абонента доступа 2B+D устанавливается блок сетевого окончания (NT), состоящий из комплектов NT1 и NT2 и имеющий со стороны ЦАП стык U, а с абонентской – стык S (четырёхпроводную пассивную шину). С выхода NT1 можно использовать стык T. В стык S обычно подключают до восьми разных абонентских терминалов (Terminal Equipment, TE), распределенных по длине до 150 м. Возможны и иные конфигурации стыка «абонент–сеть»: шина длиной до 1 км с одним TE, включение TE непосредственно в стык T или U, мультиплексирование нескольких основных доступов. Допускается подключение дополнительного коммутатора, тогда абонент имеет возможность субадресации, т.е. введения дополнительных цифр для различения разных TE. Питание NT и TE – от сети переменного тока. Чтобы при перебоях питания гарантировать хотя бы телефонную связь, блок LT по ЦАП дает NT резервное питание (обычно 96 В), а NT питает цифровой телефон по фантомной цепи через шину S или по отдельным проводам.

В стыке U с двухпроводной ЦАЛ кроме каналов 2B+D есть служебные каналы синхронизации и техобслуживания, поэтому скорость достигает 192 кбит/с. Направления приема и передачи разделяют методом адаптивной эхокомпенсации. В АЛ обычно используется линейный код 2B1Q (замена двух двоичных символов на один четырехуровневый), что ликвидирует постоянную составляющую и уменьшает символьную скорость на 50%.

В стыке S есть только каналы 2B+D, а данные передаются в квазитриочной форме (код АМI). Блок NT регенерирует линейный сигнал, преобразует коды (АМI – 2B1Q), синхронизирует TE, активирует канал D, принимает из служебного канала команды диагностирования абонентского оборудования и образования испытательных шлейфов, передает на станцию результаты диагностирования и аварийные сигналы и управляет доступом TE к общей шине S. Для безконфликтного доступа к шине S есть так называемый эхо-канал D, по которому данные, переданные TE по каналу D в сторону NT, возвращаются этим блоком обратно терминалу, что позволяет TE проверить свободу канала D и правильность передачи. Если полученные из эхо-канала данные искажены, то передача прекращается и начинается повторное отслеживание состояния канала D. Его свобода отмечается постоянной передачей единиц (потенциалом нуля). TE считает канал свободным, получив по эхо-каналу восемь последовательных единиц для сообщений высокого приоритета и 10 – для низкого.

Мультимедийные услуги имеют определенную специфику управления (control), синхронизации и менеджмента (management).

Управление мультимедийными услугами. Эти услуги, в отличие от традиционных, имеют многозначные атрибуты и могут использовать несколько каналов – по числу компонент услуги. Большинство атрибутов мультимедийной услуги имеют субатрибуты, характеризующие ее компоненты. Это относится к атрибутам скорости переноса информации, типа нагрузки, тактирования из конца в конец, структуры доступа, симметричности, типа информации пользователя, протоколов высших уровней (4–7), параметров качества обслуживания и протокола информационного доступа. В частности, возможности переноса должны быть указаны для каждого компонента услуги и известны в каждом интерфейсе пользователь–сеть (User–Network Interface, UNI) и сетевого узла (Network Node Interface, NNI), в том числе для определения совместимости терминалов. Если на каком-то участке тракта сеть не может поддерживать требуемые параметры, то в соединении будет отказано. Иногда характеристики UNI отличаются от используемых сетью для этого же компонента услуги – тогда, например, могут отличаться скорости передачи в UNI и на сети.

Элементами управления услугой называют процедуры, используемые для инициирования соединения, добавления или удаления компонент услуги. Они используются для управления вызовом (call control), соединением (connection control) и средой (media control).

При управлении средой различают понятия: *среда восприятия* (perception medium) – природа информации, воспринимаемой пользователем; *среда представления* (representation medium) – тип данных, определяющий характер информации в ее кодированной форме; *среда воспроизведения* (presentation medium) – физические средства воспроизведения информации пользователю или восприятия ее от него (исходящие и входящие устройства); *среда сохранения информации* и *среда распространения*.

Управление вызовом поддерживается системой сигнализации и включает элементы управления:

- *Call set-up*: установление соединения;
- *Call release*: полное освобождение соединения.

Управление соединением устанавливает и разъединяет соединения для определенной среды. Оно включает элементы:

- *Establish connection*: установить соединение между пользователями;
- *Join*: присоединить пользователя в многопунктной конфигурации;
- *Leave*: отсоединить пользователя;
- *Disconnect*: разъединить.

Управление средой включает элементы:

- *Allocate*: добавить другую среду к соединению;
- *De-allocate*: удалить среду из соединения.

Синхронизация. Сеть должна поддерживать временное соотношение информационных потоков компонент услуги, в том числе для многопунктных соединений. Надо обеспечить согласование временных задержек разных потоков и межканальную синхронизацию. Обычно один поток включает информацию синхронизации для остальных потоков.

Возможности менеджмента для мультимедийных услуг таковы:

Менеджмент соединения:

- поддержка любой комбинации нагрузок без ограничений со стороны сети на число сред в одном соединении (сеть может налагать ограничения, если превышена ширина полосы или услуги не подписаны абонентом);

- возможность управления соединениями виртуальных каналов;
- поддержка двупунктных, пунктно-многочастотных и распределительных¹ конфигураций связи;
- модификация среды любым участником соединения;
- модификация параметров качества обслуживания по соглашению или запросу, пользователем или сетью;
- симметричные и асимметричные соединения;
- добавление и удаление соединений в существующем вызове;
- корреляция соединений в вызове со многими соединениями;
- реконфигурация многостороннего вызова;
- поддержка разных конфигураций связи для разных сред;
- возможность для разных участников многостороннего соединения использовать разные среды (например, аудио с одним, данные с другим).

Менеджмент услуги:

- синхронизация разных типов информационных потоков (данных, изображения, видео, аудио);
- поддержка взаимодействия между разными схемами кодирования;
- поддержка взаимодействия услуг;
- поддержка управления услугой через сигнализацию пользователь-пользователь.

Менеджмент ресурсов. Для установленных вызовов добавление среды или участника возможны при наличии нужных сетевых ресурсов. Если их недостаточно, то возможны такие опции управления ресурсами:

- поддержка существующих вызовов без дополнительно запрашиваемых функций и средств;
- завершение существующих вызовов;
- разрешение абоненту переопределить дополнительные требования ресурсов (например, выбрать только аудиосоединение, а не видео и аудио);
- разрешение абоненту, по возможности, пересогласовывать параметры существующего соединения (например, снизить качество видео для адаптации к дополнительным требованиям).

6.3. Технологии локальных вычислительных сетей

6.3.1. Стандартизация локальных вычислительных сетей

Локальная вычислительная сеть (ЛВС, Local Area Network, LAN) – это распределенная коммуникационно-информационная система, сосредоточенная на небольшой территории, реализованная на базе компьютеров и другого сетевого оборудования, объединенного с помощью высокоскоростной кабельной магистрали или беспроводных (радио или инфракрасных) каналов.

ЛВС предназначена обеспечить пользователям сети [22, 26]:

- совместное использование ресурсов всех компьютеров;

¹ Английские термины «point-to-point, point-to-multipoint and broadcasting connections» в русскоязычной литературе обычно переводят некорректно как «соединения точка-точка, точка-многоточка и вещательное», хотя подразумеваются не абстрактные точки, а пункты сети, и не вещание, а многоадресная передача информации.

- возможности распределенных вычислений и обработку данных, что значительно повышает производительность всей системы;
- эффективный доступ к сетевой информации;
- быстрое и качественное решение производственных вопросов (поддержку систем принятия решений, документооборота, электронной почты и т. п.).

Для нормального функционирования ЛВС все ее составные части должны соответствовать стандартам и спецификациям следующих организаций:

Международная организация по стандартизации (International Organization for Standardization, ISO), которая разработала эталонную модель взаимодействия открытых систем (OSI), перерабатывает и дополняет стандарты IEEE, ANSI и других организаций и придает им статус международных.

Институт инженеров по электротехнике и электронике (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) – профессиональное некоммерческое техническое сообщество США, которое разрабатывает телекоммуникационные стандарты. Его рабочая группа IEEE 802 рассмотрела и усовершенствовала большое количество фирменных стандартов ЛВС: 802.1; 802.2; 802.3; 802.5 и др. Они описывают понятия, используемые в ЛВС, работу сетей Ethernet и Token Ring, которые на сегодня стали классическими и наиболее распространенными.

Американский национальный институт стандартизации (American National Standard Institute, ANSI). Комитет ANSI X3T9.5 разработал и предложил стандарт для сети FDDI (Fiber Distributed Data Interface) на волоконно-оптическом кабеле, которая работает на скоростях 50 и 100 Мбит/с.

Ассоциация электронной промышленности США (Electronics Industries Association, EIA) – торговая организация, одна из главных задач которой – создание стандартов на аппаратные интерфейсы, например RS-232C.

Ассоциация телекоммуникационной промышленности США (Telecommunication Industries Association, TIA) совместно с EIA предложила стандарт структурированной кабельной системы EIA/TIA 568. Этот стандарт определяет нормативные требования в отношении: опорной сети группы зданий; промежуточной опорной (вертикальной) сети; горизонтальной сети; типа среды; телекоммуникационных шкафов; соединителей; технического обслуживания; администрирования.

Европейская ассоциация производителей компьютеров (European Computer Manufacturers Association, ECMA) – некоммерческая организация, которая разрабатывает стандарты для компьютерных технологий. Наиболее известные стандарты ECMA-84, ECMA-85, ECMA-87 описывают функции протокола виртуального файла и ECMA-88 – виртуального терминала.

Характерные особенности стандартизации в последние годы таковы:

- развитие стандартов, которые описывают сети Ethernet, Token Ring, FDDI в части повышения пропускной способности (скорости передачи данных), а также улучшения других характеристик и возможностей;
- создание и стандартизация новых типов ЛВС, например, для поддержки работы интегральных услуг (стандарт IEEE 802.9), для работы ЛВС по радиоканалам (стандарт IEEE 802.11), для передачи данных с разной приоритетностью (стандарт IEEE 802.12) и др.

6.3.2. Архитектура ЛВС

За основу архитектуры ЛВС принята эталонная модель OSI. Работа практически всех стандартизированных ЛВС описывается на первых двух уровнях модели OSI – физическом и канальном.

Комитет IEEE в стандарте 802.2 предложил, а ANSI и ISO затем приняли декомпозицию канального уровня на два подуровня:

- управление логическим каналом – LLC (Logical Link Control);
- управление доступом к среде передачи – MAC (Media Access Control).

Подуровень LLC поддерживает два типа управления логическим каналом:

- первый обеспечивает передачу данных без установления соединения и без подтверждения их доставки;
- второй обеспечивает передачу данных с установлением соединения, при этом обеспечивается подтверждение доставки данных, их целостности и управление потоком данных, т.е. передача следующего кадра проводится только после получения подтверждения о приеме предыдущего.

Первый тип управления обеспечивает широковещательную (broadcast) передачу данных и используется в сетях типа Ethernet, а второй – в сетях типа Token Ring и FDDI.

Подуровень MAC определяет алгоритм доступа к среде, адресацию рабочих станций в сети, а также поддерживает функции совместного использования физической среды.

Физический уровень OSI обеспечивает интерфейс с физической средой, реализует функции кодирования и декодирования сигналов, выполняет буферизацию данных и поддерживает синхронизацию. Физический уровень IEEE, в свою очередь, также делится на подуровни и для сети Ethernet имеет следующую структуру:

- подуровень физических сигналов – (Physical Coding Sublayer, PCS) – превращает сигнал MAC подуровня соответственно алгоритму кодирования в сигнал, например, манчестерского кода. PCS имеет также интерфейс AUI (Attachment Unit Interface), с помощью которого компьютер (рабочая станция – PC) подключается к приемопередатчику (transceiver);
- подуровень физического присоединения (Physical Media Attachment, PMA) – выполняет функции управления передачей и выявления конфликтов. Эти функции возложены на приемопередатчик;
- подуровень интерфейса с физической средой (Media Dependent Interface, MDI). Стандарты этого подуровня определяют разъем.

Следует отметить, что подуровень MAC и физический уровень специфичны для каждого типа ЛВС и зависят от физической среды передачи. Рассмотрим стандарты, которые регламентируют построение разных типов ЛВС, а также спецификации стандартов физических сред.

6.3.3. Сеть Ethernet

Принципы работы. Первый вариант сети Ethernet разработала фирма Херох в 1975 г. В этой сети использован метод конкурентного доступа к физической среде, представляющей собой шинную магистраль, названный *множественным доступом с контролем несущей и обнаружением конфликтов* (МДКН/ОК) (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD). В 1980 г. фирмы DEC, Intel и Херох разработали стандарт сети Ethernet, названный Ethernet DIX. Этот стандарт был взят IEEE за основу стандарта IEEE 802.3. Работа сети Ethernet состоит из следующих этапов:

1. Передаваемые по сети данные размещаются в пакеты, которые называют кадрами. Кадр обязательно имеет адреса PC получателя и отправителя. Станция постоянно прослушивает среду передачи и анализирует адреса всех кадров, которые передаются. Если кадр адресован ей, то она его принимает и снова прослушивает среду передачи.

2. Если станция имеет данные для передачи, то она сможет их передать только тогда, когда среда передачи свободна. PC, прослушивая среду передачи, отслеживает наличие сигнала носителя (carrier sense). Если он отсутствует (среда передачи свободна), то PC начинает передачу данных. В противном случае PC ждет освобождения среды.

3. Во время передачи данных PC продолжает прослушивать среду для обнаружения возможных «столкновений» кадров. Кадры «сталкиваются», если две или больше PC ведут передачу. Это приводит к искажению информации. Такую ситуацию называют конфликтом (коллизией – collision). Все PC, обнаружившие конфликт (collision detection), прекращают передачу кадра.

4. Повторную передачу кадра PC может начать только спустя случайный интервал времени, формируемый с помощью случайных чисел. Однако и при повторной передаче кадра возможен конфликт, что характерно для загруженной сети. Чтобы уменьшить количество повторных попыток передачи, используется специальный механизм генерации случайных чисел и разрешено не более 16 попыток повторной передачи.

Следует отметить, что эффективная работа (максимальная пропускная способность) сети Ethernet имеет место при малых нагрузках. При больших нагрузках увеличивается число конфликтов, а пропускная способность сети значительно уменьшается. Это вносит непредсказуемые задержки данных и влияет на качество работы мультимедийных приложений, что является недостатком сети Ethernet. К ее преимуществам можно отнести:

- способность к масштабированию (расширению);
- простоту построения и эксплуатации;
- низкую цену оборудования.

Благодаря этим преимуществам ЛВС Ethernet получила наибольшее распространение в мире. Кроме того, она явилась основой для построения высокоскоростных сетей типа Fast Ethernet и Gigabit Ethernet.

Спецификации Ethernet. За 20 лет развития ЛВС Ethernet разработано значительное количество спецификаций, которые описывают физический уровень модели OSI (IEEE) [22, 28, 30, 31]. В табл. 6.2 буквой «а» обозначены спецификации сети Ethernet со скоростью передачи 10 Мбит/с (стандарт ISO 8028.3); буквой «б» – спецификации сети Fast Ethernet со скоростью передачи 100 Мбит/с; буквой «в» – спецификации сети Gigabit Ethernet (скорость передачи 1 Гбит/с).

Таблица 6.2. Спецификации протоколов сети Ethernet и уровни OSI, IEEE

Уровни OSI	Уровни IEEE
Канальный	LLC IEEE 802.2
	MAC Ethernet (CSMA/CD), IEEE 802.3
Физический	а) 10Base-5, 10Base-2, 10Base-T, 10Base-F (FOIRL, 10Base-FL, 10Base-FB) б) 100Base-TX, 100Base-T4, 100Base-FX в) 1000Base-X (1000Base-LX, 1000Base-SX, 1000Base-CX, 1000Base-T)

Рассмотрим подробнее спецификации группы «а».

10Base-5 – исторически первая спецификация построения сети Ethernet шинной топологии на толстом (thick) коаксиальном кабеле (RG-8, RG-11) диаметром 0,5 дюйма с волновым сопротивлением 50 Ом. На концах кабеля (рис. 6.18,а) устанавливаются терминаторы (сопротивления 50 Ом).

Для подключения PC к коаксиальному кабелю используют трансиверы, которые устанавливаются на коаксиальный кабель и располагают не ближе 2,5 м друг от друга. Трансивер

соединяется с сетевым адаптером PC через интерфейсный кабель AUI с разъемами DB-15 на концах. Длина AUI кабеля не менее двух и не более 50 м. Участок сети между двумя терминаторами называют *сегментом*. К одному сегменту допускается подключать не более 100 трансиверов. Максимальная длина сегмента 500 м. Сегменты могут соединяться с помощью повторителей. Общая длина сети не может превышать 2500 м (5 сегментов, 4 повторителя).

10Base-2 – спецификация Ethernet на тонком (thin) коаксиальном кабеле RG-58, диаметром 0,25 дюйма с волновым сопротивлением 50 Ом. Она появилась как альтернатива по стоимости спецификации *10Base-5*. Сетевой адаптер PC подключают к кабелю с помощью BNC-T соединителя (рис. 6.18,б). Максимальное число PC в сегменте – 30, а минимальное расстояние между ними – 0,5 м. Допустимая максимальная длина сегмента сети 185 м. Сегменты могут объединяться с помощью повторителей. Общая длина такой сети не может превышать 925 м (5 сегментов, 4 повторителя).

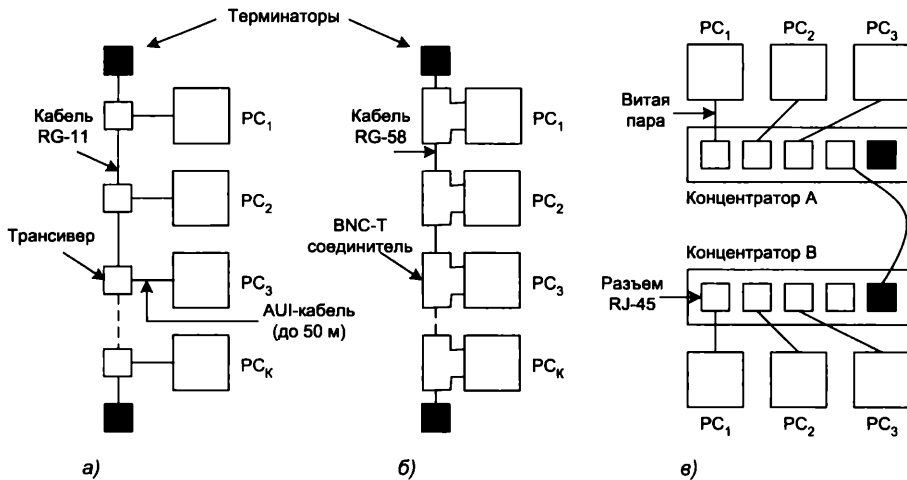


Рис. 6.18. Спецификации сети Ethernet:
а – 10Base-5; б – 10Base-2; в – 10Base-T

К преимуществам использования коаксиального кабеля в спецификациях *10Base-5* и *10Base-2* следует отнести:

- хорошую помехоустойчивость;
- относительно большую длину сегмента сети,

к недостаткам:

- низкую надежность кабельной системы;
- трудоемкость диагностики повреждений кабельной системы;
- сложность физического перемещения PC и их подключения к сети.

10Base-T – спецификация сети Ethernet IEEE 802.3i на витой паре. Используется более надежная топология соединений PC – звезда (рис. 6.18, в). Для подключения PC к концентратору (hub) применяется неэкранированная витая пара (Unshielded Twisted Pair, UTP) третьей категории, длиной не более 100 м. Категория пары определяет допустимую скорость передачи данных. Например, для категории 3 она не превышает 16 Мбит/с, а для категории 5 – 100 Мбит/с. Для связи используются две пары – одна для приема данных, а вторая – для передачи. Сетевой разъем RJ-45. Протяженность и емкость сети увеличивают со-

единением концентраторов между собой, при этом сеть приобретает иерархическую структуру типа «дерево». Количество PC в сети не должно превышать 1024, а концентраторов между любыми двумя PC – четырех.

10Base-FL – спецификации сети Ethernet на волоконно-оптическом (Fiber Optical, FO) кабеле 62,5/125 мкм. Топология сети подобна сети 10Base-T. Для связи концентратора с трансивером PC используется кабель длиной не более 2000 м с двумя оптическими волокнами (ОВ) – одно для передачи данных, второе для приема. Длина сети между любыми двумя PC не должна превышать 2500 м, а количество концентраторов – четырех. Существуют другие спецификации FO: FOIRL (длина сегмента до 1000 м, а сети с четырьмя концентраторами – 2500 м); 10Base-FB (предназначена для связи повторителей: длина сегмента до 2000 м, а общая с пятью повторителями до 2740 м).

Форматы кадров сети Ethernet. Стандарт IEEE 802.3 описывает формат кадра подуровня MAC. Согласно стандарту IEEE 802.2 в кадр подуровня MAC может быть инкапсулирован (вложен) кадр подуровня LLC. Поэтому кадр Ethernet на канальном уровне может иметь заголовок подуровней MAC и LLC.

На практике в сетях Ethernet встречаются четыре типа кадров:

- кадр 802.3/LLC;
- кадр RAW 802.3 (кадр Novell 802.3);
- кадр Ethernet DIX (кадр Digital, Intel, Xerox);
- кадр Ethernet SNAP (кадр IEEE).

Разница форматов кадров может привести к несовместимости в работе оборудования и их программного обеспечения. Сегодня практически все оборудование (сетевые адаптеры, мосты, коммутаторы, маршрутизаторы) и их сетевое программное обеспечение автоматически распознают типы кадров и могут обеспечивать нормальную работу сети.

Рассмотрим только кадр Ethernet SNAP, поскольку:

- он включает в себя кадр 802.3/LLC;
- позволяет устранить трудности, связанные с инкапсуляцией в кадр протоколов высших уровней модели OSI (сетевого, транспортного).

Формат кадра Ethernet SNAP представлен на рис. 6.19. Поля кадра имеют следующее назначение:

- **P** (Preamble) – преамбула имеет длину 7 байтов и значение – 10101010 для каждого байта. С ее помощью выполняется синхронизация;
- **SFD** (Start of Frame Delimiter) – начальный ограничитель кадра длиной 1 байт. Его значение 10101011 указывает на то, что следующий байт – это первый байт заголовка кадра MAC;

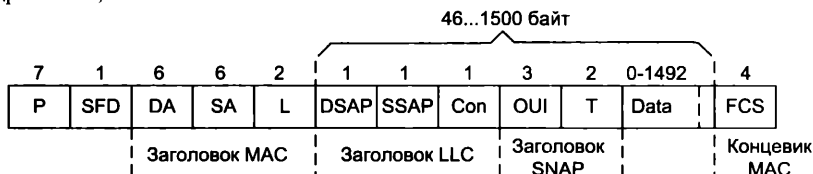


Рис. 6.19. Формат кадра Ethernet SNAP

- **DA** (Destination Address) – адрес получателя длиной 6 байт. Если первый бит старшего байта равен 0, то это признак индивидуального (unicast) адреса, а если 1 – группового (multicast) адреса. Если все биты адреса равны 1, то это признак широковещательного (broadcast) адреса, например ff-ff-ff-ff-ff-fi.

- **SA** (Source Address) – адрес отправителя¹. Длина поля 6 байт. Первый бит адреса всегда имеет значение 0, например 00-80-66-31-6f-c4.
- **L** (Length) – двухбайтовое поле, которое указывает длину поля данных.
- **Заголовок кадра LLC**. Поля DSAP и SSAP имеют длину 1 байт и предназначены для того, чтобы указать, какие службы высших уровней модели OSI передают данные с помощью этого кадра. Для идентификации протоколов высших уровней вводят так называемые точки доступа службы (Service Access Point, SAP). Значение адреса SAP прописывают протоколам согласно стандарту IEEE 802.2, например, для протокола IP значение SAP – 0 × 6, а для протокола NetBIOS – 0 × FD. Поле Con – управление (control) имеет длину 1 байт и зависит от того, какой режим управления логическим каналом реализуется в процессе передачи данных.
- **Заголовок SNAP** – дополнительный заголовок LLC, имеющий поля OUI и T (Type). Поле T длиной 2 байта повторяет коды протоколов, которые инкапсулируются в кадры Ethernet. Поле OUI содержит идентификатор организации, которая контролирует коды протоколов, указанных в поле T.
- **Data** – поле данных длиной от 0 до 1492 байт. Если длина поля данных менее 46 байт, то в кадре появляется поле заполнения, дополняющее данные до минимально допустимых 46 байт. Это позволяет физическому уровню выявлять конфликты в сети. Если длина поля данных достаточная, то поле заполнения в кадре не появляется.
- **FCS** (Frame Check Sequence) – поле контрольной суммы длиной 4 байта. Значение FCS вычисляется для всего кадра по алгоритму CRC-32. После получения кадра компьютер по тому же алгоритму вычисляет контрольную сумму и сравнивает ее с суммой, записанной в поле FCS. Таким образом выявляется наличие ошибок в принятых кадрах.

В стандарте Ethernet данные, заголовки и концевик канального уровня дают минимальную длину кадра любого типа – 64 байта, а вместе с заголовком физического уровня (преамбула и SFD) – 72 байта. Ограничение длины кадра снизу принято, чтобы продолжительность передачи кадра не могла быть меньше удвоенной продолжительности распространения сигнала между двумя наиболее удаленными станциями сети. Это позволяет надежно обнаруживать конфликты, которые возникают в процессе работы сети и рассчитывать максимальную длину сети Ethernet. Максимальная длина кадра Ethernet составляет 1518 байт (без преамбулы и SFD). Она установлена экспериментальными исследованиями.

Как уже отмечалось, основным недостатком сети Ethernet является снижение скорости передачи данных вследствие возникновения конфликтов. Так, при высоких нагрузках она уменьшается до 30–40% от максимальной (10 Мбит/с). Однако благодаря простоте Ethernet эффективно применяют для построения небольших и средних сетей.

Сеть Fast Ethernet. С развитием компьютерной техники и появлением новых сетевых приложений уже к началу 90-х годов классическая сеть Ethernet со скоростью передачи данных 10 Мбит/с не удовлетворяла потребителей ЛВС. Это побудило разработчиков сетевого оборудования в 1992 г. организовать альянс Fast Ethernet для разработки и внедрения новой высокоскоростной технологии со скоростью передачи до 100 Мбит/с. Технология Fast Ethernet базируется на классической Ethernet и максимально сохраняет ее особенности. В

¹ Он фактически является физическим адресом сетевого адаптера оборудования. Три старших байта адреса распределяются IEEE между производителями оборудования и определяют организационно уникальный идентификатор (Organizationally Unique Identifier, OUI) производителя. За уникальность трех младших байтов адреса отвечает производитель оборудования.

1995 г. комитетом IEEE 802.3 была принята спецификация Fast Ethernet как стандарт IEEE 802.3u, который является дополнением к стандарту IEEE 802.3.

Сеть Fast Ethernet использует тот же метод доступа к среде, что и Ethernet, – CSMA/CD. Подуровни MAC и LLC в Fast Ethernet остались такими же, как и в Ethernet. Сеть Fast Ethernet имеет более сложную, чем Ethernet, структуру построения физического уровня. В сети Fast Ethernet используются три варианта построения кабельных систем, стандартизованных в спецификациях под общим названием 100Base-X:

- 100Base-FX – волоконно-оптический кабель из двух волокон;
- 100Base-TX – витая пара пятой категории (используются 2 пары);
- 100Base-T4 – витая пара третьей категории (используются 4 пары).

Физический уровень Fast Ethernet. Рассмотренный выше физический уровень сети Ethernet состоит из подуровней: PCS; PMA; MDI. В физический уровень Fast Ethernet дополнительно введены подуровни (рис. 6.20,а):

- согласования (Reconciliation Sublayer, RS), который согласует взаимодействие с PCS через интерфейс MII (Media Independent Interface). PCS выполняет кодирование сигнала в зависимости от физической среды. В Fast Ethernet использовано два алгоритма кодирования сигнала (кодирование 8B6T для 100Base-T4 и кодирование 4B5B для 100Base-TX и 100Base-FX);
- зависимости от физической среды (Physical Medium Dependent, PMD), который выполняет функции подуровня PMA;
- автопереговоров (Auto-Negotiation, AN), который разрешает двум взаимодействующим PC выбрать наиболее благоприятный режим работы (полнодуплексный или полудуплексный), а также скорость передачи данных, если сетевые адаптеры PC поддерживают разные скорости (10 и 100 Мбит/с).

Спецификация 100Base-TX. В соответствии с этой спецификацией сеть имеет звездную топологию. При подключении PC к концентратору используют две витые пары – неэкранированные UTP или экранированные (Shielded Twisted Pair, STP). Одна пара для передачи данных, а другая – для приема. Витые пары должны соответствовать стандарту EIA-586 на UTP пятой категории или компании IBM на STP Type 1. Расстояние между концентратором и PC не может превышать 100 м.

Спецификация 100Base-T4. Разработана с целью использования существующих четырехпарных кабелей UTP третьей категории для поддержки работы полудуплексной Fast Ethernet. Три пары применяются для передачи данных со скоростью 33,3 Мбит/с, что в сумме дает общую скорость 100 Мбит/с. Одна пара используется для выявления конфликтов. Расстояние между концентратором и PC не должно превышать 100 м.

Спецификация 100Base-FX. Предусматривает построение сети на многомодовом ОВ кабеле 62,5/125 мкм. Спецификация ориентирована на магистральное соединение концентраторов или коммутаторов Fast Ethernet. При дуплексной двухпунктовой связи (без концентратора) максимальное расстояние между двумя узлами 2000 м, а при полудуплексной – 412 м.

Конфигурация сети Fast Ethernet. Стандарт IEEE 802.3u определяет два класса концентраторов для построения сети:

- класс I – это концентратор, имеющий порты разных спецификаций (100Base-TX, 100Base-FX, 100Base-T4) и выполняющий согласование (кодирование) сигнала при передаче данных из порта в порт;
- класс II – это концентратор, который просто ретранслирует сигнал на все исходящие порты, кроме порта, из которого он пришел. Концентраторы этого класса имеют порты только одной спецификации и меньшую задержку сигнала, чем концентраторы класса I.

Сегмент сети Fast Ethernet может быть реализован только на одном концентраторе класса I либо на не более двух класса II. Максимальное расстояние между концентраторами класса II – 5 м (кабель UTP). Многие концентраторы класса I имеют возможность подключаться друг к другу через интерфейс MII и образовывать стековую структуру концентраторов на общем шасси. Диаметр сети Fast Ethernet на витых парах и концентраторе класса I не может превышать 200 м, а на концентраторах класса II – 205 м (рис. 6.20,б). Для преодоления этого ограничения и построения протяженных сетей используют коммутаторы.

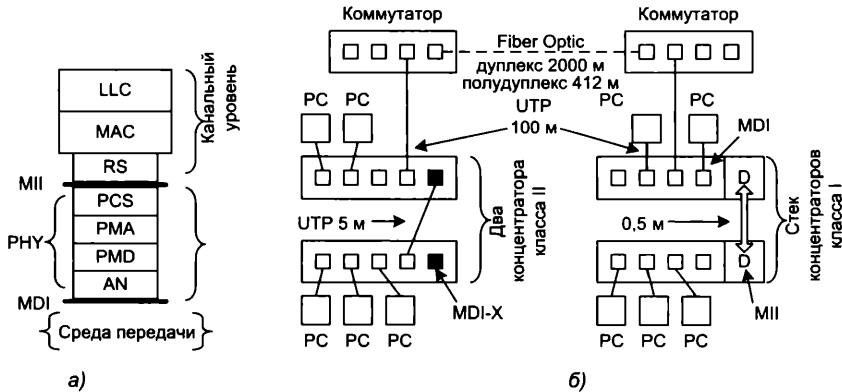


Рис. 6.20. Технология Fast Ethernet:

а – архитектура протоколов; б – топология сети на базе коммутаторов и концентраторов

Сеть Gigabit Ethernet. В 1996 г. создана рабочая группа IEEE 802.3z, которой было поручено разработать сеть на принципах CSMA/CD со скоростью 1000 Мбит/с. В 1998 г. принят стандарт IEEE 802.3z, регламентирующий работу сети Gigabit Ethernet на ОВ кабеле. В 1999 г. принят стандарт IEEE 802.3ab, который предлагает построение сети Gigabit Ethernet на витой паре.

Сеть Gigabit Ethernet унаследовала от Ethernet и Fast Ethernet следующее:

- формат кадра;
- метод доступа к среде передачи CSMA/CD;
- физическую среду – кабели: FO; UTP; коаксиальный.

Модернизация технологии Ethernet, позволяющая ей достичь скорости передачи 1000 Мбит/с, затронула подуровень MAC и физический уровень:

- за основу физического уровня был взят физический уровень сетевой технологии Fiber Channel и использовано кодирование 8В/10В;
- увеличен минимальный размер кадра с 64 до 512 байт, что позволило сохранить длину сегмента (100 м для UTP).
- разрешена передача нескольких кадров подряд до общей длины 8192 байт – монопольный пакетный режим (Burst Mode). Такое «совмещение» кадров увеличивает производительность сети и практически не меняет времени доступа станции к физической среде.

Спецификации Gigabit Ethernet. Стандарт 802.3z определяет кабели таких типов: одномодовый и многомодовый ОВ; двойной (twinaх) коаксиальный.

Спецификация 1000Base-SX (S обозначает Short Wavelength – короткая волна) регламентирует передачу данных по многомодовому ОВ на длине волны 850 нм. При полнодуплекс-

ной передаче по ОВ диаметром 62,5/125 мкм максимальная длина сегмента сети 220 м, а для ОВ 50/125 мкм – 500 м.

Спецификация 1000Base-LX (L обозначает Long Wavelength – длинная волна) предполагает передачу данных по ОВ с помощью полупроводниковых оптических лазеров на длине волны 1300 нм. При использовании многомодового ОВ максимальная длина сегмента сети 550 м, а одномодового ОВ – 5000 м.

Спецификация 1000Base-CX регламентирует применение медного двойного коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 150 Ом для полудуплексной передачи. Максимальная длина сегмента 25 м.

Спецификация 1000Base-T стандарта 802.3ab предписывает построение сети на кабеле UTP категории 5 и выше. Максимальное расстояние PC от концентратора – 100 м. Для достижения скорости 1000 Мбит/с данные передаются по четырем парам проводов в дуплексном режиме, и применяется пятиуровневое кодирование PAM5, которое сужает ширину спектра сигнала. Дуплексный режим передачи использует цифровой сигнальный процессор (Digital Signal Processor, DSP) для вычитания на входе приемника собственного передаваемого сигнала.

Все спецификации Gigabit Ethernet используют звездную топологию сети с применением концентратора. Для расширения сети применяют коммутаторы.

Стандарт IEEE 802.3ae. В 2002 г. комитет IEEE по стандартизации ЛВС утвердил стандарт 802.3ae, который регламентирует передачу данных в сети Ethernet со скоростью 10 Гбит/с по одномодовому и многомодовому ОВ кабелям.

6.3.4. Сети с маркерным доступом

Сеть Token Ring. В 1985 г. IEEE принял стандарт 802.5 на ЛВС Token Ring разработки компании IBM. Эта сеть использует технологию маркерного доступа PC к физической среде, что гарантирует прогнозируемое время доставки данных. Оборудование сети Token Ring поддерживает две скорости передачи данных 4 или 16 Мбит/с. Функционирование Token Ring обеспечивается сложными алгоритмами и потому ее оборудование более дорогое, чем Ethernet. По использованию сеть Token Ring занимает второе место после Ethernet [31].

Топология сети Token Ring. Логическая топология – кольцо, а физическая – звездообразное кольцо (рис. 6.21,а). Сетевой адаптер PC с помощью ответвительного (lobe) кабеля подключен к порту интеллектуального пассивного или активного концентратора – устройства многостанционного доступа (Multistation Access Unit, MAU). MAU с помощью магистрального (trunk) кабеля через специальные порты Ring In (RI) и Ring Out (RO) объединяются в кольцо. Если произойдет обрыв ответвительного кабеля, то средствами обеспечения отказоустойчивости MAU разорванное кольцо будет восстановлено путем включения внутреннего обходного пути неработающего порта.

PC подключаются к MAU с помощью витых пар номенклатуры компании IBM: STP Type 1, UTP Type 3 и Type 6 (ОВ кабель). При длине ответвительного кабеля STP Type 1 до 101 м в кольцо допускается объединять до 260 станций. При использовании UTP Type 3 максимальная длина ответвительного кабеля 45 м, а количество станций в кольце – 72. Расстояние между пассивными MAU равны 101 м и 45 м при использовании соответственно STP Type 1 и UTP Type 3. Расстояние между активными MAU может быть увеличено до 730 или 365 м в зависимости от типа кабеля. Максимальная длина кольца около 4000 м.

Ограничения на количество PC в кольце и длину кольца определяются исходя из допустимого времени обработки станцией кадра – 10 мс; задержек в кабеле; тайм-аута контроля активным монитором оборота маркера – 2,6 с.

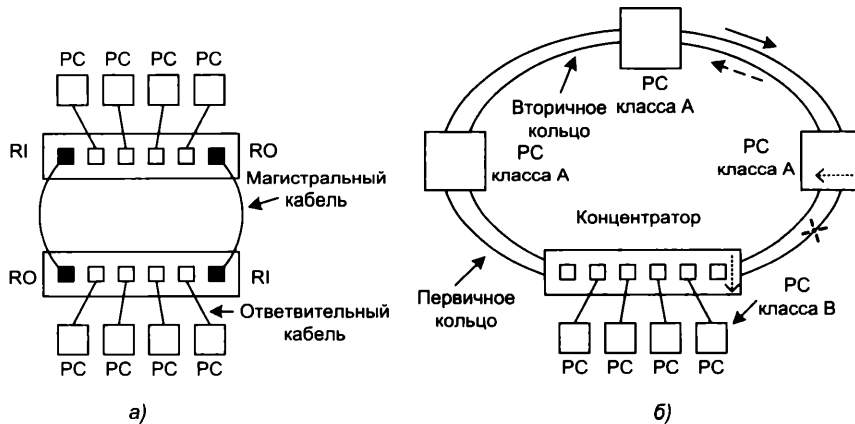


Рис. 6.21. Топологии сетей с маркерным доступом:
а – Token Ring; б – FDDI

Маркерный (token) доступ. Этот доступ реализован в сетях Token Ring и FDDI. Он состоит в том, что по сети циркулирует специальный кадр-маркер (длиной 3 байта в Token Ring). Станция, которая получила маркер, может преобразовать его в информационный кадр, добавляя к маркеру данные и управляющую информацию (адресную и т.п.), а затем отправить этот кадр дальше по кольцу. Станция, принимая информационный кадр, проверяет адрес PC получателя. Если кадр адресован ей, то она выполняет копирование кадра, проверяет целостность данных, изменяет значение некоторых управляющих бит и передает кадр дальше. В противном случае PC просто ретранслирует кадр дальше по сети. Таким образом, информационный кадр делает круг по сети и возвращается к PC, которая сгенерировала его. Станция-отправитель информационного кадра освобождает его от данных и передает чистый маркер дальше по кольцу, предоставляя возможность другим PC передавать данные.

Форматы кадров. В сети Token Ring определены такие типы кадров:

- маркер;
- кадр данных (маркер с добавленными к нему кадрами);
- кадр завершения.

Маркер состоит из трех следующих полей длиной по 1 байт:

SD (Start Delimiter) – начальный ограничитель, представляющий собой уникальную последовательность символов манчестерского кода: JK0JK000.

AC (Access Control) – управление доступом. Имеет следующую структуру PPPTMRRR, где PPP – биты приоритета маркера (8 градаций приоритета: 0 – 7), T – бит маркера, M – бит монитора, RRR – биты резервирования приоритета.

Биты PPP используются приложениями для приоритетного доступа PC к кольцу. Если PC имеет приоритет равный или выше PPP, то она может использовать маркер для передачи данных. В противном случае PC может лишь зарезервировать маркер для следующей передачи, записав свой приоритет в RRR, если он больше чем RRR. При освобождении маркера после передачи данных станция переписывает значения битов из RRR в PPP, а RRR обнуляет.

Бит T установленный в 1 указывает, что кадр является маркером доступа. Бит M устанавливается активным монитором в 1, а любой PC в 0. Это позволяет активному монитору по значению M = 1 обнаружить и удалить кадр, который уже обошел кольцо и не был обработан станциями.

ED (End Delimiter) – конечный ограничитель, представляющий собой уникальную последовательность символов манчестерского кода: JK1JK1 и два бита IE. Бит I показывает, что кадр является промежуточным ($I = 1$) или последним ($I = 0$) в серии кадров маркера. Бит E – это признак ошибки в кадре. Он устанавливается в 0 станцией отправителем, а в 1 – любой станцией кольца, обнаружившей ошибки (по контрольной сумме) или некорректность кадра.

Кадр данных переносит служебные данные (MAC подуровня) либо пользовательские данные (LLC подуровня). Кадр данных включается в маркер и имеет следующие поля:

SP – начальный ограничитель (1 байт);

AC – управление доступом (1 байт);

FC (Frame Control) – управление кадром (1 байт). Поле определяет тип кадра (MAC или LLC). Если два старших бита нулевые, то это MAC кадр, если единичные – LLC. Младшие четыре бита содержат управляющую информацию;

DA (Distribution Address) – адрес получателя (2 или 6 байт);

SA (Source Address) – адрес отправителя (2 или 6 байт);

INFO – данные, длина которых стандартом не определена. На практике для скорости передачи 4 Мбит/с поддерживается длина 4500 байт, а для скорости 16 Мбит/с – 18000 байт;

FCS (Frame Check Sequence) – контрольная сумма кадра (4 байта);

ED – конечный ограничитель (1 байт);

FS (Frame Status) – статус кадра (1 байт). Имеет структуру ACrrACrr, где A – бит распознавания адреса, C – бит копирования кадра, r – резервные биты.

Кадр завершения. Содержит два байта – поля SD и ED. Если он появляется, то текущая передача кадра или маркера отменяется.

Сеть Token Ring более интеллектуальная и надежная в работе, чем сеть Ethernet. Она имеет ряд процедур, которые контролируют процесс нормального функционирования сети. К ним следует отнести процедуры:

- подключения станции к кольцу;
- объявления маркера;
- уведомления ближайшего соседа;
- приоритетного доступа рабочих станций;
- установления количества передач и прочие.

Все это делает сеть Token Ring в сравнении с Ethernet более сложной в администрировании и эксплуатации.

Модернизация сети Token Ring. Рабочая группа IEEE 802.5 в 1999 г. предложила три новых стандарта высокоскоростной сети Token Ring (High Speed Token Ring, HSTR). Эти стандарты сохраняют все особенности канального уровня классической технологии Token Ring (16 Мбит/с).

Стандарт IEEE 802.5t регламентирует работу HSTR на скорости 100 Мбит/с и использует для подключения PC кабель UTP 5 категории.

Стандарт IEEE 802.5u определяет физический уровень HSTR при использовании многопроводного ОВ кабеля для скорости 100 Мбит/с.

Проект стандарта IEEE 802.5v регламентирует построение Gigabit Token Ring (GTR) на скорости 1000 Мбит/с.

Технологии HSTR и GTR оставляют без изменения подуровень MAC и формат кадра сети Token Ring. Все нововведения касаются только физического уровня. Новая сеть HSTR совместима с классической сетью Token Ring – сетевые адаптеры HSTR автоматически поддерживают скорости 4, 16 и 100 Мбит/с. Кроме того, HSTR имеет следующие преимущества:

- позволяет быстро модернизировать классическую сеть Token Ring с минимальным изменением ее оснащения (адаптеров, кабельной системы);
- делает процесс управления сетью одинаковым на всех ее участках;
- проектирование сети HSTR дешевле, чем ATM, и немного дороже Fast Ethernet, что дает надежду на широкое использование этой сети.

Сеть FDDI. Стандарт сети разработан ANSI и принят ISO как стандарт ISO 9314. Стандарт FDDI использует ОВ кабель. Скорость передачи данных 100 Мбит/с. Методы кодирования сигналов 4B5B и NRZI. Сеть FDDI может использоваться в сетях масштаба региона (Metropolitan Area Network, MAN).

Архитектура протоколов FDDI охватывает протоколы физического и канального уровней модели OSI, но есть и нововведение. Так, в FDDI введена плоскость управления станциями (Station Management, SMT). Протоколы этой плоскости выполняют функции управления и мониторинга работы MAC подуровня и физического уровня FDDI. В управлении сетью принимают участие все узлы сети FDDI, обмениваясь специальными SMT кадрами. Это значительно улучшает надежность сети в целом [31].

Принцип доступа к среде передачи в FDDI такой же, как и в сети Token Ring, – маркерный доступ. Однако в FDDI используется не восемь, как в Token Ring, а два уровня приоритетов, которые делают нагрузку сети на два типа – синхронную и асинхронную. Для синхронной нагрузки, критичной к задержкам в сети, время удержания маркера, как и в Token Ring, фиксированное, а для асинхронной – зависит от загрузки сети. При малой загрузке время удержания маркера увеличивается, а при перегрузках – уменьшается до нуля.

Для передачи кадра в асинхронном режиме (режим определяется приложением) PC, получая маркер, должна измерить время оборота маркера (Token Rotation Time, TRT) по кольцу и сравнить его с максимально допустимым временем оборота маркера $T_{\text{Орг}}$. *Время оборота маркера* – это интервал времени, прошедший после предыдущего прихода маркера. Если сеть не перегружена, то станция получит маркер до истечения интервала $T_{\text{Орг}}$ ($\text{TRT} < T_{\text{Орг}}$). В этом случае станции разрешается захватить маркер и передать кадры в течение интервала времени $T_{\text{Орг}} - \text{TRT}$. Если $\text{TRT} > T_{\text{Орг}}$ (сеть перегружена), станция не может захватить маркер для асинхронного режима передачи.

Формат кадра FDDI практически повторяет формат кадра Token Ring. В FDDI кадре поле приоритетов не используется. Максимальная длина кадра FDDI – 4600 байт.

Топология сети FDDI – это двойное ОВ кольцо (рис. 6.21, б). Введение второго кольца значительно повышает надежность работы сети и позволяет свести к минимуму вероятность отказа сети. Действительно, в нормальном режиме работы, который назван режимом Thru, данные проходят через все узлы и участки кабеля первого (primary) кольца. Второе (secondary) кольцо не используется. Если появляется разрыв кабеля кольца или выход из работы узла подключения к двум кольцам, то первое кольцо не может передавать данные и тогда первое кольцо объединяется со вторым, чтобы обеспечить нормальное функционирование сети. Этот режим работы называют Wrap-режимом. Объединение колец (реконfigurирование) выполняют концентраторы двойного подключения (Dual Attachment Concentrator, DAC) или сетевые адаптеры станций двойного подключения (Dual Attachment Station, DAS) путем переключения светового луча из первичного кольца во вторичное. Максимальное расстояние между PC для многомодового ОВ кабеля 62,5 мкм составляет 2 км, а общая длина кольца – 100 км. В зависимости от способа подключения PC кольцо может содержать не более 500 или 1000 узлов.

В настоящее время существует стандарт FDDI TP-PMD для кабеля UTP 5 категории. Максимальное расстояние между станциями – 100 м.

6.4. Оборудование локальных вычислительных сетей

Базовый элемент разных типов ЛВС – это *сегмент*, к которому подключены компьютеры (рабочие станции – РС). ЛВС имеют ограничения на длину сегмента, количество сегментов и РС, подключенных к сегменту. Эти ограничения могут быть сняты частично или полностью, если использовать специальные методы структуризации сети, позволяющие строить ЛВС, у которых общая эффективная длина сети и количество РС значительно больше, чем у сегмента. Реализуют это с помощью коммуникационного оборудования: повторителей, концентраторов, мостов, коммутаторов и маршрутизаторов [30, 31].

6.4.1. Повторители и концентраторы

Повторитель (repeater) – устройство, которое функционирует на первом (физическом) уровне модели OSI. Его используют для физического соединения сегментов кабеля локальной сети с целью увеличения общей длины сети. Повторитель принимает сигнал с одного сегмента кабеля и побитно транслирует его в другой сегмент, восстанавливая при этом амплитуду и форму сигнала. Повторители вносят задержку сигнала и поэтому в технологиях, критичных к задержкам, их применение ограничено. Так, технология Ethernet допускает использование в сети не более четырех повторителей, которые объединяют 5 сегментов сети, и эффективная длина сети увеличивается, например, в 10Base-5 до 2500 м.

Концентратор (concentrator), или *распределитель* (hub) – это повторитель, который имеет несколько портов. Он позволяет объединять ряд сегментов сети, реализуя звездную топологию, которая упрощает диагностирование и присоединение РС к его портам. Концентраторы используют во всех типах сетей (Ethernet, Token Ring, FDDI). Они отличаются правилами трансляции сигналов между портами. Например, концентратор Ethernet повторяет сигнал на все порты кроме того, из которого он пришел, а концентратор Token Ring повторяет сигнал лишь на один порт, который по кольцу является следующим.

Правила использования повторителей и концентраторов для разных типов ЛВС регламентируются в спецификациях, определяющих реализацию физического уровня и среды передачи сети.

6.4.2. Мосты и коммутаторы

Мост (bridge) – это интеллектуальное устройство, которое объединяет сегменты ЛВС и выполняет фильтрацию кадров между сегментами с целью уменьшения в них нагрузки. Мост работает на канальном уровне модели OSI и является прозрачным для протоколов высших уровней. Функционирование мостов регламентирует стандарт IEEE 802.1d.

По применению мосты делят на локальные и глобальные. Их отличают по типам портов. Локальные мосты объединяют сегменты ЛВС и имеют только порты для подключения сегментов ЛВС разных типов с разными средами передачи, а глобальные мосты имеют порты для подключения сетей MAN или WAN, а в определенных случаях и порты для подключения сетей LAN.

По алгоритму функционирования различают мосты с маршрутизацией от источника (source routing) и прозрачные (transparent). Эти алгоритмы регламентированы в стандарте IEEE 802.1. Следует отметить, что проводятся работы по их объединению в единый стандарт Source Routing Transparent.

Алгоритм маршрутизации от источника разработан фирмой IBM и используется в сетях Token Ring. Такие мосты не имеют адресных баз данных, а их функции может выполнять

PC. Мост вычисляет маршрут, пользуясь информацией, записанной в полях кадра. Узел сети, который не знает пути к другому узлу, сначала посылает специальный кадр-искатель (explorer frame). Этот кадр имеет идентификатор, предназначенный для мостов. Получив такой кадр, мост записывает информацию о маршруте и свое имя в специальном поле маршрутной информации (routing information field). После этого мост передает этот кадр по всем направлениям за исключением того, с которого он принят. Узел-получатель может получить несколько кадров – один на каждый возможный маршрут. Тогда он выбирает один оптимальный маршрут и сообщает его узлу, приславшему кадр-искатель. На практике, как правило, оптимальный маршрут проходит первый кадр-искатель, полученный узлом, так как он прошел кратчайший путь. После определения маршрута узел-отправитель использует этот маршрут для отправки узлу-получателю информационных кадров.

Алгоритм прозрачного моста. Имеются его модификации, соответствующие:

- прозрачному мосту для объединения сетей (сегментов) с одинаковыми протоколами канального и физического уровней модели OSI, т.е. Ethernet–Ethernet, Token Ring–Token Ring;
- транслирующему мосту (translating bridges) для объединения сетей (сегментов) разных типов, например Ethernet–Token Ring;
- инкапсулирующему мосту (encapsulating bridges) для объединения сетей одного типа, например Ethernet, через сеть другого типа, например FDDI.

Наиболее распространены прозрачные мосты. Они определяют подключаемые к ним ЛВС по набору MAC-адресов PC этих сетей. Эти адреса записаны в таблицу MAC-адресов моста. Для принятия решения мосты анализируют адреса получателей кадров. Все порты моста функционируют в так называемом «неразборчивом» (promisguous) режиме, когда все пакеты, поступающие в мост, размещаются в буферной памяти. Это позволяет отслеживать обмен и использовать кадры для «изучения» топологии сети.

Работа прозрачных мостов состоит из трех фаз: обучение (learning), продвижение (forwarding) и фильтрация (filtering) кадров.

Обучение. При первом включении моста он начинает автоматически формировать таблицу маршрутов. После получения кадра мост проверяет контрольную сумму и, если она неправильна, то кадр уничтожается, а если правильна, то адрес отправителя сравнивается с адресами отправителей, уже имеющимися в таблице адресов. Если адрес отправителя еще не занесен в таблицу, то он записывается в нее. Это позволяет мосту также определить принадлежность PC к сети, подключенной к его порту. Мост периодически пересматривает таблицу и изымает записи, время пребывания которых превышает заданное значение (несколько минут). Это происходит в том случае, если станция долго не передавала данных. Так мост постоянно контролирует состояние сетей.

Продвижение. Кроме адреса отправителя мост анализирует адрес получателя, чтобы с помощью таблицы маршрутов принять решение, на какой исходящий порт передавать кадр. Если исходящий порт определен, то мост, в отличие от повторителя, передающего кадр побитно, сначала получает доступ к сети (например, с использованием алгоритма CSMA/CD) и только после этого передает кадр в этот порт, т.е. сеть.

Фильтрация. Если адрес получателя кадра принадлежит тому же сегменту, что и адрес отправителя, то мост не передает этот кадр в другой сегмент (сеть). Это позволяет предотвратить «затопление» (flooding) избыточной нагрузкой соседние сегменты.

Рассмотрим случай, когда адрес получателя отсутствует в маршрутной таблице или является широковещательным (broadcasting). В этой ситуации мост передает кадр на все порты, кроме порта, с которого он поступил. Поэтому в сложных сетях может происходить заикли-

вание кадров (возникновение петлевых маршрутов). Чтобы предотвратить заикливание, мосты используют алгоритм STP (Spanning Tree Algorithm), который позволяет построить древовидную структуру сети (граф сети), объединяющую все станции. Связи, не вошедшие в дерево, являются резервными, и информация по ним не передается. Если связь или узел временно прекращает работу, то дерево перестраивается с использованием резервных связей.

Коммутатор (switch) – это многопортовый мост, имеющий механизм коммутации, позволяющий сегментировать сети, а также выделять PC определенную пропускную способность в сети. Кроме того, коммутаторы позволяют создавать логические сети, т.е. поддерживать работу виртуальных сетей, использование которых в последнее время возрастает. Коммутаторы, как и мосты, работают на канальном уровне модели OSI.

В последние годы наметилась тенденция вытеснения мостов коммутаторами. Это связано с тем, что мосты появились, когда сети делились на два или более сегмента, а обмен между ними был небольшой, на скоростях до 1 Мбит/с. В начале 90-х годов значительно выросли производительность компьютеров и нагрузка в сетях. Это потребовало использования быстроредействующих специализированных устройств, которые поддерживают алгоритмы работы моста, но значительно быстрее обрабатывают информационные потоки. Поэтому и появились коммутаторы, т.е. мультимикропроцессорные многопортовые мосты, параллельно обрабатывающие кадры одновременно между всеми парами своих портов. Коммутаторы также используют алгоритмы прозрачного моста или маршрутизацию от источника, но кадры обрабатываются не последовательно, а параллельно, что значительно повышает эффективность работы. Производительность коммутаторов составляет несколько миллионов кадров в секунду, а мостов – до 5–10 тысяч. Значительно увеличить производительность удалось благодаря тому, что в коммутаторах используют высокоскоростной коммутационный узел – коммутационную матрицу.

Структурная схема коммутатора изображена на рис. 6.22.

Системный модуль поддерживает работу адресной таблицы. Коммутационная матрица



Рис. 6.22. Структурная схема коммутатора

обеспечивает передачу кадров между портами, которые имеют собственные процессоры и буфера памяти. После получения портом кадра процессор направляет его в буфер, чтобы прочитать адресную информацию и определить с помощью адресной таблицы, на какой порт посылать информацию. Формирование соединения портов осуществляет коммутационная матрица. Если в адресной таблице нет адреса получателя, то кадр пе-

редается на все порты, за исключением порта, с которого он поступил.

На сегодня производители изготавливают три типа коммутаторов: на базе коммутационной матрицы; с общей шиной; с распределенной многовходовой памятью.

Коммутаторы с коммутационной матрицей выполняют коммутацию портов быстрее, чем мосты. Принцип их работы заимствован из технологии коммутации каналов. Количество портов в таких коммутаторах ограничено, поскольку сложность реализации коммутатора пропорциональна числу портов. Основным недостатком этих коммутаторов – отсутствие буферизации данных в коммутационной матрице, поскольку без внутренней буферизации кадры, которые ожидают освобождения выходного порта, могут быть утрачены.

Коммутаторы с общей шиной. Используют высокоскоростную шину для связи процессоров и входных/выходных портов. Высокоскоростная шина выполняет вспомогательную

роль, а процессоры портов – основную. Для уменьшения задержек, которые могут возникнуть в процессе передачи кадра по шине от порта к порту, а также для реализации режима псевдопараллельной передачи кадров, кадр должен передаваться небольшими блоками. Размер блока устанавливает производитель коммутаторов. Шина и коммутационная матрица используют не прямую буферную память, а общую, что является недостатком.

Коммутаторы с многовходовой распределенной памятью. В них входные блоки процессоров портов соединяются через переключатели входа с распределенной памятью. Такая же ситуация и с выходными портами. Блок управления портами управляет переключателями входа и выхода, что позволяет организовать по одной очереди на каждый выходной порт. Блок управления также контролирует длину очереди и по мере ее заполнения осуществляет поочередное подключение многовходовой памяти к выходным портам коммутатора.

На практике в функционально сложных коммутаторах используют все три метода коммутации вместе, что позволяет осуществлять их конфигурацию в зависимости от проблем, которые решаются в сети.

В ЛВС и глобальных сетях используют три типа коммутации:

- коммутация «на лету» (cut-through). Кадр (пакет) с данными передается на выходной порт сразу после определения адреса назначения. При этом анализ всего пакета не проводится, что может привести к передаче в сеть пакетов с ошибками, но это самый быстрый тип коммутации;
- коммутация с буферизацией (store and forward switching). Входной пакет полностью буферизуется, проверяется на наличие ошибок и при их отсутствии передается на выходной порт. Это позволяет осуществить фильтрацию пакетов на наличие ошибок, но снижает пропускную способность коммутатора;
- безфрагментная коммутация (fragment-free switching) занимает промежуточное место между вышеупомянутыми типами. Буферизуются только первые 64 байта пакета. Если этими байтами пакет заканчивается, то коммутатор проверяет его на наличие ошибок, а если нет, то он передается на выходной порт без проверки.

Кроме основных функций – передачи пакета с порта на порт, коммутаторы, как и мосты, способны поддерживать дополнительно:

- трансляцию протоколов канального уровня (например, Ethernet в FDDI, Token Ring в Fast Ethernet);
- алгоритмы Spanning Tree;
- разные классы обслуживания (приоритетная обработка, дополнительная фильтрация кадров и т.п.);
- механизмы построения виртуальных сетей.

6.4.3. Маршрутизаторы

Маршрутизатор (router) – это устройство, которое определяет оптимальный путь передачи пакетов на основании информации сетевого уровня. Маршрутизатор функционирует на сетевом уровне модели OSI.

Прежде чем описывать работу маршрутизаторов, рассмотрим трудности построения сложных структурированных сетей с помощью оборудования канального уровня (мостов, коммутаторов). К ним следует отнести:

- сложность управления передачей с помощью фильтрации на основании имеющейся в кадре информации канального уровня;
- применение системы адресации, связанной с MAC-адресами устройств, которые в структурированных сетях определяет локальную адресацию узлов;

- слабую защищенность от «сетевых штормов», возникающих при широковещательной передаче данных;
- сложные механизмы изъятия петлевых маршрутов.

Все это накладывает ограничения на построение больших гетерогенных сетей, которые используют технологии как локальных сетей (Ethernet, Token Ring, FDDI), так и глобальных (X.25, Frame Relay, ATM). Решить эту проблему можно, если использовать ресурсы сетевого уровня (протоколы передачи и маршрутизации, маршрутизаторы).

Протокол сетевого уровня в заголовке имеет поля уникальных номеров сетей (узлов) отправителя и получателя, которые определяют глобальную адресацию сетей (узлов) в сложной гетерогенной сети. Нумерация сетей позволяет протоколам сетевого уровня представить карту межсетевых связей и рационально решить проблему выбора маршрута, которую не могут осуществить ни мосты, ни коммутаторы.

Выбор наилучшего маршрута осуществляют с помощью алгоритмов, использующих параметр, называемый метрикой. Метрика количественно характеризует маршрут передачи. Она может содержать количество маршрутизаторов, которые проходит пакет, и технические характеристики каналов (пропускную способность, задержку и т. п.).

Процесс маршрутизации условно разделяют на два подпроцесса:

- подпроцесс маршрутизации, связанный с отладкой таблиц маршрутизации с помощью маршрутных протоколов (см. разд. 6.3), определением пути к следующему маршрутизатору или получателю пакета по сетевым адресам, которые есть в маршрутной таблице;
- подпроцесс передачи пакетов, связанный с предварительной проверкой контрольной суммы, определением адреса канального уровня с помощью протокола ARP, фрагментацией, фильтрацией и очередностью отправления пакетов.

Работу этих подпроцессов отлаживают при конфигурировании маршрутизаторов. Функциональная схема маршрутизатора изображена на рис 6.23. С помощью внешних интерфейсов маршрутизатор взаимодействует с ЛВС и глобальной сетью. После того как пакет поступил на интерфейс, выполняется анализ адреса, а с помощью блоков выбора маршрутов и обслуживания каналов определяется маршрут. По основной магистрали маршрутизатора пакет поступает на выходной порт.

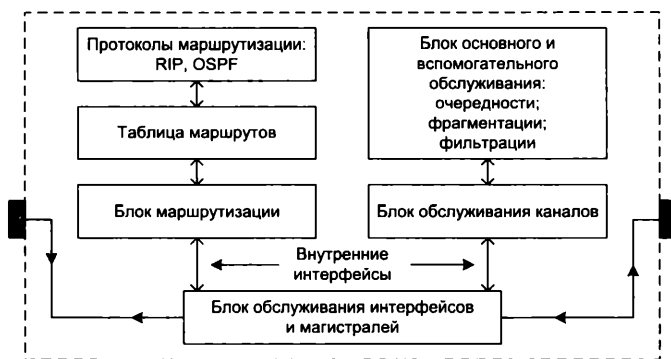


Рис. 6.23. Структурно-функциональная схема маршрутизатора

Основной функциональной частью маршрутизатора является таблица маршрутов, которая может содержать следующую информацию:

- адреса сетей назначения;
- сетевые адреса следующего маршрутизатора;
- сетевой адрес выходного порта;
- метрику (условное расстояние к сети или характеристики каналов);
- время жизни маршрута и другую дополнительную информацию.

Маршрутизатор обрабатывает каждый пакет и посылает его получателю, поэтому его производительность должна быть значительной, чтобы функционирование сети было эффективным. Производители оборудования выпускают маршрутизаторы трех типов: однопроцессорные, усиленные однопроцессорные, симметричные многопроцессорные.

В однопроцессорном маршрутизаторе центральный процессор выполняет функции фильтрации, передачи пакетов, поддержки таблиц маршрутизации, формирования служебных и управляющих пакетов и т. п. Это может привести к тому, что при увеличении нагрузки маршрутизатор будет снижать общую производительность сети.

В усиленной однопроцессорной структуре маршрутизатор разделен на модули, которые решают вспомогательные задачи, и каждый такой модуль имеет свой периферийный процессор, позволяющий разгрузить центральный процессор для решения главных задач. При этом общая производительность маршрутизатора повышается.

Симметричная многопроцессорная структура маршрутизатора позволяет перераспределить нагрузку между процессорами, и каждый процессор решает все задачи маршрутизации с помощью копий таблиц маршрутизации. Эта структура дает возможность достичь теоретически неограниченной производительности и в последние годы широко используется производителями оборудования.

Маршрутизаторы, по сравнению с коммутаторами и мостами, требуют больших усилий для администрирования. Необходимо задавать значительное количество параметров при их конфигурировании. Кроме того, поскольку маршрутизаторы обмениваются между собой информацией, параметры всех маршрутизаторов сети должны быть согласованы.

В последние годы при построении сетей используют системные решения, которые основаны на применении коммутаторов и маршрутизаторов. В них коммутаторы повышают общую производительность сети, а маршрутизаторы, кроме главной своей функции, дополнительно обеспечивают защиту информации, транслируют протоколы и т.п. Производители оборудования, в свою очередь, стараются снизить цену на маршрутизаторы, которая сейчас значительна, а также упрощают их администрирование и управление.

6.5. Технология IP сетей

6.5.1. Архитектура протоколов Интернета

Технология IP сетей базируется на стеке протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol). Этот стек разработан по инициативе Министерства обороны США и использован при построении сети ARPAnet, из которой в дальнейшем была образована сеть Интернет. Большой вклад в разработку и усовершенствование стека внесли университеты США, особенно университет в Беркли, где был реализован TCP/IP для операционной системы UNIX. Работы по усовершенствованию стека проводятся уже свыше 30 лет. На сегодня это самый популярный стек протоколов, который используют [30, 31, 33, 36]:

- в глобальной информационной сети Интернет;
- для построения корпоративных сетей, называемых Интранет;
- для построения корпоративных сетей с ограниченным доступом и повышенным уровнем защиты, называемых Экстранет;
- в большинстве операционных систем и ЛВС (Ethernet, Token Ring, FDDI и других);
- практически во всех глобальных сетевых технологиях (X.25, ISDN, Frame Relay, ATM). Стек TCP/IP поддерживает большое количество протоколов канального уровня модели OSI, например SLIP и PPP, которые применяют для передачи данных в коммутируемых и выделенных линиях связи.

Стандартизация в Интернете. Быстрое развитие Интернета, протоколов и стандартов, связанных с сетью, требует систематизации, упорядочения и издания большого количества нормативной документации. Этим занимается Управляющий совет по вопросам архитектуры Интернет (Internet Architecture Board, IAB). На начало 2000 г. издано свыше 2700 документов (Request for Comments, RFC). RFC – это особые документы, которые охватывают широкий круг технических вопросов, включая обязательные стандарты, предложения по стандартам, информационные сообщения и устаревшие документы, которые уже имеют историческое значение. Процесс стандартизации в Интернет регламентируется документом RFC 2026.

В состав IAB входят:

- Инженерно-техническая комиссия Интернет (Internet Engineering Task Force, IETF), которая разрабатывает RFC и решает конкретные узкие проблемы, связанные с технической поддержкой сети;
- Исследовательская комиссия Интернет (Internet Research Task Force, IRTF), которая занимается перспективными вопросами развития Интернет и формирует большое количество стандартов.

IAB был создан в 1983 г. при поддержке Сообщества Интернет (Internet Society, ISOS), которое состоит из физических лиц и организаций.

Структура стека протоколов TCP/IP. Архитектура протоколов Интернет четырехуровневая. Появившуюся намного позже семиуровневую архитектуру протоколов эталонной модели ISO можно рассматривать как дальнейшее развитие TCP/IP – декомпозицию двух уровней TCP/IP. Действительно, отличие двух архитектур состоит в том, что три высших уровня (прикладной, представления данных, сеансовый) модели OSI в архитектуре TCP/IP объединены в один – прикладной (рис. 6.24). Уровень сетевых интерфейсов TCP/IP соответствует двум уровням OSI – каналному и сетевому.

Прикладной уровень TCP/IP поддерживает традиционные услуги:

- электронная почта и обмен новостями, которые реализуются с помощью простого протокола передачи электронной почты SMTP (Simple Mail Transfer Protocol); почтовых протоколов IMAP (Internet Message Access Protocol), POP (Post Office Protocol) и X.400; сетевого протокола обмена новостями NNTP (Network News Transfer Protocol);
- виртуальный терминал реализуется с помощью протокола Telnet;
- передача файлов проводится с помощью протоколов FTP (File Transfer Protocol), TFTP (Trivial File Transfer Protocol) и NFS (Network File Systems);
- справочные службы реализуются с помощью системы доменных имен DNS (Domain Name System) и X.500;
- вспомогательные протоколы: получения собственных идентификаторов – BOOTP, времени – NTP (Network Time Protocol), диагностики – Echo и информации о системе – Finger.

В середине 90-х годов активно внедряются услуги, базирующиеся на технологии WWW (World Wide Web), основанной на протоколе передачи гипертекста (Hypertext Transfer Protocol, HTTP) с использованием URL (Universal Resource Locator) и URN (Universal Resource Names).

Сегодня популярны услуги пакетной IP-телефонии на базе протоколов SIP (Session Initiation Protocol), RTP (Real-time Transport Protocol), RTCP (Real-time Transport Control Protocol), рекомендаций H.323 и др.

Особое место в стеке занимают протоколы мониторинга и управления:

- SNMP (Simple Network Management Protocol);
- RMON (Remote Monitoring).

С помощью этих протоколов отслеживают состояние сети и проводят ее администрирование.

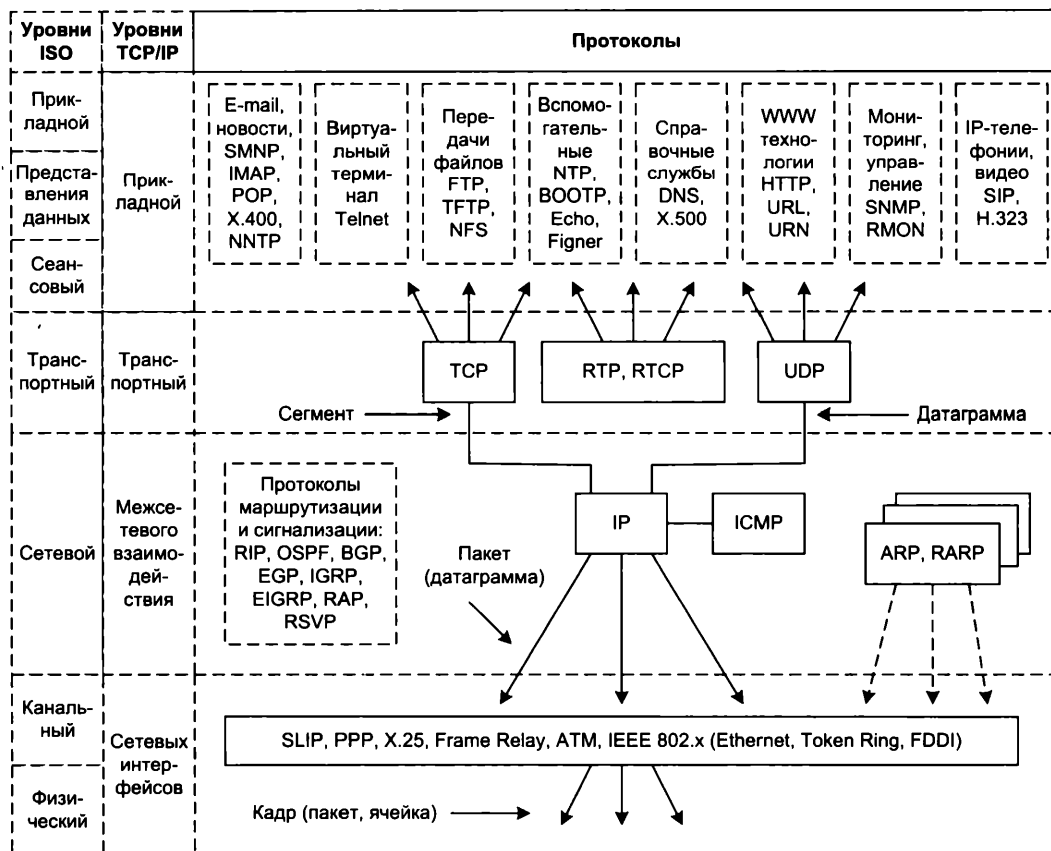


Рис. 6.24. Структура стека протоколов TCP/IP

Для сетевого взаимодействия большинство приложений пользуются услугами протоколов транспортного уровня TCP и UDP. Протокол TCP гарантирует надежную полнодуплексную передачу сегментов данных с предварительным установлением логического соединения. Протокол датаграмм пользователя UDP (User Datagram Protocol) обеспечивает передачу датаграмм без установления соединения, что не гарантирует их доставку.

Передачу пакетов между сетями различной архитектуры обеспечивает основной протокол стека – IP. Датаграммный протокол IP не гарантирует надежной передачи пакетов, что, однако, увеличивает пропускную способность при передаче данных через множество сетей.

На сетевом уровне также используются:

- диагностический протокол ICMP (Internet Control Message Protocol), который передает сообщения узлам сети об ошибках и сбоях в передаче;
- протоколы разрешения проблемы адресов: ARP (Address Resolution Protocol) трансформирует IP адрес в физический адрес узла сети (MAC – адрес станции); RARP (Reverse Address Resolution Protocol) выполняет обратную функцию, т.е. с помощью MAC адреса определяет IP адрес.

Работу сетевого уровня поддерживают ряд протоколов маршрутизации и сигнализации: RIP (Routing Internet Protocol), OSPF (Open Shortest Path First), IGRP (Interior Gateway Routing

Protocol), EIGRP (Enhanced IGRP), BGP (Border Gateway Protocol), RAP (Routing Access Protocol), RSVP (Resource Reservation Protocol) и др.

Стек протоколов TCP/IP взаимодействует на канальном уровне с большим количеством протоколов и сетевых технологий, которые инкапсулируют пакеты IP протокола. На сегодня вопросам взаимодействия Интернета с другими сетями посвящено более 290 документов RFC.

Чтобы выяснить, как выполняется передача данных с помощью любой технологии, необходимо рассмотреть следующее:

- как формируется и распределяется адресное пространство сети;
- логические характеристики (назначение полей пакетов) основных протоколов IP-технологии;
- основные процедурные характеристики протоколов, которые обеспечивают нормальное функционирование процесса передачи информации;
- каким образом решается вопрос определения путей передачи данных от отправителя к получателю, т. е. как маршрутизируются пакеты.

Далее в указанной выше последовательности рассмотрим IP-технологию.

6.5.2. Протокол сетевого уровня

Адресация в IP сетях. IP адрес протокола IPv4 имеет длину 4 байта и состоит из двух логических частей: адреса сети (например, ЛВС) и адреса узла (PC, коммутатора, маршрутизатора) в сети. Значение адреса записывают в десятичной форме побайтно, а байты разделяют точками, например, 128.2.2.30. Этот адрес также можно записать в двоичной форме – 10000000 00000010 00000010 00011110. Пространство IP адресов делится на пять классов в зависимости от того, сколько байт отведено для определения сети и ее узла. Структура IP адреса представлена на рис. 6.25.

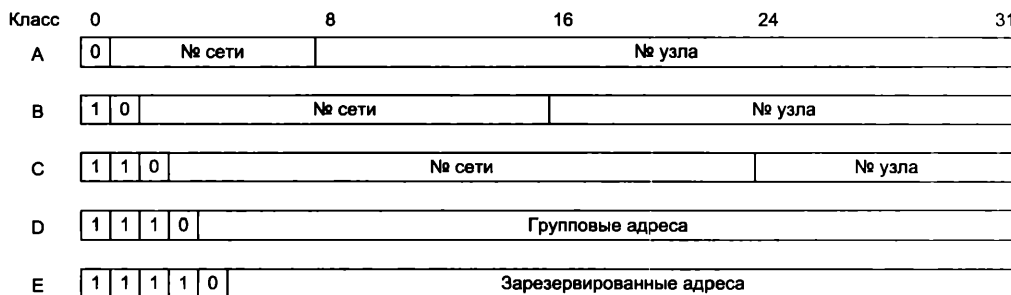


Рис. 6.25. Структура IP адреса

Старшие биты первого байта IP адреса определяют класс (A – 0, B – 10, C – 110, D – 1110, E – 11110). В табл. 6.3 приведены некоторые характеристики классов. В классе A номер сети 0 не используется, а номер 127 применяется для тестирования программ и определения взаимодействия процессов на узле. При передаче сообщения по адресу 127.0.0.1 данные в сеть не передаются, а возвращаются верхним уровням модели OSI. Этот адрес называют loopback.

Адреса класса D используются для групповой передачи (multicast). Класс E зарезервирован для использования в научных целях.

Если все двоичные разряды IP адреса равняются 1 (в десятичной форме 255.255.255.255), то пакет рассылается всем узлам локальной сети.

Таблица 6.3. Характеристики классов IP адресов

Класс	Значения первого байта	Количество сетей	Количество узлов	Сетевая маска	Назначение
A	1...126	126	16777214	255.0.0.0	Большие сети
B	128...191	16384	65534	255.255.0.0	Средние сети
C	192...223	2097151	254	255.255.255.0	Малые сети
D	224...239	–	2 ²⁸	224.0.0.0	Групповые адреса
E	224...247	–	2 ²⁷	240.0.0.0	Резервные адреса

Гибкую границу между номером сети и номером узла обеспечивает маска, которая по форме записи подобна IP адресу (см. табл. 6.3). *Маска* – это последовательность из 32 бит, старшие разряды которой единичные, а младшие нулевые. Если наложить маску на IP адрес, то по ее единичным битам легко определить номер сети, а по нулевым – номер узла. С помощью маски и битов номера узла в адресе любого класса легко выделить биты для адресации подсетей.

Кроме IP адреса, узел в IP сети может иметь свое уникальное символическое имя (domain name), которое состоит из имени компьютера и доменных имен иерархических групп компьютеров (зон, которые соответствуют организации, ведомству, стране). Например, доменное имя **a.usat.ua** определяет PC «а», ЛВС в организации «usat», сеть страны «ua». Зоны или домены образуют иерархическую доменную систему имен DNS в виде «дерева». В вершине «дерева» есть корневой домен (в нашем случае **ua**), а дальше по «дереву» включены домены других уровней – первого (например, организаций – **usat**), второго и т.д. DNS имена хранятся на DNS серверах, которые образуют распределенную базу данных, главное назначение которой состоит в предоставлении IP адреса на основании символического доменного имени узла сети. Такой подход упрощает процессы администрирования и управления в IP сети.

Распределение IP адресов. Централизованным выделением IP адресов занимается специальная организация – InterNIC (Internet Network Information Center). На сегодня ресурс адресов класса А исчерпан и есть дефицит в адресах класса В. Этот дефицит обусловлен не только значительным разрастанием сети Интернет, но и нерациональным использованием адресов. Принципиальное решение этой проблемы – переход на новую версию протокола IPv6, в которой значительно расширяется адресное пространство, поскольку длина адресного поля составляет 16 байт.

Формат IP пакета. IP пакет (стандартизован RFC 791) состоит из поля заголовка, которое включает в себя служебную информацию, и поля данных. Формат IP пакета изображен на рис. 6.26. Он имеет следующие поля:

- *версия* – содержит номер версии протокола IP. Длина – 4 бита;
- *длина заголовка* – поле 4 бита. Длина заголовка составляет 20 байт и может быть расширена до 60 байт за счет полей «опции» и «выравнивание»;
- *тип обслуживания* – 1 байт, определяющий параметры обслуживания. Биты 0–2 задают приоритет пакета, а биты 3–5 – параметры качества обслуживания: бит 3 – задержка (delay), бит 4 – пропускная способность (throughput), бит 5 – надежность (reliability). Биты 6–7 – зарезервированы;
- *общая длина IP пакета в байтах*. Максимальная длина – 65535 байт. При передаче данных по сетям разных типов с разными максимальными блоками передачи (Maximum Transmission Unit, MTU) длина IP пакета определяется протоколом канального уровня, в который инкапсулируется IP пакет;

- *идентификатор пакета* длиной 2 байта. Используется для распознавания пакетов, которые образованы в результате фрагментации. Все фрагменты одного пакета данных должны иметь одинаковое значение поля;
- *флаги* – 3 бита. Первый бит DF (Do not Fragment) запрещает (разрешает) фрагментацию пакета. Второй бит MF (More Fragment) указывает на то, что данный фрагмент промежуточный или последний, третий бит – зарезервирован;
- *смещение фрагмента* – 13 бит, которые задают смещение в байтах поля данных этого пакета относительно начала общего поля данных исходного пакета. Используется при сборке фрагментов (дефрагментации);
- *время жизни* – 1 байт. Значение поля характеризует время пребывания пакета в сети. Задается в секундах при формировании пакета. При прохождении пакета через маршрутизатор или другой узел сети, это время уменьшается на 1 с, даже если обработка пакета заняла меньшее время. Если значение поля достигнет 0, то пакет уничтожается. Поскольку современные маршрутизаторы обрабатывают пакет меньше, чем за 1 с, то *время жизни* – это максимальное количество узлов, которые пакет может пройти до уничтожения. Обычно начальное значение времени жизни пакета в сети задается величиной 120 с;
- *протокол* – 1 байт. Указывается протокол транспортного уровня (TCP, UDP, ICMP), для которого предназначены данные пакета IP;
- *контрольная сумма* – 2 байта. Подсчитывается для заголовка пакета;
- *адрес источника* – поле 4 байта;
- *адрес приемника* – поле 4 байта;
- *опции* – необязательное поле произвольной длины. Используется при отладке сети, например для указания маршрута прохождения пакета;
- *выравнивание* – поле, которое выравнивает заголовок к целому числу 32-битовых слов. Выравнивание выполняют нулями.

0	4	8	16	24	31
Версия	Длина заголовка	Тип обслуживания		Общая длина пакета	
Идентификатор пакета			Флаги	Смещение фрагмента	
Время жизни	Протокол		Контрольная сумма		
Адрес источника					
Адрес приемника					
Опции				Выравнивание	

Рис. 6.26. Формат заголовка IP пакета

6.5.3. Протоколы транспортного уровня

Протокол TCP (стандартизирован RFC 793). Протокол обеспечивает надежную передачу пакетов, называемых сегментами, с установлением логического соединения. Протокол TCP действует между прикладными процессами и протоколом IP. Каждый прикладной процесс имеет точку входа к транспортному уровню. Байтовые потоки, поступающие на транспортный уровень от прикладных процессов, образуют большое количество очередей. Эти очереди с точками входа называют портами прикладных процессов. Порт вместе с номером сети и номером узла определяет прикладной процесс в сети. Этот набор параметров имеет название «розетка» (socket).

Распределением портов для прикладных процессов занимается организация IANA (Internet Assigned Numbers Authority). Например, порты 25 и 110 закреплены за службой электронной почты (протоколы SMTP и POP3), а порт 23 – за службой удаленного доступа (telnet).

Протокол TCP осуществляет поддержку двух очередей данных для каждого порта: очереди от сети и очереди от прикладных процессов. Обслуживание запросов от прикладных процессов называют мультиплексированием данных, а обратную процедуру распределения поступивших от сети данных между прикладными процессами – демультимплексированием данных. Порт для протокола TCP играет роль адреса.

TCP заголовок. Сегмент TCP состоит из заголовка и данных. Формат заголовка сегмента показан на рис. 6.27. Минимальная длина заголовка 20 байт.

0	4	8	16	24	31
Порт отправителя			Порт получателя		
Номер в последовательности данных					
Номер подтверждения					
Смещение	Резерв	Контрольные биты		Размер окна	
Контрольная сумма				Указатель важности	
Данные					

Рис. 6.27. Формат заголовка TCP сегмента

Поля заголовка сегмента имеют следующие назначения:

- *порт отправителя* и *порт получателя* длиной по 16 бит каждый;
- *номер в последовательности данных* длиной 32 бита. Поле определяет порядковый номер первого байта данных пользователя;
- *номер подтверждения* длиной 32 бита. В поле указывается номер подтверждения на отправленный сегмент, который ожидает отправитель;
- *смещение данных* – 4 бита. Поле содержит длину заголовка TCP сегмента, что указывает на начало поля данных;
- *резерв* – поле длиной 6 бит. Заполняется нулями и предназначено для дальнейшей модернизации протокола;
- *контрольные биты* – 6 бит. При установке их в 1 имеют толкования:
 - 1-й бит URG – сегмент содержит важные данные;
 - 2-й бит ACK – сегмент содержит верные данные;
 - 3-й бит PSH – включена функция, которая разрешает быстро передать сегмент адресованному порту, а также указывает, что предыдущие сегменты достигли адресата;
 - 4-й бит RST – указание на переустановление логического соединения, или ответ на неправильно переданный сегмент;
 - 5-й бит SYN – указывает, что сегмент является запросом на установление логического соединения;
 - 6-й бит FIN – указывает, что данных для передачи нет, а сегмент является запросом на закрытие логического соединения.
- *размер окна* – 16 бит. Используется для указания количества байт, которые готов принять получатель. С помощью окна реализуется функция управления потоком данных. Чем больше окно, тем больше данных можно передать. Если значение поля 0, то передача данных останавливается. Таким образом, изменяя размер окна, можно влиять на загрузку сети;

- *контрольная сумма* – 16 бит. Поле содержит контрольную сумму, рассчитанную для заголовка, включая и так называемый псевдозаголовок. Псевдозаголовок содержит следующие поля: IP адрес источника и приемника, протокол, длина IP пакета. Добавление псевдозаголовка защищает TCP сегмент от ошибочной информации, которая может быть в принятом IP пакете;
- *указатель важности* – 16 бит. Поле содержит значение, которое указывает смещение относительно номера байта в очереди, т.е. номер байта, следующего за важными данными. Начиная с этого байта, данные имеют общий статус. Поле используется совместно с битом URG.

Основные процедурные характеристики протокола TCP.

Установление и закрытие соединения. Упрощенная последовательность действий для первой процедуры следующая:

- прикладной процесс, который имеет данные для передачи, запрашивает протокол TCP на открытие порта для передачи;
- после открытия порта TCP посылает запрос на станцию, с которой устанавливается соединение;
- TCP принимающей станции открывает порт прикладного процесса для присла данных и отправляет квитанцию, подтверждающую прием запроса;
- принимающая станция открывает свой порт передачи и отправляет запрос на станцию, которая инициировала процесс;
- станция-инициатор принимает запрос, открывает свой порт для приема данных и возвращает квитанцию.

После этого этапа логическое соединение считается установленным и разрешается обмен информацией между прикладными процессами.

Процедура «скользящего окна» (sliding window) позволяет управлять потоком данных и состоит в том, что каждая сторона, которая принимает участие в сеансе обмена информацией, может прислать столько байтов без их подтверждения, сколько указано в поле «размер окна». Окно, передаваемое с каждым сегментом, определяет диапазон номеров очереди, которую готов принять отправитель окна. Этот механизм связан с наличием буферной памяти.

Надежность передачи обеспечивается подтверждениями (квитанциями) и нумерацией сегментов в очереди. Номер сегмента в очереди передается вместе с сегментом. При передаче TCP сегмента его копия размещается в очереди повторной передачи и включается таймер. Если подтверждение пришло для переданных данных, то этот сегмент исключается из очереди повторной передачи. В случае, если подтверждение не пришло до окончания срока, заданного таймером, сегмент посылается повторно. Такой механизм значительно повышает надежность передачи данных в сети.

Механизм таймеров. При передаче любого сегмента включается таймер повторной передачи. Если время таймера мало, то из-за повторных передач увеличивается нагрузка в сети, если оно велико, то увеличивается инерционность протокола. Время таймера выбирают немного большим, чем время прохождения сегмента к получателю и получения от него подтверждения. Это время называют RTT (Round Trip Time). Существует два способа установки времени таймера повторной передачи:

- фиксированный. Значение таймера определяется по статистическим данным RTT при нормальной работе распределенной сети. Этот метод не позволяет быстро реагировать на изменения, которые могут возникнуть в сети;
- адаптированный. Протокол TCP постоянно отслеживает время получения подтверждения на сегмент, который отослал, и устанавливает свое значение таймера. Про-

цедура определения времени таймера в этом случае достаточно сложная. Она описана в документе RFC 793.

Протокол TCP постоянно совершенствуется. Его модернизации связаны с появлением новых приложений, новых высокоскоростных сетей.

Протокол UDP (стандартизирован RFC 768). Это датаграммный протокол, который не устанавливает логического соединения и не гарантирует надежной передачи данных (возможна потеря датаграмм, отсутствуют механизмы сообщения отправителю о правильности или ошибочности их приема). Длина заголовка UDP пакета составляет 8 байт, что значительно меньше чем в TCP.

Заголовок состоит из полей: порт отправителя и порт получателя (по 2 байта), длина датаграммы (2 байта), контрольная сумма (2 байта). Контрольная сумма вычисляется по заголовку и псевдозаголовку UDP. После получения датаграммы от сетевого уровня (IP протокола) в первую очередь проверяется контрольная сумма заголовка. Если она верна, то из датаграммы читается порт получателя, и она направляется в очередь указанного порта приложения. Если контрольная сумма неверна или очередь порта переполнена, то датаграмма уничтожается. Протокол UDP обслуживает прикладные процессы, которые нечувствительны к потерям информации.

6.5.4. Маршрутизация в IP сетях

Методы маршрутизации. Протоколы маршрутизации (см. рис. 6.25) представляют собой наиболее сложную группу протоколов Интернет, которая динамично развивается. Под маршрутизацией понимают решение задачи поиска оптимального пути от отправителя информации к ее получателю. Оборудование, которое решает эту задачу, называют маршрутизатором (router). В IP сетях (Интернет и других) главным параметром маршрутизации является адрес в IP протоколе. Сеть Интернет организована как совокупность взаимосвязанных между собой автономных систем или доменов (domains). *Автономная система* включает в себя IP сети, которые имеют единое административное управление и общую политику маршрутизации (policy routing). В пределах домена используются протоколы внутренней (Interior Gateway Protocol, IGP), а между ними протоколы внешней маршрутизации (Exterior Gateway Protocol, EGP).

При рассмотрении маршрутизации выделяют две проблемы:

- определение и распространение сведений о маршрутах в сети (домене), которые связаны с реализацией политики маршрутизации и регламентируются алгоритмами вектор-расстояния (distance vector) и состояния каналов (link state);
- продвижение по установленным маршрутам пакетов от отправителя к получателю, которое определяется алгоритмами поэтапной маршрутизации (hop-by-hop routing) и маршрутизацией от источника (source specified routing).

Алгоритм «вектор-расстояние» базируется на том, что каждый объект (маршрутизатор), который принимает участие в маршрутизации, сохраняет в своей маршрутной базе информацию обо всех адресах сети и метрику – расстояние до получателя информации. Объекты обмениваются между собой маршрутными базами. При принятии решения о маршруте передачи пакета оценивается каждый путь к объекту и выбирается наилучший. Этот алгоритм реализован в протоколах маршрутизации RIP и IGRP.

Алгоритм состояния каналов состоит в том, что на первом этапе каждый объект формирует топологическую базу (link state database) и строит граф связей сети, который описывает ее топологию с учетом того, что каждая связь (канал) характеризуется своей метрикой. Объекты, обмениваясь базами, обновляют сведения о сетях. На втором этапе объект решает про-

блему определения оптимального пути к каждой известной ему сети. Этот алгоритм реализован в протоколах OSPF и EIGRP.

Позатная маршрутизация. В этом методе каждый маршрутизатор принимает независимое решение о продвижении пакета на основании адреса получателя и информации, которая находится в маршрутной базе.

Маршрутизация от источника. Маршрут формируется отправителем пакета и записывается в каждый пакет, который отправляется в сеть.

Протокол RIP. Протокол RIP – это протокол внутренней маршрутизации, предназначенный для небольших доменов. Первая версия протокола RIP стандартизирована RFC 1058, а вторая – RFC 1722 и др. RIP для передачи сообщений использует протокол UDP (порт 520). Сообщения RIP состоят из IP адреса сети и числа шагов (маршрутизаторов) к ней. Максимальное количество шагов – 15. В одном сообщении RIP может быть информация о 25 сетях. Маршрутизатор, на котором работает RIP, получая сообщения RIP от других маршрутизаторов, строит свою таблицу маршрутизации, в которой прописаны пути к другим сетям. Обмениваясь RIP сообщениями, маршрутизаторы каждые 30 с обновляют свои таблицы маршрутизации и с их помощью выполняют продвижение пакетов по сети.

Недостатки протокола:

- не всегда выбирается самый эффективный маршрут;
- из-за медленной сходимости образуются логические петли и медленно возобновляются таблицы после сбоя в работе маршрутизатора;
- используются широковещательные рассылки большого количества служебной информации (таблицы маршрутизации), которые загружают сеть;
- ограничен размер домена маршрутизации (15 переходов);
- не работает с адресами подсетей и не различает автономных систем.

Протокол OSPF стандартизирован в RFC 1370, 1578, 1793, 1850, 2328. Применяется для внутренней и внешней маршрутизации, используя алгоритм состояния каналов. Может обслуживать автономную систему, которая состоит из нескольких зон. Протокол OSPF значительно эффективнее протокола RIP. Маршрутизатор, на котором работает OSPF, решает проблему оптимизации маршрутов, анализируя граф сети с метрикой, характеризующей качество обслуживания. Основными параметрами метрики являются пропускная способность, задержка, надежность, а дополнительными – загрузка канала, безопасность. Маршрутизаторы обмениваются сообщениями только при изменении топологии сети. OSPF быстрее, чем RIP, перестраивает маршрутную таблицу.

К основным преимуществам OSPF относятся:

- применение групповой передачи коротких сообщений при изменении топологии сети, что снижает непроизводительную загрузку сети;
- поддержка распределения информации по параллельным каналам в зависимости от их пропускной способности, что улучшает работу сети в целом.

Протоколы IGRP и EIGRP. Эти протоколы разработаны фирмой Cisco Systems и используются для внутренней маршрутизации [35].

IGRP использует алгоритм «вектор-расстояние», имеет значительно лучшие характеристики, чем протокол RIP, в частности:

- надежно работает в сетях сложной топологии;
- обладает лучшей, чем RIP, сходимостью;
- значительно снижает объем передачи служебной информации;
- распределяет информацию между каналами с одинаковыми метриками.

В метрику протокола входят такие параметры канала: пропускная способность, задержка, нагрузка, надежность. Эти параметры могут меняться в широких пределах. Например, пропускная способность может изменяться от 1200 бит/с до 10 Гбит/с.

EIGRP – это протокол, который объединяет все преимущества алгоритмов вектор-расстояние и состояния каналов. Протокол реализован на базе алгоритма распределенного обновления – (Distributed Update Algorithm, DUAL), который позволяет маршрутизатору быстро возобновлять работу после изменения сетевой топологии. Протокол имеет:

- возможность находить соседа;
- алгоритм DUAL;
- усовершенствованный механизм инкапсуляции сообщений в IP.

В первую очередь маршрутизатор определяет достижимость своего «соседа» – маршрутизатора, который напрямую взаимодействует с ним. Для этого он периодически посылает пакет Hello. Затем алгоритм DUAL по полученной от «соседей» информации о маршрутах определяет оптимальный маршрут передачи нагрузки, который не является частью петли маршрутизации.

Протоколы EGP и BGP принадлежат к протоколам внешней маршрутизации сети Интернет. С помощью EGP взаимодействуют выделенные маршрутизаторы разных автономных систем, которые собирают информацию о системе с помощью внутренних протоколов маршрутизации.

К недостаткам EGP можно отнести следующее: не используется метрика, т.е. не выполняется интеллектуальная маршрутизация; не отслеживается появление петель маршрутов; служебные сообщения имеют большой размер.

В последнее время вместо EGP используют более совершенный протокол BGP, который, в свою очередь, для передачи служебных сообщений использует протокол TCP. Это повышает надежность при взаимодействии между автономными системами, поскольку TCP гарантирует доставку маршрутной информации. BGP полностью исключает недостатки протокола EGP. В качестве метрики используется скорость передачи в канале, его надежность и т.п. На сегодня BGP (3 версия) – это основной протокол сети Интернет, который определяет маршруты к удаленным автономным системам.

6.6. Технология Frame Relay

6.6.1. Архитектура и логические характеристики сети

Особенности технологии. В последние годы в связи с использованием новых услуг резко возросли потребности в объемах и скоростях передачи данных. Применение технологии X.25 (сеть с коммутацией пакетов), которая начала развиваться в 70-х годах в период широкого использования ненадежных аналоговых каналов, не позволяет решить эту задачу, так как:

- для обеспечения надежности и безошибочной передачи данных предусмотрены процедуры исправления ошибок (за счет повторной передачи) на каждом промежуточном узле коммутации и маршрутизации в случае сбоев в сети. Это приводит к задержкам передачи пакетов и, как следствие, к уменьшению пропускной способности;
- данная технология низкоскоростная (диапазон от 2,4 до 64 кбит/с).

Поэтому X.25 нельзя применять для поддержки работы прикладных процессов, которые работают в реальном времени, и для передачи аудио- и видеоинформации.

Технология ретрансляции кадров (Frame Relay, FR) основана на цифровой сети передачи данных с коммутацией пакетов. Ее можно рассматривать как упрощенный вариант реали-

зации сети X.25 для надежных цифровых каналов с большой скоростью передачи данных. Важная особенность сети заключается в том, что поиск и коррекцию ошибок выполняют оконечные узлы. В технологии FR используется сквозная коммутация, т.е. кадр направляется к следующему узлу сразу после прочтения адресной информации. Если обнаруживается ошибка, то маршрутизаторы FR уничтожают кадры. Их восстанавливает оборудование конечных пользователей, поддерживающее работу протоколов верхних уровней модели OSI. Это значительно сокращает время обработки пакета в промежуточных узлах, что повышает пропускную способность сети, обеспечивая при этом высокую экономичность и эффективность передачи данных [34].

Сеть FR обеспечивает простую, ориентированную на соединение транспортную службу передачи данных. К преимуществам технологии следует отнести:

- простой формат кадра, имеющий минимум управляющей информации;
- независимость от протоколов верхних уровней модели OSI;
- малое время задержки при передаче кадра, что позволяет кроме передачи данных организовать передачу аудио- и видеoinформации, т.е. реализовать сеть с интеграцией услуг.

Исследованиями технологии и разработкой стандартов FR занимаются три организации:

- Frame Relay Forum (FRF);
- ANSI – Американский национальный институт стандартов, который разработал стандарты T1.602, T1.606, T1.607-1990, T1S1/91-695, T1.617, T1.618;
- ITU-T – Международный союз электросвязи, который разработал Рекомендации I.122, I.233, I.370, I.555, Q.902, Q.922, Q.931, Q.933, Q.2931.

Наиболее мощной организацией является FRF, куда входят свыше 300 фирм (Motorola, 3Com, Cisco, Newbridge Network и др.), которые разрабатывают и производят сетевое оборудование.

Протокольная модель. Протоколы FR охватывают два нижних уровня эталонной модели OSI – физический и канальный.

На физическом уровне FR поддерживает интерфейсы по стандартам как ITU, так и ANSI: V.24, V.35, X.21, интерфейсы BRI и PRI сети ISDN, полные и дробные протоколы T1/E1, SDH, т.е. на физическом уровне фактически реализуются аспекты подключения терминального оборудования данных (Data Terminal Equipment, DTE) к аппаратуре передачи данных (Data Communication Equipment, DCE).

На канальном уровне для управления передачей используется протокол LAPF, описанный в Рекомендации ITU Q.922. LAPF является бит-ориентированным синхронным протоколом и использует кадр как информационный элемент. С одной стороны, он очень похож на протокол HDLC (High Level Data Link Control), но много элементов кадра HDLC исключены из основного формата FR. С другой стороны, он очень похож на протокол LAPD (Link Access Protocol for D-channel) – протокол доступа к каналу D, используемый в сети ISDN.

Основное отличие протокола FR от HDLC состоит в том, что он не предусматривает передачу управляющих сообщений (нет командных или супервизорных кадров, как в HDLC). Для передачи служебной информации используется специально выделенный канал сигнализации. Другое важное отличие – отсутствие нумерации последовательно переданных (принятых) кадров из-за того, что протокол FR не имеет механизмов подтверждения правильно принятых кадров.

Следует отметить, что базовая версия протокола FR реализует только часть функций канального уровня, которые включают проверку кадра на правильность и отсутствие в нем ошибок, но исключают требования повторной передачи в случае выявления ошибок. Такие

протокольные функции, как порядковая нумерация, поворот окна, подтверждение и управляющие кадры, в сети FR не используются. В то же время протоколы FR поддерживают функции сетевого уровня, такие как маршрутизация, управление логическим каналом, которые позволяют устанавливать соединение через сеть.

Формат кадра. Рассмотрим логические характеристики протокола FR, т.е. назначение полей кадра. Формат кадра LAPF показан на рис. 6.28,а.

Флаг – комбинация 01111110 (1 байт) в начале и в конце любого кадра FR.

Заголовок. В стандарте FRF имеет размер 2 байта. Рекомендации ITU и ANSI предусматривают расширение заголовка до 4 байт.

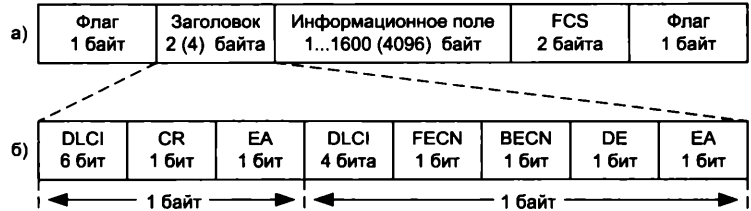


Рис. 6.28. Формат кадра LAPF:
а – кадр; б – заголовок кадра стандарта FRF

Информационное поле содержит данные пользователя и состоит из целого числа байт. Его максимальный размер определен стандартом FRF и составляет 1600 байт (минимальный размер – 1 байт). Рекомендации ITU предусматривают максимальный размер данного поля 4096 байт.

FCS (Frame Check Sequence) – проверочная последовательность кадра используется для выявления возможных ошибок при его передаче (2 байта).

Формат заголовка кадра стандарта FRF включает следующие поля:

DLCI (Data Link Connection Identifier) – идентификатор канала передачи данных. Два поля DLCI суммарной длиной 10 бит (6 бит первого байта и 4 бита второго) определяют адрес абонента в сети FR.

CR (Command Response) – команда/отклик – 1 бит, зарезервированный для применения на более высоком уровне OSI.

EA (Extended Address) – 1 бит расширения адреса (заголовка). Позволяет расширять заголовок кадра (поле DLCI) на целое число байт с целью увеличения количества адресов. Стандарты FRF рекомендуют использовать для заголовка – 2 байта, в этом случае EA первого байта равняется 0, а второго – 1.

FECN (Forward Explicit Congestion Notification) – 1 бит, уведомление приемника о явной перегрузке. Устанавливается в 1 для уведомления получателя о том, что есть перегрузка в направлении передачи данного кадра (рис. 6.29). Бит FECN устанавливается аппаратурой передачи данных (АПД).

BECN (Backward Explicit Congestion Notification) – 1 бит, уведомление источника о явной перегрузке. Устанавливается в 1 для сообщения источнику о том, что есть перегрузка в обратном направлении передачи (рис. 6.29). Бит BECN устанавливается АПД.

DE (Discard Eligibility) – бит разрешения сброса. Ус-

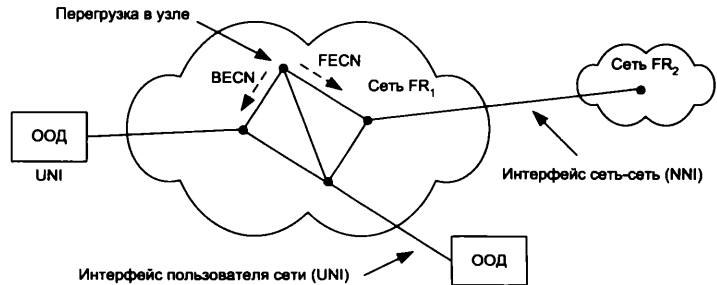


Рис. 6.29. Установка битов уведомления FECN и BECN при перегрузке в узле сети

танавливается в 1 при явной перегрузке и указывает, что данный кадр может быть уничтожен в первую очередь. Бит DE устанавливает АПД или окончное оборудование данных (ООД), т.е. пользователю предоставлено право выбирать, какими кадрами он может пренебречь. Однако при перегрузках возможны случаи, когда узлы сети FR уничтожают кадры не только с битом DE равным 1.

6.6.2. Процедурные характеристики сети FR

Процедурные характеристики – это правила выполнения действий, предложенных протоколом. Для протокола LAPF этот перечень правил очень простой в сравнении с протоколом HDLC.

Адресация и установление соединения. Протокол FR ориентирован на установление соединения. Прежде чем узлы начнут обмен информацией, необходимо установить виртуальное соединение.

Каждое постоянное виртуальное соединение (Permanent Virtual Channel, PVC) или коммутированное виртуальное соединение (Switched Virtual Channel, SVC) идентифицируется с помощью идентификатора канала передачи данных DLCI. Назначенные адреса DLCI имеют ограниченное действие, которое носит локальный характер, т.е. используется для идентификации логических каналов между пользователями и сетью, вследствие чего разные устройства могут повторно использовать один и тот же DLCI. Стандарты ANSI, ITU-T распределяют десятибитные адреса DLCI между пользователями и сетью в следующей последовательности:

0 – адрес, используемый для канала локального управления (Local Management Interface, LMI), который реализует сетевой интерфейс пользователя (User Network Interface, UNI);

1–15 – зарезервированные адреса для дальнейшего применения;

16–991 – используются абонентами для нумерации PVC и SVC;

992–1007 – адреса, используемые сетевой транспортной службой для внутрисетевых соединений;

1008–1022 – адреса, зарезервированные для дальнейшего применения;

1023 – адрес, используемый для управления канальным уровнем.

Таким образом, в любом интерфейсе FR для конечного оборудования пользователя выделяется только 976 адресов DLCI.

Постоянное виртуальное соединение PVC устанавливается оператором на этапе конфигурирования оборудования. Для каждого канала PVC оператор в маршрутных таблицах определяет:

- направление (маршрут);
- значение согласованной (гарантированной) скорости передачи (Committed Information Rate, CIR);
- класс обслуживания.

С помощью интерфейса UNI организуется один или несколько PVC. Каждый PVC обеспечивает логическое соединение с конкретным удаленным портом Frame Relay. С точки зрения пользователя PVC аналогичен отдельной выделенной линии. В каждом физическом канале может быть организовано несколько PVC, которые конфигурируются таким образом, чтобы обеспечить определенный уровень производительности и качества обслуживания. PVC двунаправлены, и в любом направлении могут быть заданы разные значения параметров.

PVC в данное время применяется довольно часто вследствие:

- простой организации канала и его оплаты;
- отсутствия оборудования тарификации;

- возможности реализации на PVC закрытых групп пользователей и создания независимых наложенных, так называемых частных виртуальных сетей (Private Virtual Network, PVN), используемых для организации работы приложений (например, дистанционного обучения, аудио-видеоконференций).

Коммутированный виртуальный канал (SVC) устанавливается динамически и обеспечивает по запросу абонента требуемое обслуживание сети. Маршрутизаторы сети FR имеют возможность изменять соответствующие записи в маршрутных таблицах после запроса на установление и разъединение коммутированного соединения.

Форум FR разработал технические требования к SVC (Соглашение о реализации FRF.4), в основу которых положена Рекомендация ITU Q.2931 (Соглашение об установке и разъединении соединения). В соответствии с FRF.4 процедура установки канала SVC происходит в три этапа: соединение, обмен информацией, разъединение. Кроме того, в сети FR предусмотрено еще две системы нумерации в соответствии с Рекомендациями ITU E.164 или X.121.

IETF разработала протокол NHRP (Next Hop Resolution Protocol – протокол разрешения адреса очередного переопределения). Этот протокол автоматически перераспределяет адреса при преобразовании, например, IP адреса в SVC адрес. NHRP выполняет динамическое преобразование адресов при изменении конфигурации сети. При отсутствии протокола NHRP адрес SVC, соответствующий IP адресу, пришлось бы вводить вручную.

Для определения адресов, которые отвечают разным системам передачи данных, протокол NHRP использует серверы преобразования адресов. Эти серверы выполняют преобразование на основе хранящейся в них информации. Информация на сервере поддерживается, как правило, администратором. Кроме адресов на сервере хранится информация о приоритетах, классах обслуживания и политике безопасности для данного соединения.

Процедура обработки кадра. В сети FR кадр, полученный узлом без искажений, направляется далее по соответствующему маршруту, а поврежденные кадры уничтожаются. Поврежденным считается кадр, у которого:

- нет корректного ограничения флагами;
- между флагами менее пяти октетов;
- нет целого числа октетов;
- содержится несуществующий идентификатор DLCI;
- превышен максимальный размер кадра;
- есть ошибка в проверочной последовательности (FCS).

Управление нагрузкой. В сети FR действует механизм сообщения о возникновении перегрузок и ликвидации перегрузок. Он реализуется с помощью битов FECN и BECN в заголовке кадра LAPF (см. рис. 6.29). Если узел сети FR обнаруживает, что его входные буфера начинают переполняться, то узлу (источнику нагрузки) передается кадр с установленным битом BECN, чтобы приостановить поступление данных к узлу.

В прямом направлении к следующему узлу также может быть передан кадр с установленным битом FECN, чтобы предотвратить возникновение проблемы с нагрузкой. Сообщение FECN может быть передано протоколам высших уровней (например, транспортному), который также может или снизить интенсивность подтверждений данных, или уменьшить размер окна приема, или задействовать другие механизмы ограничения потока. Описанные процедуры называют *механизмом прямого (explicit) управления нагрузкой*.

Существует также другой механизм управления перегрузками в сети FR. Он предложен ANSI и описан в стандарте T1.618. Его называют *скоординированным управлением канальным уровнем* – (Consolidated Link Layer Management, CLIM). В этом случае по зарезервированному на интерфейсе PVC узел передает специальные сообщения о перегрузке другим уз-

лам. Следует отметить, что в стандартах ANSI и для CLIM, и для LMI используется один и тот же номер DLCI, равный 1023, т.е. они не могут работать одновременно.

Устройства доступа к сети и узловое оборудование FR реализуют *метод временно́го статистического мультиплексирования кадров* (Statistic Time Division Multiplexing, STDM), позволяющий значительно повысить пропускную способность физических линий и каналов связи, а также исключить перегрузки в узлах сети FR. Этот метод использовался и в сети X.25. Его аппаратная реализация предполагает:

- постоянное наблюдение за потоком заявок от пользователей на передачу данных и контроль загрузки сети (линий, физических и виртуальных каналов, узлов);
- перераспределение свободных и высвобождающихся ресурсов, в том числе перераспределение пропускной способности виртуальных каналов в соответствии с реальными потребностями пользователей, т.е. в конечном итоге предоставление пользователям таких виртуальных каналов, которые удовлетворяют их требованиям.

Метод STDM обеспечивает синхронный ввод данных в высокоскоростной канал связи на основе соглашения между абонентом и администрацией сети. При этом оговаривается следующее:

- максимальный размер поля данных в кадре FR (в байтах);
- пропускная способность порта, с помощью которого абонент подключается к сети FR;
- CIR – гарантированная скорость передачи данных, при которой обеспечивается необходимое качество доставки;
- BC (Committed Burst Size) – согласованный объем передаваемой информации при обеспечении необходимого качества передачи;
- BE (Excess Burst Size) – избыточный объем передаваемой информации, при котором качество передачи может снижаться.

Соглашение реализуется в такой последовательности:

1. Абонент выбирает и оплачивает пропускную способность порта и гарантированную скорость передачи данных, например, для PVC.

2. Узел доступа к сети FR измеряет реальную потребность абонента в ресурсе пропускной способности канала связи.

3. Если этот ресурс, выраженный реальной скоростью передачи информации, не превышает CIR, то кадры передаются без изменений. Если реальная скорость превышает CIR, но соответствует пропускной способности порта, то бит DE устанавливается в 1, что дает возможность уничтожать эти кадры при возникновении перегрузок. Наконец, если превышена пропускная способность порта, кадры уничтожаются независимо от любых условий.

Следует отметить, что в соглашение входят три основных параметра (CIR, BC, BE), которые определяют механизм регулирования потока данных в сети FR.

Параметр CIR задает максимальную согласованную (или минимальную гарантированную) скорость передачи по PVC, которая обычно меньше физической скорости подключения пользователя к порту сети FR. CIR измеряется в бит/с и вычисляется относительно информационной части кадра Frame Relay (служебные поля кадра не учитываются). Обычно CIR задается в соответствии со средним коэффициентом загрузки канала. Сумма значений CIR по всем PVC для каждого физического порта не должна превышать общей пропускной способности порта.

Параметр BC определяет максимальный (гарантированный) объем информации в битах, которую пользователь может передать по данному PVC на протяжении некоторого ограниченного периода времени. При подключении к сети пользователь обычно получает действующие для PVC значения CIR и BC. Для пользователя это значит, что он может или переда-

вать информацию с постоянной скоростью, которая равняется CIR, или с большей скоростью, но на протяжении ограниченного времени, определяемого формулой BC/CIR .

Параметр BE позволяет задавать дополнительный объем данных, который может быть передан по PVC.

Назначение CIR и BC представляет собой *механизм косвенного (implicit) управления нагрузкой* и позволяет обеспечить передачу данных пользователя в границах заказанной им пропускной способности.

Качество обслуживания (Quality of Service, QoS). Поскольку сеть FR является мульти-сервисной, то качество передачи данных интерактивных и мультимедийных приложений зависит от параметров, характеризующих работу каждого прикладного процесса (услуги).

Гарантированное качество обслуживания приложения в целом зависит и определяется тремя основными параметрами: пропускной способностью, задержкой, надежностью. Например, обеспечение QoS предусматривает, что задержка, связанная с буферизацией и обработкой пакетов, не должна превышать некоторых максимальных значений. При этом сеть обязуется соблюдать ограничение по задержке и минимизировать потери пакетов, если приложение выдерживает объявленные параметры генерируемой им нагрузки. Поддержка необходимого (гарантированного) уровня обслуживания (класса обслуживания) является предметом соглашения между пользователем и сетью.

Следует отметить, что термины «гарантированное качество обслуживания» и «класс обслуживания» – взаимозависимы. Класс обслуживания всего лишь дифференцирует QoS в зависимости от тех или иных параметров передачи. К ним в случае сети FR следует отнести:

- среднюю CIR и максимальную скорости передачи (скорость порта);
- коэффициент доставки данных (отношение количества кадров, доставленных по назначению, к количеству переданных кадров);
- доступность сети (отношение суммарного времени готовности каналов PVC (SVC) передавать данные к продолжительности периода измерения);
- задержку передачи по PVC (SVC) и приоритет обслуживания прикладного процесса.

Производители оборудования FR различают и реализуют следующие классы обслуживания:

- rt VBR (real time Variable Bit Rate) – переменная скорость передачи кадров в реальном времени;
- nrt VBR (non-real time VBR) – переменная скорость передачи кадров не в реальном времени;
- ABR (Available Bit Rate) – доступная скорость передачи, т.е. обеспечиваемая минимальная скорость передачи данных, которую можно превышать при наличии свободной пропускной способности;
- UBR (Unspecified Bit Rate) – неопределенная скорость передачи, при которой качество обслуживания не гарантируется (она реализуется, например, заданием нулевых значений CIR).

В табл. 6.4 приведены некоторые параметры QoS, определяющие классы обслуживания сети FR, и примеры приложений, для которых они рекомендуются. Следует отметить, что в технологии ATM также существуют аналогичные классы обслуживания, что говорит о взаимосвязи данных технологий.

Подводя итог, укажем на следующие главные достоинства технологии FR:

1. Оптимизация функций, поддерживаемых протоколом LAPF и реализованных на втором уровне модели OSI, позволила значительно увеличить общую пропускную способность сети. Сеть FR традиционно обеспечивает скорость передачи до 2 Мбит/с, но уже существуют

Таблица 6.4. Классы обслуживания сетевых приложений

Класс обслуживания	Согласованная пропускная способность	Задержка	Потеря кадров	Возможные приложения
rt VBR	Да	Малая	Малая	Пакетная передача голосовой и видеoinформации
nrt VBR	Да	Большая	Малая	Обмен между ЛВС
ABR	Некоторый минимальный уровень	Не определена	Не определена	Электронная почта
UBR	Не определена	Не определена	Не определена	Электронная почта

рекомендации ITU (например, G.703) по использованию интерфейса E3 для скорости 34,4 Мбит/с, и ряд производителей оборудования FR реализовали эту скорость.

2. Применение временного статистического мультиплексирования позволяет в несколько раз повысить эффективность использования каналов связи. Наличие развитой системы интерфейсов дает возможность подключать к сети разные типы оборудования и осуществлять взаимодействие с сетями ISDN, X.25 и ATM.

3. Благодаря поддержке гарантированного качества обслуживания сеть FR имеет возможность передавать не только данные, но и осуществлять передачу речи, организовывать аудио- и видеоконференции, реализовывать другие широкополосные услуги, что позволяет использовать технологию FR для построения мультисервисных сетей.

Необходимо, однако, иметь в виду, что все преимущества технологии FR проявляются только при использовании высококачественных цифровых каналов.

6.7. Технология ATM и широкополосная ISDN

6.7.1. Принцип асинхронного переноса информации

Асинхронный режим переноса (передачи) ATM заключается в транспортировании всех видов информации в пакетах фиксированной длины (ячейках – cell) с асинхронным мультиплексированием потоков ячеек от разных пользователей в общем скоростном цифровом тракте (рис. 6.30). Ячейка содержит 5 октетов заголовка и 48 – информационного поля. Основные преимущества ATM – возможность транспортирования любой информации независимо от пиковости нагрузки и требований к скорости передачи, к семантической и временной прозрачности сети. Благодаря относительно коротким ячейкам, минимизации функций коммутации и современным технологиям достигнутая производительность коммутаторов ATM уже составляет свыше 100 Гбит/с. Поэтому МСЭ выбрал ATM для транспортирования информации в B-ISDN.

Режим ATM определяется протоколами уровней выше физического, поэтому может поддерживаться любыми ЦСП. В отличие от иных режимов переноса информации, ATM обеспечивает независимость от конкретных информационных служб, адаптацию к источкам нагрузки с переменной скоростью передачи, эффективное использование ресурсов сети, гибкость¹ и, как следствие, возможность создания единой универсальной транспортной сети для всех существующих и будущих информационных служб.

¹ Источники могут генерировать информацию с разными скоростями, поэтому можно постоянно улучшать методы ее кодирования и сжатия и вводить новые службы с еще неизвестными характеристиками.

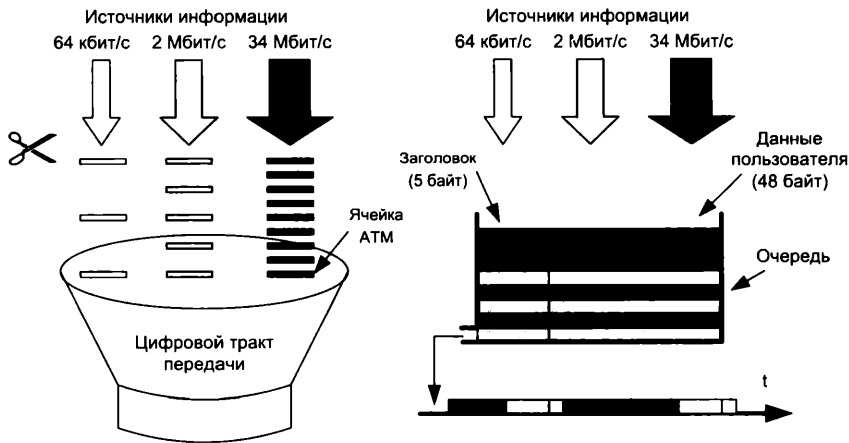


Рис. 6.30. Принцип асинхронного режима переноса информации

Режим ATM имеет следующие особенности:

- *Отсутствие на уровне звена передачи защиты от ошибок и управления потоком данных для защиты от перегрузок.* Это вызвано высоким качеством цифровых трактов передачи, имеющих пренебрежимо малые вероятности битовых ошибок и достаточные пропускные способности.
- *Ориентация на соединение.* Перед передачей информации в сети ATM устанавливается виртуальное соединение. В течении его установления проверяется достаточность ресурсов для качественного обслуживания этого и ранее установленных виртуальных соединений (контролируются потери ячеек вследствие переполнения буферов коммутаторов ATM). Если ресурсов недостаточно, то в соединении будет отказано.
- *Ограниченные функции заголовка ячейки ATM.* Это сделано для ускорения его обработки и сокращения задержек ячеек в узлах коммутации ATM. Заголовок обеспечивает только идентификацию виртуального соединения, маршрутизацию ячеек и позволяет мультиплексировать разные виртуальные соединения в общем тракте. Ошибка в заголовке может вызвать потерю ячейки или ее доставку не по назначению, поэтому заголовок, в отличие от информационного поля, защищают от ошибок.
- *Относительно короткое информационное поле ячейки.* Это сделано для уменьшения объема буферов и длительностей задержек ячеек в узлах коммутации, что особо важно для служб, функционирующих в реальном времени.

В идеале внедрение ATM могло бы привести к существованию только одной сети с однотипным оборудованием, выполняющим быструю коммутацию пакетов и асинхронное временное разделение ресурсов передачи, что резко сократило бы расходы на ее проектирование, построение и техэксплуатацию. Пока, однако, еще не полностью решены проблемы адаптации сети ATM к требованиям разных служб к временной и семантической прозрачности.

6.7.2. Службы B-ISDN

Общая характеристика служб. Согласно с Рек. I.211, все службы разделяют на интерактивные (диалоговые службы, обмен сообщениями с накоплением, информационный поиск по запросу) и распределительные (с индивидуальным управлением со стороны пользователя или без).

Диалоговые службы предоставляют услуги информационного обмена в реальном времени между пользователями или между пользователем и компьютером. Поток информации может быть симметричным или несимметричным.

Службы обмена сообщениями с накоплением предназначены для опосредствованной связи между пользователями с промежуточным сохранением сообщений в центральных устройствах, которые автоматически направляют их адресату соответственно с заданными пользователем условиями (например, во время действия выгодных тарифов). Сообщения могут сохраняться также в электронных почтовых ящиках или в системах обработки сообщений (обеспечивающих их редактирование, обработку и преобразование).

Службы информационного поиска по запросу позволяют пользователю получать информацию из разных банков данных, созданных оператором связи в сетевых узлах или поставщиками информации в специальных центрах.

Распределительные службы передают информацию центрального источника неограниченному числу абонентов, имеющих право приема. Службы без индивидуального управления предоставлением информации со стороны пользователя передают непрерывный поток сообщений, который пользователь может принимать или не принимать, но не может влиять на его содержание и на время передачи (это службы программ звукового и телевидения). Распределительные службы с индивидуальным управлением со стороны пользователя обеспечивают ему получение именно нужной информации и в удобное время.

Внедрение В-ISDN и технологии АТМ возможно, если удовлетворяет запросы потенциальных пользователей. Зарубежные экспертные оценки потребностей в некоторых широкополосных услугах приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5. Экспертная оценка потребностей в услугах В-ISDN

Виды услуг	Спрос пользователей	
	делового сектора	квартирного сектора
Диалоговые:		
видеотелефония	значительный	значительный
видеоконференцсвязь	средний	—
видеонаблюдение	средний	малый
скоростная передача документов (изображений)	средний	малый
скоростная передача данных	значительный	—
дистанционное обучение	средний	малый
работа на дому	—	средний
Информационный поиск:		
поиск видеофильмов	малый	значительный
поиск документов и изображений	средний	—
поиск пакетов программ	средний	—
поиск компьютерных игр	—	средний
Распределительные:		
телевидение	малый	значительный
электронные доски объявлений и т.п.	малый	значительный
<p>Потенциальный квартирный пользователь В-ISDN может иметь потребности в получении по своему выбору разной информации (видео, звук, текст) о культурных событиях, новостях; выборе и заказе товаров и услуг, в частности, компьютерных игр, видеофильмов, обучающих программ, услуг телемедицины. Видеотелефония В-ISDN по качеству изображения не уступает КТВ и в развитых странах может стать доступной многим квартирным абонентам.</p> <p>Деловые абоненты В-ISDN требуют в первую очередь быстрого и приемлемого по цене обмена данными и иной информацией между рабочими местами разных локальных сетей.</p>		

На начальном этапе развития В-ISDN реальный перечень служб ограничен из-за недостаточного развертывания сетей доступа и транспортной сети АТМ и отсутствия достаточной номенклатуры приемлемого по цене окончательного оборудования. С развитием инфраструктуры В-ISDN и соответствующим возрастанием спроса будет расширяться и номенклатура служб. На начальном этапе оборудование АТМ будет преимущественно основой транспортной системы сети Интернет и основой объединения в национальные и глобальные сети отдельных сетей передачи данных. Кроме этого, на начальном этапе оно должно эмулировать и предоставлять в аренду пользователям цифровые каналы с постоянной скоростью: Е1 (2,048 Мбит/с), Е2 (8,448 Мбит/с), Е3 (34,368 Мбит/с).

6.7.3. Параметры нагрузки В-ISDN

Для В-ISDN типичны широкий диапазон скоростей передачи (от сотен бит/с до сотен Мбит/с) и нестационарные информационные потоки, что усложняет описание нагрузки в сравнении с телефонными сетями. Каждая служба В-ISDN характеризуется скоростью, с которой источник (абонент) генерирует информацию и которая зависит от достигнутого уровня технологии обработки сигналов (способов кодирования и сжатия).

Генерирование информации источником в общем случае занимает определенный отрезок времени T (сеанс связи) и является стохастическим процессом с переменной битовой скоростью $B(t)$. Этот процесс для источника k -й службы характеризуется максимальной (пиковой) и средней скоростями передачи, соотношением между ними, т.е. коэффициентом пачкования (burstness) $k_b^{(k)} = B_p^{(k)}/B_m^{(k)}$ и средней длительностью пика нагрузки $T_p^{(k)}$. Пачкование для речевых служб вызвано, главным образом, наличием в разговоре периодов активности и пауз ($\approx 50\%$ времени). Переменную скорость источника можно преобразовать в постоянную скорость передачи добавлением фиктивной информации, что ухудшает использование пропускной способности канала, или ограничением пиковой скорости, что уменьшает качество обслуживания.

Службы В-ISDN разделяются на две категории: с постоянной и с переменной скоростью передачи, последние, в свою очередь, – на службы стартстопного и непрерывного типов. Стартстопные характеризуются наличием периодов активности и пауз (например, информационно-поисковые системы) и скачкоподобными изменениями скорости от нуля до $B_p^{(k)}$. Для служб непрерывного типа скорость на протяжении сеанса связи изменяется плавно (например, цифровая видеотелефония со статистическим кодированием). Для служб с постоянной скоростью она соответствует пиковой $B_p^{(k)}$ (например, цифровая телефония без статистического уплотнения).

При распределении сетевых ресурсов между разными службами их абоненты характеризуется обычными параметрами нагрузки (удельной нагрузкой, интенсивностью потока заявок, средней длительностью сеанса) и параметрами $B_p^{(k)}$, $B_m^{(k)}$, $k_b^{(k)}$, специфичными для АТМ (Рек. I.311). Оценки средней нагрузки некоторых служб В-ISDN по европейским данным приведены в табл. 6.6.

6.7.4. Требования служб В-ISDN к семантической и временной прозрачности сети АТМ

Функционирование сети АТМ можно характеризовать передаточной функцией, определяющей отличие выходного сигнала сети от входного из-за задержек и ошибок. Допустимое отличие зависит от службы, например, для служб с постоянной скоростью передачи колебания длительности задержки недопустимы, для однонаправленной передачи общая задержка не критична, но должна быть минимальной для интерактивных служб. В частности, для теле-

Таблица 6.6. Экспертные оценки параметров нагрузки интерактивных служб

Служба	Категории пользователей	V_p , бит/с	k_b	Длительность пика и сеанса связи		Создаваемая нагрузка в ЧНН, Эрл	Число вызовов в ЧНН
				T_p , с	T_{cs} , с		
Телефония	Квартирный	64 К	1	100	100	0,1	3,6
	Деловой	64 К	1	100	100	0,4	14,4
Цветной факс	Деловой	2 М	1	3	3	0,01	12,0
Передача файлов	Деловой	2 М	1	1	1	0,20	10,8
Видео-телефония	Квартирный	10 М	5	1	100	0,02	0,72
	Деловой	10 М	5	1	100	0,02	0,72
Поиск видео	Квартирный	10 М	54	10	540	0,03	0,2
	Деловой	10 М	18	10	180	0,10	2,0
Поиск документов	Квартирный	64 К	200	0,25	300	0,05	0,6
	Деловой	64 К	200	0,25	300	0,25	3,0
Данные по запросу	Деловой	64 К	200	0,04	30	0,20	24,0

По экспертным оценкам разным службам нужны следующие скорости передачи: цветное телевидение – 4–6 Мбит/с, телевидение высокой четкости – 16–24 Мбит/с, черно-белый факс – 1–4 Мбит/с, полутоновый или цветной факс – 30–60 Мбит/с, машинная графика с высоким разрешением – 20–100 Мбит/с, пересылка файлов – до 100 Мбит/с. Характеристики нагрузки показывают, что проектирование систем распределения ресурсов и динамического управления для В-ISDN – сложная задача. На сетях ATM ресурсы предоставляются новым соединениям, пока обеспечивается нормативное качество связи. Для удовлетворения требований к качеству сеть ATM должна иметь семантическую и временную прозрачность (приложение В).

фонии общая задержка, согласно с Рек. G.164, не должна превышать 25 мс, иначе потребуются эхоподавители. Но и с ними задержка должна быть меньше 400–500 мс, чтобы не возникло проблем ведения диалога. По разному для разных служб влияют и отдельные ошибки, потери и вставки пакетов. Европейские оценки предельно допустимых значений этих параметров приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7. Допустимые нормативы качества обслуживания для служб В-ISDN

Служба	P_{ber}	P_{plr}	P_{pir}	Задержка t_D , мс
Телефония	10^{-7}	10^{-3}	10^{-3}	25 (500)
Передача данных	10^{-7}	10^{-6}	10^{-6}	1000 (50)
Телевизионное вещание	10^{-6}	10^{-8}	10^{-8}	1000
Звуковой сигнал с высокой точностью воспроизведения	10^{-5}	10^{-7}	10^{-7}	1000
Управление обработкой в распределенных базах данных	10^{-5}	10^{-3}	10^{-3}	1000

Примечания:

- Для функционирования распределенных баз данных нужна задержка ≤ 50 мс.
- Если определенные показатели семантической или временной прозрачности сети не удовлетворяют требованиям конкретной службы, то в терминальных устройствах может предусматриваться дополнительная коррекция – исправление ошибок или устранение колебаний задержки ячеек ATM (это функции уровня адаптации ATM).

6.7.5. Классы служб

Согласование режима АТМ с разными службами выполняет уровень адаптации АТМ. Для минимизации числа его протоколов все службы дополнительно классифицируются по трем признакам: а) наличие временной зависимости между источником и адресатом; б) постоянная или переменная скорость передачи; в) режим соединения с установлением соединения или без. Определены четыре класса служб (Рек. I.362): А, В, С, D, указанные в табл. 6.8. Каждому соответствует своя модификация уровня адаптации АТМ.

Таблица 6.8. Классы служб В-ISDN

Признак службы	Класс А	Класс В	Класс С	Класс D
Временная зависимость между источником и адресатом	существует		не существует	
Скорость передачи	постоянная	переменная		
Режим соединения	ориентированный на соединение		без соединения	
<p>Примеры служб класса А – передача речевой или видеоинформации с постоянной скоростью или транспортирование цифровых каналов (трактов) Е1 и т.п. (эту услугу АТМ называют эмуляцией канала). Службы класса В отличаются от класса А переменной скоростью передачи. Это, например, службы передачи уплотненной видеоинформации, в частности с MPEG-кодированием, и звука. Службы класса С, в отличие от класса В, не требуют выдержки постоянных задержек доставки ячеек. Это, в основном службы передачи данных с установлением соединения (в частности, переноса больших файлов типа CAD или резервирования данных) и сигнализация. Класс D отличается от класса С тем, что предусматривает передачу данных без установления соединения (в основном кратковременных внезапных блоков данных от локальных компьютерных сетей).</p>				

6.7.6. Особенности сетей с услугами В-ISDN

Особенности построения. Сеть В-ISDN является дальнейшим развитием N-ISDN. Ее главная особенность в том, что цифровые станции должны иметь широкополосные блоки абонентского доступа на базе быстрой коммутации пакетов и АТМ, а также доступ к скоростной транспортной сети АТМ. Это позволяет интегрировать в скоростной (до 622 Мбит/с) абонентской линии (АЛ) все возможные услуги – от телефонии и скоростного доступа к Интернету до передачи видеофильмов. На сети В-ISDN обязательно создаются специализированные центры предоставления широкополосных услуг.

Эти возможности частично реализованы в разных системах, в частности в ЦСК SI2000 пятого поколения. Ее интегрированный коммутатор АТМ обеспечивает скоростной доступ к Интернету, взаимодействие разных локальных компьютерных сетей и т.п. и отделяет для таких абонентов широкополосную нагрузку от телефонной. Он имеет порты для:

- медных симметричных ЦАЛ по технологии SDSL на скорость до 2048 кбит/с;
- симметричных линий со стыком V5.2 к оптическому линейному окончанию (Optical LT, OLT) сети абонентского доступа и к узкополосному ЦКП для передачи телефонной нагрузки;
- оптических линий стыка с ЦСП SDH для передачи ячеек АТМ на уровне STM1.

Конфигурации абонентского доступа. Основные из них, соответствующие Рек. I.414, даны на рис. 6.31. Стандартные широкополосные терминалы (Broadband TE, В-ТЕ1) включаются в интерфейсы UNI пользователь-сеть – эталонные стыки S_B широкополосных сетевых окончаний (Broadband NT, В-NT). Нестандартные узкополосные TE2 и широкополосные В-ТЕ2

терминалы включаются через дополнительные широкополосные терминальные адаптеры (Broadband Terminal Adapter, B-TA). Сетевое окончание B-NT состоит из двух блоков, между которыми имеется стык T_B : B-NT1 с функциями окончания секции абонентского доступа (Section Termination, ST) и окончания тракта (Path Termination, PT) и B-NT2 с функциями подключения B-TE. В целом B-NT обеспечивает:

- адаптацию к разной среде передачи (коаксиальный или оптоволоконный кабель) и разной топологии доступа;
- выделение ячеек ATM (cell delineation);
- буферизацию ячеек;
- мультиплексирование и демultipлексирование;
- назначение ресурсов соединению (скорости передачи и т.п.);
- контроль использования ресурсов (параметров нагрузки);
- обработку протокола сигнализации DSS 2;
- коммутацию внутренних соединений;
- функции уровня адаптации для сигнализации при внутренних соединениях;
- функции техэксплуатации.

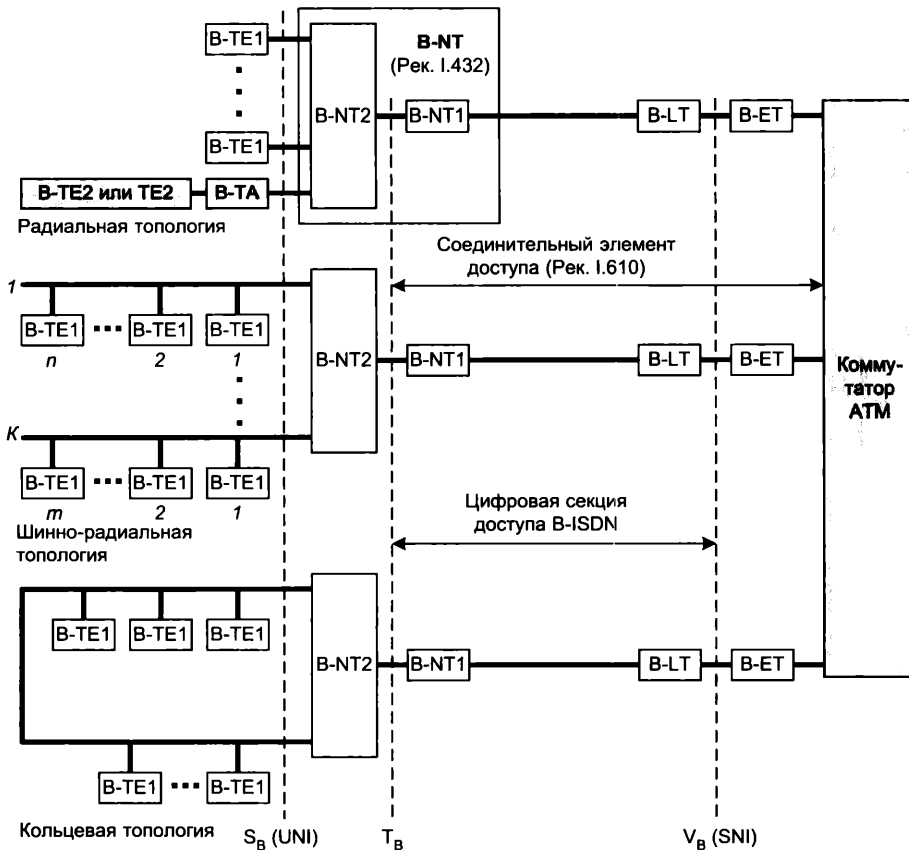
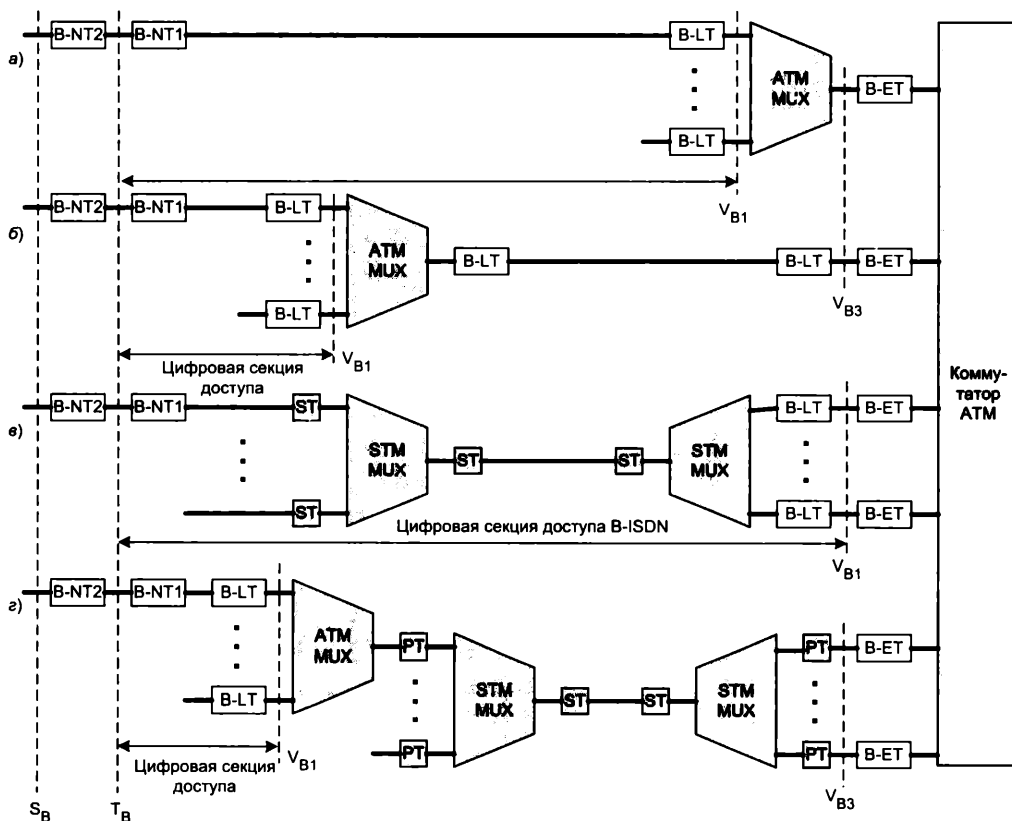


Рис. 6.31. Варианты топологии подключения терминалов

Частным случаем радиальной топологии является подключение одного В-ТЕ – тогда В-NT2 может отсутствовать. Аналогично частный случай шинно-радиальной топологии – одна шина, которая может включаться в стык T_B . Скорости передачи в стыках S_B/T_B – до 156,52 или 622,08 Мбит/с.

На стороне станции ЦАЛ В-ISDN включаются в широкополосные линейные окончания (Broadband LT, В-LT), имеющие функции окончания цифровой секции и тракта (ST-PT). Между В-LT и широкополосным станционным окончанием (Broadband ET, В-ET) стандартизованы эталонные стыки V_B , называемые интерфейсами узла услуг (Service Node Interface, SNI).

Допускается мультиплексирование цифровых потоков абонентского доступа как непосредственно ячеек АТМ (cell-based) (рис. 6.32,а,б), так и на основе систем передачи SDH (SDH-based) (рис. 6.32,в,г).



MUX – мультиплексор; ST (Section Termination) – секция окончания тракта передачи; PT (Path Termination) – окончание тракта передачи

Рис. 6.32. Варианты мультиплексирования цифровых потоков абонентского доступа

6.7.7. Протокольная модель В-ISDN

Архитектура эталонной модели протоколов В-ISDN. Общий вид эталонной модели протоколов В-ISDN на технологии АТМ дан на рис. 6.33. Модель имеет три плоскости:

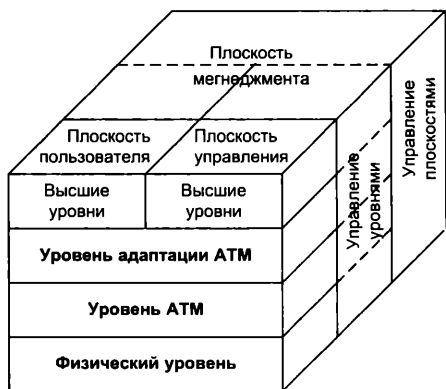


Рис. 6.33. Архитектура протокольной модели В-ISDN

пользователя (user plane, U-plane), управления (control plane, C-plane) и менеджмента (management plane, M-plane). *Плоскость пользователя* имеет уровневую структуру и обеспечивает транспортирование всех видов информации и механизмы защиты от ошибок, контроля и управления обменом, ограничения нагрузки и т. п. *Плоскость управления* также имеет уровневую структуру и определяет протоколы установления, контроля и разъединения соединений. Она обеспечивает все функции сигнализации (кроме метасигнализации). *Плоскость менеджмента* выполняет управление плоскостями и уровнями. Функции управления плоскостями не имеют уровневой структуры. Они координируют все протоколы и связывают В-ISDN в одно целое. Функции управления уровнями имеют уровневую

структуру и обеспечивают распределение сетевых ресурсов, согласование их с параметрами нагрузки, обработку данных эксплуатации, техобслуживания и управления сетью, включая процедуры метасигнализации.

Функции уровней протокольной модели В-ISDN определены Рек. I.321 и I.413. Детально определены только функции трех низших уровней. Их соответствие эталонной модели OSI иллюстрирует табл. 6.9.

Таблица 6.9. Уровни и подуровни В-ISDN и их соответствие уровням OSI

Подуровни (слои) В-ISDN	Уровни и подуровни В-ISDN		Уровни OSI
Ориентированный на службу подуровень конвергенции	Конвергенции	Адаптации АТМ	Канальный
Общая часть подуровня конвергенции			
Подуровень сегментации и сборки	Сегментации и сборки		
Слой (уровень) виртуального канала	АТМ		
Слой (уровень) виртуального тракта			
Слой цифрового тракта передачи	Конвергенции передачи	Физический	Физический
Слой мультиплексных секций			
Слой регенераторных секций	Зависимый от физической среды		

Функции физического уровня. Низший физический уровень определяет интерфейс между уровнем АТМ и физической средой.

Подуровень, зависимый от физической среды, определяет скорость потока бит через физическую среду и обеспечивает синхронизацию передачи и приема. Он выполняет линейное кодирование и, при необходимости, электронно-оптическое и оптоэлектронное преобразование сигналов. Физической средой обычно является одномодовое или многомодовое оптоволокно, но возможно использование и коаксиального или симметричного кабеля и радиоканалов.

Подуровень конвергенции передачи определяет порядок передачи ячеек АТМ в битовом потоке и исправляет ошибки их заголовков. При передаче он формирует поля коррекции ошибок заголовка (Header Error Control, HEC), генерирует кадр (цикл) системы передачи,

адаптирует поток ячеек к кадру (определяет их размещение в кадре, согласует скорости), а при приеме восстанавливает кадр, выделяет ячейки, выявляет и исправляет однократные ошибки заголовков.

Предусмотрены специальные методы упаковки ячеек в поля полезной нагрузки разнотипных кадров, так как возможно применение ЦСП SDH или PDH со свойственными им кадрами, и, к тому же, МСЭ предлагает для стыка «пользователь-сеть» кадр, эквивалентный ячейке (такие ЦСП называют ячейечными).

Скорость потока ячеек согласуется так (Рек. I.321): пока поток от уровня АТМ меньше пропускной способности ЦСП, подуровень конвергенции при передаче добавляет, а при приеме изымает пустые ячейки (*idle cells*). Форум АТМ, в отличие от МСЭ, предусматривает согласование скорости потока ячеек на уровне АТМ с помощью так называемых «неназначенных ячеек» (*unassigned cells*). В этом случае возможна несовместимость на физическом уровне систем АТМ с разными типами ячеек для согласования скорости.

Выделение ячеек (*cell delineation*) – это механизм восстановления границ ячеек при приеме (Рек. I.432). Для защиты этого механизма информационные поля ячеек перед передачей скремблируются.

Функции уровня АТМ. Характеристики уровня не зависят от физической среды передачи и типа передаваемой информации. На передающей стороне ячейки от разных пользователей мультиплексируются в общий поток, на приемной – разделяются на отдельные потоки, соответствующие идентификаторам виртуальных трактов (*Virtual Path Identifier, VPI*) и каналов (*Virtual Channel Identifier, VCI*). Коммутаторы АТМ преобразуют входные идентификаторы *VPI* и *VCI* в выходные и соответственно направляют потоки. Заголовки ячеек генерируются и удаляются только в оконечных пунктах уровня АТМ. На передаче к 48-октетному полю полезной нагрузки, поступающему от высшего уровня адаптации АТМ, добавляются пять октетов заголовка и образуется ячейка с незаполненным полем коррекции ошибок заголовка (его заполняет физический уровень). На приеме заголовок удаляется, а 48 октетов информационного поля передаются уровню адаптации АТМ. Общее управления потоком ячеек выполняется только в стыках пользователь-сеть для контроля нагрузки в сети доступа и защиты от перегрузок.

Функции уровня адаптации АТМ. Он согласовывает уровень АТМ с требованиями высших уровней. Разные модификации уровня, соответствующие классам служб В-ISDN (см. табл. 6.8), имеют в целом одинаковые функции, определенные Рек. I.362.

Подуровень сегментации и сборки на передаче разделяет протокольные блоки данных разных служб на сегменты, соответствующие длине информационного поля ячейки, а на приеме восстанавливает эти блоки данных из информационных полей ячеек, получаемых от уровня АТМ.

Подуровень конвергенции имеет модификации, обеспечивающие согласование конкретных служб с разными структурами блоков данных и требованиями к транспортированию сети АТМ с подуровнем сегментации и сборки.

6.7.8. Физический уровень АТМ

Принципы переноса ячеек АТМ в кадрах ЦСП. Для В-ISDN стандартизовано два основных интерфейса «пользователь-сеть» на технологии АТМ: симметричный, как правило, на скорости 155 Мбит/с, реализуемый по двум коаксиальным кабелям или одному или двум оптическим; симметричный или асимметричный 622 Мбит/с, реализуемый преимущественно на оптическом кабеле. Оба интерфейса могут использовать кадры SDH или ЦСП ячейечного типа. Стандартизованы также интерфейсы с меньшими скоростями, позволяющие использо-

вать существующие цифровые сети и сети доступа и относительно дешевое терминальное оборудование. Это интерфейсы: 100; 51,84 и 25 Мбит/с в стыках S_B, а также на основе PDH: 34 или 45 и 1,5 или 2 Мбит/с. Интерфейсы 1,5 или 2 Мбит/с могут использовать протокол HDLC и телефонную АЛ.

Согласно Рек. I.311 для В-ISDN предусмотрены ЦСП SDH на сетевом уровне и в интерфейсе пользователь-сеть. Кадры этих ЦСП (синхронные транспортные модули STM) передаются синхронно с периодичностью 125 мкс. Структура STM-1 и размещение ячеек ATM показаны на рис. 6.34. Так называемый административный блок (Administrative Unit, AU) содержит указатель блока (AU Pointer) и полезную нагрузку в виртуальном контейнере (Virtual Container, VC). Ячейки ATM транспортируются в контейнере 4-го порядка VC-4. Его служебные байты J1, ..., Z5 образуют заголовок тракта POH и нужны для контроля ошибок и технологических функций. Таким образом, в STM-1 перенос ячеек осуществляется со скоростью $9 \times 260 \times 8 / 125 \times 10^{-3} = 149,76$ Мбит/с.

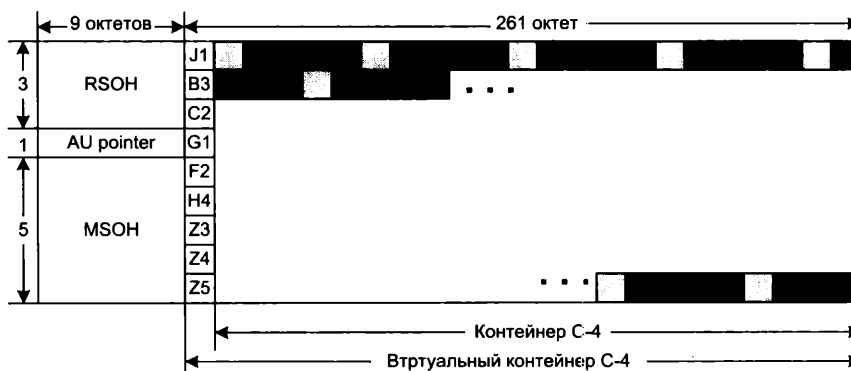


Рис. 6.34. Использование STM-1 для переноса ячеек ATM

Объем контейнера ($9 \times 260 = 2340$ байт) не кратен размеру ячейки (53 байта). Контейнер С-4 заполняется полностью, поэтому последняя ячейка может пересекать его границу с сохранением байтовой структуры. После заполнения С-4 к нему добавляется служебный заголовок тракта и образуется виртуальный контейнер VC-4, записываемый в STM-1. В принципе первый байт VC-4 может размещаться в любом месте STM-1, кроме первых 9 колонок, поэтому вводится указатель AU Pointer, указывающий место этого байта.

Способ образования модуля STM-4 из четырех STM-1 определяет Рек. G.708. Пропускная способность STM-4 для переноса ячеек – 599,04 Мбит/с.

При использовании ЦСП ячеечного типа после каждых 26 ячеек уровня ATM вставляется ячейка физического уровня со служебной информацией техэксплуатации, которая в ЦСП SDH переносится в заголовках RSOH, MSON и POH. Таким образом, из 27 ячеек полезную нагрузку переносят 26, что эквивалентно пропускной способности 149,76 Мбит/с для скорости 155,52 Мбит/с и 599,04 Мбит/с для скорости 622,08 Мбит/с, т. е. такой же, как и для соответственно STM-1 и STM-4.

Ячейки физического уровня выделяют особыми заголовками: в ячейках слоя регенераторных секций (F1) и объединенных слоев мультиплексных секций и тракта передачи (F3) они имеют нулевые октеты 1–3 и в четвертом октете 00000011 для F1 и 00001001 для F3.

Размещение ячеек в циклах ЦСП PDH определяет Рек. G.804. В трактах E1 байты ячеек размещаются в КИ 1–15 и 17–31. Разграничение ячеек обеспечивается с помощью поля кор-

рекции ошибок заголовка (HEC). При использовании трактов E3 (34,368 Мбит/с) их структура приспособляется к транспортированию ячеек ATM. Кадр содержит 530 байт полезной нагрузки и семь служебных. В нем помещается ровно 10 ячеек ATM, поэтому пропускная способность тракта E3 составляет 33,92 Мбит/с.

Принципы коррекции ошибок заголовка. Для улучшения семантической прозрачности сети ATM используется адаптивный механизм коррекции ошибок заголовка, основанный на циклическом коде. Поле HEC занимает пятый октет заголовка и позволяет исправлять все единичные и выявлять до 89 % множественных ошибок.

Передачик ячеек ATM рассчитывает поле HEC для первых четырех октетов заголовка так: находит остаток от деления по модулю 2 произведения x^8 и содержимого этих октетов на производящий полином x^8+x^2+x+1 и добавляет по модулю 2 комбинацию 01010101.

Приемник исходно работает в режиме коррекции ошибок. Если с помощью поля HEC найдена однобитовая ошибка, то она исправляется, если многобитовая, то ячейка сбрасывается. В обоих случаях приемник переходит в режим обнаружения ошибок, в котором следующая ячейка сбрасывается, если имеет любую ошибку заголовка. Если ошибки не найдены, приемник возвращается в режим коррекции. Такой алгоритм работы учитывает, что для оптических ЦСП характерно чередование однобитовых ошибок с относительно длинными пачками ошибок, поражающими и заголовок и информационное поле ячейки.

Принципы выделения ячеек. Для скоростных сетей ATM обычный механизм разделения пакетов флагами неоптимален. Возможно разграничение ячеек ATM: а) с помощью пустых ячеек, б) регулярной вставкой пустых ячеек и в) с помощью поля коррекции ошибок заголовка.

Во всех вариантах система синхронизации приемника при включении или сбоях выделения ячеек переходит в состояние поиска (Search) и анализирует бит за битом для нахождения границы ячейки, после чего состояние системы изменяется на предсинхронное (Presynchro) и она проверяет границы уже ячейка за ячейкой. Если найдены n последовательных границ ячеек, то система переходит в синхронное состояние (Synchro). Сбоем синхронизации считается потеря m последовательных границ ячеек. Значения n и m определяют соответственно скорость вхождения в синхронизм и скорость обнаружения его потери.

Разграничение с помощью пустых ячеек. Пустые ячейки, вставляемые для согласования скорости поступления ячеек с цифровым трактом, имеют особые заголовки. В состоянии Search они отыскиваются во входящем потоке бит за битом, а в состоянии Presynchro проверяются ячейка за ячейкой для подтверждения правильности выделения границ. Так как пустые ячейки передаются только при отсутствии полезной информации, возможна большая задержка вхождения в синхронизм, а в состоянии Synchro – задержка обнаружения его потери.

Разграничение с помощью периодической вставки пустых ячеек. Этот механизм отличается от предыдущего тем, что пустые ячейки вставляются передатчиком регулярно через промежутки времени T . В состоянии Search система синхронизации приемника бит за битом ищет во входном потоке заголовков пустой ячейки, а в состоянии Presynchro через промежутки T проверяет n раз наличие пустой ячейки. Чем меньше T , тем быстрее вхождение в синхронизм, но меньше полезная пропускная способность тракта передачи.

Разграничение с помощью поля HEC. Оно основано на корреляции между битами заголовка и его поля HEC. В состоянии Search система синхронизации ищет контрольные биты путем анализа последних 40 принятых битов, а именно деления 32 из них на производящий полином и сравнения остатка с последними восемью битами. Этот процесс длится с шагом 1 бит, пока остаток (контрольные биты) не станет соответствовать предыдущим четырем принятым байтам – тогда система переходит в состояние Presynchro, а после n подтверждений соответствия – в состояние Synchro. Из состояния Synchro возможен переход в состояние Search, если m раз подряд нарушается соответствие остатка (синдрома).

Случайная имитация в информационном поле ячейки контрольных битов для последовательных предыдущих 32 бит может вызвать задержки вхождения в синхронизм. Чтобы избежать этого, скремблируют информационное поле – его биты получают псевдослучайную последовательность, и вероятность случайного появления синдрома становится пренебрежимо малой.

Данный метод разграничения ячеек наиболее эффективен и поэтому рекомендуется МСЭ (Рек. I.432) с такими значениями: $n = 6$, $m = 7$ для ЦСП SDH; $n = 8$, $m = 7$ для ЦСП ячеечного типа¹.

Согласование скорости ячеек. Если для передачи нет ячеек пользователей, неназначенных ячеек уровня ATM или ячеек OAM физического уровня, то для адаптации поток ячеек к битовой скорости передачи вставляются пустые ячейки, сбрасываемые на приеме. Эти ячейки идентифицируются по стандартному заголовку (нулевые октеты 1–3 и комбинация 00000001 в октете 4) и имеют в каждом октете информационного поля комбинацию 01101010.

6.7.9. Уровень ATM

Структура ячеек ATM. Ячейка ATM имеет 5 октетов заголовка и 48 – информационного поля. Октеты передаются в порядке нумерации. Биты каждого октета передаются в обратном порядке, начиная с восьмого. Для любого поля бит, переданный первым, является старшим (Most Significant Bit, MSB). Формат заголовка ячейки в интерфейсе «пользователь-сеть» дан на рис. 6.35. Определенные значения заголовка закреплены за физическим уровнем для идентификации пустых ячеек, ячеек OAM физического уровня и т.п. Все иные значения – для использования уровнем ATM.

8	7	6	5	4	3	2	1	Бит	Октет
GFC				VPI					1
VPI				VCI					2
				VCI					3
VCI				PT		CLP			4
				HEC					5

Рис. 6.35. Формат заголовка ячейки ATM в интерфейсе «пользователь-сеть»

Поле GFC общего управления потоком. Одной из функций уровня ATM является общее управление потоком (Generic Flow Control, GFC) в интерфейсе пользователь-сеть для облегчения условий кратковременных перегрузок или ограничения эффективной пропускной способности передачи. Поле GFC задает процедуры управляемой или неуправляемой передачи. В первом случае механизм GFC может обеспечить разные уровни качества обслуживания QoS в сети пользователя, подсоединенной к UNI².

Поле VPI/VCI маршрутизации. В нем 24 бита: 8 для идентификатора виртуального тракта VPI, 16 – для идентификатора виртуального канала VCI. Есть определенные стандартные значения VCI и VPI для идентификации:

- ячеек с данными физического уровня;
- нерабочих (или неназначенных – unassigned) ячеек³;

¹ При этом, например, для STM-1 даже при $P_{BER} = 10^{-4}$ система синхронизации будет в состоянии Sync-lo, в среднем около года, а восстановление синхронизма после потери происходит за 28 мкс.

² Управление не действует для потоков, входящих от сети ATM.

³ Ячейки, генерированные пользователем (application) услуг уровня ATM, но не переносящие информации этого пользователя.

- виртуальных соединений мета-сигнализации;
- виртуальных соединений распределительной (broadcast) сигнализации;
- виртуальных соединений двупунктной (point-to-point) сигнализации;
- потоков данных техэксплуатации ОАМ четвертого уровня (F4)¹.

Нулевое значения VCI не разрешено для идентификации виртуального канала пользователя. Число бит полей VCI и VPI, используемых для маршрутизации, согласуется между пользователем и сетью. Эти биты размещаются в полях VCI и VPI в позициях смежных младших битов (начиная с бита 5 октета 2 для поля VPI и с бита 5 октета 4 для поля VCI на рис. 6.35). Неиспользуемые биты поля маршрутизации устанавливаются в 0.

Поле PT типа полезной нагрузки. Поле PT (Payload Type) указывает, что ячейка содержит полезную нагрузку (информационное поле) – данные пользователя или информацию управления. Кодирование поля для данных пользователя позволяет фиксировать состояние перегрузки, а для данных управления – различать три типа ячеек: техэксплуатации ОАМ F5, передаваемые из конца в конец или закрепленные за сегментами тракта и управления ресурсами.

Поле CLP приоритета потери ячейки. При перегрузках сети ячейки с битом CLP (Cell Loss Priority), установленным в 1, сбрасываются раньше, чем с CLP = 0. Приоритет потери ячейки устанавливает пользователь или поставщик услуг. Ячейки от источников с постоянной скоростью передачи должны иметь приоритет относительно источников с переменной скоростью. При переменной скорости ячейкам, потеря которых мало влияет на качество обслуживания, может придаваться CLP = 1, а остальным – CLP = 0. В узлах доступа контролируются параметры потока ячеек пользователя, в транзитных узлах – параметры нагрузки сети. Если параметры потока превышают установленные соглашением по нагрузке, то у части ячеек поле CLP может изменяться с 0 на 1, и при перегрузках на узлах сети эти ячейки будут сбрасываться.

Поле HEC коррекции ошибок заголовка. На уровне АТМ оно не заполняется и не проверяется (это функции физического уровня).

Формат заголовка ячейки в интерфейсе NNI (Network Node Interface) сетевого узла отличается от рис. 6.35 только отсутствием поля GFC – за его счет расширено поле маршрутизации VPI (до 12 бит).

Виртуальные каналы, тракты и соединения. Основная функция заголовка – идентифицировать ячейки каждого виртуального канала в асинхронной уплотненной линии. Пропускная способность передачи назначается путем согласования (negotiation) с учетом запроса пользователя и имеющейся пропускной способности. Целостность потока ячеек в соединении виртуального канала VCC (Virtual Channel Connection) обеспечивает уровень АТМ. Функции уровня АТМ поддерживаются содержимым заголовка, а функции уровня адаптации АТМ (AAL) – специфичной информацией ААЛ, переносимой в информационном поле ячейки. *Оконечные пункты соединения виртуального канала (VCC endpoints)* – это пункты, где информационное поле ячейки передается между уровнем АТМ и пользователем его услуг (т.е. уровнем ААЛ).

АТМ – технология, ориентированная на соединение (connection-oriented technique). Соединение АТМ является сцепкой (concatenation) звеньев уровня АТМ для передачи из конца в конец между пунктами доступа к услугам уровня ААЛ. Идентификаторы соединения (VPI и VCI) назначаются каждому звену (link) соединения и освобождаются, когда потребность исчезает. Разные звенья виртуальных трактов, мультиплексированные на уровне АТМ в одно физическое соединение, различают по VPI. Разные звенья виртуальных каналов в со-

¹ Потоки данных техэксплуатации нумеруются по уровням виртуального соединения – от F1 для уровня регенерационной секции до F5 для уровня виртуального канала (см. рис. 6.37).

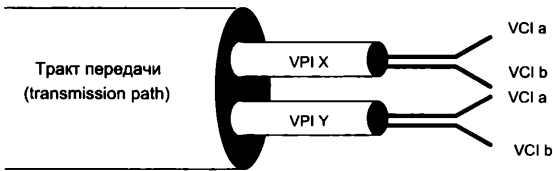


Рис. 6.36. Виртуальные тракты и каналы

единении виртуального тракта (Virtual Path Connection, VPC) различают по VCI (VCI и VPI могут изменяться в местах коммутации звеньев виртуальных каналов и тракта соответственно). Понятие VPI и VCI иллюстрирует рис. 6.36, а иерархию уровней соединения виртуального канала – рис. 6.37.

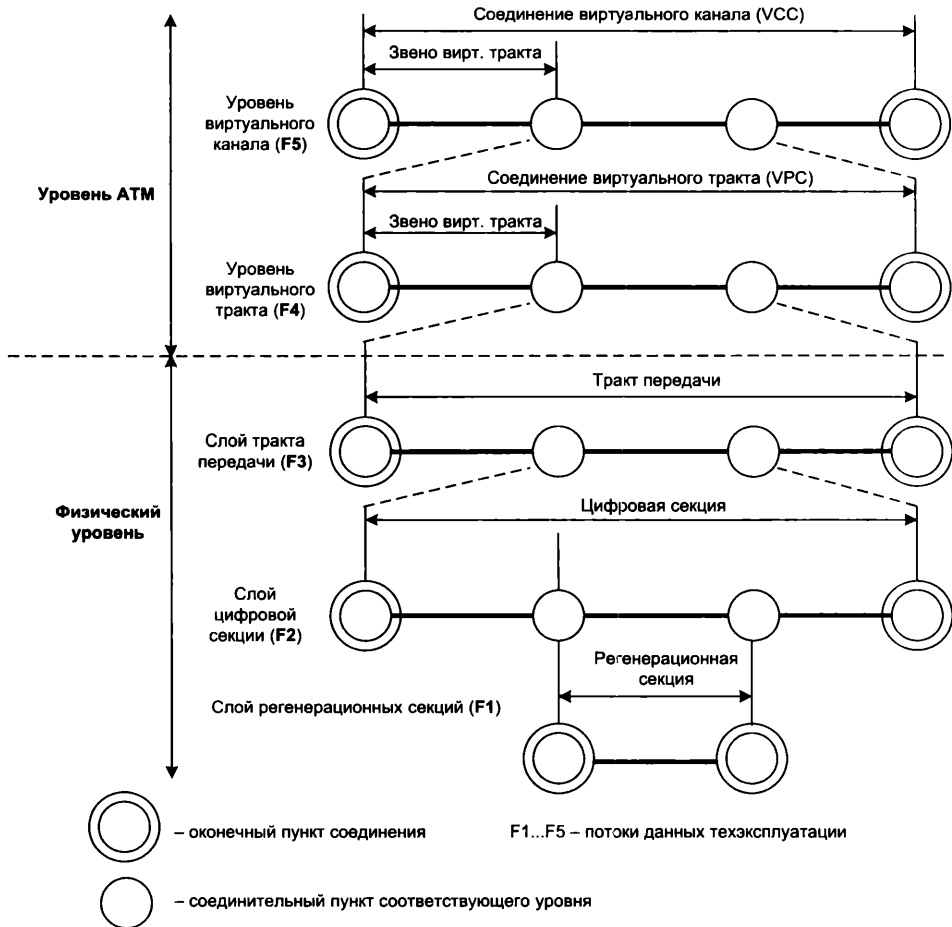


Рис. 6.37. Иерархия уровней виртуального соединения и потоков данных техэксплуатации (F1...F5)

«Виртуальный канал» – термин, определяющий возможности однонаправленной передачи ячеек, но в каждом интерфейсе UNI или NNI идентификаторы VCI и/или VPI относятся к обоим направлениям передачи. Ширина полосы этих направлений может быть одинаковой или разной (симметричная или асимметричная связь), в обратном направлении возможна и нулевая ширина. В интерфейсе UNI идентификаторы VCI могут назначаться сетью или пользователем, согласовываться между сетью и пользователем или быть стандартными.

Установление и освобождение соединения виртуального канала в интерфейсе UNI (пользователь-сеть) возможно:

- без сигнальных процедур по подписке на полупостоянное соединение;
- по процедурам метасигнализации¹ с использованием VCC метасигнализации для установления или освобождения VCC сигнализации;
- по сигнальным процедурам пользователь-сеть с использованием VCC сигнализации для установления или освобождения VCC, используемых для связи из конца в конец;
- по сигнальным процедурам пользователь-пользователь с использованием VCC сигнализации для установления или освобождения VCC в уже имеющемся соединении VPC между двумя интерфейсами UNI.

Установление и освобождение соединения виртуального тракта между его окончными пунктами возможно:

- без сигнальных процедур по подписке на полупостоянное соединение;
- по требованию: а) под управлением клиента (customer) с помощью процедур сигнализации или управления сетью; б) под управлением сети с помощью процедур сетевой сигнализации.

Пользователю VCC (VPC) предоставляется качество обслуживания, определяемое коэффициентом потерь (cell loss ratio) и колебаниями задержек ячеек (cell delay variation). Когда пользователь запрашивает установление VCC, то параметры нагрузки согласуются между ним и сетью для этого VCC в соглашении о нагрузке (traffic contract). В соглашение входят параметры QoS и дескриптор нагрузки (traffic descriptor) – перечень ее регламентированных параметров: средняя и пиковая скорости ячеек, тип источника и т.п. Входящие от пользователя ячейки могут контролироваться, чтобы гарантировать соблюдение соглашения. Согласованные параметры QoS не могут изменяться на протяжении существования соединения.

Сетевые элементы ATM (коммутаторы, кросс-коннекторы, концентраторы) обрабатывают заголовок ячейки и коммутируют виртуальные каналы и/или тракты. При коммутации виртуального тракта идентификаторы VCI его виртуальных каналов не меняются, при коммутации виртуального канала изменяются VCI и VPI. Маршрутизация ячеек заключается в трансляции идентификаторов VCI и/или VPI входящего звена в значения идентификаторов исходящего звена.

Различают следующие варианты соединений виртуальных каналов:

Пользователь-пользователь – соединение между стыками T_B или S_B . Сетевые элементы ATM транспортируют все ячейки по одному VCC (маршруту) с возможной трансляцией VCI в оконечных пунктах виртуальных трактов.

Пользователь-сеть – соединение между эталонной точкой T_B или S_B и сетевым узлом для обеспечения доступа абонентского оборудования к сети и переноса сигнальной информации.

Сеть-сеть – соединение между двумя сетевыми узлами для передачи данных управления нагрузкой сети и маршрутизации.

Для соединений виртуальных трактов различают следующие варианты:

Пользователь-пользователь – соединение между стыками T_B или S_B . Сетевые элементы ATM транспортируют все ячейки, связанные с этим VPC, по одному маршруту. Идентификаторы VPI транслируются в сетевых элементах ATM, имеющих функции кросс-коннекторов или

¹ Метасигнализация – процедуры установления, проверки и освобождения виртуальных каналов сигнализации.

коммутации. Полупостоянные соединения этого типа применяют для образования корпоративных сетей.

Пользователь–сеть – соединение между эталонной точкой T_B или S_B и сетевым узлом, которое может использоваться для объединения доступа разнотипного абонентского оборудования к сети.

Сеть–сеть – соединение между двумя сетевыми узлами для управления нагрузкой сети и маршрутизации. В сетевых узлах, где VPC оканчивается, виртуальные каналы коммутируются или соединяются кросс-коннектором в другие виртуальные тракты.

Функции *оконечного пункта соединения виртуального тракта* (см. рис. 6.37):

- прозрачный обмен полем информации ячейки и содержимым ее заголовка (кроме VPI и НЕС) между уровнями виртуального тракта и виртуального канала;
- генерация и извлечение данных заголовка, относящихся к виртуальному тракту (VPI);
- реализация параметров нагрузки виртуального тракта;
- мультиплексирование и демultipлексирование ячеек с сохранением целостной их последовательности в виртуальном тракте;
- генерация, вставка и извлечение ячеек F4 OAM.

Функции *соединительного пункта виртуального тракта*:

- трансляция значений VPI;
- возможное регулирование параметров пользователя или сети, относящихся к виртуальному тракту (в зависимости от расположения пункта);
- мультиплексирование и демultipлексирование ячеек с сохранением целостной последовательности ячеек виртуального тракта;
- генерирование, вставка, контролирование и извлечение ячеек F4 OAM.

Функции *оконечного пункта соединения виртуального канала*:

- прозрачный обмен информационными полями ячеек между уровнями ATM и AAL;
- трансляция между типом полезной нагрузки PT заголовка ячейки и соответствующей индикацией к клиенту виртуального канала;
- генерирование и извлечение данных общего управления потоком;
- генерирование и извлечение данных заголовка, относящихся к виртуальному каналу;
- реализация параметров нагрузки виртуального канала;
- мультиплексирование и демultipлексирование ячеек с сохранением их целостной последовательности в виртуальном канале;
- генерирование, вставка и извлечение ячеек F5 OAM.

Функции *соединительного пункта виртуального канала*:

- трансляция значений VCI;
- возможное регулирование параметров пользователя или сети, относящихся к виртуальному каналу (в зависимости от расположения пункта);
- мультиплексирование и демultipлексирование ячеек с сохранением их целостной последовательности в виртуальном канале.

6.7.10. Уровень адаптации ATM

Протоколы уровня AAL обеспечивают преобразование информации, генерированной пользователем, в протокольные блоки данных (PDU) для их размещения в информационном поле одной или нескольких смежных ячеек ATM и обратное преобразование для принимаемой информации. Пользователем может быть и система управления (C-plane) или мсндж-

мента (M-plane). Каждый протокол уровня AAL приспособлен к определенному классу служб со специфическими требованиями к временной и семантической прозрачности сети ATM. Функции уровня адаптации ATM реализуются, как правило, в терминальном оборудовании.

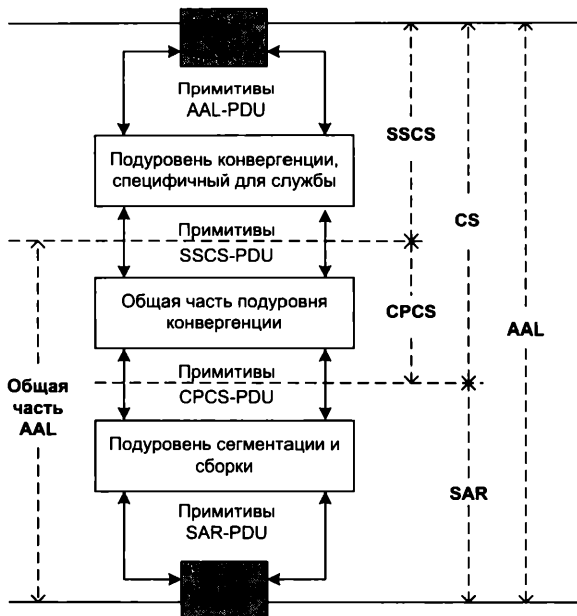
Функции подуровня сегментации и сборки – сегментирование PDU высшего уровня на 48-октетные информационные поля ячеек ATM на передаче и сборка информационных полей ячеек в PDU высшего уровня на приеме. Подуровень конвергенции разделяется на общую часть подуровня (Common Part Convergence Sublayer, CPCS) и подуровень, специфичный для службы (ориентированный на службу) (Service Specific Convergence Sublayer, SSSC). Подуровень SSSC может отсутствовать. Структура протоколов уровня AAL показана на рис. 6.38.

Уровень адаптации первого типа. Уровень AAL-1 обеспечивает согласование со службами класса А и предоставляет высшему уровню такие услуги:

- перенос блоков данных служб с постоянной битовой скоростью источника¹ и доставку их получателю с той же скоростью;
- синхронизация оборудования источника и получателя информации;
- индикация по запросу потерь или искажения информации, если они не восстанавливаются уровнем адаптации;
- перенос данных о структуре транспортируемой информации между источником и пунктом назначения.

Функции, связанные с предоставлением этих услуг:

- сегментирование и сборка информации пользователя;
- обработка переменных задержек ячеек ATM для устранения влияния джиттера;
- обработка потерянных и вставленных ячеек ATM;
- восстановление в приемнике тактовой частоты источника;
- контроль и обработка битовых ошибок в управляющих данных протокола уровня адаптации (AAL Protocol Control Information, AAL-PCI);
- отслеживание битовых ошибок в информационном поле пользователя с возможным их исправлением.



¹ Асинхронных (не синхронизированных с тактовой частотой сети) каналов 1,544; 2,048; 6,312; 8,448; 32,064; 44,736 и 34,368 Мбит/с (Рек. G.702); синхронных каналов 64, 384, 1536 и 1920 кбит/с (Рек. I.231); видеосигналов диалоговых и распределительных служб; речевых сигналов (64 кбит/с, кодированных по закону А или μ , соответствующих Рек. G.711, и 64 кбит/с, соответствующих Рек. G.722); звуковых сигналов высокого качества.

Уровень адаптации второго типа. Уровень AAL-2 обеспечивает согласование со службами класса В и предоставляет высшему уровню следующие услуги:

- перенос блоков данных служб с переменной скоростью источника;
- синхронизация оконечного оборудования источника и получателя;
- уведомление о потерях или искажениях информации, если они не восстанавливаются уровнем адаптации.

Функции, связанные с предоставлением этих услуг:

- сегментирование и сборка информации пользователя;
- сглаживание колебаний задержек ячеек ATM;
- выявление потерянных и вставленных ячеек ATM;
- восстановление в приемнике тактовой частоты источника;
- контроль битовых ошибок и исправление одиночных ошибок в управляющих данных протокола уровня адаптации.

Так как источник информации имеет переменную битовую скорость, то ячейки ATM могут быть не полностью заполненными, а уровень заполнения может колебаться. Поэтому подуровень сегментации и сборки имеет более сложные функции, чем в уровне AAL-1.

Уровень адаптации третьего (четвертого) типа. Уровень AAL 3/4 предназначен для согласования со службами передачи данных классов С и D с установлением и без установления соединений и высокими требованиями к семантической прозрачности. Для уровня определены два режима обслуживания: «сообщение» и «поток». В режиме «сообщение» один блок данных службы (возможно переменной длины) проходит через интерфейс уровня в отдельном интерфейсном блоке данных (Interface Data Unit, IDU) и передается в одном протокольном блоке данных подуровня конвергенции, ориентированного на службу.

В режиме «поток» блок данных службы проходит через интерфейс AAL в одном или нескольких IDU, возможно раздельно во времени (предусмотрены SDU переменной длины). Все IDU одного блока данных службы передаются в одном SSCS-PDU с возможной реализацией услуги «внутреннего контейнера», в которой уровень AAL начинает передачу до получения всего блока данных службы. В таком режиме возможны прерывания со сбросом частично переданного блока данных службы.

В обоих режимах возможны гарантированное и негарантированное обслуживание. В первом случае обязательно управление потоком и обеспечивается повторная передача потерянных или принятых с ошибками протокольных блоков данных подуровня конвергенции (только для двупунктных соединений). Во втором случае управление необязательно и блоки данных повторно не передаются.

Уровень адаптации пятого типа. Уровень AAL-3/4 оказался недостаточно приспособленным к скоростной передаче данных с установлением соединений. Он имеет значительную избыточность (4 октета на SAR-PDU), а 10 бит поля обнаружения ошибок и 4 бита поле последовательного номера, используемые в SAR-PDU для обнаружения потерянных и вставленных сегментов, не обеспечивают достаточную семантическую прозрачность сети при транспортировке длинных блоков данных. Поэтому Форум ATM определил уровень адаптации 5-го типа с меньшей служебной избыточностью и лучшей семантической прозрачностью.

Подуровень сегментации и сборки принимает от общей части подуровня конвергенции блоки данных службы переменной длины и преобразует их в 48-октетные протокольные блоки данных SAR-PDU, которые передает уровню ATM для размещения в ячейках. На приеме разные блоки данных службы различают с помощью бита РТ в поле индикатора полезной нагрузки заголовка ячейки. Этот бит указывает на начало или продолжение блока данных (РТ = 0) и на его окончание (РТ = 1). Таким образом, уровень AAL-5 использует не только

информационное поле, но и заголовок ячейки, что является нарушением эталонной модели протоколов. Тем не менее протокол AAL-5 принят из-за простоты и эффективности.

Пользователь службы может работать в режимах «сообщение» или «поток». В первом случае блок данных службы передается общей части подуровня конвергенции в одном интерфейсном блоке данных, во втором – в одном или нескольких, возможно с разрывом во времени.

Функции подуровня сегментации и сборки:

- негарантированная доставка данных, содержащихся в кадрах переменной длины (от 1 до 65535 октетов);
- обеспечение целостной последовательности служебных блоков данных общей части подуровня конвергенции;
- обнаружение и индикация битовых ошибок, потерь и вставок ячеек;
- соединение общих частей подуровня конвергенции (устанавливаются плоскостью управления или менеджмента).

Общая часть подуровня конвергенции обеспечивает передачу всех интерфейсных блоков данных, принадлежащих одному блоку данных службы, в одном протокольном блоке данных. В режиме «поток» возможно прекращение предоставления услуги, тогда может запрашиваться сброс уже частично переданных блоков данных службы.

6.7.11. Плоскость пользователя

Поддержка служб, не ориентированных на соединение. В модели протоколов B-ISDN (рис. 6.33) плоскость пользователя (U-plane) охватывает все уровни и предоставляет пользователям все услуги информационного обмена. Ее высшие уровни содержат протоколы, обеспечивающие обмен информацией между пользователями разных служб и не зависящие от уровней AAL и ATM. Плоскости управления и менеджмента обеспечивают функционирование плоскости пользователя, в частности, первая из них устанавливает двупунктные, пунктно-многопунктные и многопунктно-многопунктные коммутируемые и постоянные виртуальные соединения виртуальных каналов и трактов.

Технология ATM, ориентированная на соединение, должна обеспечить и функционирование служб без соединений (Connectionless, CL), в первую очередь взаимодействие локальных и распределенных компьютерных сетей (LAN и MAN). Рек. I.211 задает для B-ISDN два механизма поддержки таких служб: непосредственный, через службу без соединений и косвенный, через службу с установлением соединений. Соответствующие варианты функциональной архитектуры B-ISDN даны в Рек. I.327. Первый из них (непосредственный) при наличии n пользователей требует установления на сети ATM n постоянных виртуальных соединений этих пользователей с CL-сервером службы без соединений. Второй вариант предусматривает постоянные прямые виртуальные соединения между всеми пользователями без CL-серверов (надо n^2 соединений). В обоих вариантах возможно и установление соединений по требованию. Постоянные соединения ухудшают использование ресурсов сети, а установление их по требованию увеличивает служебные нагрузки и ведет к задержкам сеансов связи и отказам при отсутствии ресурсов для установления соединений. Так как для служб без соединения важен критерий задержки, то оптимальный вариант их поддержки – первый. CL-серверы могут размещаться в коммутационных узлах сети или в отдельных узлах предоставления услуг, а их число зависит от нагрузки соответствующих служб и размера сети.

Для широкополосной передачи данных без соединения установлены классы обслуживания QoS, задаваемые максимальной (Maximum Information Rate, MIR) и средней поддержи-

ваемой (Sustained Information Rate, SIR) информационной скоростью и средней скоростью (PDU's Per Time Unit, PPTU) передачи протокольных блоков данных пачечной нагрузки (за длительное время). Механизм GFC общего управления потоком в интерфейсе UNI обычно контролирует пиковую скорость данных пользователя.

Поддержка службы Frame Relay через ATM. Рек. I.555 предусматривает возможность переноса кадров Frame Relay и поддержки функций службы внутри или вне B-ISDN. При переносе кадров протоколы службы Frame Relay исполняются в оконечных системах пользователей, соединенных с B-ISDN через интерфейсы UNI. Эти протоколы действуют над уровнем адаптации ATM, а их блоки данных транспортируются через B-ISDN прозрачно. Перенос кадров обеспечивают уровень AAL-5 и два типа интерфейсов: доступа службы Frame Relay к B-ISDN (Frame Relay B-ISDN Access Interface, FR-BAI) и сетевой (Frame Relay B-ISDN Network-to-Network Interface, FR-BNNI).

Эмуляцию кадров Frame Relay и взаимодействие с B-ISDN выполняет подуровень конвергенции, ориентированный на службу ретрансляции кадров (Frame Relay Service-Specific Convergence Sublayer, FR-SSCS). Его функции аналогичны основным функциям уровня звена данных в Рек. Q.922, а структура протокольного блока данных (FR-SSCS-PDU) соответствует кадру Frame Relay без флага и поля коррекции ошибок. Пользователям службы Frame Relay выделяют ресурсы по пиковой скорости и предоставляют также возможности переноса кадров Frame Relay через B-ISDN:

- мультиплексирование на подуровне FR-SSCS и перенос собранного потока кадров одним соединением ATM. Кадры от определенного источника различают с помощью идентификаторов соединения звена данных DLCI. Этот способ назван «много в одном» (many-to-one).
- мультиплексирование на уровне ATM. Поток кадров определенного виртуального соединения службы Frame Relay размещается в собственном соединении ATM с объединением множества источников в общем цифровом тракте. Этот способ назван «один в одном» (one-to-one).

Поддержка Интернет. Для сети Интернет возможно использование ATM без изменений протоколов сетевого и высших уровней путем инкапсуляции IP-датаграмм в ячейки ATM на уровне AAL-5. Заголовок блока данных, поступающий от сети Интернет, должен иметь индикатор, определяющий тип прикладного протокола для его распознавания на входящей стороне виртуального соединения. Можно также для разных прикладных протоколов Интернета иметь разные разрешенные диапазоны значений идентификаторов VPI и VCI. Есть некоторые проблемы замены IP-адресов на адреса ATM и наоборот. Для больших сетей целесообразны полные таблицы соответствия адресов, требующие слишком много ресурсов для накопления, обработки и распределения. Поэтому считается, что коммутационный узел ATM должен знать топологию сети в своей группе равноправных (одноранговых) узлов полностью, а в одноранговых группах узлов иных уровней иерархии сети – только обобщенно. На начальном этапе возможна поддержка Интернета полупостоянными виртуальными соединениями, создаваемыми администрацией сети ATM с помощью системы управления. В процессе развития сетей следует переходить на установление соединений по требованию, что требует сигнального обмена между маршрутизаторами.

Эмуляция локальных компьютерных сетей. Для объединения разнотипных компьютерных сетей в национальные и глобальные Форум ATM стандартизовал интерфейс «сеть – пользователь эмуляции LAN» (LUNI – LAN Emulation User-to-Network Interface, или, короче, LANE – LAN Emulation). Эмуляция LAN сетью ATM заключается в имитации поведения таких сетей, передающих информацию без установления соединений. Это позволяет оконеч-

ным станциям разных LAN соединяться друг с другом и с серверами ATM, маршрутизаторами, мостами и т.п., невзирая на расстояния и без ограничений скоростей обмена. Для сети ATM эмуляция LAN дает массовых пользователей, нагрузки которых в развитых странах вскоре превысят телефонные.

Между сетью ATM и LAN используется конвертор, который получает пакеты от LAN, добавляет к ним заголовки и концевики с проверочной последовательностью кадра (FCS) и передает уровню AAL-5 граничного коммутатора ATM как протокольный блок данных. Далее подуровень сегментации и сборки принимает от подуровня конвергенции инкапсулированный пакет, сегментирует его на свои протокольные блоки данных и передает уровню ATM для формирования и транспортирования ячеек, в частности и к LAN иного типа. Интерфейс LUNI может также мультиплексировать эмулированные LAN.

Эмуляция LAN предоставляет услуги клиентам эмуляции (LEC – LAN Emulation Client), т.е. обеспечивает на уровне управления доступом к среде (Media Access Control, MAC) мост между LAN и ATM, соответствующий второму уровню OSI¹ и независимый от высших уровней. Основная функция программного обеспечения (ПО) клиентов эмуляции (драйверов периферийных компьютеров и сетевого сервера ATM) в конверторах ATM-LAN – преобразование адреса MAC в адрес ATM. Программное обеспечение услуг эмуляции LAN имеет функции серверов: эмуляции LAN (LES – LAN Emulation Server), конфигурации (LAN Emulation Configuration Server, LECS), а также распределительных и нераспознанных сообщений (Broadcast and Unknown Server, BUS). Эти функции выполняются одним коммутатором ATM или распределенно, например: функции LES – магистральным коммутатором, LECS – отдельным сервером ATM, BUS – конвертором ATM-LAN.

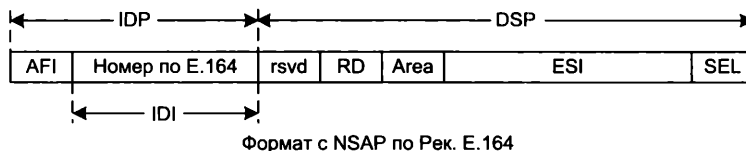
6.7.12. Плоскость управления

Плоскость управления (C-plane) устанавливает, контролирует и освобождает соединения с помощью функций адресации, маршрутизации и сигнализации (кроме метасигнализации).

Адресация. Система адресации должна быть простой и обеспечивать уникальность адресов, возможности их автоматизированного распределения, назначения и модификации, расширения и эффективного использования адресного пространства. Форум ATM установил форматы адресов пунктов доступа к услугам сети NSAP (Network Service Access Point) (рис. 6.39). Все они содержат идентификатор полномочий и формата AFI, определяющий тип и формат идентификатора исходного домена маршрутизации (IDI): код страны данных (DCC), международный указатель кода (ICD, числовой код международной организации) или номер пункта доступа по Рек. E.164. Тип IDI задает формат следующей, специфичной для домена маршрутизации части адреса DSP, где содержатся маршрутные данные. Поле DSP разделено на поля домена маршрутизации (RD), зоны маршрутизации (Area) и идентификатора оконечной системы (ESI). Поле ESI содержит 48-бит адреса управления доступом к среде передачи (MAC). Однооктетное поле селектора SEL введено для возможного местного мультиплексирования в рамках пункта доступа.

Абонентский номер по Рек. E.164 дан на рис. 6.40. Международный номер содержит код страны (Country Code, CC), национально значимый номер (Nationally Significant Number, NSN) и нулевое дополнение до 15 цифр. Национальный номер содержит национальный код назначения (National Destination Code, NDC) (до трех цифр) и семизначный абонентский номер (Subscriber Number, SN).

¹ Многопротокольная передача через ATM (Multiprotocol over ATM, MPOA), в отличие от эмуляции LAN, обеспечивает маршрутизацию обмена на третьем, сетевом уровне.



AA (Administrative Authority)	– полномочная администрация связи
AFI (Authority and Format Identifier)	– идентификатор полномочий и формата
DCC (Data Country Code)	– код страны данных
DFI (DSP Format Identifier)	– идентификатор формата DSP
DSP (Domain Specific Part)	– часть, специфичная для домена (маршрутизации)
ESI (End System Identifier)	– идентификатор оконечной системы
HO-DSP (Higher Order)	– DSP высшего порядка
CD (International Code Designator)	– международный указатель кода
IDI (Initial Domain Identifier)	– идентификатор исходного домена
IDP (Initial Domain Part)	– часть для исходного домена
RD (Routing Domain)	– домен маршрутизации
rsvd (reserved)	– резерв
SEL (Selector)	– селектор

Рис. 6.39. Форматы адресов В-ISDN Форума ATM

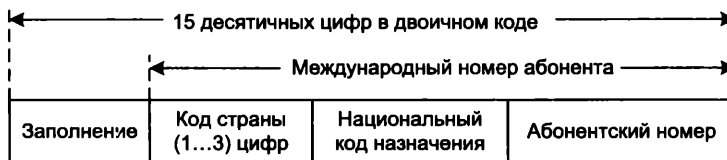


Рис. 6.40. Формат абонентского номера по Рек. E.164

Форум ATM предусматривает собственные, согласованные с администрациями связи планы нумерации ведомственных и корпоративных сетей и поставщиков сетевых услуг на основе форматов с DCC или ICD (рис. 6.39). Разработан механизм регистрации адресов, по которому оконечная система через интерфейс пользователь – сеть информирует коммутатор ATM о своем уникальном номере MAC и получает адресный префикс номера ATM в рамках узла. Формат с NSAP по Рек. E.164 для оконечного оборудования служб передачи данных и другого оборудования практически не используется. Сети ATM общего пользования поддерживают нумерацию по Рек. E.164.

Маршрутизация. Выбор маршрута в сети АТМ нужен только для установления виртуального соединения для переноса ячеек АТМ. Заявка на виртуальное соединение обслуживается, если на его маршруте ресурс пропускной способности достаточен для установления запрашиваемого и поддержки существующих соединений с нормативным качеством (QoS). Коммутатор доступа к сети должен обеспечивать маршрутизацию, управление потоками и защиту от перегрузок с учетом многих, часто противоречивых, требований к QoS виртуальных соединений всего маршрута.

Маршрутизация бывает централизованной (один узел управляет остальными узлами виртуального соединения) или распределенной (каждый узел сам выбирает маршрут). Алгоритмы маршрутизации разделяют на адаптивные (динамические), статистические и квазистатистические. Адаптивные учитывают (с определенными задержками) текущие данные о загруженности и состоянии сети и ее элементов; статистические используют аналогичную, но заранее заданную информацию или постоянные маршрутные таблицы коммутаторов АТМ. В квазистатистических алгоритмах маршрутные таблицы корректируются только при изменениях топологии сети, повреждениях ее элементов (трактов, узлов) или длительных изменениях нагрузки. Коррекции нужны намного реже, чем в динамических алгоритмах, поэтому при достаточной адаптируемости к изменениям на сети значительно менее жестки требования к производительности управляющих устройств коммутаторов АТМ.

Производители оборудования АТМ используют разные, не всегда совместимые алгоритмы и протоколы маршрутизации. Некоторые ориентируются на многопротокольный режим передачи через АТМ (МРРА), в котором передача ячеек возлагается на коммутаторы АТМ, а вычисления маршрутов – на сервер маршрутизации. Группа производителей из альянса сетевого взаимодействия (Network Interoperability Alliance, NIA) предлагает единый сетевой протокол (интегрированный частный сетевой интерфейс), пригодный для АТМ и протоколов типа IP. Другие дополнительно встраивают в коммутаторы АТМ маршрутизацию IP – тогда сообщения электронной почты и потоки данных малых объемов проходят через маршрутизаторы, а потоки служб без соединений со значительными объемами данных передаются виртуальными соединениями.

Сигнализация. Согласно Рек. I.327, в В-ISDN сигнальные сообщения передаются между пользователем и сетью, между узлами сети (коммутаторами доступа и транзитными) и между пользователями. Сигнализация предусматривает использование виртуальных каналов и обеспечивает установление, контроль и освобождение виртуальных соединений для транспортирования всех видов информации с требуемым качеством, а также заключение и реализацию соглашения о нагрузке. Она поддерживает широко- и узкополосные услуги, мультисервисные, многоточные, симметричные и асимметричные соединения и взаимодействие разнотипного абонентского оборудования. Основной объем сигнализации приходится на коммутаторы доступа, а транзитные коммутаторы АТМ максимально освобождены от ее функций.

Различают виртуальные каналы сигнализации (Signalling Virtual Channel, SVC) следующих типов:

- двунаправленный двупунктный (point-to-point) SVC, образуемый в активном оконечном пункте для переноса сигнальной информации между пользователем и сетью в процессе установления, контроля и освобождения виртуальных каналов, передающих информацию пользователей;
- однонаправленный общий распределительный SVC, по которому сеть передает сигнальные сообщения всем оконечным пунктам сигнализации;
- однонаправленный селективный распределительный SVC, по которому сеть передает сигнальные сообщения выделенной группе оконечных пунктов сигнализации;

- постоянный двунаправленный SVC метасигнализации, который может организовываться в каждом интерфейсе «пользователь-сеть» для установления, контроля, освобождения селективных распределительных и двухпунктных SVC.

Архитектура протоколов сигнализации. В интерфейсе «пользователь-сеть» возможна двухпунктная или пунктно-многopунктная конфигурация доступа к системе сигнализации. В первом случае у пользователя один оконечный пункт сигнализации – его односервисный терминал или интеллектуальное сетевое окончание В-NT2. При этом организуется один постоянный SVC, используемый для запроса и установления соединения и освобождения. Соответствующая архитектура протокола сигнализации показана на рис. 6.41,а, где S-AAL – уровень AAL для сигнализации.

В пунктно-многopунктной конфигурации у пользователя несколько оконечных пунктов сигнализации, поэтому для организации нужных SVC и управления ими требуется постоянный виртуальный канал метасигнализации (MS). Соответствующая архитектура протокола сигнализации показана на рис. 6.41,б.

Для сигнализации в сетевых интерфейсах используется общеканальная сигнализация №7 (ОКС7) с подсистемой передачи сообщений МТР (подуровни МТР-1, МТР-2, МТР-3) и подсистемой В-ISUP пользователя В-ISDN на транспортном уровне. Возможно и применение модифицированной ОКС7, приспособленной к АТМ, – архитектура протоколов соответственно показана на рис. 6.41,в и г.

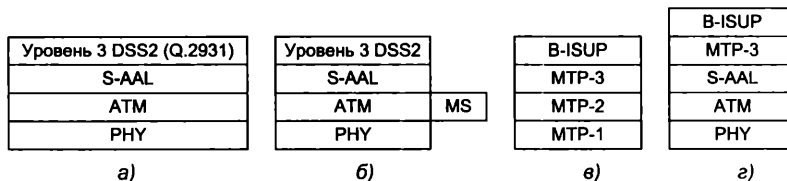


Рис. 6.41. Архитектура протоколов сигнализации В-ISDN

Уровень адаптации АТМ для сигнализации S-AAL. Общая часть S-AAL основана на уровне AAL-5. Служебная часть уровня в интерфейсах «пользователь-сеть» и в сетевых интерфейсах предусматривает общий протокол, соответствующий Рек. Q.2100, Q.2110, Q.2130 и Q.2140, но полное единство недостижимо из-за отличий протоколов высших уровня S-AAL. Поэтому выбрана структура служебной части S-AAL, показанная на рис. 6.42.

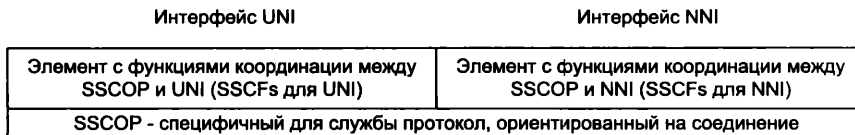


Рис. 6.42. Служебно ориентированная часть уровня S-AAL

Специфичный для службы, ориентированный на соединение протокол SSCOP (Service-Specific Connection-Oriented Protocol) обеспечивает установление и освобождение соединений и сигнальный обмен между объектами сигнализации. Основные его функции в соответствии с Рек. Q.2110 таковы:

- установление, освобождение и восстановление соединений;
- поддержка активного режима (сохранение виртуального соединения между объектами одного уровня при долгом прерывании переноса данных);

- обеспечение гарантированного и негарантированного режима переноса сообщений между двумя одноранговыми объектами;
- обеспечение целостной последовательности передаваемых служебных блоков данных, контроль этой последовательности, обнаружение и восстановление потерянных блоков путем повторной передачи;
- управление потоком с помощью механизма динамического окна;
- обнаружение ошибок в управляющей информации протокола и уведомление менеджмента уровня об ошибках;
- обмен данными между передатчиком и приемником о их состоянии.

Служебная часть уровня S-AAL имеет специальные элементы с функциями координации между протоколом SSCOP и высшими уровнями протоколов сигнализации (Service Specific Coordination Functions, SSCFs). Элемент SSCFs для интерфейса пользователь–сеть преобразует примитивы между SSCOP и протоколом Q.2931 третьего уровня сигнализации DSS2. Элемент SSCFs для сетевого интерфейса выполняет такие же функции для примитивов между SSCOP и подуровнем MTP-3 ОКС7.

6.7.13. Плоскость менеджмента

Плоскость менеджмента (M-plane) управляет уровнями и плоскостями. Управление плоскостями не структурировано и взаимодействует только с управлением уровнями, имеющим уровневую структуру, стыки с плоскостями пользователя и управления и выполняющим задачи администрирования, эксплуатации и техобслуживания (OAM). Управление в этих стыках основано на простом протоколе управления сетью SNMP или протоколе общей информации управления (Common Management Information Protocol, CMIP). Считается, что SNMP удобен для управления оборудованием пользователей, корпоративных или ведомственных сетей и сетей общего пользования, а CMIP – для сетей общего пользования.

Протокол SNMP, независимый от архитектуры сети и специфики ее элементов, был разработан для сети Интернет, но стал протоколом и для сетей ATM. Программное обеспечение центров управления (Network Management Center, NMC) контролирует элементы сети и управляет их так называемыми «агентами управления», ответственными за выполнение сетевых функций, а SNMP обеспечивает передачу нужной информации управления. Он позволяет свести функции «агента управления» к операциям чтения и модификации переменной, т.е. к назначению конфигурации или параметра элементу сети и чтению их значений.

На основе SNMP функционирует промежуточный интерфейс локального управления ILMI (Interim Local Management Interface), использующий уровни адаптации AAL-3/4 или AAL-5 и стандартные значения идентификаторов виртуальных тракта VPI = 0 и канала VCI = 16. Через интерфейс ILMI управляют восстановлением, производительностью, конфигурацией и безопасностью сети ATM, учетом и сбором статистики. Эти интерфейсы обеспечивают реализацию концепции сети TMN управления электросвязью.

Возможны такие сценарии управления конфигурацией абонентского доступа с использованием метасигнализации: постоянное, полупостоянное или резервированное (по расписанию) назначение соединений виртуальных трактов или каналов; назначение соединения виртуального тракта или канала по требованию с участием и без участия NMC.

Метасигнализация. Виртуальный канал метасигнализации имеет стандартный VCI = 1 и пиковую скорость 42 ячейки в секунду. Протокол метасигнализации определен Рек. Q.2120. Он позволяет в интерфейсе пользователь–сеть устанавливать, контролировать и ликвидировать двупунктные и селективные распределительные SVC, назначать им скорость и развязыв-

вать возможные конфликтные ситуации. Протокол действует между пользователем и сетью и в соединении виртуального тракта между двумя пользователями.

Техэксплуатация. Основой управления сетью является информация техэксплуатации, передаваемая в потоках ячеек данных OAM (рис. 6.37): F1 слоя регенерационной секции физического уровня; F2 слоя цифровой (мультиплексной) секции физического уровня; F3 слоя тракта передачи физического уровня; F4 виртуального тракта уровня ATM; F5 виртуального канала уровня ATM.

Эти потоки могут передаваться из конца в конец соединения своего уровня или быть поsegmentными, т. е. замыкаться в пределах звена или секции соединения. Потоки F1–F3 замыкаются в оборудовании передачи. Потоки F4 имеют VCI = 4 при передаче из конца в конец и VCI = 3 для поsegmentных потоков. Для потока F5 уровня виртуального канала используются такие же значения VCI и VPI, что и для ячеек пользователя, но для потока из конца в конец в заголовке ячейки OAM поле типа полезной нагрузки содержит PT = 100, а для поsegmentных потоков PT = 101. Формат ячеек потоков F4 и F5 показан на рис. 6.43.

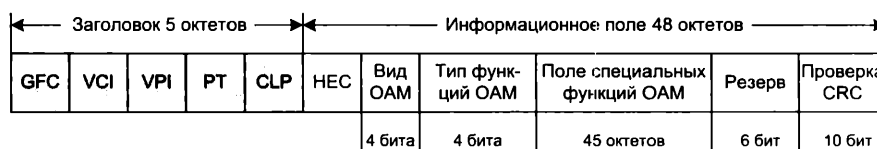


Рис. 6.43. Формат ячеек потоков F4 и F5

Данные ячеек потоков F4 и F5 могут относиться к разным видам OAM: обнаружение и локализация отказов в сети ATM (код вида OAM – 0001) активация и деактивация эксплуатационных процедур (1000), контроль эксплуатационных характеристик (производительности, характеристик качества обслуживания и т.п.) сети и ее элементов (0010). В зависимости от вида OAM кодируются поля ячеек, определяющие исполняемые функции OAM.

При обнаружении и локализации отказов соответствующие ячейки содержат: сигнал индикации аварии (Alarm Indication Signal, AIS, код типа функций – 0000), или индикацию удаленной неисправности (Remote Defect Indication, RDI, код 0001), называемую также уведомлением об отказе на дальней стороне (Far End Reporting Failure, FERF), или сигнал проверки целостности соединения (continuity check) – код 0100, или сигнал проверки шлейфом (loopback) – код 1000.

Активация и деактивация процедур OAM выполняется ячейками с функциями контроля (измерения) эксплуатационных характеристик (performance measurement) – код 0000 – и контроля целостности соединения (continuity check) – код 0001.

При контроле эксплуатационных характеристик сети и ее элементов соответствующие ячейки обеспечивают функции контроля в прямом направлении (forward monitoring) – код 0000, обратного уведомления о результатах (backward reporting) – код 0001, контроля и уведомления (monitoring and reporting) – код 0010.

6.7.14. Управление ресурсами

Управление сетевыми ресурсами (полосами пропускания и т.п.) выполняется главным образом на уровне ATM в плоскостях управления и менеджмента и обеспечивает выделение ресурсов по запросам пользователей, регулирование входных потоков и предотвращение перегрузок сети для гарантирования затребованного качества обслуживания и выбора оптимальных маршрутов.

Основная задача управления входными потоками – предотвращение перегрузок и блокировок сети для увеличения доли обслуженной нагрузки. Перегрузки могут возникать на отдельных участках или сразу на всей сети из-за всплесков входной нагрузки, выходов из строя трактов передачи и коммутаторов, недостаточности ресурсов сети и т.п.. При этом резко растут очереди в узлах сети и ограничивается доступ пользователей к ресурсам отдельных участков или всей сети.

Механизмы управления ресурсами должны обеспечить удовлетворение широкого диапазона требований пользователей к скоростям передачи и качеству обслуживания; стабильное функционирование сети и ее элементов в неординарных условиях; локализацию отказов оборудования, перегрузок и соответствующую реконфигурацию сети или ее элементов; эффективное использование сетевых ресурсов; простоту функционирования и реализации.

Для динамического резервирования полосы пропускания и емкости буферов при передаче данных без соединений используется быстрое управление ресурсами (Fast Resource Management, FRM). Специальные ячейки FRM имеют в заголовке тип полезной нагрузки PT = 110. Формат информационного поля ячейки FRM показан на рис. 6.44. Полоса пропускания может резервироваться с задержкой, но гарантированно, или немедленно, но негарантированно. В первом случае до начала передачи ячеек пользователя от источника к первому узлу маршрута посылается ячейка FRM с запросом REQ BW выделения нужной полосы в поле спецфункций. Если узел имеет достаточные ресурсы, то транслирует запрос к следующему узлу и т.д. до получателя, от которого в обратном направлении поэтапно транслируется подтверждение GRANT BW выделения полосы, после чего начинается передача данных пользователя. По окончании сеанса связи от источника выдается ячейка FRM с требованием освобождения полосы REL BW. При отсутствии запрашиваемых ресурсов на промежуточном узле запрос сбрасывается и формируется уведомление об отказе.

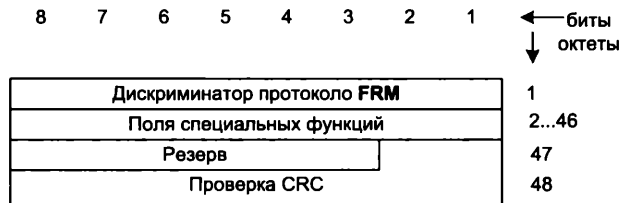


Рис. 6.44. Формат сообщений FRM

В режиме немедленного предоставления полосы от источника выдается ячейка FRM с затребованными параметрами нагрузки и сразу начинается передача данных пользователя. Оконечный и промежуточные узлы по данным ячейки FRM определяют достаточность своих ресурсов. Если их недостаточно, то доставка ячеек пользователя не гарантируется.

Аналогично резервируется емкость буферов промежуточных узлов. Соответствующая ячейка FRM с запросом емкости буфера REQ BUF транслируется всеми узлами маршрута. Если ресурс емкости достаточен, то передача пачки ячеек разрешается с гарантированным отсутствием потерь.

Соглашение о нагрузке. Оно автоматически заключается между пользователем и сетью при запросе каждого виртуального соединения VPC или VCC. Процедуру заключения соглашения обеспечивает функция *управления признанием соединения* (Connection Admission Control, CAC), разрешающая его при ненарушении качества существующих соединений. Соглашение содержит:

- дескриптор нагрузки (traffic descriptor), т.е. параметры потока ячеек источника, задаваемые в сигнальном сообщении запроса соединения;
- качество обслуживания (QoS), предоставленное сетью (фактическое);
- параметры проверки соответствия параметров потока ячеек источника запрашиваемым (глубина «ведра», скорость вытекания и т.п. – см. ниже);

– параметры соединения, предоставленного сетью.

Дескриптор (описание) нагрузки является перечнем значений основных параметров потока ячеек пользователя: пиковой PCR (Peak Cell Rate) и поддерживаемой SCR (Sustainable Cell Rate) скоростей ячеек ($SCR \leq PCR$); допустимого джиттера длительностей задержки; максимальной длины пачки ячеек MBS (Maximum Burst Size)¹.

Фактическое качество обслуживания определяется степенью соблюдения сетью соглашения о нагрузке и оценивается на приеме отношением числа конформных (соответствующих соглашению) ячеек к общему числу ячеек, отправленных источником. Качество обслуживания задается классами, определенными Рек. I.350 с учетом вероятности потерь ячеек с полем приоритета потери в заголовке $CLP = 0$ и, отдельно, с $CLP = 1$; средней задержки и джиттера задержки общего потока ячеек (с любым CLP). Есть четыре класса QoS – 1, 2, 3, 4, соответствующие классам A, B, C, D служб B-ISDN (см. табл. 6.8). Отметим, что сеть может предоставлять и одинаковое качество обслуживания всем службам, поскольку всех удовлетворяет QoS класса 1.

Класс качества не задается для соединений, не требующих гарантированного качества. Это могут быть соединения с неопределенной скоростью передачи (Unspecified Bit Rate, UBR), для которых сеть не контролирует поток ячеек и предоставляет остатки своих ресурсов от соединений с заданными параметрами нагрузки. Эти остатки могут значительно колебаться от сеансу к сеансу и в течении сеанса связи. При контроле потока ячеек с адаптацией их скорости к имеющимся ресурсам пользователю предоставляется соединение с доступной скоростью передачи (Available Bit Rate, ABR). Предоставление услуг с UBR и ABR повышает эффективность использования сетевых ресурсов.

Контроль параметров потока ячеек пользователя на соответствие соглашению о нагрузке выполняется в интерфейсе UNI механизмом регулирования параметров использования (Usage Parameter Control, UPC) по алгоритму «проточного ведра» (leaky bucket, Рек. I.371). Это «ведро» (буфер) с отверстием в дне. Скорость вытекания через отверстие соответствует поддерживаемой скорости входного потока ячеек SCR, установленной соглашением о нагрузке. При поступлении очередной ячейки проверяется, является ли она конформной (не переполняет ли «ведро»). Конформные ячейки передаются в «ведро» и далее обслуживаются, неконформные подсчитываются и либо сбрасываются, либо маркируются сменой приоритета потери CLP с 0 на 1. «Глубина ведра» D (емкость буфера) определяет допустимую длительность T_b доставки всех MBS ячеек пачки с пиковой скоростью PCR.

Используют также модификации алгоритма – со скоростью вытекания, соответствующей PCR или с разными комбинациями двух «проточных ведер», в частности, для контроля источников видеoinформации, для которых основная информация передается ячейками с $CLP = 0$, а второстепенная – ячейками с $CLP = 1$. В последнем случае, например, ячейки с $CLP = 0$ поступают параллельно в оба «ведра», а с $CLP = 1$ – только во второе, скорость вытекания из первого является поддерживаемой для потока ячеек с $CLP = 0$, а из второго – пиковой для общего потока. Ячейки, переполняющие первое «ведро», подсчитываются для контроля PCR с $CLP = 0$ и маркируются (устанавливается $CLP = 1$), а те, что переполняют второе «ведро», подсчитываются для контроля PCR общего потока или еще и сбрасываются, если имеют $CLP = 1$.

Управление нагрузкой. Конформный поток ячеек обычно формируется окончательным оборудованием пользователя. Далее в интерфейсе UNI механизм регулирования параметров

¹ MBS определяется максимально возможной длиной протокольного блока данных службы, а для протокола TCP/IP возможны также пачки длиной в несколько PDU.

использования UPC проверяет поток на соответствие соглашению о нагрузке. Похожий механизм регулирования параметров сети (Network Parameter Control, NPC) контролирует потоки ячеек в интерфейсах NNI сетевых узлов. В процессе управления нагрузкой применяют и иные механизмы: управления признанием соединения (CAC), управления приоритетами (priority control), общего управления потоком (GFC), формирования нагрузки (traffic shaping), управления ресурсами (Resource Management, RM) и т. п.

Механизм регулирования параметров использования UPC предназначен для защиты сетевых ресурсов от перегрузок и ошибок маршрутизации. Он контролирует все соединения в интерфейсе UNI (в т. ч. сигнальные) относительно:

- правильности идентификаторов виртуальных трактов и каналов;
- общего объема нагрузки в линии доступа;
- объема нагрузки, поступающей в сеть через все активные соединения виртуальных трактов и каналов.

Механизм UPC может иметь разные алгоритмы контроля: «проточного ведра», «скользящего окна», «проверки кредита» и т.п. От алгоритма требуются достаточная чувствительность (способность выявлять неконформную нагрузку), малая вероятность ошибочного восприятия нормальной нагрузки как избыточной, оптимальный уровень запаса (уровень превышения нагрузки, воспринимаемой как нормальная). Обнаружение избыточной нагрузки может вести или к ее безусловному сбросу, или к маркировке неконформных ячеек и их сбросу только при перегрузках в транзитных узлах соединения. Предпочтение обычно отдают маркировке, так как алгоритмы контроля не гарантируют безошибочного различения избыточной нагрузки.

Механизм UPC реализуется в граничном коммутационном устройстве. В зависимости от организации доступа это может быть концентратор или коммутатор виртуальных каналов, коммутатор виртуальных трактов или коммутатор виртуальных трактов для параметров, относящихся к тракту, и коммутатор виртуальных каналов для параметров, относящихся к каналу.

Механизм управления приоритетами повышает эффективность использования ресурсов. Он устанавливает значения бита CLP в заголовках ячеек (0 – высший, 1 – низший приоритет). Для потоков с двумя приоритетами возможны следующие варианты буферизации: отдельные буферы; общий буфер с выталкиванием при его заполнении ячеек низшего ячейками высшего приоритета; частично общий буфер, в который ячейки с CLP = 1 записываются, только если заполнение не превышает установленного порога. Последний вариант наиболее приемлем благодаря достаточной эффективности и простоте реализации.

Механизм GFC общего управления потоком (Рек. I.150) использует поля GFC заголовков ячеек для выделения терминалам полосы пропускания в интерфейсе UNI. Соединениям с постоянной скоростью передачи (Constant Bit Rate, CBR) предоставляется номинальная, а соединениям с переменной скоростью (Variable Bit Rate, VBR) – хотя бы минимально допустимая пропускная способность. Протокол GFC предусматривает двупунктную и пунктно-многопунктную конфигурацию доступа. Блок В-NT2 управляет терминалами командами разрешения передачи ячеек и запрещения при недостаточности ресурсов. Стандартный режим обслуживания терминалов предусматривает одну очередь для управляемых соединений и разрешает неуправляемые соединения. Режим с двумя очередями обеспечивает для таких соединений отдельные очереди.

Механизм формирования нагрузки регулирует характеристики потока ячеек в соединении виртуального тракта или канала для уменьшения пиковой скорости, размера пачки ячеек или джиттера задержки без нарушения последовательности ячеек. В интерфейсе UNI форми-

рование нагрузки заключается в согласовании его параметров с соглашением о нагрузке, а в интерфейсах NNI способствует оптимальному использованию ресурсов сети. Формирование осуществляется буферизацией, ограничением пиковой скорости или длины пачки ячеек, их расстановкой или кадрированием.

Буферизация, объединенная с алгоритмом «проточного ведра», преобразует поток неконформных ячеек в конформный.

Ограничения пиковой скорости или длины пачки ячеек используется для уменьшения возможностей нарушения конформности, если источник генерирует ячейки со скоростью, превышающей установленную соглашением о нагрузке, или длины пачек ячеек превышают максимальную по соглашению.

Расстановка ячеек заключается в том, что входные ячейки передаются в исходящий поток в порядке их поступления в назначенные согласно со скоростью регулярные моменты времени, а все неконформные ячейки сбрасываются. Благодаря регулярности минимизируется джиттер задержки ячеек, но при сбросе ячеек не учитывается приоритетность.

Кадрирование применяют для виртуальных соединений служб, чувствительных к задержкам, в частности при эмуляции каналов. Это метод регулирования задержек ячеек путем передачи их асинхронного потока в синхронных кадрах. Ячейки потоков, требующих жесткого контроля времени задержки, пересылаются от коммутационного узла в ближайшем кадре.

6.7.15. Общие принципы создания сети ATM

Технологию ATM следует внедрять на гарантированно совместимом оборудовании минимального числа поставщиков. Темпы развития транспортной сети ATM должны быть выше, чем у разных вторичных сетей. Транспортная сеть ATM может иметь магистральный и внутризоновый уровни. Магистральная сеть должна объединять магистральные узлы республиканских и областных центров, а внутризоновая – соединять их с узлами доступа областных и районных центров и выделенных городов республиканского и областного подчинения. Конкретная конфигурация и пропускная способность сети должны определяться при проектировании с учетом имеющихся магистральных и внутризональных ВОЛЗ; ожидаемой номенклатуры и числа пользователей сети ATM; используемых ими услуг, технологий и скоростей передачи; прогнозируемого обмена и оценки общей загруженности сети. На начальном этапе конфигурация сети может быть радиально-узловой (древовидной), но с точки зрения живучести и пропускной способности ее надо постепенно трансформировать в петлевою. Мощные транзитные магистральные узлы ATM целесообразно образовывать прежде всего в больших, удобно расположенных городах; в остальных крупных городах и областных центрах целесообразно постепенно устанавливать узлы доступа магистральной сети. Такие же узлы доступа следует устанавливать на внутризоновой транспортной сети ATM в соответствии с прогнозируемым спросом. Параллельно с развитием сети ATM надо развивать систему управления сетью, централизующую функции техэксплуатации и администрирования в соответствии с Рек. М.20, М.36, I.150, I.311, I.321, I.413, I.432 и серии I.600.

Возможны следующие, не обязательно разделенные во времени, этапы создания и развития сети ATM:

1. Внедрение технологии ATM на магистральных и внутризональных участках существующей первичной сети, оборудованных ВОЛС, в миллионных городах и в тех областных центрах, где есть оптоволоконные кольца SDH.

2. Постепенная реконструкция аналоговых магистральных и внутризональных участков первичной сети на основе ЦСП SDH и ВОЛС с применением плотного спектрального

уплотнения DWDM и одновременным внедрением технологии ATM во всех крупных городах и областных центрах.

3. Доведение транспортной сети ATM к крупным райцентрам и выделенным городам республиканского и областного подчинения.

4. Доведение транспортной сети ATM ко всем райцентрам, где есть потенциальный спрос на услуги ATM.

6.8. Коммутационное оборудование

6.8.1. Цифровые системы коммутации

Определение понятия «цифровая система коммутации» дано в п. 6.1.1, а основные требования к ЦСК, определяющие общие принципы их построения, – в п. 6.2.3. Построение ЦСК достаточно освещено в литературе (напр., [1, 3, 4, 39–41]). Отметим, что некоторые из них изначально разрабатывались как станции, а не системы, и не совсем соответствуют определению ЦСК.

На сетях стран СНГ внедрено много типов ЦСК преимущественно западной разработки. Каждая ЦСК имеет некоторые ограничения применения, в частности, не все ЦСК достаточно приспособлены к условиям сетей сельских районов СНГ, не все имеют подсистему подвижной связи¹ и могут использоваться как центры коммутации соответствующих сетей и т.п.

Сейчас ведущие производители модернизируют свои традиционные ЦСК в основном в направлении конвергенции с пакетными сетями и предлагают системы нового поколения Softswitches [2, 42], применимые на сетях с коммутацией каналов и пакетов и позволяющие, в частности, передавать речевую информацию по пакетным сетям, поддерживать любые мультисервисные соединения и т.п.

Как пример ЦСК, адаптированной к условиям ГТС и ТССР стран СНГ и имеющей возможности широкополосной пакетной коммутации, рассмотрим систему SI2000 пятого поколения². Ее архитектура дана на рис. 6.45. Она предусматривает иерархическую структуру с территориально распределенными коммутацией и управлением, с диапазоном емкостей модулей, соответствующим потребностям всех типов населенных пунктов, и с гибкой сетевой топологией соединений модулей системы; централизованную техэксплуатацию; возможности коммутации групп из n каналов 64 кбит/с ($n = 1–30$) и широкополосной пакетной коммутации на основе ATM; интегрированную модульную систему электропитания (Modular Power Supply, MPS).

Система имеет ЦТЭ, устанавливаемый при опорном оборудовании (ОПО) для централизованного выполнения задач технической эксплуатации, техобслуживания и административного управления (ОАМ) всем территориально рассредоточенным оборудованием. Отдельные ВКМ могут иметь модуль техобслуживания (МТО), предназначенный для взаимодействия с ЦТЭ, или, при необходимости, для самостоятельного выполнения задач ОАМ в рамках отдельной станции. Стык основного оборудования с ЦТЭ (МТО) – через встроенный порт Ethernet.

Опорное оборудование системы строится на основе однокассетного дублированного пространственно-временного коммутатора МСА емкостью 256×256 портов E1 со встроен-

¹ Эта подсистема в общем случае содержит базовые станции с радиointерфейсами и средствами абонентской сигнализации, контроллеры базовых станций и специфические компьютерные базы данных – регистры собственных и визитных абонентов, идентификации терминального оборудования и аутентификации абонентов.

² Разработана фирмой Iskratel (Словения).

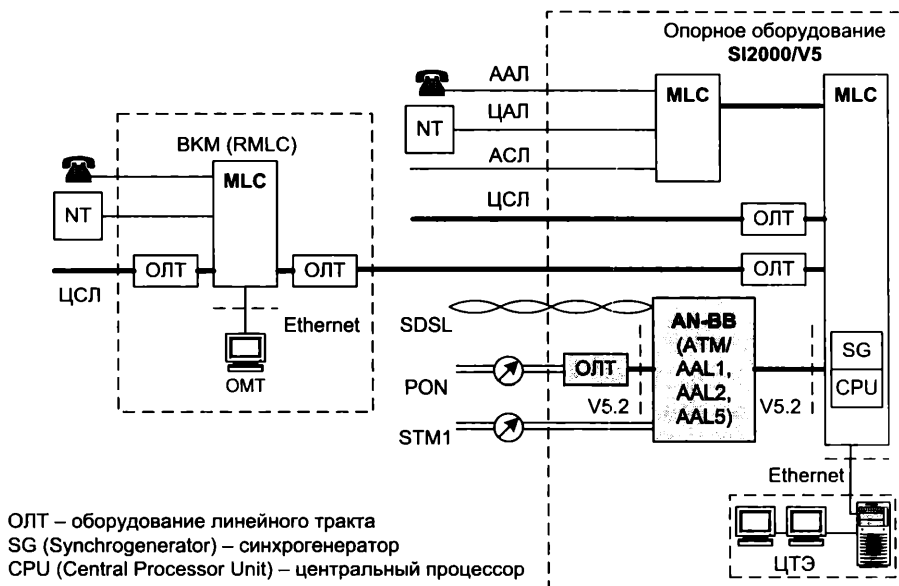


Рис. 6.45. Архитектура ЦСК SI2000 пятого поколения

ными средствами сигнального обмена, индивидуально программируемыми для каждого порта. Однокассетный блок абонентского доступа MLC позволяет подключить до 704 ААЛ или 352 ЦАЛ доступа 2В+D или любой возможной их комбинации (каждые 16 ЦАЛ включаются вместо 32 ААЛ). При необходимости в MLC могут подключаться АСЛ – физические или уплотненные СП ЧРК (каждые 8 АСЛ вместо 32 ААЛ), либо до 10 трактов Е1 ЦСЛ (в отдельные порты). В основном шкафу оборудования устанавливается МСА, один модуль MLC и система электропитания MPS (вместе с аккумуляторами), в каждом дополнительном шкафу – до четырех MLC.

Опорное оборудование может иметь широкополосный блок доступа (Access Node – Broadband, AN-BB) – пакетный коммутатор ATM, обеспечивающий скоростной доступ к сети Интернет, взаимодействие разнотипных локальных компьютерных сетей и т.п. и отделяющий для соответствующих абонентов широкополосную нагрузку от телефонной. AN-BB имеет порты для подключения:

- медных симметричных ЦАЛ по технологии SDSL на скорость до 2048 кбит/с;
- симметричных линий со стыком V5.2 (до 16 трактов 2048 кбит/с) к оптическому линейному окончанию (Optical LT, OLT) пассивной оптической сети (Passive Optical Network, PON) абонентского доступа;
- симметричных линий со стыком V5.2 к коммутатору МСА для передачи телефонной нагрузки;
- оптических линий стыка с оборудованием передачи SDH для передачи ячеек ATM на уровне STM1 (155 Мбит/с).

В качестве ВКМ может использоваться:

- оборудование, аналогичное ОпО (без ЦТЭ);
- выносной модуль доступа MLC (Remote MLC, RMLC), устанавливаемый в миникашу половинной высоты;

- станция на основе двух или трех взаимосоединенных RMLC, устанавливаемых в обычном шкафу вместе с системой электропитания;
- станция SI2000/320 – половинный модуль MLC, выполняемый как настенный блок (до 320 ААЛ, четыре порта E1).

6.8.2. Коммутаторы АТМ

Из-за нерегулярности потоков ячеек и ограниченных функций их заголовков коммутаторы АТМ имеют определенную специфику в сравнении с обычными пакетными (см. п. 6.1.5). Коммутация основана на поиске выходных порта и логического канала, определяемых идентификаторами VPI и VCI исходящих виртуальных тракта и канала, и на сопоставлении их с входными портом и виртуальным каналом. Поиск порта – пространственная коммутация, обмен логическими каналами – временная, но, в отличие от пространственно-временной коммутации каналов, в коммутаторах АТМ нет жестко установленных временных интервалов, поэтому возможно «соствязание» ячеек нескольких логических каналов за один временной интервал. Их конфликт решается буферизацией ячеек. Кроме этого, коммутатор АТМ должен обеспечивать возможности многоадресной передачи и приоритетного обслуживания ячеек. Производительность коммутатора зависит от возможных блокировок при пространственной коммутации и от организации и дисциплины очередей.

Возможны коммутаторы АТМ с общей памятью, общей средой или с пространственным разделением.

Коммутаторы с общей памятью. В таком коммутаторе входные и выходные порты (их число обозначим N) оборудуются собственными контроллерами, непосредственно соединенными с общей памятью, доступной входным контроллерам для записи и выходным – для считывания. Входной контроллер анализирует заголовок ячейки, определяет, в какую очередь ее поместить, и соответственно информирует процессор коммутатора. Последний в каждом временном цикле должен обработать N входящих ячеек и выбрать для передачи N исходящих, поэтому скорость и записи, и считывания должна быть Nv , где v – скорость обмена через порт. Нужный объем общей памяти определяется способом ее использования, числом портов и скоростью обмена. Память может разделяться на N секций, каждая для отдельной упорядоченной очереди, или предусматривать формирование произвольно размещаемых фрагментированных очередей, описываемых связанными списками адресов цепочек фрагментов. В последнем случае нужен меньший объем памяти, а ячейки теряются только при полном ее заполнении.

Пример построения коммутатора приведен на рис. 6.46. Он состоит из:

- входных преобразователей Пс/Пр последовательного кода в параллельный и выходных Пр/Пс для обратного преобразования;
- преобразователей заголовка (ПЗаг), определяющих и модифицирующих идентификаторы VPI и VCI каждой ячейки;
- блока коммутации, содержащего входной мультиплексор (М), буферную память (БП) и выходной демultipлексор (ДМ);
- контроллера, который имеет регистр адресов записи (РАЗ) и регистр адресов считывания (РАС) на каждый из N связанных списков;
- буфера адресов (БА) используемых областей памяти.

Для каждой входящей ячейки контроллер определяет связанный список, в который ее надо поместить, соответственно модифицирует ее идентификаторы VCI и VPI с помощью ПЗаг и опрашивает нужный РАЗ, откуда получает адрес свободной области памяти, в которую и записывается ячейка. Одновременно активируется база БА используемых областей

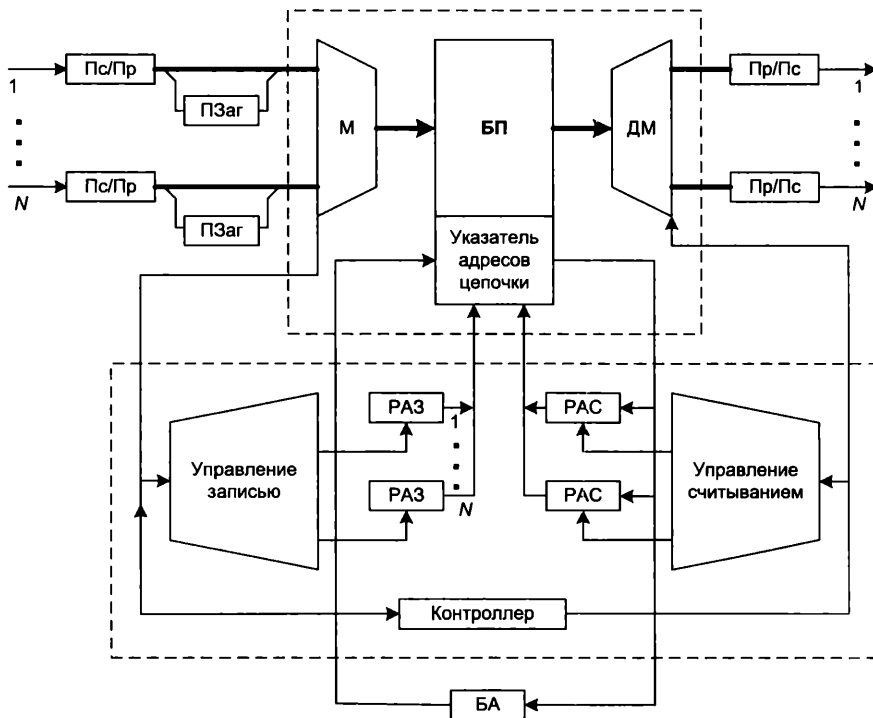


Рис. 6.46. Коммутатор с общей памятью

памяти, которая выдает адрес новой свободной области, вследствие чего РАЗ и соответствующие указатели адресов цепочки получают новые значения. Аналогично в каждом временном интервале для каждого связанного списка с помощью РАС определяется одна ячейка, извлекаемая из БП и передаваемая в нужный выходной порт с одновременной коррекцией указателей адресов и содержания БА.

Такой коммутатор может обеспечить приоритетное обслуживание ячеек, для чего надо буферизовать ячейки, назначенные определенному выходному порту, в отдельных для каждого уровня приоритета связанных списках. При некоторой модификации коммутатора возможна и многоадресная передача ячеек. После установления виртуального многоадресного соединения в контроллере должна сохраняться соответствующая таблица многоадресной маршрутизации, используемая для записи нужного числа копий каждой ячейки в свои выходные очереди. Для таких ячеек целесообразно иметь отдельный буфер, где они сохраняются, пока нужные копии не будут записаны в надлежащие области БП.

Коммутаторы с общей средой. В таких коммутаторах все входящие ячейки синхронно мультиплексируются в общую среду – скоростную шину или кольцо с временным разделением. Скорость в общей шине должна в N раз превышать скорость входного порта. Каждый выходной порт подключается к шине через адресный фильтр и свою БП с упорядоченной очередью (First-In-First-Out, FIFO). Адресные фильтры по идентификаторам VPI и VCI заголовков ячеек определяют, следует ли записывать их в свои БП, т.е. фактически демultiplexируют общий поток. Вместо отдельных фильтров может использоваться общий адресный контроллер, анализирующий заголовки всех входящих ячеек и определяющий, в какую БП записывать каждую из них (рис. 6.47).

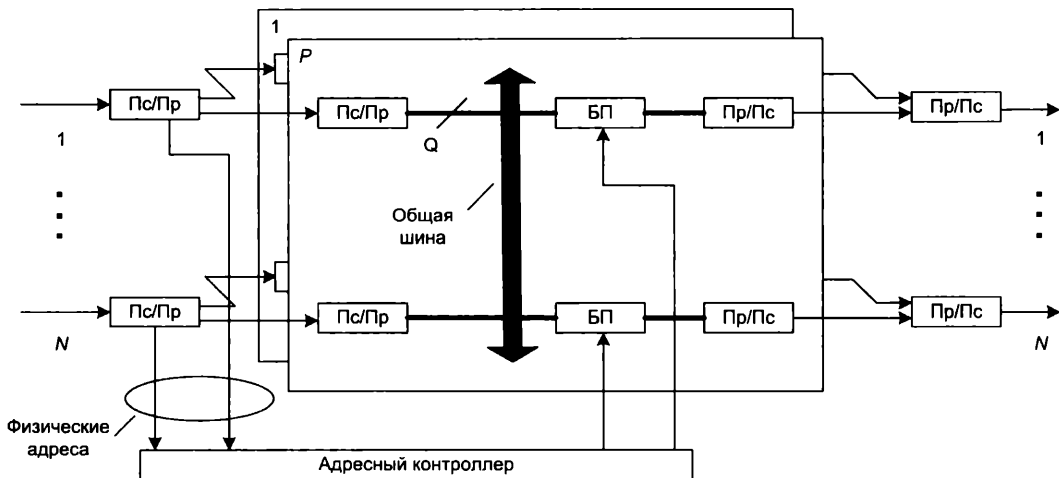
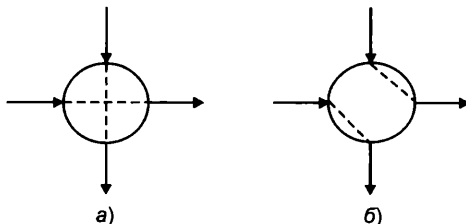


Рис. 6.47. Коммутатор с общей средой

При многоадресной передаче ячейка может параллельно заноситься в несколько БП. Для обеспечения нужной скорости предусмотрена параллельная организацию данных. Например, входящий битовый поток преобразуется в P параллельных потоков, каждый из которых со скоростью v/P обрабатывается соответствующей параллельной схемой, где снова преобразуется в параллельный Q -разрядный код. При необходимости такие коммутаторы могут объединяться в многопортовую многокаскадную схему.

Коммутаторы с пространственным разделением. В них, в отличие от коммутаторов, мультиплексирующих входящую нагрузку в единый поток со скоростью Nv , устанавливаются отдельные соединения и в принципе возможны внутренние блокировки. Такие коммутаторы разделяют на «баньяновы» (см. п. 6.1.5), матричные и с N^2 отдельными соединениями. В сравнении с «баньяновыми» в матричных коммутаторах требуется значительно больше коммутационных элементов, а отдельный элемент 2×2 (см. рис. 6.5) предусматривает два возможных состояния (рис. 6.48):

- сквозное соединение (горизонтальный вход соединен с горизонтальным выходом, вертикальный с вертикальным);
- перекрестное соединение (горизонтальный вход соединен с вертикальным выходом, вертикальный вход с горизонтальным выходом).

Рис. 6.48. Основной элемент матричного коммутатора 2×2

На рис. 6.49 изображен коммутатор матричного типа с входными буферами и примером соединения входа i с выходом j . Для коммутационных элементов, состояние которых на рисунке не показано, оно не имеет значения для данного соединения.

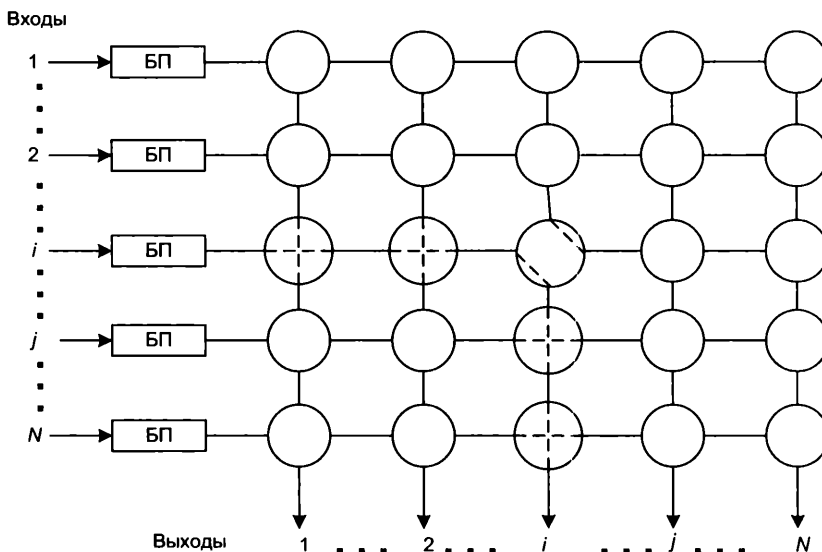


Рис. 6.49. Коммутатор матричного типа с входными буферами

В матричном коммутаторе, как и в «банныйном» на рис. 6.7, все нужные переключения коммутационных элементов могут выполняться индивидуально каждым пакетом, имеющим в заголовке номер выходного порта (т.е. коммутатор является самомаршрутизируемым), и возможны внутренние блокировка – если в одном временном интервале поступит несколько пакетов, предназначенных определенному выходному порту, то можно передать только один из них, а остальные надо сохранить в буфере, иначе они будут потеряны. Буферные устройства (БП) могут устанавливаться на входах коммутатора (см. рис. 6.49) или в узлах коммутационной матрицы (рис. 6.50).

При входных БП функции коммутации и буферизации разделены, что упрощает реализацию соответствующих микросхем. Каждая входящая ячейка записывается в БП и, если не

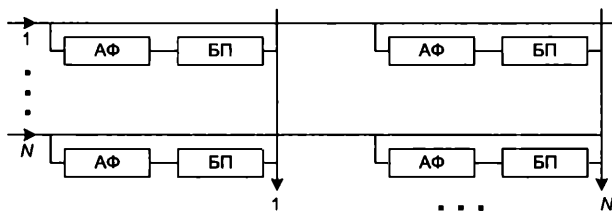


Рис. 6.50. Матричный коммутатор с буферами в узлах матрицы

может быть передана из-за конфликта, то остается в БП и ожидает следующей попытки. В случае БП с упорядоченной очередью (FIFO) за передачу конкурируют только ячейки, пребывающие в каждом БП в начале очереди. Если ячейка не передана из-за внутренней блокировки, она остается в начале очереди и конкурирует за передачу в следующем временном интервале. Ячейки, находящиеся дальше в очереди, тоже блокируются независимо от номера нужного им выходного порта, что уменьшает пропускную способность такого коммутатора. Для БП с произвольной выборкой усложняется реализация, но заметно возрастает пропускная способность – если начальная ячейка очереди заблокирована, то из очереди выбирается следующая ячейка, порт назначения которой свободен.

При размещении БП в узлах коммутационной матрицы функции коммутации и буферизации схемно объединены, что усложняет техническую реализацию и требует большего объема памяти, чем в коммутаторе с входными БП.

В коммутаторе рис. 6.50 адресные фильтры АФ отбирают ячейки для своих выходов. Если в нескольких БП есть ячейки, предназначенные одному выходу, то все они, кроме одной (назовем ее «победителем»), должны быть задержаны. «Победитель» выбирается псевдослучайным или циклическим способом из самой длинной очереди или из наиболее долго задержанных ячеек. Псевдослучайный и циклический выбор реализуются просто, но, особенно псевдослучайный, ведут к значительным колебаниям длительностей задержки ячеек. Для минимизации потерь оптимален более сложный технически выбор из самой длинной очереди, основанный на механизме сравнения очередей. Для минимизации задержек оптимален выбор из наиболее долго задержанных ячеек, основанный на запоминании порядка поступления конкурирующих ячеек.

Пример коммутатора с N^2 отдельными соединениями дан на рис. 6.51. Это внутренне неблокируемый так называемый «нокаутный» коммутатор с буферизацией на выходе. Каждый его входной порт передает ячейки на распределительную шину, к которой подключены все выходные порты. Каждый выходной порт имеет N адресных фильтров, выявляющих адресованные ему ячейки, и может параллельно принимать до N ячеек, из которых для занесения в выходную БП с помощью концентратора выбирается до L ячеек, а остальные (если такие есть) теряются (по принципу «нокаута»). Для достижения малой вероятности потерь ячеек надлежащим образом выбирают параметр L . В частности, эта вероятность при $L = 8$ не превышает 10^{-6} практически независимо от нагрузки, а каждое единичное приращение L снижает ее почти на порядок [19].

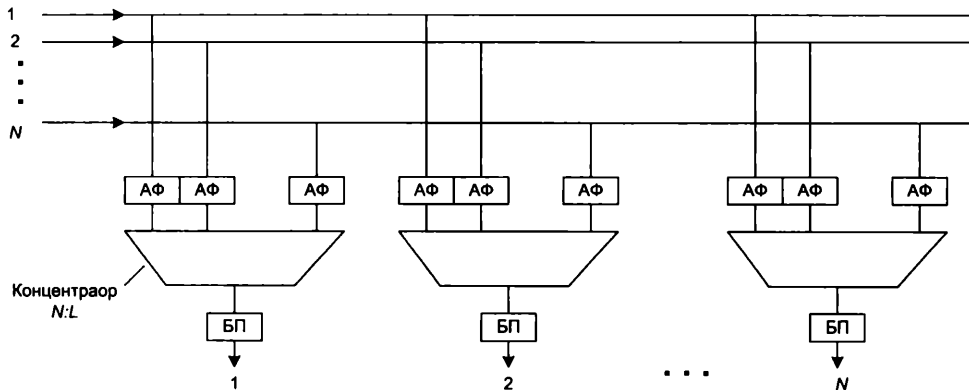


Рис. 6.51. Коммутатор «нокаутного типа»

Современные коммутаторы АТМ часто построены по принципу «нокаута», особенно при значительных N .

Типы коммутаторов АТМ. Оборудование АТМ производит несколько десятков известных фирм (Newbridge, FORE Systems, Cisco, 3Com и т.п.). Как пример реальных возможностей, ниже даны основные технические характеристики некоторых распространенных типов коммутаторов АТМ.

Коммутатор 36150 MainStreet (фирма Newbridge), предназначенный для доступа в сеть АТМ, предусматривает коммутацию виртуальных трактов и каналов на скорости до 12,8 Гбит/с

с образованием двупунктовых двунаправленных (симметричных или асимметричных) и многопунктовых однонаправленных соединений. Данные о всех соединениях хранятся в энергонезависимой памяти главного процессора. Коммутатор построен на основе 4-портовой платы с выходными буферами. Коммутатор на 4 порта однокаскадный без внутренних блокировок, на 8 или 16 портов – многокаскадный с пренебрежимо малыми блокировками. В интерфейсах UNI обеспечивается общее управление потоком GFC с учетом приоритетов для источников с CBR и VBR (AAL первого и пятого типов). Предусмотрены следующие интерфейсы UNI:

- плата E1 TDM для подключения тракта E1 с целью транспортирования его сетью ATM (есть и аналогичная плата для американского стандарта T1 TDM на 1,5 Мбит/с);
- плата Ethernet для обмена данными между стыком Ethernet (10 Мбит/с) и сетевым интерфейсом ATM;
- плата Token Ring для обмена данными между стыком Token Ring (4 Мбит/с и 16 Мбит/с) и сетевым интерфейсом ATM;
- плата FDDI для передачи пакетов FDDI в ячейках ATM;
- плата NTSC/JPEG для двунаправленной передачи видеосигналов стандарта NTSC со звуком и с возможностью компрессии по стандарту JPEG (без компрессии полоса видеосигнала 127,2, с компрессией программируется на 7,8; 10,2; 12,7; 25,4; 38,2 или 42,4 Мбит/с) (есть также плата PAL/JPEG с аналогичными возможностями для видеостандарта PAL).

Возможные сетевые интерфейсы (NNI) коммутатора:

- LATM (Local ATM) – интерфейс ячеечного типа для доступа в сеть ATM с помощью одно- и многомодовых оптических кабелей на скорости 100 и 140 Мбит/с;
- STM-1 ATM (или OC-3 ATM) – стык с оборудованием SDH (или SONET) (155 Мбит/с, одномодовый оптический кабель);
- E3 ATM/PLCP – стык со стандартным цифровым трактом E3 (34 Мбит/с) с использованием протокола PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) конвергенции физического уровня с системами передачи PDH (есть и аналогичный стык для американского стандарта T3 ATM/PLCP на 45 Мбит/с).

Коммутатор 36170 MainstreetXpress (фирма Newbridge) предназначен для создания транспортной сети ATM. Предусматривает коммутацию двупунктовых соединений на скорости до 12,8 Гбит/с. Обеспечивает управление нагрузкой для предотвращения перегрузок сети. Строится как дублированная неблокируемая полносвязная матрица с выходными буферами. Может иметь до 94 портов STM-1 (OC-3), до 16 – STM-4 (OC-12), до 282 – E3 (T3) и до 6000 портов E1 (T1). Общая пропускная способность до 102,4 Гбит/с.

Коммутатор ForeRunner ASX-1000 (фирма FORE Systems) предназначен для создания транспортной сети ATM. Предусматривает неблокируемую коммутацию со скоростью от 2,5 до 10 Гбит/с. Может иметь от 2 до 96 портов ATM: STM-1 (OC-3), STM-4 (OC-12), E3 (T3) на одно- и многомодовых оптических кабелях.

ЛИНИИ СВЯЗИ И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

7.1. Технологии волоконно-оптических линий связи

7.1.1. Конструкция и области применения оптических волокон

Основным элементом оптического кабеля (ОК) является оптическое волокно (ОВ), которое предназначено для направленной передачи оптического излучения. Оптическое волокно состоит из сердцевины, одной или нескольких оболочек и одного или нескольких защитных покрытий.

Сердцевина ОВ – это его центральная область, через которую передается основная часть мощности оптического сигнала. *Оболочка ОВ* – это окружающий сердцевину слой, среднее значение показателя преломления (ПП) в котором меньше, чем ПП сердцевины. Применяются однородные или депрессированные оболочки. У однородных оболочек ПП постоянный, у депрессированных – переменный. Диэлектрическим материалом для сердцевины и оболочки ОВ служит плавный кварц (кварцевое стекло) – SiO_2 , чистый или с примесями химических элементов и их соединений, небольшие пропорции которых должным образом способствуют изменению оптических свойств плавного кварца. Сердцевина и оболочка ОВ обладают разными оптическими характеристиками (показателями преломления n_1 и n_2). Сердцевина служит для передачи электромагнитной энергии, а оболочка – для создания лучших условий отражения на границе раздела сердцевины – оболочка, защиты сердцевины волокна от механических повреждений, а также для защиты от излучения энергии в окружающее пространство и поглощения нежелательного излучения извне.

Оптические волокна делятся на две группы: многомодовые и одномодовые. Первые, в свою очередь, подразделяются на ступенчатые и градиентные (рис. 7.1). В ступенчатых ОВ показатель преломления в сердцевине постоянен и имеется резкий переход от n_1 сердцевины к n_2 оболочки. Градиентные ОВ имеют непрерывное плавное изменение показателя преломления в сердцевине по радиусу световода от центра к периферии.

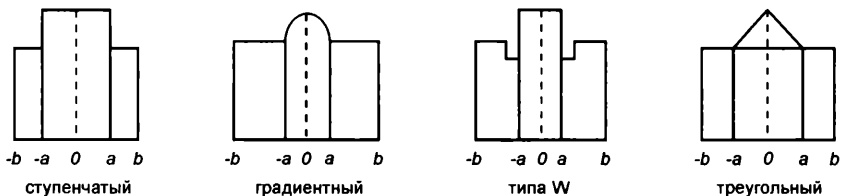


Рис. 7.1. Профили показателей преломления различных световодов

В конструктивном отношении одномодовые и многомодовые ОВ различаются диаметром сердцевины. В одномодовых оптических волокнах (ООВ) диаметр сердцевины соизмерим с длиной волны ($d \approx \lambda$), и по нему передается лишь один тип волны (мода). В многомодовых

довых оптических волокнах (МОВ) диаметр сердцевины больше, чем длина волны ($d > \lambda$), и по нему распространяется большое число волн.

Практически сердцевина ОВ, как правило, составляет 6–8 мкм у одномодовых и 50 мкм у многомодовых световодов, диаметр оболочки 125 мкм, диаметр волокна по защитному покрытию 250 мкм.

На рис. 7.2 представлены траектории лучей в световодах различных групп. Как видно из рисунка, ход лучей в разных световодах различен. В ступенчатом многомодовом световоде лучи резко отражаются от границы сердцевина – оболочка. При этом пути следования различных лучей различны, и поэтому они приходят к концу линии со сдвигом во времени. Это приводит к искажению передаваемого сигнала (дисперсия).

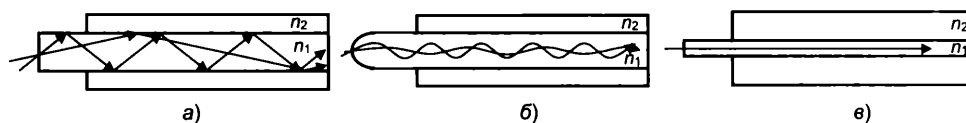


Рис. 7.2. Волоконные световоды:
а – ступенчатые многомодовые; б – градиентные многомодовые; в – одномодовые

Градиентные световоды также являются многомодовыми. Но здесь лучи распространяются по волнообразным траекториям и искажения меньше.

Наилучшие условия для передачи сигналов создаются в одномодовых оптических волокнах, так как в них распространяется лишь один луч.

Математически профиль показателя преломления (ППП) ОВ может быть описан выражением

$$n_r = n_1 \left[1 - 2\Delta \left(r/a \right)^u \right]^{1/2}, \quad (7.1)$$

где n_1 – максимальное значение ППП на оси волокна, т.е. при $r = 0$; a – радиус сердцевины; u – показатель степени, описывающий изменение ППП; Δ – относительная разность показателей преломления сердцевины и оболочки ОВ. В разных волокнах значение Δ меняется от 0,003 до 0,01.

Показатель степени u для треугольного ППП равен 1, параболического – 2, а прямоугольного (ступенчатого) – ∞ .

Сегодня применение МОВ, работающих в первом и втором окнах прозрачности с номинальными длинами волн 850 и 1300 нм, ограничено, как правило, локальными сетями и сетями связи с технологией PDH.

Например, фирма Corning в последние годы для применения в высокоскоростных, базирующихся на лазерной технологии протоколах локальных сетей (LAN), таких как Gigabit Ethernet, выпустила волокна InfiniCor™ 300, InfiniCor™ 600 и InfiniCor™ 1000. Эти волокна способны передавать информацию на расстояния соответственно до 300, 600 и 1000 м. При использовании более медленных протоколов, таких как Fast Ethernet, FDDI и 155 Мбит/с ATM, эти волокна могут эффективно работать и на расстояниях, больших чем 2000 м.

Потребность в увеличении полосы пропускания и дальности передачи сигнала привела к необходимости применения *одномодового оптического волокна*. Стандартное одномодовое волокно (Standard Single Mode Fiber, SSMF) предназначено для работы в диапазоне длин волн 1,285–1,330 мкм, в котором величина хроматической дисперсии в ОВ достигает минимального, близкого к нулю значения. Возможно также использование этого ОВ в спектральном диапазоне 1,525–1,565 мкм, затухание на этих длинах волн очень мало (~0,2 дБ/км), а ко-

эффицент хроматической дисперсии составляет 16–18 пс/(нм · км). Параметры стандартного одномодового ОВ регламентируются Рек. ITU-T G.652. Это исторически первое и наиболее распространенное волокно, применяемое с 1983 г.

Растущая потребность в увеличении полосы пропускания и протяженности оптических линий привела к возникновению ряда модификаций стандартного одномодового волокна. Первой модификацией ООВ стало волокно со смещенной в область 1550 нм длиной волны нулевой дисперсии (Dispersion Shifted Fiber, DSF). В этом волокне область минимума оптических потерь совпадает с областью минимальной хроматической дисперсии. Параметры этого ОВ регламентируются Рек. ITU-T G.653. Волокно со смещенной дисперсией хорошо совместимо с оптическими усилителями, поскольку интервал длин волн, в котором ОВ имеет наилучшие параметры по затуханию и дисперсии совпадает с полосой максимального усиления оптических усилителей на эрбиевом волокне. Такой тип волокна предпочтителен для высокоскоростных линий связи с большой длиной регенерационного участка и технологий оптического уплотнения. Возможно также применение этого ОВ в системах со спектральным уплотнением (Wavelength Division Multiplexing, WDM) при ограниченной протяженности регенерационного участка, пониженной мощности передаваемого сигнала и ограниченной плотности спектральных компонент.

Однако эти волокна имеют недостаток, связанный с возникновением нелинейных эффектов (так называемый эффект смешивания некоторых волн), возникающий при использовании оптического усилителя на основе волокна, легированного эрбием EFDA, в середину рабочего диапазона которого попадает длина волны нулевой дисперсии этого волокна. В связи с этим эффектом ограничено использование этого волокна в системах WDM.

Второй модификацией ООВ стало волокно с затуханием, минимизированным на волне 1550 нм, соответствующее Рек. ITU-T G.654. Волокна этой модификации на сетях электро-связи не нашли применения.

Следующей модификацией ООВ стало волокно со смещенной ненулевой дисперсией (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber, NZDSF). К его разработке привело внедрение технологии «плотного» частотного уплотнения (Dense WDM, DWDM) совместно с использованием эрбиевых оптических усилителей. При использовании технологии DWDM в ОВ одновременно вводится большое количество (до 100) оптических сигналов на близких длинах волн, каждый из которых несет свой, независимый от других информационный поток. Применение этой технологии позволяет радикально повысить пропускную способность оптических линий, но при этом накладывает определенные требования на ОВ.

Первым из них является отсутствие искажений сигнала, передаваемого каждой отдельной спектральной компонентой, что эквивалентно требованию отсутствия хроматической дисперсии, поскольку именно она приводит к искажению цифрового сигнала и возникновению битовых ошибок. Однако при отсутствии хроматической дисперсии возникают нелинейные эффекты, обусловленные высокой мощностью оптических сигналов в волокне из-за необходимости передачи на большие расстояния и применения оптических усилителей при высокой плотности спектральных компонент. Наиболее важен для систем, использующих DWDM-технологии, эффект четырехволнового смешивания, приводящий через взаимодействие отдельных спектральных компонент со средой (сердцевиной ОВ) к взаимодействию спектральных компонент друг с другом. Вследствие этого после прохождения DWDM-сигналом определенной длины волокна возникают компоненты на кратных частотах, т.е. становится невозможным демультимплексирование сигнала. Как выяснилось, наличие в ОВ некоторого уровня хроматической дисперсии эффективно подавляет влияние нелинейных эффектов. Волокно NZDSF, параметры которого регламентируются Рек. ITU-T G.655, как раз отвечает вышеперечисленным требованиям. Оно предназначено для использования в линиях с

большой протяженностью регенерационного участка с DWDM уплотнением сигнала. Рабочий диапазон для таких ОВ 1530–1565 нм, а коэффициент хроматической дисперсии в рабочем диапазоне 0,1–6 пс/(нм·км). Такое значение коэффициента хроматической дисперсии обеспечивает достаточно низкое значение дисперсии оптического сигнала в волокне. В свою очередь, такой уровень дисперсии достаточно низок для того, чтобы обеспечить скорость передачи до 10 Гбит/с в каждом спектральном канале, и в то же время достаточно высок для эффективного подавления нелинейных эффектов при использовании DWDM-технологий. Даже без использования DWDM-технологии этот тип волокон обеспечивает большую пропускную способность и протяженность регенерационного участка, чем стандартное одномодовое волокно. Интересной особенностью этого волокна является возможность получения ОВ с одинаковой по величине, но разной по знаку дисперсией (волокна NZDSF+ и NZDSF–), что дает возможность построения линий со скомпенсированной, близкой к нулю дисперсией, без применения дополнительных устройств.

В последнее время выпуск волокон со смещенной ненулевой дисперсией налажен тремя фирмами – Lucent Technology, Corning и Fujikura [1–3]. Волокно TrueWave фирмы Lucent Technologies и волокно SMF-LS фирмы Corning имеют ненулевую дисперсию во всей полосе пропускания эрбиевого усилителя. Первое волокно обеспечивает положительную величину коэффициента хроматической дисперсии, имея точку нулевой дисперсии несколько

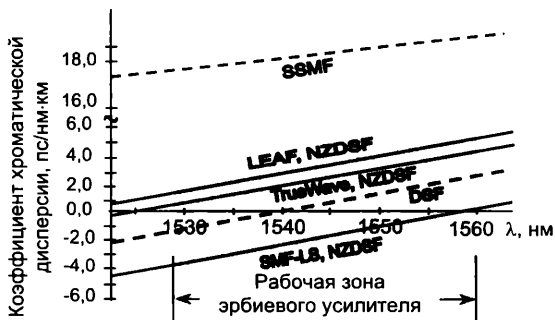


Рис. 7.3. Коэффициент хроматической дисперсии одномодовых ОВ в окне прозрачности 1550 нм

второе – отрицательную величину, имея точку нулевой дисперсии несколько выше 1560 нм (рис. 7.3).

При дальнейшем технологическом совершенствовании фирмой Corning было выпущено волокно NZDSF марки LEAF [2], которое обладает большой эффективной площадью для светового поля и предназначено для применения в системах спектрального уплотнения с большим числом каналов в диапазоне 1550 нм и внутриканальной скоростью передачи 10 Гбит/с. За счет увеличения эффективной площади для светового потока волокно LEAF позволяет увеличить уровень оптической мощности в системе на 2

дБ по сравнению с обычными волокнами с ненулевой смещенной дисперсией. Это, в свою очередь, приводит к существенным системным преимуществам, улучшению отношения сигнал-шум, снижению уровня ошибок, более длинным усилительным участкам.

С появлением систем передачи DWDM, использующих не только третье окно прозрачности (от 1530 до 1565 нм), но и четвертое окно (длины волн от 1565 до 1620 нм), фирмой Lucent Technologies было предложено волокно Truewave RS с уменьшенным наклоном дисперсионной кривой, которое представляет собой волокно с ненулевой смещенной дисперсией NZDF, разработанное для систем, работающих как в третьем, так и в четвертом окне прозрачности. Это увеличило пропускную способность ОВ.

Дальнейшие разработки в области производства оптических волокон позволили открыть пятое окно прозрачности 1350–1450 нм, недоступное ранее из-за свойственного ему большого затухания, вносимого ионами ОН. Фирма Lucent Technologies представила волокно AllWave, в котором практически исключается наличие ионов ОН, что позволяет использовать его во всем

диапазоне длин волн от 1280 до 1625 нм. Спектральные зависимости затухания в волокнах TrueWave RS, AllWave приведены на рис. 7.4.

Волокно AllWave является усовершенствованием стандартного одномодового волокна. В отличие от стандартного одномодового волокна данное ОВ не имеет так называемого «водяного пика», т.е. увеличения поглощения на длине волны 1,385 мкм, соответствующей спектру поглощения ионов ОН. На этой длине волны поглощение составляет 0,31 дБ/км. Данный тип ОВ предлагается использовать в локальных и местных сетях связи с небольшой протяженностью регенерационных участков, но с одновременным использованием всего спектрального диапазона от 1,3 до 1,6 мкм. Пока, правда, нет полной ясности в вопросе долговременной стабильности характеристик данного ОВ, т.е. не проявится ли «водяной пик» со временем, в процессе эксплуатации.

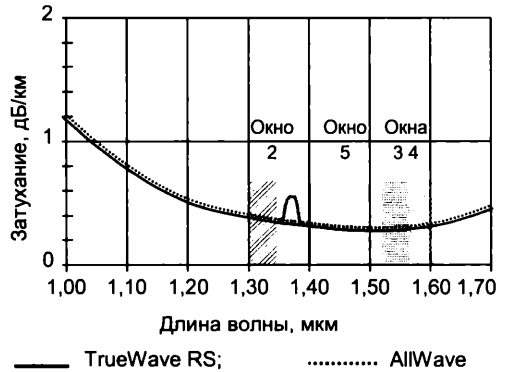


Рис. 7.4. Спектральная зависимость затухания в волокне

7.1.2. Оптические параметры оптических волокон

К основным оптическим параметрам ОВ относятся числовая апертура, нормированная частота, число мод, диаметр модового поля, длина волны отсечки.

Числовая апертура – одна из основных характеристик, определяющих условия ввода оптических сигналов и процессы их распространения в ОВ. Для ОВ со ступенчатым и с градиентным ППП она соответственно определяется как:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta} \text{ и } NA = \sqrt{(n_1^2(r) - n_2^2)/2} .$$

Нормированная частота определяет число мод, распространяющихся по ОВ. Если $0 < v < 2,405$, то режим работы волокна одномодовый, если $v > 2,405$ – многомодовый. Она определяется как

$$v = 2\pi a NA / \lambda ,$$

где λ – длина волны, мкм.

Общее число мод в МОВ с диаметром сердцевины $2a$, заданной числовой апертурой на рабочей длине волны λ , определяется через нормированную частоту для ОВ со ступенчатым и с градиентным ППП соответственно как

$$M \approx v^2/2 \text{ и } M \approx v^2/4 .$$

Число мод может составлять от одной до тысячи.

Важным интегральным параметром ООВ является *диаметр модового поля*. В многомодовых ОВ размер сердцевины принято оценивать диаметром ($2a$), в одномодовых волокнах – с помощью диаметра модового поля ($d_{мп}$). Это связано с тем, что энергия основной моды в ООВ распространяется не только в сердцевине, но и частично в оболочке, захватывая ее приграничную область. Поэтому $d_{мп}$ более точно оценивает размеры поперечного распределения энергии основной моды. Величина $d_{мп}$ является важной при стыковке волокон между собой, а также при стыковке источника излучения с волокном.

Согласно [4, 5] радиус поля моды W_0 в микрометрах определяется при известных значениях v и a из следующих соотношений:

$$W_0 = a \left(0,65 + 1,619v^{-1.5} + 2,879v^{-6} \right) \text{ или } W_0 = a \left(0,65 + 1,62v^{-3/2} \right).$$

Тогда искомое значение диаметра модового поля будет равно $d_{\text{мп}} = 2W_0$.

Минимальная длина волны, при которой ОВ поддерживает только одну распространяющуюся моду, называется *длиной волны отсечки*. Этот параметр характерен для ООВ. Если рабочая длина волны λ_p меньше, чем длина волны отсечки, то имеет место многомодовый режим распространения света.

Различают длину волны отсечки в волокне λ_c и длину волны отсечки в проложенном кабеле λ_{cc} . Первая – λ_c соответствует слабо напряженному волокну и, например, для ступенчатого ООВ она определяется как

$$\lambda_c = 2\pi a NA / 2,405.$$

Вторая – λ_{cc} соответствует напряженному ОВ. На практике ОВ в проложенном или подвешенном на опорах кабеле имеет большое число изгибов. Кроме того, сильные искривления имеются в ОВ, уложенных в кассеты муфт, и промежуточных соединителях на объектах связи (сплайс-боксах). Все это ведет к подавлению побочных мод и сдвигу λ_{cc} в сторону коротких длин волн в сравнении с λ_c . Различие между λ_{cc} и λ_c можно оценить только экспериментальным путем.

7.1.3. Параметры передачи оптических волокон

К основным параметрам передачи ОВ относятся: коэффициент затухания, дисперсия ООВ.

Коэффициент затухания в оптическом волокне – это мера ослабления оптической мощности, распространяемой вдоль ОВ между двумя его поперечными сечениями, находящимися на расстоянии в 1 км на данной длине волны. Коэффициент затухания ОВ выражается в дБ/км.

Коэффициент затухания α ОВ обуславливается собственными потерями волокна:

$$\alpha = \alpha_{\text{pp}} + \alpha_{\text{им}} + \alpha_{\text{ик}} + \alpha_{\text{пр}},$$

где $\alpha_{\text{pp}}, \alpha_{\text{им}}, \alpha_{\text{ик}}, \alpha_{\text{пр}}$ – соответственно составляющие за счет релеевского рассеяния, поглощения в материале волокна, инфракрасного поглощения и поглощения примесями ОВ.

При практических расчетах α удобно применять следующие приближенные формулы [6]:

$$\alpha_{\text{pp}} \approx (6,3 \cdot 10^{11} / \lambda^4) \cdot (1 + 215\Delta),$$

$$\alpha_{\text{им}} \approx 2,55 \cdot 10^{-3} \exp(4,63 \cdot 10^3 / \lambda),$$

$$\alpha_{\text{ик}} \approx 7,81 \cdot 10^{11} \exp(-4,85 \cdot 10^4 / \lambda),$$

где λ – длина волны оптического излучения, введенного в ОВ, нм.

Из потерь на примесях в реальных ОВ, выпускаемых в соответствии с требованиями Рек. ITU T G.652 и G.651, наиболее сильно проявляются потери на гидроксильном остатке воды – ОН $\alpha_{\text{пр}}$ ($\alpha_{\text{он}}$), значения которых согласно [6] при $\lambda = 850$ нм составляют 0,1 дБ/км, при $\lambda = 1300$ и $\lambda = 1550$ нм – 0,05 и 0,03 дБ/км, соответственно.

Наряду с коэффициентом затухания важнейшим параметром ОВ является дисперсия, которая определяет его пропускную способность. *Дисперсия* – это рассеивание во времени спектральных или модовых составляющих оптического сигнала, которое приводит к увеличению длительности импульса оптического излучения при распространении его по ОВ (рис. 7.5), и численно определяется разностью квадратов длительностей импульсов на выходе и входе ОВ [6]:

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{вых}}^2 - \tau_{\text{вх}}^2},$$

где значения $\tau_{\text{вх}}$ и $\tau_{\text{вых}}$ определяются на уровне половины амплитуды импульсов. Дисперсия не только ограничивает частотный диапазон ОВ, но существенно снижает дальность передачи сигналов, так как, чем длиннее линия, тем больше увеличение длительности импульсов.

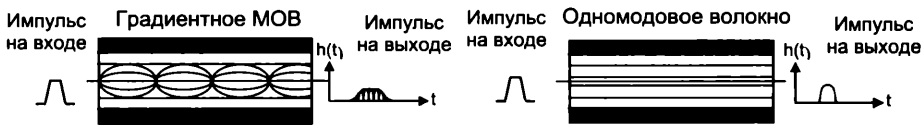


Рис. 7.5. Распространение излучения по многомодовому и одномодовому ОВ

Дисперсия в общем случае определяется тремя основными факторами: различием скоростей распространения направляемых мод, направляющими свойствами оптического волокна и параметрами материала, из которого оно изготовлено. В связи с этим основными причинами возникновения дисперсии являются, с одной стороны, большое число мод в ОВ (*межмодовая дисперсия*), а с другой – некогерентность источников излучения, реально работающих в спектре длин волн $\Delta\lambda$ (*хроматическая дисперсия*).

Межмодовая дисперсия преобладает в многомодовых ОВ. Она обусловлена наличием большого количества мод, время распространения которых различно. Согласно [6] значение межмодовой дисперсии ОВ со ступечатым ПП может быть определено из выражения

$$\tau_{\text{мод}} = n_1 \Delta L / c.$$

Из него следует, что межмодовая дисперсия возрастает с увеличением длины волокна. Однако это справедливо только для идеального волокна, в котором взаимодействие между модами отсутствует. В реальных условиях наличие неоднородностей, кручение и изгиб волокна приводит к постоянным переходам энергии из одних мод в другие – *взаимодействию мод*, в связи с чем дисперсия становится пропорциональной \sqrt{L} . Это влияние проявляется не сразу, а после определенного расстояния прохождения световой волны, которое носит название *длины установившейся связи мод*. Эта длина принимается равной 5...7 км для ступенчатого волокна и 10...15 км – для градиентного. Она установлена эмпирическим путем.

В градиентных многомодовых волокнах время распространения оптических лучей определяется законом изменения показателя преломления и при определенных условиях выравнивается, что, естественно, ведет к уменьшению дисперсии. Так, при параболическом профиле показателя преломления, когда показатель степени в выражении (7.1) принимает значение $u = 2$, величина $\tau_{\text{мод}}$ будет определяться выражением

$$\tau_{\text{мод}} = (n_1 \Delta^2 L) / 2c.$$

В инженерных расчетах при определении модовой дисперсии следует иметь в виду, что до определенной длины линии L_c нет межмодовой связи, а затем при $L > L_c$ происходит процесс взаимного преобразования мод и наступает установившийся режим. Поэтому, как видно из рис. 7.6, вначале при $L < L_c$ дисперсия увеличивается по линейному, а затем при $L > L_c$ –

по квадратичному закону. Следовательно, приведенные формулы расчета модовой дисперсии справедливы лишь для длины линии $L < L_c$.

При длинах линии $L > L_c$ следует пользоваться следующими формулами:

для ступенчатого световода для градиентного световода

$$\tau_{\text{мод}} = \Delta n_1 \sqrt{LL_c} / c; \quad \tau_{\text{мод}} = \Delta^2 n_1 \sqrt{LL_c} / 2c.$$

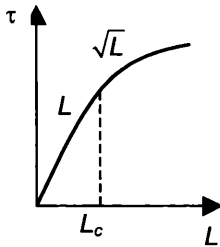


Рис. 7.6. Длина взаимодействия мод

В одномодовых ступенчатых световодах отсутствует модовая дисперсия, и дисперсия в целом сказывается существенно меньше. Здесь проявляются волноводная и материальная дисперсии, и при длине волны порядка 1,3 мкм происходит их взаимная компенсация ($\tau_{\text{мат}} \approx \tau_{\text{вв}}$).

Волноводная (внутримодовая) дисперсия обусловлена процессами внутри моды. Она характеризуется направляющими свойствами сердцевины ОВ, а именно зависимостью групповой скорости моды от длины волны оптического излучения, что приводит к разнице скоростей распространения частотных составляющих излучаемого спектра. Поэтому внутримодовая дисперсия в первую очередь определяется профилем показателя преломления ОВ и пропорциональна ширине спектра излучения источника $\Delta\lambda$, т.е.

$$\tau_{\text{вв}} = \Delta\lambda LB(\lambda),$$

где $B(\lambda)$ – удельная внутримодовая дисперсия.

При отсутствии значений $B(\lambda)$ оценка $\lambda_{\text{вв}}$ может вычисляться по выражению

$$\tau_{\text{вв}} = (\Delta\lambda\lambda)(2n_1^2\Delta L/c),$$

где $\Delta\lambda$ – ширина спектральной линии источника излучения, равная 1...3 нм для лазера и 20...40 нм для светоизлучающего диода; c – скорость света, км/с.

Материальная дисперсия. Материальная дисперсия в ОВ обусловлена зависимостью показателя преломления от длины волны $n = \Psi_2(\lambda)$. В реальном ОВ распространение волн является дисперсионным, т.е. скорость распространения зависит от частоты (длины волны).

Как и волноводную дисперсию, материальную дисперсию можно определить через удельную дисперсию по выражению

$$\tau_{\text{мат}} = \Delta\lambda LM(\lambda).$$

Величина $M(\lambda)$ определяется экспериментальным путем. При разных составах легирующих примесей в ОВ $M(\lambda)$ имеет разные значения в зависимости от λ . Поэтому при инженерных расчетах для определения $\tau_{\text{мат}}$ можно использовать выражение

$$\tau_{\text{мат}} = (\Delta\lambda\lambda)(\lambda^2/c)(d^2n_1/d\lambda^2)L.$$

Для определения $d^2n_1/d\lambda^2$ можно воспользоваться формулой Селмейера для ПП кварцевого стекла с использованием метода конечных разностей [6].

Поляризационная модовая дисперсия $\tau_{\text{пмд}}$ возникает вследствие разной скорости распространения двух взаимперпендикулярных поляризаций основной моды ОВ. Для оценки этого вида дисперсии используется выражение

$$\tau_{\text{пмд}} = K_{\text{пмд}} \sqrt{L},$$

где $K_{\text{пмд}}$ – коэффициент удельной поляризационной дисперсии, нормируемой в расчете на 1 км, имеющий размерность $\text{пс}/\sqrt{\text{км}}$.

По определению, поляризационная модовая дисперсия проявляется исключительно в одномодовых волокнах с нециркулярной (эллиптической) сердцевиной и при определенных условиях становится соизмеримой с хроматической дисперсией. Эти условия проявляются тогда, когда используется передача широкополосного сигнала со скоростью 2,4 Гбит/с и выше с очень узкой спектральной полосой излучения 0,1 нм и меньше.

Рассмотренные различные виды дисперсии проявляются по разному в различных типах ОВ. Поэтому рассмотрим полную дисперсию в ООВ и МОВ. В целом результирующая (полная) дисперсия одномодового волокна должна определяться в соответствии с выражением

$$\tau = \sqrt{(\tau_{\text{вв}} + \tau_{\text{мат}})^2 + \tau_{\text{пмд}}^2}.$$

В МОВ волноводная дисперсия малая по величине, поэтому при определении полной дисперсии ею пренебрегают.

В МОВ со ступенчатым ППП $\tau_{\text{мод}}$ доминирует над $\tau_{\text{мат}}$, а с градиентным ППП определяющей становится материальная дисперсия. Последнее связано с тем, что $\tau_{\text{мод}}$ в градиентных МОВ уменьшается за счет выравнивания времени распространения различных мод. Исходя из этого, в общем виде полная дисперсия в МОВ может быть представлена выражением

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{мод}}^2 + \tau_{\text{мат}}^2}.$$

В целом, сравнивая дисперсионные характеристики различных волокон, можно отметить, что наилучшими показателями обладают одномодовые ОВ, а наиболее сильно проявляется дисперсия в МОВ со ступенчатым ППП.

7.1.4. Классификация и основные конструкции оптических кабелей

Как известно, особая важность и народнохозяйственное значение оптических кабелей обусловлены тем, что ресурсы меди и свинца в мировом балансе добычи крайне ограничены. Оптические кабели, в отличие от широко применяемых электрических кабелей с медными проводниками, изготавливаются, как правило, из стекла и полимеров. Достоинствами оптических кабелей по сравнению с электрическими являются (помимо экономии меди): возможность передачи большого потока информации; малое ослабление сигнала и независимость его от частоты в широком диапазоне частот; высокая защищенность от внешних электромагнитных помех.

В настоящее время ОК получили применение в различных отраслях: связь, радиоэлектроника, медицина, космос, машиностроение и др. Они, в частности, эффективно используются на магистральных, зонавых и местных сетях связи.

Волоконно-оптические кабели по назначению могут быть разделены на кабели внутренней и внешней прокладки, а также кабели специального назначения.

Конструкции кабелей в основном определяются назначением и областью их применения, и в связи с этим имеется много конструктивных вариантов [6]. В настоящее время в разных странах разрабатывают и изготавливают много типов кабелей. Однако все их многообразие можно разделить на три группы (рис. 7.7): кабели повивной скрутки; кабели с профильным сердечником; плоские кабели ленточного типа.

Кабели первой группы имеют традиционную повивную скрутку сердечника по аналогии с электрическими кабелями. Каждый последующий повив сердечника по сравнению с предыдущим имеет на шесть ОВ (или модулей) больше.

Кабели второй группы имеют в центре фигурный пластмассовый сердечник с пазами, в которых размещаются оптические волокна (или модули). Пазы и соответственно волокна располагаются по геликоиде, и поэтому они не испытывают продольного воздействия на разрыв. Если необходим кабель большой емкости, то применяется несколько таких первичных модулей.

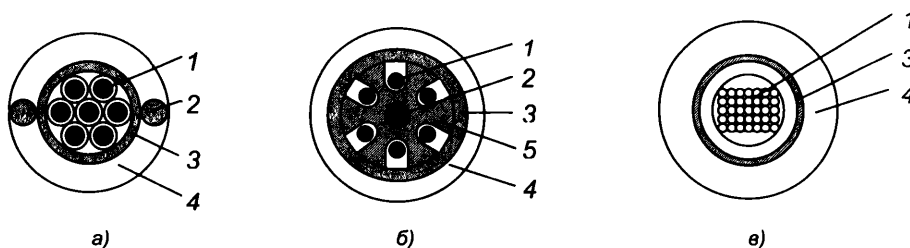


Рис. 7.7. Типовые конструкции оптических кабелей:

а – повивной скрутки; б – с профильным сердечником; в – ленточного типа;

1 – волокно; 2 – силовой элемент; 3 – демпфинующая оболочка; 4 – защитная оболочка; 5 – сердечник с пазами

Кабель ленточного типа состоит из стопки плоских пластмассовых лент, в которых смонтировано определенное число оптических волокон. Чаще всего в ленте располагается 12 волокон, а число лент составляет 6, 8 или 12.

В ОК кроме ОВ, как правило, имеются следующие составные элементы: силовые (упрочняющие) стержни, принимающие на себя продольную нагрузку на разрыв; заполнители в виде сплошных пластмассовых нитей; армирующие элементы, повышающие стойкость кабеля при механических воздействиях; наружные защитные оболочки, предохраняющие от проникновения влаги, паров вредных веществ и внешних механических воздействий.

Ведущими производителями кабельной продукции в мире являются такие фирмы, как Lucent Technologies, Fujikura, Ericsson, Pirelli, LG, Alkatel, а среди производителей стран СНГ следует отметить ОАО «Одескабель», «Москабель-Фуджикура», ООО «Севкавкабель», ООО «Оптен», ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания» и др.

7.2. Системы передачи

Первичная сеть стран СНГ создавалась на основе аналоговых систем передачи (АСП), которые и сейчас составляют более 70 % всех систем передачи (СП). Модернизация сети связана с заменой АСП на цифровые системы передачи (ЦСП).

Цифровыми называют многоканальные СП, в которых групповой линейный сигнал является цифровым. Большинство магистральных и внутризоновых ЦСП используют двоичный или близкий к нему троичный линейный сигнал. Исключение составляют современные ЦСП сети доступа, известные под названием xDSL и подробно рассмотренные в п. 7.3.

Стимулы появления и развития ЦСП: уменьшение стоимости оконечных станций, уменьшение габаритов станционного оборудования, увеличение надежности и пропускной способности СП, возможность увеличения выпуска аппаратуры СП с целью увеличения числа канало-километров первичной сети за счет применения цифровой элементной базы.

Для ЦСП характерны высокая помехоустойчивость, малый эффект накопления помех и, как следствие, малая зависимость характеристик каналов от длины линейного тракта. ЦСП имеет большую, чем АСП, ширину полосы частот линейного тракта при той же пропускной способности (поэтому длина участка регенерации на металлическом кабеле меньше длины усилительного участка, что удорожает линейный тракт и делает невыгодным использование таких ЦСП на магистральном участке). Появление волоконно-оптического кабеля (ВОК) и соответствующих ЦСП на ВОК, названных волоконно-оптическими системами передачи (ВОСП), позволило существенно увеличить длину участка регенерации и сделало целесообразным использовать их на всех участках первичной сети.

Важно отметить, что аппаратура ЦСП лучше, чем АСП, согласуется с цифровыми коммутационными станциями.

Оконечные станции как АСП, так и ЦСП состоят из индивидуальных и групповых частей. Формирование группового сигнала (мультиплексирование) осуществляется путем последовательного объединения стандартизованных групп каналов. Классификация СП по принципу их мультиплексирования называют *иерархией* СП [7, 8].

Групповой сигнал ЦСП представляет собой последовательность двоичных импульсов (битов). Эту последовательность называют цифровым потоком (ЦП). Цифровой поток характеризуется скоростью передачи B – количеством бит (кило- или Мегабит) в секунду. ЦП, в которых на определенных временных позициях четко определено функциональное назначение битов, называют *структурированными* потоками. Эти временные позиции закреплены внутри периодически повторяющегося временного интервала, который называют *циклом передачи*. Структуру цикла передачи называют *кадром*. Объединяемые в процессе группообразования ЦП связывают со *ступенями иерархии*. Ступени иерархии пронумерованы. Номера ступеней иерархии называют уровнями иерархии.

Сравнительная характеристика иерархий ЦСП приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Характеристика иерархий ЦСП

Виды иерархий	Уровни иерархий	Характеристика ветвей иерархии						Рекомендации МСЭ
		Американская		Японская		Европейская		
		ЦП	B , Мбит/с	ЦП	B , Мбит/с	ЦП	B , Мбит/с	
SDH	256	STM-256	39173,12	STM-256	39173,12	STM-256	39173,12	G.707
	64	STM-64	9793,28	STM-64	9793,28	STM-64	9793,28	
	16	STM-16	2448,32	STM-16	2448,32	STM-16	2448,32	
	4	STM-4	622,08	STM-4	622,08	STM-4	622,08	
	1	STM-1	155,52	STM-1	155,52	STM-1	155,52	
	0	STM-0	51,84	STM-0	51,84	STM-0	51,84	
PDH	5	–	–	DSJ5	400,352	E5	564,998	G.702
	4	T4	276,176	DSJ4	97,728	E4	139,264	
	3	T3	44,76	DSJ3	32,064	E3	34,368	
	2	T2	6,312	DS2	6,312	E2	8,448	
	1	T1	1,544	DS1	1,544	E1	2,048	

Различают ЦСП *синхронной* (SDH) и *плезиохронной* (PDH) иерархий. Имеется три ветви иерархий PDH: североамериканская (А), японская (Я) и европейская (Е). Они отличаются скоростью передачи результирующего цифрового потока различных ступеней, кадрами ЦП, а также символикой их обозначений. В ЦСП-PDH американской иерархии ЦП разных ступеней иерархии обозначаются T1, T2, T3,... (или DS1, DS2, DS3,...); в европейской – E1, E2, E3, E4,... Цифровые потоки первой ступени иерархии (T1, DS1, E1) называют первичными (ПЦП) (например, первичный цифровой поток E1), а аппаратуру, реализующую такой ЦП, – первичной ЦСП (ПЦСП). Аналогичную терминологию и обозначения используют для ЦСП высших ступеней иерархии: вторичный цифровой поток E2 и соответствующая ему вторичная ЦСП – (ВЦСП) и т.д.

ПЦСП формируются путем синхронного мультиплексирования основных цифровых каналов (ОЦК) (DS0, E0). ПЦП в американской и японской иерархиях (T1, DS1) состоят из 24 ОЦК, а в европейской иерархии (E1) – из 30 или 31 ОЦК.

В дальнейшем ЦП высших ступеней иерархии ЦСП-PDH формируются путем мультиплексирования ЦП более низкой ступени иерархии:

для американской иерархии $T2 = 4 \times T1$; $T3 = 7 \times T2$ и т.д.

для европейской иерархии $E2 = 4 \times E1$; $E3 = 4 \times E2$ и т.д.

Исторически первыми появились ЦСП-PDH. В странах СНГ это ЦСП местных первичных сетей: ИКМ-12, ИКМ-15, ИКМ-30 и их разновидности. Затем были разработаны и внедрены на городских и внутризональных первичных сетях ИКМ-120, ИКМ-480, а также ВОСП типа «Сопка».

Идея ЦСП синхронной иерархии впервые была реализована в американской ВОСП SONET в 1986 г. и затем доработана МСЭ [8, 9]. Реализация этой идеи позволила избавиться от следующих недостатков ЦСП-PDH:

1. Сложность согласования скоростей при асинхронном способе объединения цифровых потоков (асинхронность означает, что скорости передачи ЦП совпадают только приблизительно).

2. Наличие ошибок типа «проскальзываний», характерных для этого способа объединения цифровых потоков.

3. Невозможность непосредственного выделения первичных цифровых потоков и каналов из группового потока высших ступеней иерархии.

Сказанное поясняется рис. 7.8, где схематично показано, как мультиплексируются два цифровых асинхронных потока «А» и «Б» в ЦП «С».

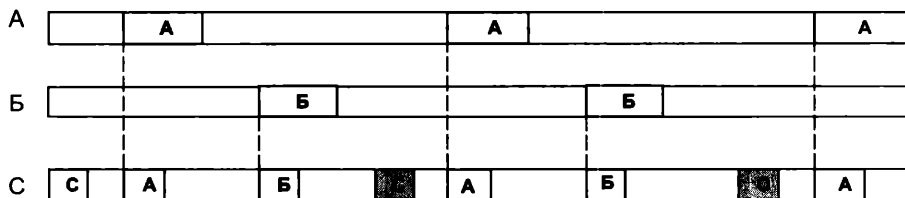


Рис. 7.8. Асинхронное объединение ЦП «А» и «Б» в ЦП «С»

На рисунке в ЦП «А» и «Б» штриховкой показаны временные интервалы сигналов цикловой синхронизации (ЦС), которыми начинается каждый новый цикл передачи. В объединенном ЦП «С» сигнал ЦС показан затемненным. Так как ЦП «А» и «Б» асинхронны, то временные положения сигналов этих ЦС могут быть любыми по отношению к сигналу ЦС ЦП «С» и изменяются с течением времени. Поэтому непосредственно выделить информацию о битах потока «А» или «Б» из цифрового потока «С» невозможно. Для этого надо разделить эти потоки, выделить в каждом из них сигналы ЦС «А» и «Б» и только затем можно выделить биты требуемого канала или потока.

При асинхронном объединении ЦП возникает еще одна проблема – выравнивание скоростей передачи исходных ЦП (в примере ЦП «А» и «Б») при вводе их в групповой ЦП («С»). Это выравнивание (*согласование скоростей*) – осуществляется путем добавления вставки или изъятия одного импульса в цикле передачи. Реализация этого наиболее распространенного и эффективного метода согласования скоростей (метода stuffing) становится тем труднее, чем выше скорость передачи. Кроме того, расхождение скоростей объединяемых ЦП приводит к «проскальзываниям», влекущим потери бит.

Эти проблемы отсутствуют при синхронном объединении ЦП. Такой вариант мультиплексирования показан на рис. 7.9.

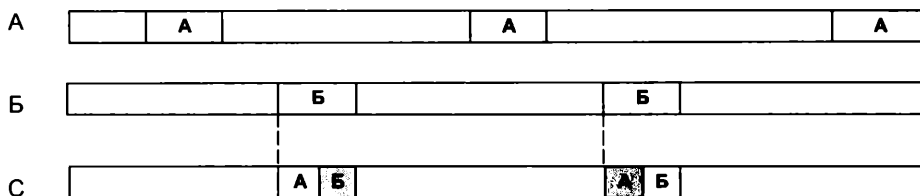


Рис. 7.9. Синхронное объединение ЦП «А» и «Б» в ЦП «С»

Так как объединяемые ЦП синхронны (т.е. скорости передачи этих потоков совпадают), то фазовые соотношения между ними не изменяются с течением времени. Это позволяет в мультиплексоре перед объединением осуществить фазирование объединяемых ЦП «А» и «Б» задержкой так, чтобы их сигналы цикловой синхронизации (ЦС) совпадали по времени. Далее, используя побитовое или побайтовое объединение, формируют результирующий ЦП «С». В сформированном таким образом ЦП «С» имеется информация о положении любого бита, что позволяет осуществить выделение любого канала исходных потоков «А» или «Б» непосредственно из «С». Естественно, что такой способ объединения возможен только в случае, если все ЦП в данном сетевом узле синхронны. Это значит, что развертывание цифровой сети на основе СП синхронной иерархии требует создания вспомогательной сети передачи синхронизирующих частот.

ЦСП-SDH представляет собой набор стандартизованных информационных структур, предназначенных для транспортировки сигналов по сети связи. Главным из них является синхронный транспортный модуль N-го порядка STM-N.

Различают следующие функциональные модули (основные блоки) аппаратуры SDH:

- синхронный мультиплексор SM;
- кросс-коннектор – DXC;
- менеджер.

Синхронные мультиплексоры различают:

- а) по сетевому назначению: *терминальные* (оконечные) – SMT, *ввода/вывода* – SMA;
- б) по уровню иерархии SDH, к которому SM относится: SM-1 (SM первого уровня иерархии SDH), SM-4 (SM четвертого уровня иерархии SDH) и т.д.

Модуль SMT объединяет (мультиплексирует) исходные (*трибуртарные*) ЦП в общий групповой (агрегатный) ЦП, формирует линейный электрический или оптический сигнал на передаче и регенерирует принимаемый сигнал.

Аппаратура ЦСП-SDH разработана с учетом необходимости сопряжения с ЦСП-PDH. Поэтому трибуртарными ЦП на входах SMT могут быть ЦП как синхронной, так и плезиохронной иерархий. Агрегатным (выходным) потоком SM является STM-N.

Модуль SMA помимо основных функций (мультиплексирования, формирования и регенерации) позволяет выделять (вводить) ЦП низших ступеней иерархии и цифровые каналы из (в) ЦП высших ступеней иерархии. Такое выделение/ввод стало возможным и для плезиохронных ЦП в связи с применением в SDH отличного от PDH метода *указателей*.

Суть метода указателей иллюстрируется на рис. 7.10 временными диаграммами мультиплексирования двух ЦП «А» и «Б» в ЦП «С». Указатели расположены после сигнала ЦС соответствующего ЦП. В них записывается информация о величине временного интервала (T_a и

T_6) между сигналом ЦС и началом полезной нагрузки (ПН) (информационных бит ПНа и ПНб). После объединения трибутарных ЦП «А» и «Б» в агрегатный ЦП «С» эта информация сохраняется и используется в дальнейшем для извлечения трибутарных ЦП (или каналов) из агрегатного ЦП.

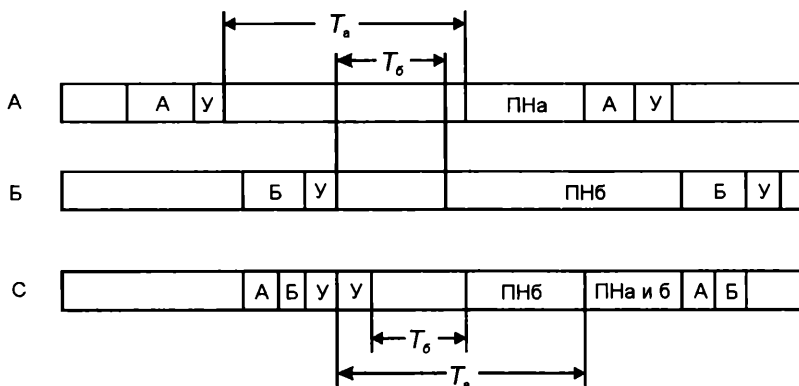


Рис. 7.10. Использование метода указателей при мультиплексировании ЦП ЦСП-PDH в ЦП ЦСП-SDH

Вырожденным вариантом SMA является регенератор SMR, так как в нем не используются функции мультиплексирования и ввода/вывода SMA, а осуществляется только регенерация принимаемого сигнала и формирование линейного передаваемого сигнала.

Модуль DXC – кросс-коннектор (соединитель) осуществляет маршрутизацию, трансляцию, перегруппировку ЦП и т.д.

Аппаратура многих фирм выпускается как многофункциональная, поэтому синхронные мультиплексоры могут одновременно выполнять функции SMT, SMA и, частично, DXC.

Пропускная способность ЦСП-SDH определяется используемым уровнем иерархии SDH и, соответственно, STM. В табл. 7.2 приведены значения скорости передачи B , количества первичных ЦП типа E1 (N_{E1}) и основных цифровых каналов ($N_{ОЦК}$) для разных уровней STM (значения B и $N_{ОЦК}$ округлены).

Таблица 7.2. Цифровая емкость STM-N

Уровни SDH	0	1	4	16	64	256
Тип STM	STM-0	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64	STM-256
B , Гбит/с	0,052	0,155	0,622	2,5	10	40
N_{E1}	-	63	252	1008	4032	16128
$N_{ОЦК}$	600	1 800	7 500	30 000	120 000	480 000

Дальнейшее увеличение цифровой емкости ВОСП-SDH можно осуществить, используя разделение передаваемых ЦП по длинам волн – WDM [8–10].

Виды WDM различают по используемой ширине полосы частот ствола ΔF , как это показано на рис. 7.11.

Использование WDM для увеличения цифровой емкости ВОК является более дешевой и гибкой альтернативой использованию для этих целей STM высших ступеней иерархии. Этот метод требует использования на промежуточных пунктах усилителей.

В настоящее время для спектрального уплотнения ВОК используется в основном третье окно прозрачности с длиной волны $\lambda = 1,55$ мкм. В этой обычной полосе частот (C-Band) можно разместить до 40 стволов DWDM. Если учесть, что в каждом таком стволе можно передать ЦП STM-64, то общая цифровая емкость ВОК в этом случае составит 400 Гбит/с. Освоение длинноволновой части спектра (L-Band) позволит значительно увеличить цифровую емкость ВОК.

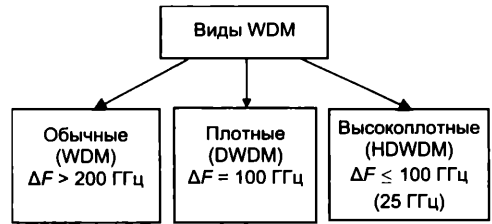


Рис. 7.11. Виды WDM

Существенное увеличение длины участка регенерации возможно в *солитонных системах* оптической связи [9].

Важнейшим достоинством ЦСП-SDH (не связанным с идеей синхронного объединения ЦП) является возможность построения надежной, управляемой транспортной сети за счет:

- сегментирования линий связи с контролем состояния каждого сегмента;
- резервирования аппаратуры, узлов аппаратуры и линий с автоматическим переключением на резерв;
- возможности реконфигурирования транспортной сети с помощью сети управления TMN и встроенных высокоскоростных каналов передачи служебной информации (высокоскоростных по сравнению со служебными каналами ЦСП-PDH).

Контроль за состоянием сегментов линии передачи и организация высокоскоростных каналов передачи служебной информации возможны путем введения избыточности. В ЦСП электрического кабеля избыточность приводила к уменьшению длины участка регенерации из-за увеличения скорости передачи.

При использовании ВОЛС или трактов РРЛ такая зависимость отсутствует.

Одним из наиболее распространенных способов резервирования линий, которое позволяет организовать ЦСП-SDH, является использование кольцевой топологии сети (рис. 7.12).

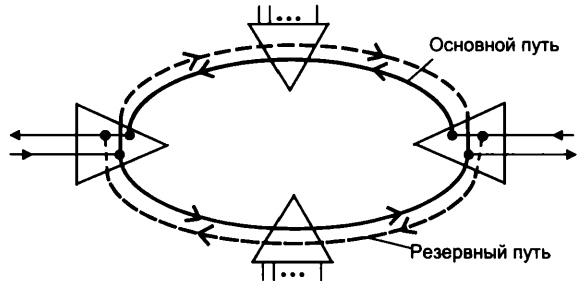


Рис. 7.12. Однонаправленное кольцо SDH

Кольцевая структура предоставляет два пути прохождения информационного сигнала: основной и резервный. При повреждении любого участка кольца осуществляется переключение и обход поврежденного участка трассы. Таким образом, видно, что ЦСП-SDH представляет собой не просто систему передачи. SDH – это аппаратура построения современной цифровой сети – живой, высококачественной транспортной сети связи.

ЦСП-SDH позволяет:

- 1) организовывать большие пучки качественных цифровых каналов;
- 2) строить линейные тракты практически без регенераторов;
- 3) создавать разветвленные, легко реконфигурируемые цифровые сети за счет использования кросс-коннекторов и мультиплекторов ввода/вывода;
- 4) предоставлять потребителям надежные цифровые каналы и тракты за счет встроенной аппаратуры оперативного контроля и переключения, а также надежных сетевых структур;
- 5) осуществлять оперативное управление сетью;

б) строить, в сочетании с устройствами пакетной коммутации сообщений АТМ, высокопроизводительную цифровую сеть.

Наиболее крупными производителями оборудования ЦСП-SDH и WDM являются [8, 9, 15]: Siemens, Ericsson, Lucent Technologies, Nortel, Alcatel.

Достоинства ВОСП поясняют причины все увеличивающегося их использования на всех участках транспортной сети. Вместе с тем на самом низовом – абонентском участке появились разнообразные ЦСП, составляющие конкуренцию ВОСП, под общим названием xDSL [11] (см. также п. 7.3). Они позволяют на этом участке организовать передачу высокоскоростных ЦП с требуемым качеством. Идея этих методов сводится к совместному использованию трех технологий: инверсного мультиплексирования, двухпроводного цифрового дуплекса и модемных методов передачи цифровых сигналов.

Инверсное мультиплексирование предполагает разбиение исходного цифрового потока на два и более ЦП с меньшими, но одинаковыми скоростями, передачу этих ЦП по разным парам кабеля и последующее мультиплексирование этих ЦП в приемнике.

Двухпроводный цифровой дуплекс может быть организован использованием различных способов, аналогичными тем, которые используются в многоканальных СП (частотное разделение, временное разделение и др.). Однако наибольшее применение нашел компенсационный метод с *адаптивным эхокомпенсатором*, позволяющим работать по одной паре двум импульсным источникам навстречу в одной и той же полосе частот.

Модемные методы – это технологии передачи импульсных сигналов в трактах с ограниченной полосой частот, реализуемые соответствующими высокоскоростными модемами и обеспечивающие высокую удельную скорость передачи до 10 и более бит/с на 1 Гц полосы частот. Такая высокая спектральная эффективность достигается за счет использования эффективных методов модуляции в сочетании с помехоустойчивым кодированием.

Из множества оборудования xDSL наибольшее применение получили семейства модемов типа HDSL и ADSL. В последних версиях модема HDSL используются последовательная передача и амплитудно-фазовая модуляция без несущей (CAP), а в модемах ADSL – параллельная передача с квадратурной амплитудной модуляцией и ортогональными по частоте переносчиками (DMT). Поразительные результаты по скорости и достоверности, полученные при использовании этих модемов на плохом металлическом кабеле абонентского участка, позволяют утверждать, что использование модемных методов на хорошем металлическом кабеле внутризонового и магистрального участков первичной сети позволит утилизировать линейно-кабельные сооружения АСП за счет замены морально и физически устаревшего станционного оборудования АСП на модемное [12–14]. При этом существующие АСП, по сути, преобразуются в современные цифровые системы передачи без проведения линейных работ.

7.3. Технологии абонентского доступа

Интенсивное развитие телекоммуникаций привело к стремительному росту числа пользователей, которые нуждаются в предоставлении им скоростного доступа к локальным и глобальным сетям, к Интернету, к услугам ТВ высокой четкости, виртуальных частных сетей, телеконференций и т.д.

Наиболее остро проблема предоставления высокоскоростных широкополосных услуг проявляется в абонентских линиях сетей доступа, поскольку существующие АЛ, в частности кабели с медными жилами, имеют большое затухание, подвержены влиянию импульсных и сосредоточенных по спектру помех, вносят значительные линейные искажения и, как следствие, существенно ограничивают пропускную способность канала и достоверность передачи информации.

Существуют различные варианты решения этой проблемы. Радикальным решением могла бы стать замена медных пар коаксиальными или волоконно-оптическими кабелями, но она требует больших капиталовложений и длительного развертывания сети. Поэтому в мировой практике нашли применение два метода, не требующих прокладки новых кабелей. Первый связан с использованием старых кабельных линий, а второй основан на организации беспроводного доступа.

Первым решением проблемы абонентского доступа является использование семейства популярных технологий xDSL (рис. 7.13).

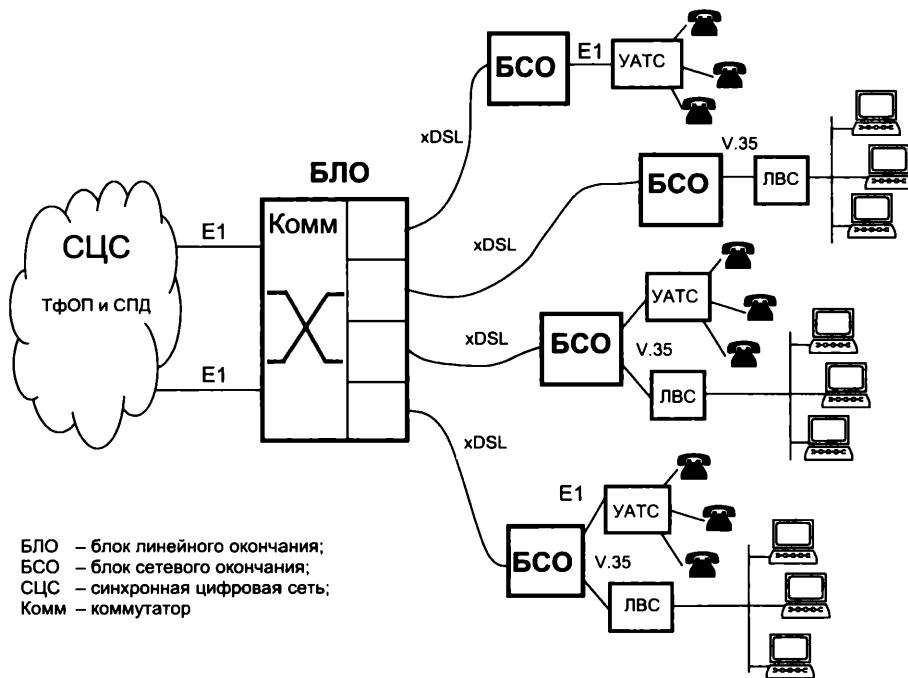


Рис. 7.13. Схема организации сети доступа на основе технологий xDSL

Технологии DSL (Digital Subscriber Line) основаны на методах, позволяющих сжать спектр передаваемого сигнала и сосредоточить основную часть его энергии в области более низких частот, что дает возможность согласовать электрические характеристики кабеля с параметрами сигнала. Подобные преобразования спектра сигнала достигаются за счет использования специальных методов модуляции и кодирования [16, 17].

Впервые аббревиатура DSL появилась в 80-е годы, когда была доказана возможность передачи цифровых потоков по медным парам с использованием кода 2B1Q. Сущность такого кодирования заключается в том, что двум битам двоичной последовательности (binary) ставят в соответствие один из уровней четырехуровневой последовательности (quaternary). Подобное кодирование иногда называют четырехуровневой амплитудно-импульсной модуляцией.

Дальнейшее совершенствование методов кодирования было направлено в основном на увеличение числа уровней передачи. Амплитудно-фазовая модуляция без несущей (Carrierless Amplitude Phase, CAP) позволяет до десяти раз сузить спектр сигнала. Достоинствами CAP яв-

ляются минимальные взаимные влияния в соседних парах кабеля, увеличение дальности «последней мили» и менее жесткие требования к качеству кабеля.

Следующей разработкой является амплитудно-импульсная модуляция в сочетании с решетчатым кодированием (Trellis Coded – Pulse Amplitude Modulation, TC-PAM). Для повышения помехозащищенности в передаваемый поток вводятся избыточные биты, из-за чего пространство сигналов расширяется вдвое. Закодированный цифровой поток подается на модулятор для получения многопозиционной АИМ. На приемной стороне после демодулятора цифровой сигнал декодируется по алгоритму Витерби. Решетчатое кодирование увеличивает помехоустойчивость связи, что позволяет снизить требуемое отношение сигнал/шум в канале на 3–6 дБ.

Кроме таких последовательных методов обработки сигналов применяется также параллельная передача цифрового потока посредством дискретной модуляции с множеством несущих (Discrete Multi Tone, DMT), в качестве которых используют ортогональные гармонические сигналы. Технические характеристики технологий скоростного цифрового абонентского доступа приведены в табл. 7.3.

Переход от локальных сетей к глобальным с доступом к Интернету потребовал увеличения скорости передачи данных, прежде всего на нисходящем участке от сервера к абоненту, следствием чего стало внедрение асимметричного дуплекса. Новое поколение модемов позволяет также изменять линейную скорость от 64 кбит/с до 2 Мбит/с (технология CAP128 MSDSL) при передаче данных и телефонии по одной медной паре на расстояние до 14 км (диаметр жилы 1,2 мм). При этом затухание линии может достигать 36 дБ на частоте 150 кГц. Адаптивность модема к линиям с разными электрическими характеристиками обеспечивается не только по уровням передачи и приема или скорости передачи при заданной вероятности ошибки, но и по методу кодирования – CAP8, CAP16, CAP32, CAP64, CAP128 (см. табл. 7.3).

Таблица 7.3. Технические характеристики технологий xDSL

Технология	Метод передачи	Скорость обмена, кбит/с		Число пар кабеля Макс. дальность, км/диаметр жилы, мм
		Восходящий поток	Нисходящий поток	
Цифровая абонентская линия (ЦАЛ) (Digital Subscriber Line, DSL)	2B1Q	160		$\frac{2}{1,5/0,5}$
IDSL (ISDN DSL) ЦАЛ (ISDN)	2B1Q	128		$\frac{2}{7,5...8/0,5}$
Высокоскоростная ЦАЛ (High bit rate DSL, HDSL)	CAP8, CAP16, CAP32, CAP64, (2B1Q)	768, 1024 по одной паре, 2048 по двум		$\frac{2;3}{4...6/0,4...0,5}$ 18...10/1,2
Симметричная ЦАЛ (Symmetrical DSL, SDSL)	CAP8, CAP16, CAP32, CAP64, TC-PAM	2048		$\frac{1(2)}{3...4/4...6/0,4...0,5}$ 10...12/1,2
Сверхвысокоскоростная ЦАЛ (Very high bit rate DSL, VDSL)	(CAP32, CAP64, CAP128),DMT	1500...12000	2300...51000	$\frac{1(ВОЛС)}{0,3/0,5}$
Асимметричная ЦАЛ (Asymmetric DSL, ADSL)	CAP8, CAP16, DMT	16...640	1554...8448	$\frac{1}{2,7/0,5}$

Окончание таблицы 7.3

Технология	Метод передачи	Скорость обмена, кбит/с		Число пар кабеля Макс. дальность, км/диаметр жилы, мм
		Восходящий поток	Нисходящий поток	
Асимметричная облегченная ЦАЛ (ADSL lite)	CAP8, DMT	384	1554	$\frac{1}{3/0,4}$
Универсальная ADSL (Universal ADSL, UADSL)	CAP8, DMT	542	1554	$\frac{1}{3/0,4}$
ЦАЛ с адаптацией скоростей (Rate adaptive DSL, RADSL)	CAP8, DMT	128...600	1000...7000	$\frac{1}{3/0,5}$
Многоскоростная ЦАЛ (Multi Speed DSL, MSDSL)	Усовершенствованная 2B1Q, CAP32, CAP64, CAP128, DMT	144...2300		$\frac{1}{3,4...4,7/0,5}$ $\frac{1}{11...13/1,2}$
Высокоскоростная ЦАЛ HDSL-2	TC-PAM	2300		$\frac{1}{3...3/0,4}$

Разработка VDSL (Рек. ITU-T G.993) ориентирована на асимметричный дуплекс и поддерживает сверхвысокие скорости передачи информации на небольшие (сотни метров) расстояния. В силу этого она используется как средство передачи качественных ТВ-программ по медным кабелям компактно размещенным пользователям (кампусные сети) [17].

При выборе той или иной технологии xDSL надо учитывать количество пользователей, их удаленность от узлов связи и платежеспособность, определяющую желание применять самые новые и, следовательно, дорогие технологии и услуги. В частности, для сельских и пригородных районов оптимальной технологией доступа часто является IDSL. При относительно невысокой скорости (до 128 кбит/с) этот метод обладает высокой помехоустойчивостью, что обеспечивает максимальное расстояние до абонента (порядка 40 км) [18].

Одна из возможных реализаций сети абонентского доступа в Интернет представлена на рис. 7.14, иллюстрирующем применение IDSL-оборудования Telplus-2d, выпускаемого российским предприятием «ТЕЛПРО» совместно с компанией Telspe (Великобритания).

Архитектура сети предполагает использование станционной платы и абонентских модулей и позволяет организовать постоянное подключение к сети передачи данных одновременно с использованием обычного телефона. Для подключения аппаратуры пользователя применяется асинхронный последовательный интерфейс V.24/RS-232. Полоса пропускания цифровой линии динамично разделяется между аппаратурой передачи данных и телефоном. При лежащей трубке данные передаются со скоростью 115,2 кбит/с, а во время разговора их скорость уменьшается до 60 кбит/с.

Для концентрации нагрузки в узле доступа на АТС устанавливается маршрутизатор/сервер доступа. Выполненный в виде модуля, устанавливаемого в общую с Telplus-2d станционную кассету, маршрутизатор обслуживает 8 последовательных асинхронных портов на скорости до 115,2 кбит/с. Каждый последовательный порт работает либо в терминальном режиме, либо в режиме сеанса протокола PPP, самого распространенного канального протокола для удаленного доступа. Несколько плат, установленных в одном узле доступа, объединяются через сегмент локальной сети АТС по протоколу Ethernet. Функциональные возможности маршрутизатора обеспечивают полноценную работу и удаленное управление устрой-

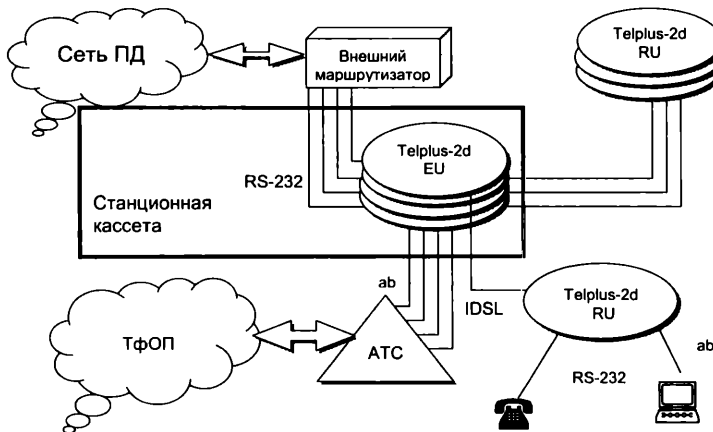


Рис. 7.14. Схема организации абонентской сети

ством. Поддерживаются также протоколы TCP/IP, Telnet, SNMP, фильтрация IP-пакетов и др. Ведется учет входящей и исходящей нагрузки по каждому интерфейсу. Эта статистика может быть использована для тарификации услуг, предоставляемых абонентам.

Все эти технологии стандартизованы разными институтами стандартизации и МСЭ. В табл. 7.4 дан список стандартов в области технологий DSL.

Таблица 7.4. Стандарты технологий xDSL

Технологии	ETSI	ANSI	ITU-T
DSL	–	–	G.961
IDSL	–	–	G.961
HDSL	TS 101 135 (V.5.1)	TR28	G.991.1
SDSL	TS 101 524-1 (V1.1.1) TS 101 524-2 (V1.1.1)		G.991.2 «G.shdsl»
VDSL	TS 101 270-1 (V1.2.1) TS 101 270-2 (V1.1.1)	T1E1.4-004	«G.vdsl»
ADSL	TS 101 388 (V.2.1), ETR328	T1.413	G.992.1 «G.dmt»
ADSL-lite	TS 101 388 (V.2.1), ETR328	T1.413	G.992.2 «G.lite»
UADSL	TS 101 3881 (V.1.2.1), ETR328	–	G.992.1
RADSL	TS 101 3881 (V.1.2.1), ETR328	–	G.992.1
MSDSL	–	–	G.962
HDSL-2	–	T1E1.4-006 (draft)	–

Помимо рассмотренных технологий к настоящему времени разработан ряд новых, в частности, VoDSL, FlexDSL и др. [19]. Система VoDSL позволяет одновременно передавать речевой сигнал и данные с высокой скоростью по обычным двухпроводным телефонным АЛ. Для повышения эффективности использования полосы пропускания речь передается в виде ячеек ATM, в результате чего пропускная способность линии связи может динамично распределяться между пакетами передачи речи и данных.

Система FlexDSL позволяет оптимизировать работу по кабельным линиям в условиях реальной шумовой обстановки за счет гибкого выбора линейного кода. Семейство FlexDSL PAM

использует модуляцию TC-PAM, выбранную МСЭ в качестве единого всемирного стандарта для высокоскоростной симметричной передачи по одной паре (стандарт G.shdsl). Модуляция TC-PAM обеспечивает электромагнитную совместимость разных систем, работающих по соседним парам одного кабеля.

В последние годы на местных сетях во всем мире активно внедряются беспроводные методы доступа, получившие название WLL (Wireless Local Loop) или RLL (Radio Local Loop). Радиодоступ часто применяется операторами, не имеющими собственной кабельной распределительной сети. Эффективен он и при телефонизации труднодоступных и малонаселенных сельских и пригородных районов, где плотность абонентов обычно составляет 2–10 аб./кв.км. В этих ситуациях актуальна потребность в сетях, сочетающих большой радиус обслуживаемой территории с небольшим (до 500) числом пользователей [20].

На рис. 7.15 представлена система абонентского радиодоступа, рассчитанная на 300 пользователей [21]. Система может подключаться к ТСОП по двухпроводным АЛ через стационарный мультиплексор либо потоками 2 Мбит/с (E1) непосредственно через коммутатор местной АТС, поддерживающей сигнализацию R2D. Один такой поток поддерживает 30 абонентов, поэтому для подключения 300 пользователей требуется 10 потоков. Коммутатор местной АТС и контроллер базовых станций связаны потоком E1 G703 и представляют собой два независимых блока системы. Они могут быть связаны между собой с помощью различных средств передачи: оптоволокно, модемы HDSL, цифровые ПЛЛ и т.п. К контроллеру базовых станций подключаются фиксированные радиоблоки (РБ), совокупность которых составляет базовую станцию БС. Один РБ подключается к контроллеру базовых станций по двум U-интерфейсам (2B1Q) с помощью двух витых пар проводов (при диаметре жил 0,9 мм расстояние до 11 км). При необходимости соединение может осуществляться с помощью РЛЛ, спутниковых систем связи и цифровых транспортных сетей. Один РБ может поддерживать 4 или 6 одновременных соединений. Увеличение числа РБ позволяет наращивать число каналов БС.

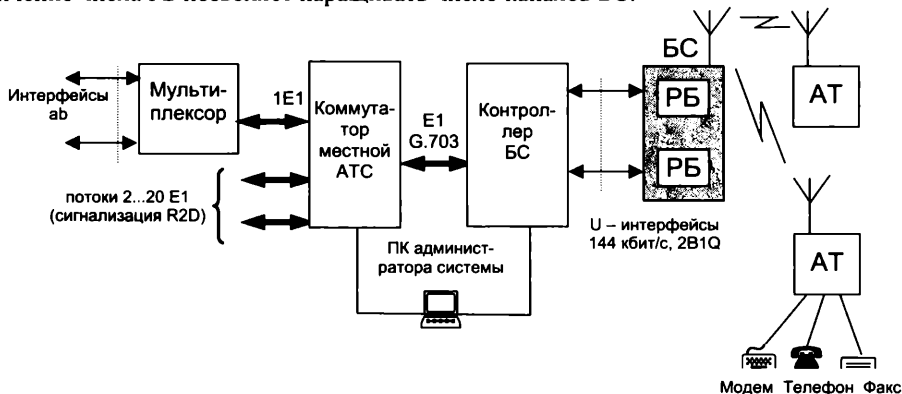


Рис. 7.15. Структурная схема системы радиодоступа

Абонентский терминал (АТ) представляет собой небольшой настенный радиоблок, легко монтируемый в помещениях абонента или телефонных будках. К АТ присоединяется компактная направленная или ненаправленная антенна (коэффициент усиления от 0 до 14 дБ). В зависимости от ее типа и мощности передатчика допустимое удаление АТ от БС колеблется от 5 до 12 км.

В табл. 7.5 приведены технические данные некоторых стандартов систем мобильной радиосвязи, используемых для организации радиодоступа [20].

Таблица 7.5. Характеристики технологий абонентского радиодоступа

Техническая спецификация (параметры)	CT-2 TANGARA	DECT	CDMA IS-95	D-AMPS	MGW Hopping
Диапазон частот	839...843 МГц 864,0...868,2 МГц 910...914 МГц	1,880...1,900 ГГц 1,900...1,920 ГГц	Tx: 869...849 МГц Rx: 824...849 МГц	Tx: 824...849 МГц Rx: 869...894 МГц	1,428...1,508 ГГц 1,850...1,930 ГГц 2,400...2,483 ГГц 3,420...3,500 ГГц
Шаг сетки частот, кГц	100	1728	1250	30	1000
Способ разделения каналов/организация дуплекса	FDMA/TDD	TDMA/TDD	CDMA/FDD	TDMA/FDD	FH-TDMA/TDD
Тип модуляции	GFSK	GMSK	QPSK	DQPSK	3-L SR FSK
Число радиоканалов	40	10	10	832	10
Число телефонных каналов на один радиоканал	1	12	45 CELP (61 QCELP)	3 (10-15)	8
Эффективность использования спектра	0,67 (бит/с)/Гц 10 каналов/МГц	0,72 (бит/с)/Гц 6 каналов/МГц	0,98 (бит/с)/Гц 9 каналов/МГц	1,62 (бит/с)/Гц 50 каналов/МГц	0,87 (бит/с)/Гц 8 каналов/МГц
Интерференция с излучением от домашних и офисных радиотелефонов	маловероятна	вероятна	отсутствует	отсутствует	отсутствует
Выходная мощность: базовая станция абонентский терминал	10 мВт 10 мВт	250 мВт (10 мВт) 250 мВт (10 мВт)	20 Вт 0,6-3 Вт	0,6 Вт	500 мВт 500 мВт
Дальность связи, км	12 (направленные антенны)	0,2...10 (направленные антенны)	50	32	15 (направленные антенны)
Распределение каналов по частоте	динамическое	динамическое	фиксированное	фиксированное	динамическое
Кодирование речи	АДИКМ 32 кбит/с	АДИКМ 32 кбит/с	CELP 16 кбит/с QCELP 7,2 кбит/с	VCELP 8 кбит/с	АДИКМ 32 кбит/с
Шифрование (наличие скремблера)	нет	есть	есть	есть	нет
Максимальная скорость работы модема/факса по радиоканалу, кбит/с	14,4	9,6	0,3...9,6	2,4	14,4
Задержка приема/передачи для TDD, мс	2	10	80	40	2
Эхоподавление	не требуется	требуется	требуется	требуется	требуется

Для абонентского радиодоступа широко используются стандарты сотовых сетей радиосвязи с мобильными объектами, где применяются все виды множественного доступа FDMA, TDMA и CDMA.

Для создания беспроводных сетей ближнего действия, позволяющих управлять бытовыми электронизированными устройствами, в том числе телекоммуникационными, включая персональные компьютеры, используется технология Bluetooth.

В заключение стоит упомянуть спутниковые системы радиодоступа на базе терминалов, использующих антенны с малой апертурой VSAT. К их достоинствам относятся глобальность покрытия, быстрота развертывания и возможность организации связи по пунктно-многопунктной схеме (point-to-multipoint). К основным недостаткам можно отнести высокую абонентскую плату за услуги и необходимость применения дорогого наземного оборудования.

Глава 8

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ РАДИОТЕХНОЛОГИИ

8.1. Спутниковые и радиорелейные системы передачи

За последнее десятилетие произошли важные изменения в сфере внедрения телекоммуникационных радиотехнологий. Опыт европейских стран показывает, что наряду с масштабным строительством волоконно-оптических магистралей интенсивно развиваются радиорелейные и спутниковые линии связи. Для обеспечения высокой надежности и качества услуг, получения оптимальных экономических показателей телекоммуникационных сетей в настоящее время указанные выше виды связи используются в следующем соотношении:

- волоконно-оптические линии – 55...60 %,
- радиорелейные линии – 25...30 %,
- спутниковые линии – 10...15 %.

Значительная доля нагрузки, передаваемой радиорелейными линиями, объясняется возможностью быстрого их развертывания при довольно малых капитальных затратах на местности со сложным рельефом, в городах и промышленных зонах, где прокладка новых кабелей является весьма дорогой или вообще невозможной.

Наряду с таким преимуществом спутниковых систем телекоммуникаций, как обеспечение глобальной связи независимо от места нахождения абонентов, привлекательной их чертой является динамическое использование новейших радиотехнологий и возможность предоставления услуг широкому кругу пользователей. Увеличение сроков функционирования ретрансляторов на орбите до 13...15 лет, внедрение высокоэффективных методов передачи информации позволяют существенным образом повысить пропускную способность спутниковых каналов связи и снизить тарифы на услуги, что приближает экономические показатели спутниковых систем к показателям наземных сетей.

Особое место занимают радиотехнологии при организации связи с мобильными абонентами. В следующем десятилетии общее количество мобильных абонентов в мире значительно увеличится по сравнению со стационарными. В развитых странах темпы увеличения плотности мобильной связи в среднем составляют свыше 25 % ежегодно, а в развивающихся – в среднем свыше 100 %. Развитие сетей и систем мобильной связи осуществляется по направлениям:

- сотовые сети, которые обеспечивают мобильных абонентов непрерывной связью по всей зоне обслуживания;
- транкинговые системы, как правило, ведомственного или технологического характера, имеющие радиальную либо радиально-зональную структуру;
- сети персонального радиовызова, которые обеспечивают передачу сигналов вызова и коротких сообщений;

– спутниковые сети мобильной связи, которые могут также действовать как приложения к сотовым сетям.

Кроме этого, развиваются системы абонентского беспроводного доступа к сети общего пользования, – они предоставляют услуги с помощью собственных радиointерфейсов (малоканальные радиорелейные системы, технологии CDMA, WLL, DECT и др.).

8.1.1. Радиорелейные линии

Современные радиорелейные линии (РРЛ) предназначены для передачи цифровых потоков разных уровней иерархии. Сфера применения РРЛ в значительной мере связана с диапазоном частот и пропускной способностью. Для работы радиорелейных систем определены полосы частот в диапазонах от 2 до 50 ГГц. РРЛ с аналоговой ЧМ и частотным разделением каналов сейчас составляют преобладающее большинство на магистральных направлениях в диапазонах частот 4, 6 и 8 ГГц. Цифровые РРЛ занимают преимущественно полосы частот в диапазоне 11...39 ГГц и используются на внутризоновых, местных, ведомственных и частных сетях.

Пропускная способность цифровых РРЛ совпадает с иерархическими скоростями передачи либо кратна им. Различают плезиохронную цифровую иерархию (PDH), которая базируется на первичном цифровом канале со скоростью 2,048 Мбит/с (Е1), и синхронную цифровую иерархию (SDH), первичный цифровой поток которой имеет скорость 155,52 Мбит/с (синхронный транспортный модуль STM-1). Вследствие преимуществ SDH в радиорелейных системах передачи (РРСР) все шире применяется передача синхронных цифровых потоков.

Используемые в РРСР методы модуляции однозначно связаны с шириной занимаемой полосы частот и отношением сигнал/шум в демодуляторе (см. Приложение А). Ширина занимаемой полосы частот должна быть согласована с планом частот РРЛ в соответствии с Рек. ITU-R F.746. В табл. 8.1 приведены значения полос частот, необходимых для передачи соответствующих цифровых потоков в современных радиорелейных системах. Для высокоскоростных РРСР (155,52 Мбит/с и выше) используется квадратурная амплитудная модуляция КАМ-64, что позволяет существенным образом повысить удельную скорость передачи цифровой информации и передавать поток STM-1 в стволе со стандартной полосой. Дальнейшее усовершенствование базируется на использовании довольно сложных сигнально-кодовых структур. Для среднескоростных РРСР обычно применяются КАМ-16 и КАМ-32.

Таблица 8.1. Ширина полосы радиочастот для передачи цифровых потоков

Вид модуляции	Ширина полосы частот, МГц					
	2Е1	4Е1(Е2)	8Е1(2Е2)	16Е1(Е3)	STM-0	STM-1
ФМ-2	7	14	28			
ФМ-4	3,5	7	14	28		
КАМ-16	1,75	3,5	7	14	28	
КАМ-32				7	14	
КАМ-64						28

В РРСР со скоростями ниже 34 Мбит/с наиболее часто применяется фазовая модуляция ФМ-4 и ее модификации, которые отличаются реализацией. Иногда применяется более простой метод цифровой частотной модуляции, которая занимает такую же полосу частот, но с несколько худшими энергетическими показателями радиолинии. В РРСР со скоростью 34 Мбит/с в

диапазонах ниже 13 ГГц наблюдается тенденция замены ФМ-4 на КАМ-16 с целью уменьшения необходимой полосы частот от 28 до 14 МГц.

Скорость цифрового потока в одном стволе определяет место РПЛ в сети связи. Принято разделять РПЛ на магистральные, зоновые, городские, сельские и технологические. Магистральные РПЛ имеют большую пропускную способность, многоствольную структуру, пролеты большой длины и оптимальные для этих целей диапазоны частот 4...6 ГГц. Для РПСР, которые используют технологию SDH, предусмотрены транспортные модули STM, обеспечивающие интерфейс в соответствии с Рек. ITU-T G.975. Практика показала, что в определенных случаях скорость цифрового потока, обеспечиваемая форматом STM-1, становится избыточной, например, если нужно ответить от магистральной линии часть информации и передать ее по РПЛ средней емкости в местные, зоновые и локальные сети. Для таких случаев в иерархии SDH предусмотрен модуль STM-0 со скоростью 51,84 Мбит/с. Структура транспортного модуля STM-0 позволяет также добавлять потоки плезиохронной иерархии PDH. Радиорелейные линии с STM-0 – это удобный мост, через который сети с PDH могут соединяться с мощными сетями с SDH.

В связи с бурным развитием сотовых сетей операторы систем подвижной связи широко применяют цифровые РПЛ малой пропускной способности для создания соединительных линий между базовыми станциями и центрами коммутации. Наиболее освоены диапазоны 17...19, 21...23 и 37...39 ГГц.

8.1.2. Спутниковые системы связи и вещания

Спутниковые телекоммуникационные радиотехнологии быстро развиваются [1]. Сегодня только на геостационарной орбите (ГСО) работает около 300 спутников-ретрансляторов и ежегодно запускается 15...25 новых аппаратов. Они разработаны для предоставления разнообразных услуг связи и вещания. Кроме больших международных и региональных организаций спутниковой связи (Intelsat, Inmarsat, Eutelsat, Arabsat, «Интерспутник» и др.), ресурсы которых арендуют пользователи, спутниковые ретрансляторы находятся в распоряжении национальных фирм значительного количества стран. Активное освоение спутниковых технологий начали страны азиатского региона, где в данное время в стадии разработки находятся девять спутниковых систем. Около 230 спутников-ретрансляторов расположено на негеостационарных орбитах (НГО). Среди них спутники известных систем Globalstar, Orbcomm, «Космос», «Молния», Teledesic.

Для большинства стран спутниковая связь – экономически выгодный вид связи с другими континентами и отдаленными регионами. В границах одной спутниковой линии (участок Земля-спутник и участок спутник-Земля) стоимость спутникового канала не зависит от расстояния, тогда как для наземных систем стоимость канала пропорциональна расстоянию. Спутниковые системы позволяют удовлетворять срочные потребности в связи, обеспечивать быстрое изменение направлений связи в зависимости от нагрузки, организовывать оперативную связь в условиях стихийных бедствий и катастроф. Спутниковые системы широко используются для резервирования наземных каналов. Участки линий волоконно-оптической связи по акваториям морей и океанов часто резервируются каналами спутниковой связи.

Уникальные свойства спутниковых систем и их широкое использование для формирования разнообразных сетей связи и вещания создали ряд проблем международно-правового и технического характера. Правовые процедуры, которые регламентируют использование диапазонов частот, позиции на геостационарной орбите и параметры негеостационарных орбит разрабатывает МСЭ. «Регламент радиосвязи» предусматривает распределение

полос частот между спутниковыми и наземными службами. Среди спутниковых служб наиболее важными являются:

- *фиксированная спутниковая служба* – обеспечивает связь через спутники между земными станциями, находящимися на фиксированных позициях;
- *мобильная спутниковая служба* – обеспечивает связь через спутники между мобильными земными станциями или между мобильными и фиксированными земными станциями;
- *радиовещательная спутниковая служба* – обеспечивает ретрансляцию через спутники сигналов вещания, предназначенных для непосредственного индивидуального или коллективного приема населением телевизионных и звуковых программ.

Принадлежность спутниковой радиолинии к определенной службе определяет такие важные характеристики, как диапазон используемых частот и требования к электромагнитной совместимости с другими службами. Наиболее широко используются диапазоны L (1,5/1,6 ГГц, мобильная спутниковая служба), C (4/6 ГГц) и Ku (11/14 ГГц, фиксированная и радиовещательная спутниковые службы). Весьма важным фактором является также и тип используемой орбиты.

Популярность геостационарной орбиты (ГСО) поясняется ее достоинствами:

- непрерывная круглосуточная связь без переходов с одного спутника на другой;
- на антеннах земных станций можно упростить или исключить системы автоматического сопровождения спутника;
- отсутствует (или становится весьма малым) частотный сдвиг, обусловленный эффектом Доплера;
- зона видимости спутника около одной трети земной поверхности, и достаточно трех спутников для создания практически глобальной системы связи.

Однако полярные области земного шара за пределами восьмидесятой параллели выпадают из зоны прямой видимости геостационарных спутников. Для обеспечения глобального покрытия используют многоспутниковые космические группировки с использованием также низких негеостационарных орбит.

В последние годы изменяется структура услуг, предоставляемых спутниковыми телекоммуникационными системами. Современное состояние и прогноз распределения услуг фиксированной связи представлены на рис. 8.1. Доля нагрузки телефонии и непосредственной передачи данных ближайшими годами будет уменьшаться с учетом значительного развития сети Интернет и внедрения IP-телефонии. Значительную часть нагрузки составляет распределение телевизионных и звуковых программ вещания. Хотя количество транспондеров, занятых под трансляцию телевидения, возрастает незначительно, общий объем передаваемых программ возрастет в 3...5 раз благодаря внедрению цифровых технологий.

Intelsat – международная организация глобальной спутниковой связи,



Рис. 8.1. Состояние и прогноз распределения услуг фиксированной спутниковой связи и вещания

членами которой являются 142 страны. Intelsat обеспечивает услугами спутниковой связи более 180 стран мира. Объем суммарного космического сегмента Intelsat составляет 140 тыс. телефонных каналов. Искусственные спутники расположены группами в трех основных зонах геостационарной орбиты: над Атлантическим, Индийским и Тихим океанами. На геостационарной орбите функционирует 19 спутников-ретрансляторов Intelsat.

Intelsat широко практикует сдачу ресурсов космического сегмента в аренду для создания региональных и национальных систем спутниковой связи. Ретрансляторы Intelsat постоянно совершенствуются путем разработки и внедрения новых поколений спутников. Ныне в эксплуатации находятся многоствольные ретрансляторы VI...VIII поколений и готовятся к запуску спутники IX поколения.

Из всего многообразия служб Intelsat наибольший интерес представляет служба международного цифрового обмена IDR. Диапазон ее скоростей от 64 кбит/с до 45 Мбит/с. Служба используется для организации международных связей: передачи телефонии, данных, цифровых программ телевидения, организации сетей ISDN и т.п. Широко используется также служба международной деловой связи IBS, которая предоставляет каналы для корпоративных цифровых сетей. Последними годами широко внедряются сети на базе доступа к ресурсам ретранслятора с предоставлением каналов по требованию (DAMA). Сеть DAMA целесообразна для использования операторами междугородной и международной связи на направлениях с малой нагрузкой.

Eutelsat – Европейская региональная организация спутниковой связи и вещания. В данное время в организации Eutelsat находятся 46 стран Центральной и Восточной Европы, в том числе Россия, Украина, Беларусь, Болгария, Молдова, Польша, государства Закавказья и Прибалтики. Eutelsat обеспечивает работу 18 ретрансляторов, расположенных на геостационарной орбите от 347,5° в.д. до 48° в.д.. Зона обслуживания охватывает страны Европейского континента, север Африки и значительную часть Азии. Спутники на позиции 347,50° в.д. обеспечивают возможность связи и трансляции программ на Америку. Ретрансляторы работают лишь в диапазоне Ku из-за большой насыщенности Западной Европы наземными радиорелейными станциями в диапазоне C.

Система Eutelsat обеспечивает:

- распределение телевизионных и звуковых программ вещания для кабельных распределительных сетей и непосредственного приема населением;
- обмен программами в сетях Eurovision;
- сбор новостей через спутники;
- международную телефонную связь;
- высокоскоростной обмен в сети Интернет;
- деловую связь;
- мобильную связь (система Euteltracs).

В 1998 г. закончился первый этап формирования космической группировки спутников серии Hot Bird, предназначенных для обеспечения телевизионного и звукового вещания. Ретрансляторы имеют расширенную зону покрытия, которая охватывает европейские страны. На позицию геостационарной орбиты 13° в.д. запущено пять спутников НВ-1–НВ-5 с общей емкостью около 100 стволлов. Такое решение создает большие удобства для пользователей, поскольку отпадает необходимость переориентации приемных антенн. Второй этап предусматривает запуск на ту же позицию ретрансляторов НВ-6 и НВ-7 (второе полугодие 2002 г.). Это существенным образом повысит надежность ретрансляции программ вещания многочисленных компаний, которые используют услуги Eutelsat. Ныне количество программ ТВ пре-

вышает 700, значительная часть которых – цифровые. Услугами Eutelsat пользуется более чем 81 млн. владельцев приемников спутникового телевидения.

На базе ретрансляторов Eutelsat действует сеть телефонной связи с временным доступом TDMA с пропускной способностью более 12 тыс. каналов. Сеть охватывает 22 земные станции, которые обслуживают 53 международных центры коммутации в странах Европейского континента. При применении аппаратуры цифрового уплотнения каналов пропускная способность может быть повышена в 3–4 раза. Емкость сети предполагается использовать для передачи пакетов программ цифрового ТВ в формате MPEG-2.

«Интерспутник» – международная организация космической связи, созданная в 1971 г. «Интерспутник» – открытая межправительственная организация, к которой может присоединиться правительство любого государства. На сегодняшний день ее членами являются 24 государства.

«Интерспутник» предоставляет своим клиентам в регионах Атлантического, Индийского и Тихого океанов емкости на спутниках для организации широкого спектра телекоммуникационных услуг, таких как телевизионное и звуковое вещание, передача речевых сообщений и данных, видеоконференцсвязь в международных, региональных и национальных сетях общего пользования, а также в выделенных сетях.

«Интерспутник» проводит консультации по вопросам проектирования земных станций и создания спутниковых сетей связи для работы в системе, организует контрольные испытания при вводе земных станций в эксплуатацию, а также оказывает содействие в приобретении для них необходимого радиотехнического оборудования.

В круг пользователей системы «Интерспутник» входят государственные и частные телекоммуникационные и вещательные компании, а также компании-провайдеры услуг многих стран мира. Отличительной чертой «Интерспутника» является предоставление равного непосредственного доступа к космическому сегменту всем лицензированным операторам независимо от членства в организации.

Успешная деятельность «Интерспутника» во многом объясняется долгосрочным сотрудничеством с такими компаниями, как государственное предприятие «Космическая связь», закрытое акционерное общество «Информкосмос», корпорация «Локхид Мартин» (в 1997 г. создано совместное предприятие «Локхид Мартин Интерспутник») (LMI) с целью производства, запуска и дальнейшей эксплуатации спутников связи последнего поколения).

Система «Интерспутник» включает космический сегмент (спутники связи, расположенные на дуге геостационарной орбиты от 14° з.д. до 142,5° в.д.) и земной сегмент (земные станции в собственности пользователей).

В настоящее время космический сегмент системы «Интерспутник» представлен орбитальной группировкой, состоящей из российских спутников трех типов: «Горизонт», «Экспресс» и «Экспресс-А», а также спутника нового поколения LMI-1.

Спутники «Горизонт» эксплуатируются в системе «Интерспутник» с 1981 г. Они предназначены для работы в диапазонах C и Ku в фиксированной спутниковой службе. Энергетические возможности спутников «Горизонт» позволяют организовать ретрансляцию различных видов сигналов, включая программы телевидения и радиовещания, телефонные и документальные (факс, телекс) сообщения, сигналы данных, сигналы видеоконференцсвязи и другие.

Спутники «Экспресс» разработаны для замены спутников «Горизонт», начиная с 1995 г. Спутники «Экспресс» по сравнению со спутниками «Горизонт» имеют больший срок службы (до 7 лет) и более высокую точность удержания на орбите.

Спутники «Экспресс-А» являются следующим за спутниками «Экспресс» поколением космических аппаратов, предназначенных для работы в фиксированной спутниковой службе, с более продолжительным сроком службы, большей пропускной способностью и высокой

излучаемой мощностью как в диапазоне С, так и в диапазоне Ku. Два первых спутника серии «Экспресс-А» вошли в систему «Интерспутник» в 2000 г.

Спутники нового поколения серии «Экспресс-А» оснащены мощными транспондерами, работающими в диапазоне частот С (12 транспондеров) и Ku (5 транспондеров). Сборка спутников осуществляется в России, а полезная нагрузка поставляется французской компанией Alcatel Espace. Введение в космический сегмент «Интерспутника» спутника «Экспресс-А» позволило существенно расширить спектр и качество услуг, предоставляемых организацией.

Спутник LMI-1 – первый спутник, созданный совместным предприятием «Локхид Мартин Интерспутник» и выведенный на геостационарную орбиту в точку 75° в.д. в 1999 г. LMI-1 обладает высокой мощностью и рассчитан на обеспечение быстро растущих потребностей в области связи регионов России и других стран СНГ, Восточной Европы, Южной и Юго-Восточной Азии, Африки, Ближнего Востока и Австралии. Срок службы спутника 15 лет. Некоторые параметры спутника LMI-1 приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Параметры спутника LMI-1

Параметр	Диапазон С	Диапазон Ku
Количество транспондеров	28	16
Ширина полосы частот транспондера, МГц	36	27
Рабочие частоты (линия вверх/линия вниз), МГц	5725...6025 /3700...4000 6425...6725 /3400...3700	13750...14000 /12500...12750
Эквивалентная изотропно излучаемая мощность в зоне обслуживания, дБВт	31...39	43...48
Мощность усилителей на лампах бегущей волны (ЛБВ), Вт	45	90 (Северный луч) 135 (Южный луч)
Резервирование ЛБВ	32: 28	11: 8
Резервирование приемника ретранслятора	4: 2	4: 2
Плотность потока мощности насыщения, дБВт/м ²	-97...-75	-92...-70
Добротность приемника в зоне обслуживания, дБ/К	-9...0	-3...+2 (Северный луч) -5...0 (Южный луч)

Организация «Интерспутник» разработала концепцию нового проекта под названием «Интерспутник-100М». Основная идея проекта заключается в массовом использовании дешевых малых спутников для оказания разного рода услуг связи и вещания. Стоимость производства, запуска и поддержания на орбите одного малого спутника в пять раз меньше, чем одного тяжелого, и составляет порядка 35...40 млн. долл. США. Снижение затрат на запуск достигается путем вывода на орбиту трех легких спутников одной ракетой типа «Протон» или одного спутника российской конверсионной ракетой. Таким образом, массовое производство спутников и дешевизна технологии обеспечат в конечном итоге возможности широкого использования новых сетей и снижение цены услуг.

Основой для развертывания перспективной системы спутниковой связи является 51 спутниковая сеть (15 сетей в диапазоне С и Ku и 36 сетей в диапазонах S, Ka и V), заявленная «Интерспутником» в МСЭ в 15 позициях на геостационарной орбите от 97° з.д. до 153,5° в.д.

Обладая значительным частотно-орбитальным ресурсом, «Интерспутник» имеет возможность использовать свои орбитальные позиции не только для создания сетей связи и вещания, но и для «паркинга» спутников, готовых к быстрому переводу (4...6 недель) в любую точку геостационарной орбиты и предоставления «по требованию» любым операторам, испытывающим недостаток емкости вследствие роста спроса или аварий.

Переход «Интерспутника» к использованию легких спутников связи позволит не только существенно сократить необходимый для развития системы объем инвестиций, но также ускорить их возврат, повысить рентабельность и уменьшить технические и экономические риски. В свою очередь, это позволит снизить тарифы для пользователей и тем самым предоставлять недорогие, но высококачественные услуги спутниковой связи.

Развертывание группировки малых спутников «Интерспутник» планирует начать с запуска и накопления на орбите космических аппаратов с полезной нагрузкой, состоящей из 10...16 транспондеров, работающих на частотах C и S диапазонов. На этих спутниках планируется устанавливать антенны с полуглобальной диаграммой направленности с возможностью перенацеливания по командам с Земли. Создание легких спутников с другой комбинацией частотных диапазонов (Ku, C/Ku, Ku/Ka, Ku/S) будет производиться по заказу операторов или инвесторов. Конфигурация полезной нагрузки таких спутников определяется заказчиком.

Анализ перспектив использования орбитальных позиций «Интерспутника» показал, что с помощью расположенных в этих точках малых спутников можно строить экономически эффективные региональные, национальные и глобальные сети, обеспечивающие самые современные услуги связи, включая цифровое телевизионное и радиовещание, высокоскоростной доступ в Интернет с обратным спутниковым каналом, организацию выделенных сетей на базе малых станций (VSAT) для передачи речевых сообщений и данных, предоставление услуг телемедицины, дистанционного обучения и связи с удаленными объектами, а также спутниковую мобильную связь.

Сегодня «Интерспутник» имеет приоритет перед другими международными организациями по заявкам на спутниковые сети в диапазоне S (2655...2690 МГц) в большей части геостационарной орбиты. Этот факт позволяет предусмотреть на планируемых легких спутниках размещение транспондеров, работающих на частотах S диапазона. Наличие таких транспондеров позволит «Интерспутнику» помимо традиционных приложений спутниковой связи предлагать совершенно новую услугу – Internet-S, спутниковый Интернет с организацией обратного канала в диапазоне S.

Принцип организации новой услуги довольно прост. Пользователь Internet-S сможет принимать цифровое телевидение и цифровой групповой поток данных Интернета в диапазоне Ku, используя стандартное приемное спутниковое оборудование. Для передачи канала запроса на спутник пользователю потребуется установка модулятора, передатчика и антенны диапазона S. При этом стоимость дополнительного оборудования не превысит 200 долл. США. Организация обратного канала в диапазоне S имеет ряд преимуществ по сравнению с существующими схемами доставки информации из Интернета через спутник.

8.2. Системы и сети мобильной связи

Мобильная связь в последние годы развивается наиболее динамично в сравнении с другими видами связи. Общее количество мобильных абонентов в мире превысило 420 млн. в 2000 г., а в 2005 г. достигнет, по прогнозам МСЭ, миллиарда (рис. 8.2).

Соотношение числа абонентов фиксированной и мобильной связи в некоторых развитых странах мира приближается к единице, в странах Восточной Европы этот показатель составляет 0,1...0,4.

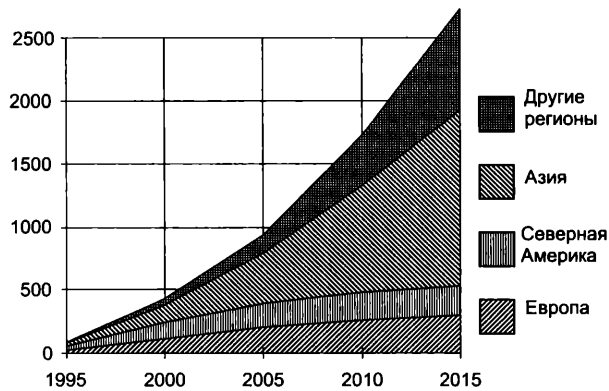


Рис. 8.2. Прогноз развития мобильной связи по регионам (млн. абонентов)

На первом этапе развития сетей мобильной связи использовалось аналоговое оборудование и множественный доступ с частотным разделением каналов (FDMA) с предоставлением только телефонных услуг. Второй этап обеспечил переход на цифровые стандарты (табл. 8.3) с использованием временного (TDMA) и частично кодового (CDMA) разделения каналов, при этом, кроме заметного повышения качества связи, значительно расширился круг услуг (передача факс-сообщений, коротких сообщений SMS, доступ к Интернету и т.п.).

Таблица 8.3. Классификация систем мобильной связи второго поколения

Системы	Метод множественного доступа		
	Частотный – FDMA	Временной – TDMA	Кодовый – CDMA
Сотовые	NMT, AMPS	GSM, D-AMPS (IS-136)	CDMA (IS-95)
Спутниковые	Inmarsat-M	ICO, Thruraya	Globalstar, Ellipso
Транкинговые	Tetrapol, DigiStar	TETRA, iDEN	
Беспроводного доступа	CT 2	DECT, PHS	

Переход к третьему этапу развития мобильной связи, предусматривающему глобализацию мобильной связи и внедрение широкополосных мультимедийных услуг, начался в 2002 г.

8.2.1. Сотовая подвижная связь

К первому поколению (1G) относятся сотовые сети подвижной связи (ССПС), основанные на аналоговых методах передачи речевых сигналов (NMT-450, NMT-900, AMPS и др.). В сетях использовался множественный доступ FDMA.

В ССПС второго поколения (2G) используются цифровые методы формирования, передачи и обработки сигналов (GSM, D-AMPS, JDC, CDMA-IS-95), а также комбинированные методы доступа FDMA и TDMA либо TDMA и CDMA.

Наиболее успешно развиваются технологии подвижной связи, основанные на стандарте GSM. GSM – общеевропейская система сотовой связи, разработанная под эгидой Европейского института стандартов электросвязи ETSI (стандарт GSM образуют несколько сотен до-

кументов ETSI [4, 5]). Первая коммерческая сеть стандарта GSM была развернута в Германии в 1992 г. Первоначально стандарт GSM был ориентирован на использование двух полос частот по 25 МГц в диапазонах 890–915 МГц для восходящего звена (от подвижной станции к базовой) и 935–960 МГц для нисходящего звена (от базовой станции к подвижной) (GSM-900). В 1990 г. пакетом рекомендаций ETSI определены принципы использования стандарта GSM в диапазоне частот 1800 МГц (GSM-1800).

Сети GSM обеспечивают передачу речи, а также факсимильных и буквенно-цифровых коротких сообщений, данных, сообщений видеотекста и телетекста со скоростями до 9600 бит/с. Предусмотрены интерфейсы для взаимодействия с сетями ТфОП, X25, Интернет. Подвижным абонентам предоставляется широкий набор дополнительных услуг: аутентификация абонента, секретность передачи информации, идентификация номера вызывающего абонента, переадресация вызовов, конференцсвязь, экстренная связь, включение в закрытую группу пользователей, оповещение о тарифных расходах и др.

Область, покрываемая сотовой сетью GSM, разбита на ячейки (соты), диаметр которых может быть разным – от менее 100 м до 50 км (рис. 8.3). Функции и интерфейсы элементов сети GSM определены рекомендациями ETSI. Система GSM состоит из трех составных частей: подсистем подвижных (Mobile Station, MS) и базовых станций (Base Station Subsystem, BSS) и сетевой подсистемы (Network Subsystem, NSS).

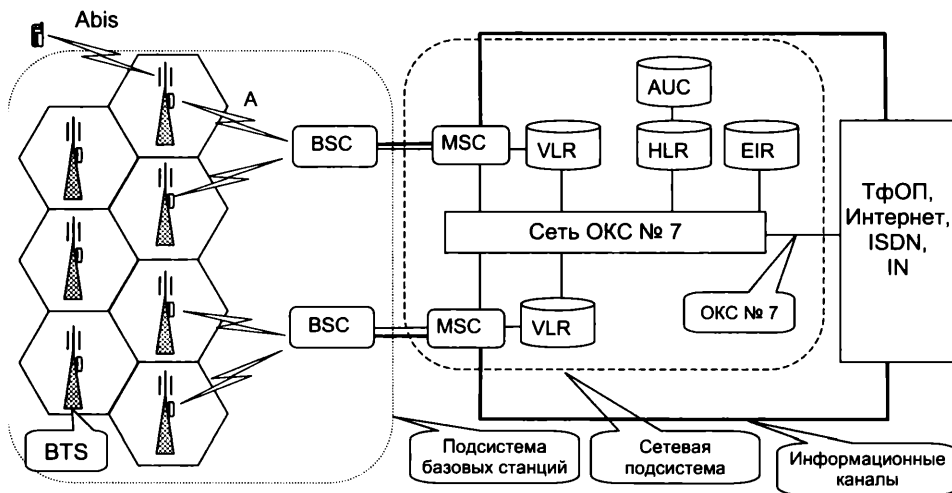


Рис. 8.3. Типичная структура ССПС стандарта GSM-900

Подвижная станция – портативный (карманный) либо автомобильный терминал, содержащий карточку модуля идентификации абонента (Subscriber Identity Module, SIM). SIM-карта защищена от несанкционированного использования и содержит международный идентификатор мобильного абонента, секретный ключ аутентификации, другую информацию.

Подсистема базовых станций BSS предназначена для управления радиоканалами связи с MS и состоит из базовых приемопередающих станций (Base Transceiver Station, BTS) и контроллера базовых станций (Base Station Controller, BSC). Интерфейс Abis, связывающий подсистему BSS с мобильными станциями, позволяет работать с оборудованием разных производителей. Каждая ячейка сети покрывается одной BTS, обеспечивающей организацию радиоканалов. Контроллер BSC является связующим звеном между подвижной станцией и цен-

тром коммутации MSC. Он управляет радиоресурсами нескольких BTS, предоставлением радиоканалов, установкой мощностей передачи и приема, переключением каналов (handover) для перемещаемых из ячейки в ячейку вызовов.

Сетевая подсистема, ядром которой является центр коммутации сотовой сети (Mobile services Switching Centre, MSC), управляет услугами подвижной связи и взаимодействием абонентов сети GSM и абонентов сетей других типов.

Центр MSC обеспечивает соединение подвижных абонентов и предоставление им различных, в том числе дополнительных услуг. Он регистрирует, идентифицирует, обновляет информацию о местонахождении подвижных абонентов, осуществляет переключения радиоканалов, маршрутизирует вызовы при роуминге абонентов, а также обеспечивает соединения с фиксированными сетями. Перечисленные услуги обеспечиваются во взаимодействии с другими функциональными элементами сетевой подсистемы: HLR, VLR и др. (см. рис. 8.3) с помощью общеканальной сигнализации № 7. MSC постоянно контролирует местонахождение подвижных станций с использованием регистров собственных (Home Location Register, HLR) и визитных (Visitor Location Register, VLR) абонентов.

Регистр HLR хранит информацию о местонахождении каждой MS, приписанной к MSC, что позволяет центру коммутации устанавливать с ней соединения, и содержит:

- международный идентификационный номер подвижного абонента (International Mobile Subscriber Number, IMSI), используемый для его распознавания в центре аутентификации AUC;
- параметры идентифицирования абонентов;
- состав и параметры заказываемых ими услуг связи;
- специальные данные маршрутизации;
- данные роуминга, включая временный идентификационный номер подвижного абонента (Temporal Mobile Subscriber Identity, TMSI) в соответствующем VLR и координаты этого VLR.

К данным HLR имеют дистанционный доступ все MSC и VLR сети, поэтому при наличии нескольких HLR каждый является частью общей базы данных, т.е. каждый абонент зафиксирован только в одном HLR. Доступ к данным HLR возможен по номеру IMSI или номеру ISDN подвижного абонента (MSISDN). Доступ возможен также для MSC и VLR других сетей в рамках поддержки межсетевых роуминга.

Регистр VLR является локальной базой данных о подвижных абонентах своей зоны, что позволяет исключить постоянные запросы к HLR и сократить непродуктивные потери времени на обслуживание вызовов. VLR содержит такие же данные, что и HLR, но лишь до тех пор, пока абонент находится в зоне, контролируемой этим VLR. В сети GSM соты группируются в географические зоны (Location Area, LA), которым придаются собственные идентификационные коды (Location Area Identity, LAI). Один VLR содержит данные об абонентах нескольких LA. Когда абонент перемещается из одной LA в другую, данные его местонахождения автоматически обновляются в VLR по инициативе соответствующего контроллера базовых станций. Если в процессе движения подвижная станция переходит из зоны одного BSC в зону другого BSC, она регистрируется новым BSC и в VLR заносится информация о новом номере зоны LA, что обеспечивает передачу вызовов этой подвижной станции. Если старая и новая LA контролируются разными VLR, то данные в старом VLR стираются после их копирования в новый VLR. Текущий адрес VLR обслуживающего абонента, который содержится в HLR, тоже обновляется по инициативе VLR.

Каждой зарегистрированной подвижной станции VLR динамически назначает временный «блуждающий» номер (Mobile Subscriber Roaming Number, MSRN). Если к подвижной

станции устанавливается входящее соединение, VLR придает ей MSRN и передает его на исходящий MSC, который маршрутизирует этот вызов к базовым станциям зоны LA, в которой находится абонент.

Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы применяют механизмы аутентификации подвижных абонентов. Центр AUC формирует ключи и алгоритмы аутентификации, с помощью которых проверяется полномочность абонента и дается разрешение на доступ к сети. AUC определяет параметры аутентификации и ключи шифрования абонентских станций на основе базы данных регистра идентификации оборудования (Equipment Identity Register, EIR).

Регистр EIR является централизованной базой данных для подтверждения истинности международного идентификационного номера оборудования подвижной станции (International Mobile Equipment Identity, IMEI), состоящей из списков номеров IMEI, организованных таким образом:

- «белый список» номеров IMEI, про которые известно, что они закреплены за санкционированными подвижными станциями;
- «черный список» номеров IMEI подвижных станций, которые украдены или не имеют права на обслуживание по иным причинам;
- «серый список» номеров IMEI подвижных станций, у которых есть проблемы, выявленные программным обеспечением, но недостаточные для занесения в «черный список» (эти номера постоянно контролируются).

Для оптимального распределения радиоспектра между пользователями в стандарте GSM применяется комбинация методов множественного доступа TDMA и FDMA. Выделенная ширина спектра 25 МГц делится на полосы 200 кГц, т.е. организуется 124 физических канала с FDMA. Абоненты, совместно использующие радиочастотный канал, разделены во времени за счет использования TDMA. Каждому абоненту соответствует одно временное окно (канал). Восемь окон объединяются в кадр.

В системе GSM возможны четыре варианта переключения радиоканалов, определенные Рекомендацией Q.1005:

1. *Между радиоканалами в пределах одной базовой станции.* Это переключение должно выполняться, если на используемый канал влияет многолучевая интерференция или помехи, а также при исключении канала из работы на техническое обслуживание.

2. *Между базовыми станциями одного MSC.* Это переключение для поддержки целостности соединения при перемещении подвижной станции из зоны одной BTS в зону другой BTS.

3. *Между базовыми станциями разных MSC одной сети подвижной связи.*

4. *Между базовыми станциями MSC разных сетей подвижной связи.*

Инициаторами переключения может стать и подвижный терминал, и MSC (для предотвращения перегрузок). Подвижный терминал, находящийся в режиме занятости, оповещает близлежащие базовые станции о перемещении в другую ячейку и передает необходимую информацию. Подвижный терминал создает список из шести вариантов возможного переключения, исходя из интенсивности полученных сигналов. Эта информация передается BSC и MSC примерно раз в секунду и используется алгоритмом переключения.

Важным шагом на пути увеличения пропускной способности предоставляемых пользователям каналов связи и расширения предлагаемых услуг должна стать пакетная технология, основанная на использовании протокола GPRS (General Packet Radio Service). Протокол обеспечивает эффективную передачу неравномерной нагрузки [6, 7] и совместимость сетей GSM с Интернет. Возможны скорости передачи от 9,6 до 115,2 кбит/с на одного пользователя

и совместное использование одного канала для передачи данных нескольких пользователей, причем каждый оплачивает не время занятия канала, а объем переданной информации. Сети GSM, использующие протокол GPRS и предоставляющие расширенный комплекс услуг, связанных с этим протоколом, относят к сетям поколения 2,5G.

Расширению набора услуг способствует разработанный прикладной протокол беспроводной связи (Wireless Application Protocol, WAP). Он позволяет выходить в Интернет посредством только мобильного телефона, без участия модема, компьютера и тому подобных устройств. Но через WAP можно посещать лишь WAP-страницы Интернет-сайтов. С точки зрения абонента они не отличаются от обычных, но таких WAP-страниц мало. Многие Интернет-сайты создают для своих клиентов специальные WAP-версии своих страниц, адаптированные к маленьким экранам сотовых телефонов и с доступом к электронной почте.

Сейчас ведутся разработки технологий, дополняющих WAP. Есть предположение, что нынешний WAP – это переходной стандарт. WAP после завершения будет представлен как глобальный стандарт доступа в Интернет с мобильных телефонов, пейджеров, карманных компьютеров, ноутбуков и любых других подключаемых мобильных устройств. Пока же WAP-технология остается востребованной теми пользователями, которым нужна текстовая, краткая и срочная информация.

Вскоре после появления второго поколения мобильных систем начались приготовления к проектированию стандартов мобильной связи следующего поколения 3G [8]. Если от систем 2G потребитель ждал лишь обеспечения массового доступа к услугам речевой связи и низкоскоростной передачи данных, то требования к системам 3G совсем иные. Главными из них являются универсальность устройств, предназначенных для наземных и спутниковых систем (обеспечивается «единый» доступ к ним в пределах земного шара), возможность конвергенции услуг разных систем и сетей, а также предоставление мультимедийных услуг в рамках глобальной информационной инфраструктуры GII. Небольшие абонентские терминалы поколения 3G должны не только поддерживать высокое качество передачи речи, но и уметь работать с асимметричными потоками данных в линиях «вверх» и «вниз».

Разработки 3G начались как на региональном уровне (ETSI, проект RAINBOW от ACTS, U.S. Joint Technical Committee, японская ARIB), так и на глобальном – ITU, следствием деятельности которого стало создание в 1985 г. инициативной группы, которая в 1996 г. была переименована в IMT-2000. Цифра «2000» призвана обозначить технологию нового тысячелетия и нового частотного диапазона, предназначенного для этой технологии – 2 ГГц. Разные проекты предлагали различные пути перехода к системам третьего поколения.

В рамках каждого проекта в основном рассматривались два варианта развития: постепенный переход от ныне действующих систем и «скачкообразный» прыжок. Большинство склонилось к необходимости постепенной интеграции, что и нашло свое отражение в концепции IMT-2000.

Спецификация 3G все еще в процессе развития. Институт ETSI разрабатывает стандарт UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), который соответствует спецификации IMT-2000, но в значительной степени базируется на технологии GSM.

Технология третьего поколения (3G) должна обеспечить высококачественную передачу речи, изображений (скорость предположительно будет достигать 2 Мбит/с вместо 9,6 кбит/с, доступных 2G), мультимедиа и доступ в Интернет, а также обмен данными между мобильным телефоном и компьютером. Технологии 3G должны улучшить качество обслуживания сетей 2G, добавляя к ним такие новые услуги, как видеотелефония, IP-телефония, видео/аудиопотоки; телевидение; видео- и фотосъемка; Web-просмотры, мобильный офис, услуги, основанные на местоположении абонента (карты и путеводители, ориентация в незна-

комом месте, обеспечение безопасности и пр.), мобильная электронная коммерция (оплата билетов, товаров и услуг, поиск и выбор товаров), игры и пр.

Концепция ИМТ-2000. МСЭ разработал концептуальные положения развития мобильной связи третьего поколения, изложенные в комплексе программ ИМТ-2000 [3]. Они впервые приняты в 1997 г. с целью объединения существующих систем второго и будущих систем третьего поколения. Рамочная структура ИМТ-2000 предусматривает использование лишь цифрового оборудования, в котором значительное место будут занимать высокоскоростные технологии CDMA. Важным является требование предоставления услуг «в любом месте и в любое время», при этом базовой может стать услуга передачи данных, а голосовые сообщения будут лишь одним из разновидностей сообщений. Такие задачи можно выполнить лишь с применением множества взаимодействующих подсистем наземного сегмента, которые обслуживают абонентов в пико-, микро- и макросотовых зонах (рис. 8.4), и спутникового сегмента, который обеспечивает глобальную связь.



Рис. 8.4. Схема обеспечения глобальной связи в соответствии с проектом ИМТ-2000

Концепция ИМТ-2000 предусматривала выделение нового частотного ресурса в единых для всего мира полосах частот в диапазоне 1,9...2,2 ГГц. Не исключена возможность организации сетей ИМТ-2000 с использованием полос частот, выделенных ранее для сотовых сетей. Всемирная радиоконференция WRC-2001 назначила для развития сетей третьего поколения дополнительные полосы частот 806...960, 1710...1885 и 2500...2690 МГц.

Рамочная структура ИМТ-2000 содержит такие базовые компоненты (Рек. ITU-T Q.1701, Q.1711, Q.1721):

- эталонную модель протоколов и межсетевых взаимодействий;
- рекомендации МСЭ относительно общего функционирования разных радиоинтерфейсов и их эволюции в ИМТ-2000;
- рекомендации МСЭ относительно принципов регулирования, которые обеспечивают свободное перемещение мобильных терминалов в глобальном масштабе;
- рекомендации МСЭ относительно взаимодействия наземных и спутниковых сетей в рамках программы ИМТ-2000.

Исследовательская комиссия SG-11 МСЭ совместно с другими структурами МСЭ и заинтересованными операторами постоянно совершенствует нормативную базу построения ИМТ-2000. К дальнейшей разработке и стандартизации принято пять базовых интерфейсов для наземных систем: два интерфейса с кодовым доступом (W-CDMA и cdma2000), интерфейс с временным доступом TDMA и комбинированные интерфейсы TD-CDMA и FD-TDMA. Наличие

нескольких вариантов, каждый из которых имеет как преимущества, так и недостатки, обеспечивает разработчикам оборудования возможность оптимизации технических решений в разнообразных условиях работы сетей.

На сегодня наиболее важная задача – обеспечить всем операторам действующих сетей возможность использовать существующую инфраструктуру для предоставления новых услуг IMT-2000. В связи с этим в МСЭ ведется разработка единого протокола для глобального роуминга в рамках IMT-2000.

Ведущие мировые операторы связи утверждают, что многих мобильных абонентов уже сегодня не удовлетворяет скорость передачи данных, которая предполагается проектом IMT-2000. Наличие нагрузки с мультимедийными приложениями, необходимость передачи телевизионных изображений нуждаются в доведении скорости до десятков мегабит в секунду. Поэтому следующим этапом развития мобильных систем является разработка концептуальных положений построения систем четвертого и пятого поколений. Безусловно, разработка систем четвертого поколения может опираться на научные, технические и технологические достижения, полученные на предшествующих этапах.

Концепция UMTS. На волне успехов европейской экономической интеграции и успешного развертывания сетей сотовой связи GSM в рамках Европейского содружества разработан концепция мобильной связи UMTS. Концепции UMTS и IMT-2000 во многих чертах подобны. Однако с точки зрения реализации UMTS имеет важное преимущество – в качестве технической платформы при переходе к UMTS выбран европейский стандарт сотовой связи GSM, а предлагаемые технические решения разработаны с участием лидеров европейской радиоэлектроники (Nokia, Ericsson, Alcatel, Siemens, Italtel).

В 1997 г. Европейский комитет радиосвязи ERC принял решение о резервировании для системы UMTS с 2002 г. следующих частотных полос:

- 1920...1980 и 2110...2170 МГц – для наземных сетей UMTS, работающих с частотным дуплексным разнесением;
- 1900...1920 и 2010...2025 МГц – для наземных сетей UMTS, работающих с временным дуплексным разнесением;
- 1980...2010 и 2170...2200 МГц – для спутниковых сетей UMTS.

Для перехода к UMTS необходимы несколько переходных периодов, которые постепенно, шаг за шагом приведут к полному вводу новой системы 3G:

1. Технология HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) позволяет пользователям мобильных телефонов принимать данные на более высокой скорости, чем в сетях GSM 2G. Скорость передачи достигает 38,4 кбит/с, т.е. является почти такой же, как скорость передачи данных, предлагаемая модемом для обыкновенных телефонных линий. На рынке мобильных коммуникаций HSCSD открывает дорогу услугам нового типа.

2. Упомянутая технология GPRS – важнейшая в переходном периоде от систем 2G к UMTS. GPRS часто упоминается как GSM-IP (GSM Internet Protocol), так как предлагает абоненту GSM прямой доступ к Интернету со скоростью до 115,2 кбит/с и выше. Еще одна отличительная особенность GPRS состоит в том, что она позволяет абоненту иметь постоянную связь с ISP и пребывать в режиме online. По существу GPRS представляет собой мобильный эквивалент ADSL.

3. EDGE (Enhanced Data GSM Environment) – заключительная ступень на пути к UMTS. Она позволит операторам GSM предлагать абонентам мультимедийные услуги на скорости до 384 кбит/с. Полагают, что операторы GSM смогут предоставлять услуги EDGE по относительно низкой цене, поскольку это потребует всего лишь небольших изменений в программ-

ном обеспечении и оборудовании операторов. Система будет использовать TDMA-интерфейс и типичный для GSM шаг по частоте 200 кГц.

4. Технология i-mode – детище крупнейшего японского оператора сотовой связи NTT DoCoMo. Эта технология обеспечивает постоянное соединение с пропускной способностью 9,6 кбит/с, что позволило DoCoMo начать разработку мобильных приложений на базе IP-телефонии, опередив GPRS. Технология конкурирует с WAP, так как использует компактную версию HTML (сHTML), в то время как WAP работает со специальным языком WML (Wireless Markup Language). Большинство аналитиков полагают, что DoCoMo перенесет i-mode в Европу и Северную Америку. Полагают, что благодаря этой технологии где-то между 2003 и 2005 годами число мобильных телефонов с доступом к Интернету в мире превысит число подсоединенных к Интернет ПК.

5. Технология UMTS (Universal Mobile Telephone Service) позволит довести скорость передачи до 2 Мбит/с.

Сотовые службы четвертого поколения 4G создаются уже более десяти лет. Первые исследования проводились в Европе в начале 1990-х гг. и ставили целью изучение технологий для обеспечения очень высоких скоростей передачи данных, способных удовлетворить требования мобильной связи к 2020 г.

Самым перспективным был проект мобильных широкополосных систем MBS (Mobile Broadband System), совместная работа нескольких компаний и университетов под эгидой Европейской комиссии. Разработчики MBS планировали создать сотовую систему с низкой задержкой, гарантированным качеством обслуживания (QoS) и скоростью передачи данных на уровне OC-3 (155 Мбит/с), т.е. в тысячи раз быстрее, чем позволяет добиться любая из современных технологий, и им это удалось.

Созданный в 1995 г. прототип MBS поддерживал скорость передачи данных на уровне E3 (34 Мбит/с), хотя можно было добиться и более высоких скоростей за счет организации нескольких параллельных каналов. Этот прототип испытывался в нескольких внутренних и внешних средах, в том числе при поездках по городу на скорости около 50 км/с. Физический уровень MBS базировался на варианте технологии множественного доступа TDMA, который поддерживается большинством телефонов 2G, а основу его более высоких уровней составлял ATM – тогда он считался сетевым протоколом будущего.

Основу физического уровня теперь составляет технология мультиплексирования с ортогональным разделением частот OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), предназначенная для обеспечения защиты от помех, возникающих вследствие многолучевого распространения радиосигналов. От ATM отказались в пользу IPv6. Прототип работал в диапазоне частот 60 ГГц, занимая полосу 160 МГц, но радиус действия ограничивался примерно 100 м. В этом случае развертывание сети в масштабах страны потребует установки миллионов базовых станций, каждая из которых станет центром небольшой «пикосоты». Европейский консорциум Wireless Strategic Initiative рассматривает также возможность использования диапазона 40 ГГц, что позволило бы иметь соты большего размера и сократить затраты на организацию сетей.

В то время как для предыдущих поколений систем беспроводной связи приоритетной является передача речи, возможно в сочетании с другими видами обмена, например передачей коротких сообщений, MBS, как предполагается, не будет зависеть от услуг. Это широкий канал передачи данных, который устройства могут использовать для любых приложений.

Несмотря на сложность задач создания перспективных систем сотовой подвижной связи, имеется много оригинальных технических проектов и методов их решения. Следует надеяться, что системы поколений 3G и 4G реализуют самые передовые технологии.

В табл. 8.4 сопоставлены характеристики систем сотовой связи четырех поколений.

Таблица 8.4. Характеристик систем сотовой связи

Характеристика	1G	2G	3G	4G
Частотные диапазоны	900 МГц	1800 МГц	2 ГГц	40 ГГц и 60 ГГц
Тип мультиплексирования	Аналоговая FDMA	TDMA	CDMA	OFDM
Поддержка передачи речи	Базовая телефония	Идентификатор абонента, голосовая почта	Голосовые конференции, видео низкого качества	Телеприсутствие, видео высокого качества
Обмен сообщениями	Нет	Только текстовые	Графика и форматированный текст	Полная унифицированная передача сообщений
Поддержка данных	Нет	Коммутация каналов (коммутация пакетов в 2,5G)	Коммутация пакетов	IPv6
Номинальная скорость передачи данных	Нет данных	14,4 кбит/с (115 кбит/с в 2,5G)	2 Мбит/с (10 Мбит/с в 3,5G)	100 Мбит/с
Реальная скорость передачи данных	2,4 кбит/с	9,6 кбит/с (40 кбит/с в 2,5G)	64 кбит/с (пока)	Неизвестно
Интерфейс с другими устройствами	Через акустическое устройство связи	Через электрический интерфейс RS232 или инфракрасный интерфейс IrDA	Через IEEE 802.11 или Bluetooth	Бесконфликтное соединение различными методами
Период активного внедрения	1980–1994 гг.	1995–2001 гг.	2002–2005 гг.	2006–2010 гг. и далее

8.2.2. Транкинговые системы и сети

В транкинговых системах реализуется принцип свободного доступа мобильных абонентов к общему каналному ресурсу (набору каналов). При этом каждый канал из этого набора закрепляется индивидуально за абонентом для каждого сеанса связи в соответствии с распределением нагрузки. Транкинговая сеть включает территориально разнесенные базовые станции, которые соединяются кабельными, оптоволоконными или радиорелейными линиями связи, и мобильные абонентские терминалы. Неотъемлемой частью транкинговой сети является общий коммутатор либо объединенные территориально разнесенные коммутаторы. Зоны базовых станций образуют общую зону обслуживания транкинговой сети.

Современные транкинговые системы обеспечивают:

- интеграцию в сети мобильной связи третьего поколения с поддержкой мультимедийных функций (доступ к сети Интернет во время движения, интегрированная передача вещания и данных, передача факсимильных и подвижных изображений, обмен пейджерными сообщениями, высокоскоростная передача данных);
- осуществление индивидуальных, групповых и экстренных вызовов;

- использование режимов дуплексной и полудуплексной связи, прямой радиосвязи между отдельными абонентскими терминалами без участия базовых станций, а также использование абонентского терминала как ретранслятора;
- гарантированную защиту информации.

Благодаря структурным и технологическим особенностям системы транкинговой связи рекомендованы как базовые для региональных и национальных сетей оперативной подвижной радиосвязи.

Современное состояние транкинговой связи в Европе является переходным от систем мобильной связи отдельных структур государственного управления, служб и ведомств к единой цифровой системе оперативной мобильной радиосвязи с обслуживанием в масштабах государства. Плотность транкинговой связи составляла в 2000 году в среднем 1...5 терминалов на 100 жителей с прогнозом возрастания этого показателя до 2010 г. в 2...3 раза.

Цифровые системы транкинговой связи в ближайшее время займут доминирующее положение среди систем оперативной подвижной радиосвязи. Технические показатели перспективных цифровых транкинговых систем представлены в табл. 8.5.

Таблица 8.5. Показатели транкинговых систем

Параметр	TETRA	iDEN	TETRAPOL	APCO 25
Метод доступа	TDMA	TDMA	FDMA	FDMA
Количество каналов (полоса 25 кГц)	4	6	2	4
Диапазоны, МГц	150–174, 450–470 380–400, 410–430 870–876, 915–921	806–821 851–866	68–88 380–512	ОВЧ, СВЧ 800
Скорость, кбит/с	28,8	64	19,6	4,8
Режим прямой связи	+	–	+	+
Интерфейс устройств защиты	+	–	+	+
Полнодуплексные терминалы	+	+	–	+
Мобильные станции с пейджером, модемом и др.	+	+	–	–

Международное сотрудничество стран СНГ выдвигает требование к сети оперативной мобильной связи – необходимость эффективного взаимодействия с аналогичными сетями стран Европы. Стандарты iDEN, TETRAPOL и др. отличаются довольно высоким уровнем предоставления услуг, однако их недостатком является закрытость, т.е. уровень их разработки полностью определяется возможностями отдельных фирм-разработчиков. В стандарте APCO 25 (США) изначально заложены возможности открытого взаимодействия специалистов фирм-производителей и национальных администраций по вопросам внедрения и выпуска системного и абонентского оборудования. Стандарт TETRA является разработкой ETSI. Он принят в 60 % стран Европы в качестве базового при построении национальных сетей оперативной подвижной радиосвязи.

В сравнении с другими стандарт TETRA имеет дополнительные возможности. Комплексная система сетевого управления обеспечивает техническое и административное управление, системный контроль и техническое обслуживание. С помощью межсистемного интерфейса осуществляется взаимодействие как с другими сетями стандарта TETRA, так и с сетями других стандартов. Абонент TETRA в границах общенациональной сети однозначно идентифицируется независимо от текущего местонахождения с помощью уникального адре-

са. Имеются возможности групповых вызовов без ограничений количества абонентов и их местонахождения в момент обслуживания. Адаптивное использование системных ресурсов позволяет значительно повысить емкость сети и сократить время доставки сообщений. Благодаря использованию метода TDMA обеспечивается равномерное распределение нагрузки во время экстренных вызовов и малое время установления соединений (менее чем 300 мс). Предусмотрено до 10 уровней приоритета обслуживания и дополнительные функции приоритетности, благодаря чему достигается гибкое управление сетевыми ресурсами. Система TETRA отвечает всем требованиям безопасности в сетях ведомственной мобильной связи в соответствии с Рек. ISO 7498-2, обеспечивая при этом ряд дополнительных возможностей, в частности, применение криптологических алгоритмов, процедур санкционированного контроля, интеллектуальных карточек-паролей и т.п.

Указанное выше подтверждает целесообразность использования стандарта TETRA в качестве базового при построении национальных систем мобильной связи стран СНГ. При создании объединенной системы может быть выполнена оптимизация технических ресурсов уже построенных и действующих систем.

8.2.3. Глобальные системы мобильной спутниковой связи

В последние годы интенсивно развиваются системы глобальной мобильной спутниковой связи. Такие системы предназначены для обеспечения персональной связи в любом месте и в любое время. Принципиальным отличием является использование ретрансляторов на низких негеостационарных орбитах. Это позволяет абоненту использовать портативный терминал, получая основной набор стандартных услуг: передачу речи в цифровой форме, передачу данных с низкой скоростью, пейджинг и возможность местоопределения.

Характерные особенности спутниковых систем связи с низкоорбитальными ретрансляторами:

- использование в космической группировке большого числа спутников-ретрансляторов на низких круговых орбитах, обеспечивающих глобальный характер зоны обслуживания системы;
- высокая пропускная способность ретрансляторов и систем в целом за счет применения многолучевых антенн, коммутации информационных потоков, многократного использования выделенных для связи полос частот, поляризационного и пространственного разнесения, современных методов множественного доступа, помехоустойчивого кодирования и т.п.;
- использование перспективных методов кодового разделения сигналов, которое позволяет заимствовать опыт разработки подобных наземных систем, облегчает выполнение норм электромагнитной совместимости и обеспечивает дополнительную защиту от несанкционированного доступа;
- малые габариты и вес, низкая стоимость абонентских терминалов;
- малое, по сравнению с геостационарными системами, время задержки сигнала в радиолинии.

Ныне на завершающей стадии разработки и пробной эксплуатации находятся системы первого поколения Globalstar и ICO (табл. 8.6).

Система **Globalstar** состоит из космического, наземного и абонентского сегментов, обеспечивающих связь между любыми точками земной поверхности за исключением полярных областей. Орбиты спутников оптимизированы таким образом, чтобы обслуживать область между 70 градусами южной и северной широты.

Таблица 8.6. Характеристики низкоорбитальных систем

Характеристика	Globalstar	ICO
Назначение системы	Регионально-глобальная, дополнение к наземным сетям	
Услуги	ТЛФ, ПД, факс 3-й группы, пейджинг	
Зона обслуживания	70° юж. ш. – 70° сев. ш.	Сплошное покрытие
Абонентский терминал	Мобильный, фиксированный, двухрежимный	
Наземная инфраструктура	До 200 станций – узлов доступа к спутникам	12 узлов доступа к спутникам
Стоимость абонентского терминала	750 долл.	500...1000 долл.
Тариф	0,6...1,0 долл./мин	2...3 долл./мин

Космический сегмент состоит из 48 спутников на низких орбитах (1410 км). Это позволяет использовать ручные абонентские терминалы наподобие терминалов сотовой связи. Земные станции (узлы доступа) служат связующим звеном между системой Globalstar и наземной сетью общего пользования. При включении терминал пользователя сначала входит в контакт с местной сотовой сетью и при отсутствии связи выходит на систему Globalstar. Качество связи отвечает требованиям, обусловленным стандартом наземной связи CDMA.

Основной набор услуг, предоставляемых системами первого поколения, одинаков (цифровая телефония, передача данных до 9,6 кбит/с и факс 3-й группы). Качество передачи речи отвечает нормам систем наземной сотовой связи типа GSM. В системе Globalstar предусмотрена передача на абонентский терминал координат пользователя.

Мобильные абонентские терминалы обеспечивают два режима работы:

- связь через местную сотовую радиосеть с выходом в наземную сеть общего пользования;
- связь через спутниковый сегмент с выходом на сети общего пользования.

В высокоорбитальной системе ICO количество земных узлов доступа к спутнику небольшое (1 или 2 на континент). В низковысотной системе Globalstar предусмотрено до 200 узлов доступа. Они располагаются в наиболее важных узлах национальных наземных сетей. Зона охвата одним ретранслятором системы Globalstar – окружность диаметром 5800 км.

В начале 90-х годов минувшего столетия стало ясно, что запросы потенциальных пользователей в мире простираются значительно дальше услуг персональной телефонной связи, предоставляемых системами первого поколения. Несмотря на впечатляющие темпы прокладки волоконно-оптических линий, они не смогут целиком удовлетворить возрастающий спрос пользователей. Повсеместное внедрение компьютерной техники и цифровизация всех видов передаваемой информации предъявляют высокие требования к быстродействию и пропускной способности каналов и сетей телекоммуникации. Мировой рынок услуг мультимедиа и других широкополосных услуг через 10...15 лет может достичь объема современного рынка телекоммуникационных услуг. Разработки второго поколения спутниковых систем на базе низкоорбитальных космических группировок ставят задачу предоставления телекоммуникационных услуг, сравнимых по быстродействию и информационной емкости с аналогичными услугами наземных систем на базе ВОЛС. Первой среди таких проектов была система Tele-desic [2]. В 1997 г. представлены также проекты систем Celestrу и Skybridge. Ведущие корпорации мира на рынке телекоммуникационных услуг вкладывают значительные средства в создание нового класса систем, способных в ближайшее десятилетие по пропускной способности и качеству услуг конкурировать с наземными системами, превосходя их в гибкости и скорости развертывания.

ГЛАВА 9

СИСТЕМЫ ВЕЩАНИЯ

9.1. Технологии, системы и службы вещания

9.1.1. Прогресс технологий в вещательных службах

Основной научно-технической революцией в области вещания является технологический прогресс, который характеризуется:

- внедрением цифровых методов производства, обработки, кодирования, передачи, приема и воспроизведения аудиовизуальной информации;
- переходом к средам передачи и хранения информации с высокой пропускной способностью;
- использованием новых алгоритмов сжатия аудиовизуальной информации, снижающих скорости ее передачи и объемы памяти для ее хранения в десятки и сотни раз;
- внедрением новых типов преобразователей «свет-сигнал», позволяющих формировать сигнал изображения на новом качественном уровне;
- внедрением новых типов воспроизводящих устройств, в том числе плазменных, жидкокристаллических, полупроводниковых матриц с характеристиками воспроизведения, существенно лучшими, чем у обычных кинескопов;
- интеграцией вещательных и телекоммуникационных служб, в том числе Web-вещания, и комплексным использованием вещательных сетей для предоставления традиционных и новых телекоммуникационных услуг;
- внедрением интерактивных вещательных служб и их интеграцией с другими интерактивными телекоммуникационными службами;
- постоянным научно-техническим прогрессом в области инфокоммуникационных технологий и аудиовизуальных служб.

Службы вещательного типа все больше интегрируются с аудиовизуальными службами общего применения путем использования общих принципов производства, хранения, обработки, передачи, приема и воспроизведения аудиовизуальной информации. К интегрированным услугам можно отнести аудиовизуальные услуги Интернета, аудиовизуальные услуги на дому по заказу в любое время.

9.1.2. Определение служб вещания и направления их стандартизации

Мировой научно-технический прогресс и происходящая конвергенция телекоммуникационных и вещательных служб привели к тому, что в настоящее время служба вещания, еще недавно ограниченная телевизионным и звуковым вещанием, теперь охватывает также мультимедийное, гипермедийное вещание и вещание данных.

В Резолюции ITU-R 4-3, принятой Ассамблеей радиосвязи в 2000 г. (Стамбул), дано новое определение служб вещания в составе служб радиосвязи, которые теперь относятся к

компетенции Сектора радиосвязи МСЭ (МСЭ-Р) и в его составе к новой Исследовательской комиссии 6 (ИК 6) «Службы вещания (наземные и спутниковые)». Это определение охватывает службы вещания средствами радиосвязи (наземными и спутниковыми), включая телевизионные и прочие видеослужбы, службы звукового вещания, мультимедийные службы, службы вещания данных, информация которых предназначена для массового распределения. В вещании используется распределение информации от источника во все стороны на массово доступные приемники пользователей. Если необходим обратный канал (для управления доступом, интерактивности и т.п.), то, как правило, он имеет значительно меньшую пропускную способность, чем прямой канал массового распределения информации. Для производства и распределения программ (телевизионных, звуковых, мультимедийных, данных и др.) могут понадобиться сети обмена программным материалом между студиями, сети обеспечения сбора материала (ENG – электронного сбора новостей, SNG – спутникового сбора новостей и т.п.), первичного распределения к узлам локального распределения, вторичного распределения на приемники пользователей.

В составе ИК 6 стандартизацией ТВ вещания занимаются Рабочие (РГ, WP) и Целевые группы (ЦГ, TG):

- РГ 6А – монтаж и форматирование программ;
- РГ 6Е – наземное вещание;
- РГ 6М – интерактивное и мультимедийное вещание;
- РГ 6Р – производство и постпроизводство;
- РГ 6Q – оценка характеристик и контроль качества;
- РГ 6R – запись для производства, архивирования и воспроизведения, телекино;
- РГ 6S – спутниковое вещание;
- ЦГ 6/7 – параметры планирования для цифрового вещания на частотах ниже 30 МГц;
- ЦГ 6/8 – подготовка к Региональной конференции радиосвязи (по пересмотру Стокгольмского соглашения о распределении частотного ресурса для ТВ вещания);
- ЦГ 6/9 – цифровое кино.

Основные характеристики вещательных систем стандартизованы в рекомендациях МСЭ-Р:

- систем спутникового вещания: ВО.650-2, ВО.786, ВО.787;
- систем записи вещательной информации: BR.265-8, BR.657, BR.778-1, BR.1385;
- систем звукового вещания: BS.415-2, BS.775-1, BS.1116-1;
- систем ТВ вещания: ВТ.470-6, ВТ.472-3, ВТ.601-5, ВТ.653-3, ВТ.796, ВТ.797-1, ВТ.807, ВТ.808, ВТ.809, ВТ.810, ВТ.1117-2, ВТ.1118-1, ВТ.1119-2, ВТ.1127, ВТ.1197-1, ВТ.1198, ВТ.1201, ВТ.1208-1, ВТ.1298, ВТ.1358, ВТ.1361, ВТ.1369, ВТ.1378, ВТ.1380.

Службы телевизионного, звукового, мультимедийного, гипермедийного вещания и вещания данных на основе кабельных систем и микроволновых сетей, интегрированных с широкополосными информационными сетями и службами, являются предметом компетенции ИК 9 Сектора стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-Т). В составе ИК 9 стандартизацией широкополосных, в том числе вещательных систем занимаются рабочие группы:

- РГ 1/9 – передача ТВ сигналов;
- РГ 2/9 – передача сигналов звукового вещания.

Основные характеристики систем передачи вещательных программ стандартизованы в рекомендациях МСЭ-Т:

- систем передачи ТВ сигналов и сигналов Web-вещания: J.61, J.68, J.73, J.75, J.77, J.80, J. 81, J.82, J.83, J.84, J.85, J.86, J.91, J.94, J.112, J.150, J.163, J.183, J.184, J.200;
- систем передачи сигналов звукового вещания: J.11, J.21, J.23, J.51, J.53, J.54, J.55, J.56, J.57.

Технический прогресс последних лет привел к появлению новых вещательных служб: Web-вещание (на основе IP-протокола), электронное кино, домашний театр, видео по заказу, службы изображения высокой и сверхвысокой четкости, службы массового распределения информации на CD-ROM, DVD-ROM и других носителях. Можно ожидать, что в ближайшее время будут реализованы средства хранения и обработки информации, построенные на принципе объемной голографии, что приведет к новому витку научно-технической революции, которая, в частности, найдет свое воплощение в вещательных технологиях.

Информация по стандартизации вещательных систем и служб представлена также в п. 9.3. Вопросы построения систем цифрового вещания изложены в [1–6].

9.1.3. Функции вещательной службы

На рис. 9.1 приведена сквозная модель службы вещания, принятая ИК 6 в марте 2001 г. Эта модель характеризует функции службы вещания и соответствующие аспекты в том виде, как это сложилось к настоящему времени благодаря накопленному международному опыту.



Рис. 9.1. Сквозная модель службы вещания

9.1.4. Классификация систем вещания

На рис. 9.2 приведена общая классификация аспектов систем и служб вещания, основанная на использовании технологий разного уровня. По сформировавшимся представлениям в настоящее время имеется пять видов вещания – телевизионное, звуковое, мультимедийное, гипермедийное, а также вещание данных.

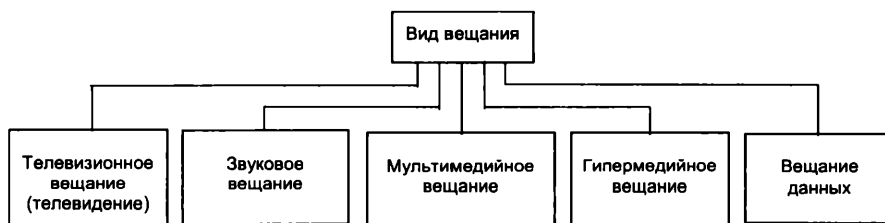


Рис. 9.2. Классификация видов вещания

Телевидение является видом аудиовизуальных приложений, основное назначение которых – передача видеосцен со звуковым сопровождением. Подобные системы могут реализовываться на технологической базе разных уровней – от простейших аналоговых к совершенным цифровым системам с высокой степенью интеллектуализации. Системы могут быть вещательными и прикладными, монохромными и цветными, моноскопическими и стереоскопическими. В них могут соединяться функции воспроизведения изображений, звука и выполнения других операций, например в специализированных прикладных системах опознавания образов. Звуковое сопровождение в некоторых цифровых системах может не передаваться.

Звуковое вещание тоже можно отнести к аудиовизуальным системам. В зависимости от используемых технологий оно может реализовываться по разному – от обычного узкополосного на приемник, например СВ-диапазона, до вещания на уровне звукового окружения с видеосопровождением.

Логическим продолжением телевизионного и звукового вещания является *мультимедийное вещание*, опирающееся на широкое использование компьютерных технологий, причем аудиовизуальные сцены объединяют в себе натурные видео- и аудиосцены, видеoinформацию в графическом и векторном форматах, текстовую информацию, синтетический звук. Важной отличительной чертой мультимедийного вещания является объектно-ориентированная передача интерактивных аудиовизуальных сцен.

Дальнейшим шагом в развитии мультимедийного является *гипермедийное вещание*, в котором, в дополнение к мультимедийному, используются гиперссылки, позволяющие строить аудиовизуальные сцены по иерархическому принципу, так что разным уровням иерархии сцены могут соответствовать разные уровни детализации.

Еще одним видом является *вещание данных*. К нему относятся система Телетекст, системы вещания компьютерных программ, некоторые информационные службы, такие как «газета-всем», и т.п.

К вещательным могут также быть отнесены службы видео по заказу, телевидения в любое время, распространения аудиовизуальной информации на магнитных и оптических носителях.

На рис. 9.3 приведена классификация видов звукового вещания. Оно может быть моно- или стереофоническим или организованным на более высоком уровне по системе звукового окружения. Соответственно звук передается по одному каналу, по двум (левый и правый), или по шести каналам (левый, центральный, правый, левый звукового окружения, правый звукового окружения, канал улучшения воспроизведения нижних частот). Вещание может быть также одно- или многоязычным. В последнем случае число каналов передачи увеличивается в число раз, равное числу языков.

На рис. 9.4 приведена классификация видов телевизионного вещания по ряду признаков (цвет, стереозффект, уровень звукового сопровождения, интерактивность). ТВ вещание может быть монохромным или цветным, моноскопическим или стереоскопическим, со звуко-

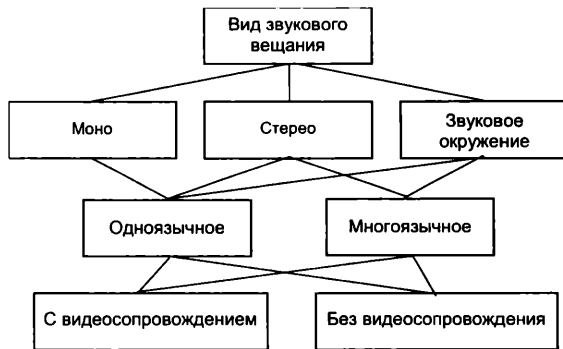


Рис. 9.3. Классификация видов звукового сопровождения

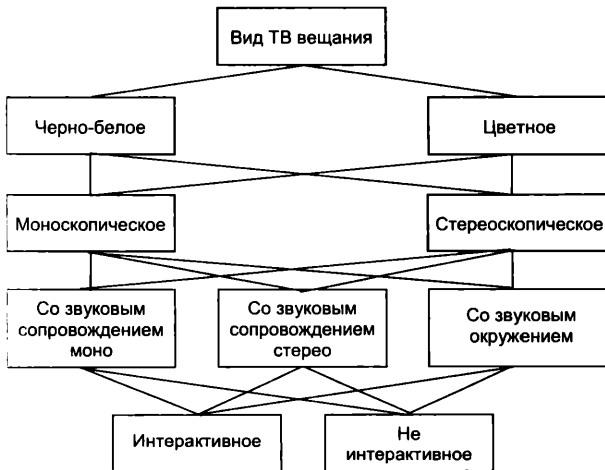


Рис. 9.4. Классификация видов ТВ вещания

системы SECAM, PAL и NTSC, используемые в традиционном аналоговом вещании. Все три системы совместимы с системой черно-белого телевидения и отличаются способом передачи информации о цветности изображения на цветовой поднесущей. Параметры и характеристики этих систем определены в Рекомендации ITU-R BT.470. В соответствии с этой Рекомендацией, композитные системы отвечают стандартам передачи ТВ сигналов В, D, D1, G, H, K, K1, I, M, N.



Рис. 9.5. Классификация систем и сред распределения вещательных программ

вым сопровождением типа моно, стерео или звукового окружения, интерактивным и неинтерактивным. Использование технологий разного уровня служит основой реализации соответствующего вида ТВ вещания.

На рис. 9.5 дана классификация систем и сред распределения вещательных ТВ программ. Среда распространения может быть наземной, спутниковой, кабельной. К средам распространения можно также отнести твердые диски и прочие средства хранения, которые могут массово распространяться. Особо можно выделить микроволновые системы распространения (LMDS, MMDS, MVDS). Строго говоря, их можно рассматривать как разновидность систем наземного вещания.

На рис. 9.6 приведена классификация ТВ систем по типу представления видеосигнала – цифровому или аналоговому – и классификация типов этих систем. На рис. 9.7 дана классификация композитных систем аналогового цветного телевидения, а на рис. 9.8 – систем телевидения повышенного качества.

Композитные системы – это

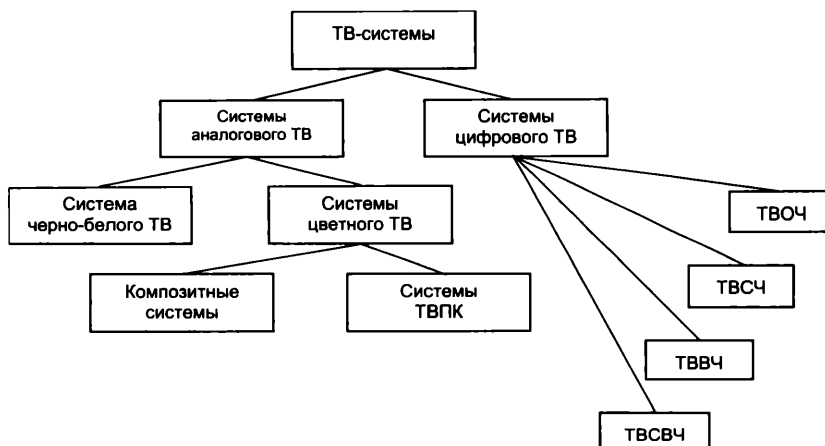


Рис. 9.6. Классификация ТВ систем по типу представления видеосигнала – цифрового или аналогового – и типов этих систем

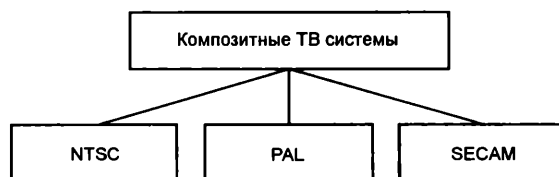


Рис. 9.7. Классификация композитных ТВ систем

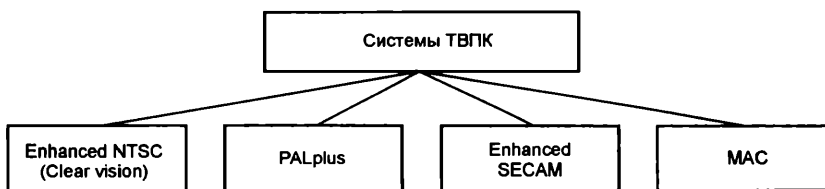


Рис. 9.8. Классификация систем ТВПК

К системам телевидения повышенного качества (ТВПК) относятся улучшенные варианты систем SECAM, PAL и NTSC – совместимые с ними системы Enhanced SECAM, PALplus и Enhanced NTSC (Clear vision), а также системы семейства MAC (A-MAC, B-MAC, C-MAC, D-MAC, D2-MAC).

Системы Enhanced SECAM, PALplus и Enhanced NTSC (Clear vision), рассчитанные на использование цифрового кодера на передающей стороне, преобразующего компонентные яркостный и цветоразностные сигналы в композитный сигнал, и соответствующего цифрового декодера в приемнике, причем кодирование и декодирование организуется так, что взаимные помехи между сигналами яркости и цветности подавляются до незаметного уровня. Системы рассчитаны на широкоэкранный воспроизведение изображения. В них предусмотрено

использование опорных сигналов для автоматической коррекции линейных искажений композитного сигнала и для автоматического поддержания диапазона уровней видеосигнала. В системе Enhanced NTSC используется алгоритм обработки сигнала яркости в кодере и декодере системы, позволяющий приблизительно в 1,5 раза повысить четкость изображения без расширения полосы частот композитного сигнала. Важными факторами повышения качества вещания являются применение в улучшенных системах цифрового звукового сопровождения, а также использование в системе Enhanced SECAM сокращенного числа строчных интервалов в интервале полевого гашения, используемых для передачи сигналов цветовой синхронизации, что позволяет обеспечить место в сигнале для передачи информации телетекста, сравнимое с обеспечиваемым в системе PAL.

Системы семейства MAC несовместимы с композитными системами. Они построены по принципу сжатия во времени яркостного и цветоразностных сигналов и передачи их в общем канале последовательно с сигналами цифрового звукового сопровождения, дополнительной информацией и сигналом цифровой синхронизации. Из этого семейства в Европе получила распространение система D2-MAC как общеевропейская, которая должна была прийти на смену системам PAL и SECAM. Но эта система получила ограниченное распространение, так как не может конкурировать с системой цифрового телевидения, активно внедряемой в данное время.

На смену аналоговым должны прийти системы цифрового телевидения, обладающие несомненными преимуществами, в том числе:

- возможностью цифрового кодирования аудиовизуальной информации со сжатием ее в десятки и сотни раз, что позволяет реализовать новый уровень качества ТВ вещания, не изменяя требуемого канального ресурса, традиционного для аналогового телевидения;
- гибкостью за счет изменения структуры и содержания передаваемой информации и управления параметрами, передаваемыми в цифровом потоке, что позволяет управлять основными характеристиками системы;
- низкой чувствительностью к помехам и искажениям в среде распространения за счет использования помехоустойчивого канального кодирования;
- возможностью организовать компьютеризированное программное производство с использованием совершенных алгоритмов цифровой обработки и хранения сигналов ТВ программ.

В результате становится доступной организация ТВ вещания в системах:

- ТВОЧ** – телевидения ограниченной четкости (Limited Definition Television, LDTV) – с приблизительно вдвое меньшей четкостью относительно стандартной);
- ТВСЧ** – телевидения стандартной четкости (Standard Definition Television, SDTV) – 720×576 или 720×480 активных элементов изображения соответственно для европейского и американского стандартов развертки в соответствии с Рекомендацией ITU-R BT.601 (часть А);
- ТВПЧ** – телевидения повышенной четкости (Enhanced Definition Television, EDTV) – 960×576 или 960×480 активных элементов изображения соответственно для европейского и американского стандартов развертки в соответствии с Рек. ITU-R BT.601 (часть В);
- ТВВЧ** – телевидения высокой четкости (High Definition Television, HDTV) – 1920×1080 активных элементов изображения в соответствии с Рекомендацией ITU-R BT.709);

ТВСВЧ – телевидение сверхвысокой четкости (Extra High Definition Imagery, EHRI), реализованное на уровнях:

HR0 – соответствующем уровню ТВВЧ (1920×1080 активных элементов изображения);

HR1 – 3840×2160 активных элементов изображения;

HR2 – 5760×3240 активных элементов изображения;

HR3 – 7680×4320 активных элементов изображения.

Цифровая реализация ТВ систем позволяет, организовав соответствующим образом цифровой поток, реализовать разные варианты систем соответственно классификации, представленной на рис. 9.4.

9.2. Вещательные тракты и оборудование

9.2.1. Общая структура вещательного тракта

Вещательный тракт охватывает все этапы преобразований сигнала от съемки сцены до воспроизведения приемным устройством, а именно:

- производства или постпроизводства программ от съемки сцены до кодированного представления аудиовизуальной (АВ) информации, включая кодирование источника, а также добавления информации других служб;
- построения цифрового программного или транспортного потока программы;
- мультиплексирования потоков отдельных программ в общий транспортный поток;
- помехоустойчивого кодирования канала и модуляции несущей (OFDM, QAM, QPSK);
- передачи в среде распространения;
- приема, декодирования канала, демultipлексирования, декодирования источника, перехода от цифрового к аналоговому представлению сигнала;
- воспроизведения вещательных программ и информации совмещенных с вещанием служб.

На рис. 9.9 представлены обобщенные структурные схемы съемки сцен и кодирования сигналов программ аналогового и цифрового ТВ.

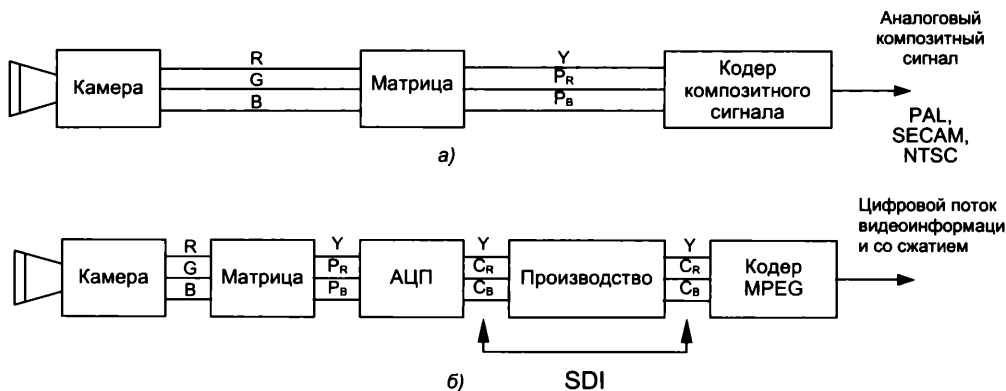


Рис. 9.9. Обобщенные структурные схемы съемки сцен и кодирования сигналов программ аналогового (а) и цифрового (б) ТВ

9.2.2. Скорости цифрового потока сигналов и сред передачи/хранения

Требования к скорости цифрового потока исходного сигнала, с одной стороны, и возможные скорости, свойственные разным средам передачи/хранения, с другой, являются основой компромисса между степенью сжатия АВ информации и результирующим качеством изображения и звука при воспроизведении. Некоторые данные приведены на рис. 9.10.

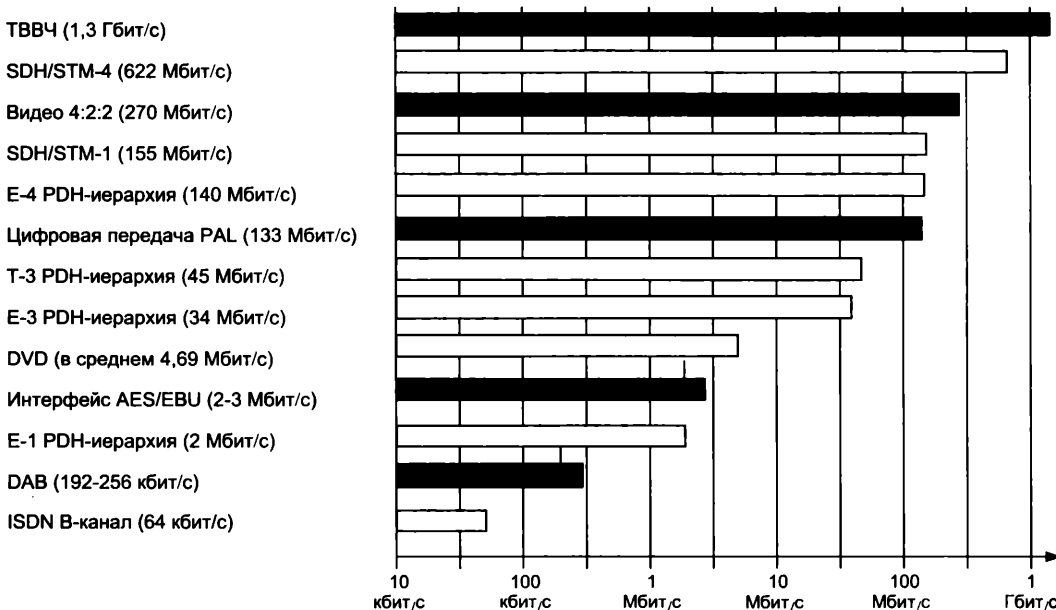


Рис. 9.10. Примеры скоростей цифрового потока, требуемых для вещательных сигналов и обеспечиваемых системами передачи

Темно-серым цветом выделены вещательные приложения. Из приведенных оценок видно, что сжатие АВ информации является необходимым условием успешного перехода к цифровым методам ее передачи/хранения.

9.2.3. Сжатие аудиовизуальной информации

В настоящее время известно множество методов цифрового сжатия видеoinформации. Наиболее распространены методы, основанные на использовании блочного кодирования с дискретным косинусным преобразованием (ДКП) в сочетании с энтропийным кодированием для внутрикадрового сжатия изображений.

Методы сжатия определены международными стандартами (МС), многие из которых приняты как международные рекомендации (МР).

Первым разработан метод кодирования неподвижных полутоновых изображений JPEG (специфицированный группой МС ISO/IEC 10918), в котором используется кодирование сигналов Y , C_R , C_B , прореживание цветностной информации в соответствии с форматом 4:2:0, представление видеoinформации блоками размером 8×8 , сканирование коэффициентов ДКП по закону «зигзаг», раздельное кодирование DC-коэффициента (постоянной состав-

ляющей) и АС-коэффициентов (переменной составляющей). Этот стандарт положен в основу основных стандартов кодирования подвижных изображений. Стандарт устанавливает степени сжатия, представленные в табл. 9.1. В настоящее время группа МС состоит из 5 частей:

- МС ISO/IEC 10918-1: / МР ITU-T T.81: 1992 – требования и руководство;
- МС ISO/IEC 10918-2: / МР ITU-T T.83: 1995 – испытания на соответствие;
- МС ISO/IEC 10918-3: / МР ITU-T T.84: 1997 – расширение;
- МС ISO/IEC 10918-4: 1999 – регистрация профилей JPEG, профилей SPIFF, меток SPIFF, цветовых пространств SPIFF, маркеров APPn, типов сжатия SPIFF, органов регистрации (REGAULT);
- МС ISO/IEC 10918-5: 2001 – подмножество MHEG для воплощения на базовом уровне.

Метод JPEG используется в ТВ производстве для пок кадрового сжатия в производстве и постпроизводстве.

Таблица 9.1. Степень сжатия по алгоритму JPEG и качество изображения

Степень сжатия	Качество изображения *)
≥ 0,25 бит/ЭИ	Изображение различимо
≥ 1 бит/ЭИ	Отличное качество
≥ 4 бит/ЭИ	Изображение неотлично от оригинала
*) Исходная точность квантования 8 бит/ЭИ (ЭИ – элемент изображения)	

Первый метод кодирования подвижных изображений, специфицированный в Рек. ITU-T H.261, был рассчитан на передачу видеoinформации в системах видеотелефонии и видеоконференций. Он явился вместе со стандартом JPEG прототипом метода MPEG-1 кодирования подвижных изображений со звуковым сопровождением. Более мощный метод, предназначенный для нетелевизионного применения, специфицирован в Рек. ITU-T H.263 и рассчитан на широкое применение для низкоскоростного кодирования, в том числе на мультимедийные приложения. Его усовершенствованная версия – метод ITU-T H.263+. В табл. 9.2 представлены некоторые форматы изображения, поддерживаемые рекомендациями H.261 и H.263.

Таблица 9.2. Некоторые форматы изображения, поддерживаемые ITU-T H.261 и H.263

Формат	Число отсчетов сигнала яркости	Число отсчетов сигнала цветности	ITU-T H.261	ITU-T H.261
SQCIF	129×96	64×48	По заказу	Поддерживается
QCIF	178×144	88×72	Поддерживается	Поддерживается
CIF	352×288	176×144	По заказу	По заказу
4CIF	704×576	352×288	Не поддерживается	По заказу
16CIF	1408×1152	704×576	Не поддерживается	По заказу

Метод кодирования аудиовизуальной информации MPEG-1 специфицирован группой МС ISO/IEC 11172, в которую входят стандарты: МС 11172-1: 1993 – системы; МС 11172-2: 1993 – видео; МС 11172-3: 1993 – аудио; МС 11172-4: 1995 – проверка на соответствие; МС 11172-5: 1998 – моделирование программного обеспечения.

Стандарт MPEG-1 видео определяет следующие синтаксические ограничения на параметры кодирования изображений:

Разрешающая способность	$1 \dots 2^{12}-1$ (4095) ЭИ \times $1 \dots 2^{12}-1$ (4095) активных строк (обычно кратно 16);
Скорость цифрового потока кодированных данных	$400 \dots (2^{18}-1) \times 400$ бит/с (приблизительно 104,9 Мбит/с);
Частота изображений	≤ 60 кадр/с;
Форматы изображения	525 и 625 строк, 4:3, 16:9, квадратные ЭИ;
Поддерживаемый формат цветности	4:2:0, источник с неперемежающейся разверткой;
Используемые методы	Компенсация движения на основе блочного представления; ДКП, VLC

Стандарт MPEG-1 аудио определяет следующие синтаксические ограничения на параметры кодирования звука:

Разбиение на слои	Слои I, II и III с возрастающей сложностью кодера
Частоты дискретизации	32, 44,1 и 48 кГц;
Поддерживаемые режимы кодирования	Одноканальный, двухканальный, стерео и объединенное стерео
Скорости цифрового потока	От 32 кбит/с до 448/384/320 кбит/с соответственно для слоев I, II и III с ограничениями, зависящими от режима кодирования
Особенности	Возможна передача дополнительных данных
Используемые методы	32 частотные полосы с адаптивным назначением битов, определенным психоакустической моделью. В слое III гибридный банк фильтров, неравномерный квантователь, адаптивная сегментация и энтропийное кодирование
Кадр	384 отсчета в слое I, 1152 отсчета в слоях II и III (на канал)

Основное назначение метода MPEG-1 – использование его в таких цифровых средах хранения, как CD-ROM. Стандарт рассчитан на нормальную работу со скоростями данных от 1,0 до 1,5 Мбит/с и формат SIF (352×288 отсчетов при 25 кадр/с (PAL/SECAM) и 352×288 отсчетов при 30 кадр/с (NTSC)). Его стандартные ограничения:

Разрешающая способность, отсчетов	– 768×576
Скорость цифрового потока, бит/с	– 1856000
Частота изображений, Гц	– 30
Частота отсчетов, ЭИ/с	– 2534400.

Упрощенная базовая модель видеокодера, используемая в алгоритмах сжатия MPEG-1 и MPEG-2, представлена на рис. 9.11. Используется внутрикадровое кодирование по принципам метода JPEG в сочетании с межкадровой декорреляцией на основании дифференциального кодирования блоков изображения с компенсацией движения. В алгоритме предсказания используются I-кадры (с внутрикадровым кодированием), P-кадры (полученные методом задержки) и B-кадры (полученные двухсторонним предсказанием) (рис. 9.12).

Метод кодирования аудиовизуальной информации MPEG-2 специфицирован группой стандартов ISO/IEC 13818, включающей стандарты / рекомендации:

МС 13818-1 / МР ITU-T H.222.0	– системы;
МС 13818-2 / МР ITU-T H.262	– видео;
МС 13818-3	– аудио;
МС 13818-4	– проверка на соответствие;

- MC 13818-5 – моделирование программного обеспечения;
- MC 13818-6 – DSM-CC (команды и управление цифровой среды хранения);
- MC 13818-7 – AAC (усовершенствованное видеокодирование);
- MC 13818-9 – интерфейс реального времени для декодеров;
- MC 13818-10 – проверка на соответствие для DSM-CC.

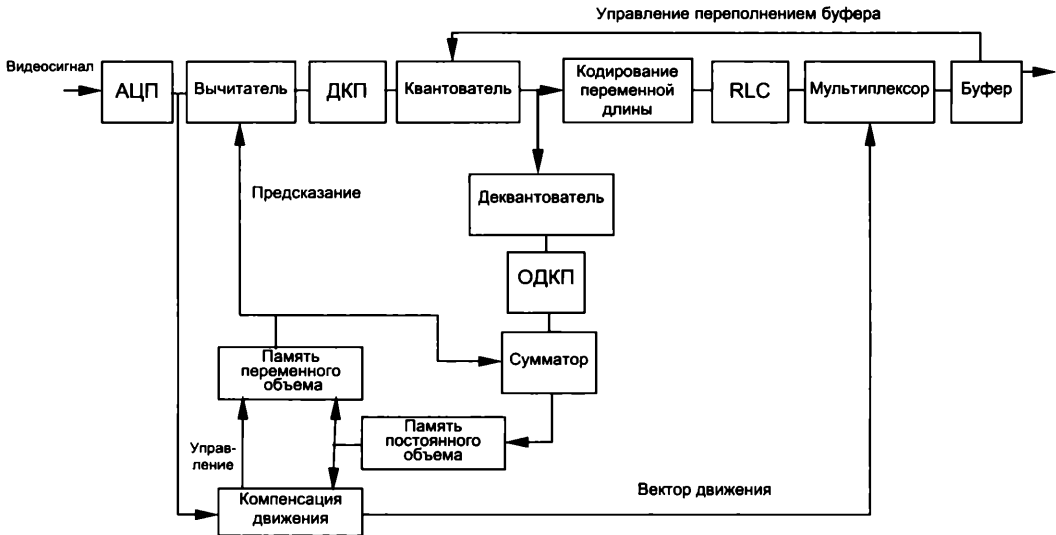


Рис. 9.11. Базовая модель кодирования изображений методами MPEG

Этот метод можно рассматривать как надстройку над MPEG-1. К наиболее существенным отличиям следует отнести возможность кодирования, согласованного с чересстрочной разверткой.

К особенностям метода MPEG-2 относятся масштабируемый синтаксис, предполагающий разделение передаваемой видеoinформации на слои, определяемые набором из шести профилей, связанных с набором используемых I-, P-, B-изображений, и четырех уровней, связанных с заданной разрешающей способностью; структуры дискретизации изображения 4:2:0 и 4:2:2; множество значений разрешающей способности (теоретически до 16000 ЭИ×16000 строк), включая обычно используемые частоты полей/кадров для вещательных приложений; а также масштабируемость кодирования, что дает возможность декодеру стандартной (ТВСЧ) или ограниченной четкости (ТВОЧ) извлекать информацию из цифрового потока более высокого уровня.

В табл. 9.3 дано краткое определение пяти профилей и перечень значений разрешающей способности, выраженной числом элементов изображения в кадре, которые характеризуют четыре уровня. В таблице также представлены максимальные скорости цифрового потока для допустимых комбинаций профилей/уровней.

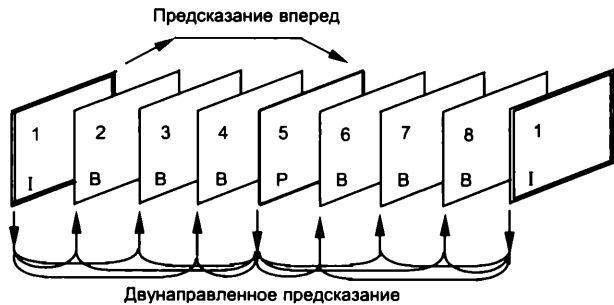


Рис. 9.12. Изображения I, B, P

Таблица 9.3. Уровни и профили в системе MPEG-2

Уровни	Размер буфера, бит	Профили, Мбит/с					
		Простой (simple) I, P – кадры 4:2:0	Основной (main) I, P, B – кадры 4:2:0	Масштабируемый по отношению С/Ш (SNR) I, P, B – кадры 4:2:0	Пространственно масштабируемый (spatial) I, P, B – кадры 4:2:0	Высокий (high) I, P, B – кадры 4:2:0 или 4:2:2	Профессиональный 4:2:2 (professional 4:2:2) I, P, B – кадры 4:2:0 или 4:2:2
Высокий 1920 × 1152	9781248	×	80	×	×	100	300
Высокий -1440 1440 × 1152	7340032	×	60	×	60	80	×
Основной 720 × 576	1835008	15	15	15	×	20	50
Низкий 352 × 288	475136	×	4	4	×	×	×

× – запрещенная комбинация; С/Ш – отношение сигнал/шум

Система MPEG-2 является также надстройкой и расширением системы MPEG-1 в части аудиокодирования. Что касается представления стереоскопического звука, Рек. ITU-R BS.775-1 определяет центральный канал С и два канала звукового окружения L_s , R_s в дополнение к основным левому и правому стереоканалам L, R для опорного формата системы.

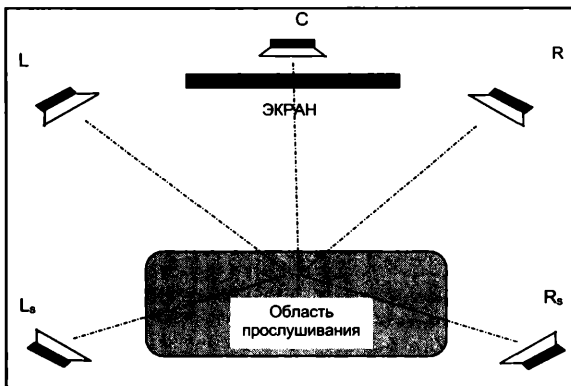


Рис. 9.13. Размещение динамических громкоговорителей в опорной системе стерео 3/2

Это определяется как система «стерео 3/2» (3 передних канала / 2 канала окружения), представленная на рис. 9.13, которая должна иметь пять каналов в студии, в средах накопления, передачи в студию, распределения, излучения, в канале связи и в домашней аппаратуре.

Для аудиоприложений с видеосопровождением или для звукового сопровождения видеoinформации три передних канала обеспечивают стабильность по направленности относительно расположения изображения для изображений переднего плана, как это делается в обычной практике в кино.

Формат 3/2 является оптимальным компромиссом для звуковых приложений и для улучшения двухканальной стереофонии. Прибавление пары передних каналов позволяет добиться улучшения ощущения реальности звукового окружения.

Согласно Рек. ITU-R BS.775-1, формат стереозвука 3/2 должен обеспечивать один необязательный канал улучшения в низкочастотной области в дополнение к полному набору основных каналов, способный передавать сигналы в частотном диапазоне 20-120 Гц. Цель введения этого канала – создать возможность для слушателей по выбору увеличивать низкочастотную составляющую звука одновременно по частоте и по уровню. Это то же, что канал для передачи басов, используемый в формате цифрового звукового сопровождения фильмов, и в этом смысле обеспечивается оптимальная совместимость с записью звука.

Иерархия форматов звука, которая обеспечивает меньшее число каналов и характеристики с уменьшенными стереофоническими возможностями (вплоть до 2/0 стерео или даже моно) и соответствующий набор уравнений смешивания для преобразования вниз для обеспечения совместимости вниз, определена в Рек. ITU-R BS.775-1. Иерархия и рекомендованные коэффициенты представлены на рис. 9.14. Полезные альтернативные форматы звука более низкого уровня – это 3/1, 3/0, 2/2, 2/0, 1/0. Они могут использоваться, когда экономические ограничения или ограничения емкости канала передачи оказываются основными для требований к тракту или когда желательно меньшее число каналов воспроизведения.

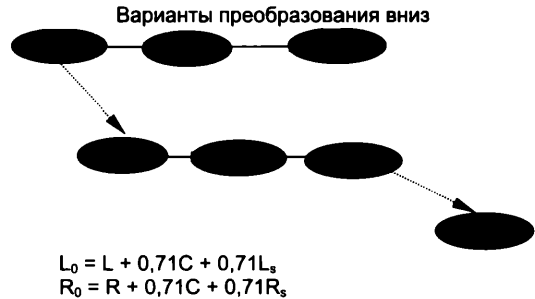


Рис. 9.14. Преобразования вниз от 3/2 до 1/0 для многоканальных аудиосистем будущего

В дополнение к основной многоканальной могут потребоваться сопутствующие службы. В некоторых случаях полезны многоязычные службы. Это может быть реализовано разными путями. Система, определенная стандартами MPEG-1, MPEG-2, передает цифровой сигнал звука, дискретизированный с тактовой частотой 48 кГц. Могут также поддерживаться частоты дискретизации 44,1 и 32 кГц. В системе MPEG-2 могут поддерживаться половинные тактовые частоты. Базовая структура перцептуальной модели кодирования звука может быть охарактеризована таким образом:

- используется разделение по времени/частоте (с помощью банка фильтров) для разложения входного сигнала на субдискретизированные спектральные компоненты;
- выходной сигнал банка фильтров, полученный в результате равномерного преобразования с использованием правил психоакустики, используется для определения зависящего от времени реального порога маскирования;
- субполосные отсчеты квантуются и кодируются с целью поддержания уровня шума квантования ниже порога, обусловленного маскированием. При определении алгоритма этот шаг выполняется разными путями. Сложность изменяется от компандирования по блокам до систем анализа с использованием синтеза при использовании дополнительного бесшумного сжатия;
- для построения цифрового потока используются кадры; кадр состоит из квантованных и закодированных отсчетов, расположенных в определенном порядке, и дополнительной информации о расположении отдельных битов.

Следует учесть, что не существует простого подхода к моделированию системы восприятия звука. В системах MPEG-1, MPEG-2 «Аудио» объединены два традиционных метода кодирования, а именно, субполосное и на основе спектрального преобразования. В каждом из этих слоев совместно используется блок фильтров на 32 субполосы, обеспечивающий необходимую частотную разрешающую способность для расчетов спектральных порогов маски-

рования. В слоях I и II банк фильтров создает 32-субполосное представление входного аудиосигнала, сигналы каждой субполосы квантуются и кодируются под управлением психоакустической модели, с помощью которой получают блоковое адаптивное распределение битов. Структурные схемы кодера и декодера для обоих слоев представлены на рис. 9.15.

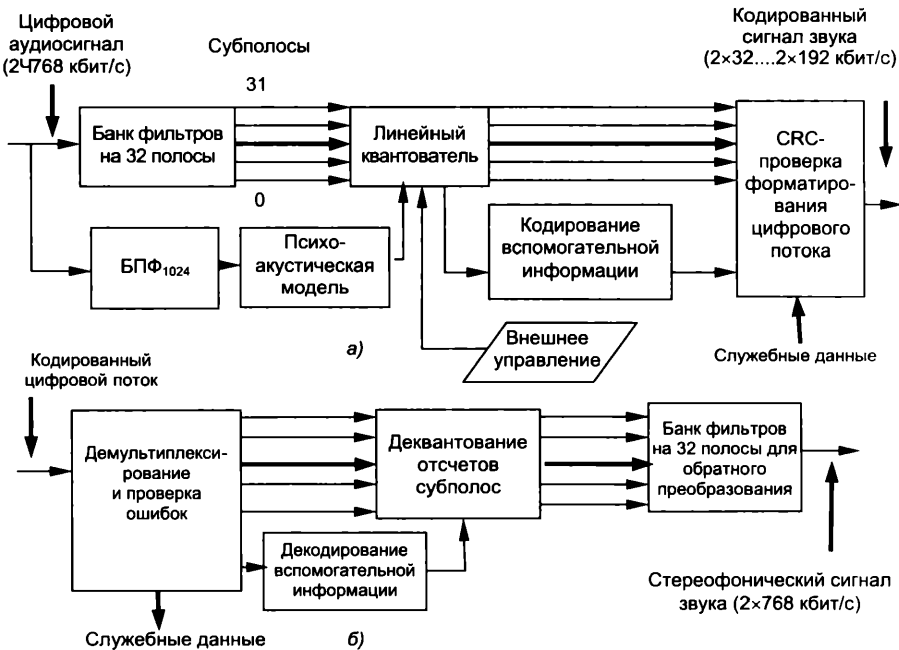


Рис. 9.15. Структурные схемы аудиокодера (а) и аудиодекодера (б) слоев I и II (БПФ₁₀₂₄ – быстрое преобразование Фурье 1024 чисел)

Слой I является упрощенной версией схемы кодирования MPEG, наиболее приспособленной для компьютерных приложений, таких как домашние системы записи на ленту, диски типа винчестер или магнитооптические диски, т.е. для приложений, для которых обязательны очень низкие скорости передачи цифрового потока. В слое II вводится дальнейшее сжатие относительно слоя I с устранением избыточности и несущественной информации и используется более точное квантование. Слой II имеет множественные применения в отношении пользовательских и профессиональных систем передачи звука, таких как звуковое вещание, телевидение, запись, связь и мультимедиа.

На рис. 9.16 приведены примеры построения программного и транспортного цифровых потоков. Пакеты элементарного потока (PES), включая заголовки PES, передаются как полезная нагрузка в транспортных пакетах фиксированной длины. На рис. 9.17 представлена структура программного (MPEG-1, MPEG-2) и транспортного (MPEG-2) потоков.

Каждому транспортному пакету предшествует заголовок, который включает информацию для идентификации отдельных потоков в транспортном мультиплексе. Пакеты элементарного цифрового потока могут размещаться в переменном числе транспортных пакетов, а данные разных элементарных цифровых потоков обычно перемежаются с любыми данными в транспортном потоке. Идентификация каждого элементарного цифрового пакета осуществляется с использованием данных в заголовке транспортного потока.

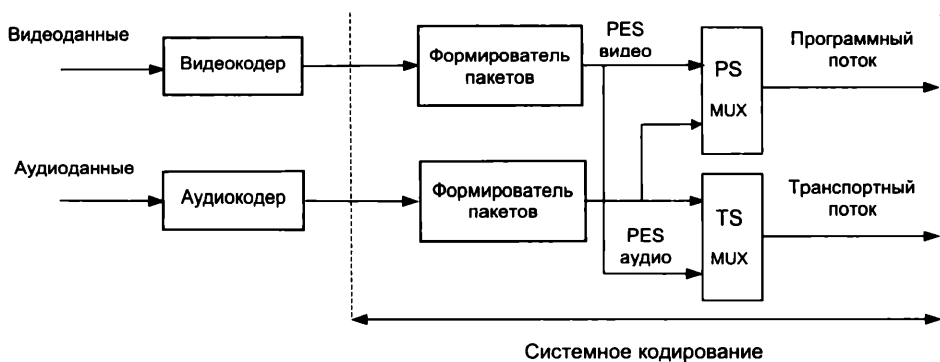


Рис. 9.16. Подход к мультиплексированию на системном уровне

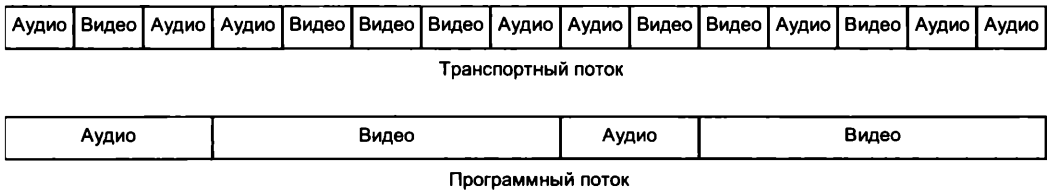


Рис. 9.17. Пакетное представление

Транспортный поток рассчитан на передачу в средах, в которых имеют место ошибки и потери данных. Программный поток используется в средах без ошибок, таких как CD-ROM.

Следующим шагом в развитии методов кодирования аудиовизуальной информации является метод MPEG-4, ориентированный на представление аудиовизуальной сцены в виде совокупности видео, аудио или аудиовизуальных объектов, что позволяет реализовать интерактивный принцип взаимодействия получателя аудиовизуальной информации с этой информацией, дает возможность конструировать произвольные сцены из аудиовизуальных объектов, повысить эффективность кодирования и сделать его более гибким, находить любую аудиовизуальную информацию по ее фрагментам. Разработка метода MPEG-4 является воплощением интеграции телекоммуникационных, вещательных и компьютерных приложений.

Метод описывается группой стандартов ISO/IEC 14496:

MC 14496-1: 1999 – системы,

MC 14496-2: 1999 – видео,

MC 14496-3: 1999 – аудио,

MC 14496-4: 2000 – проверка на соответствие,

MC 14496-5: 2000 – эталонное программное обеспечение,

MC 14496-6: 2000 – интегрированная структура доставки мультимедийной информации (Delivery Multimedia Integration Framework, DMIF).

Описание аудиовизуальных объектов с использованием дескрипторов специфицировано группой стандартов MPEG-7 (ISO/IEC 15938):

MC 15938-1 – системы;

MC 15938-2 – язык определения описаний;

MC 15938-3 – видео;

- МС 15938-4 – аудио;
- МС 15938-5 – структура описания мультимедийной информации;
- МС 15938-6 – эталонное программное обеспечение;
- МС 15938-7 – проверка на соответствие;
- МС 15938-8 – получение и использование дескрипторов MPEG-7.

Эта группа стандартов, известная также как «Интерфейс описания мультимедийного содержания», обеспечивает стандартизированный набор технологий для описания содержания мультимедийной информации. Стандарты соответствуют широкому спектру мультимедийных приложений, удовлетворяя их требования с помощью системы метаданных, описывающих свойства содержания мультимедийной информации.

В будущем одним из основных стандартов будет MPEG-21 (ISO/IEC 21000). Он будет определять взаимодействие элементов инфраструктуры доставки и распределения мультимедийного содержания как существующих элементов, так и разрабатываемых. Другими словами, стандарт будет определять структуру прозрачного и широкого использования мультимедийных ресурсов в широком диапазоне систем и приложений.

9.3. Распределительные системы

9.3.1. Общие положения

В настоящее время происходит постепенный переход от аналогового вещания к цифровому. В этом разделе основное внимание уделено цифровым системам распределения вещательных программ.

В мире действуют три типа систем цифрового ТВ вещания – DVB (Digital Video Broadcasting) в Европе, ATSC (Advanced Television Systems Committee) в Северной Америке и ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) в Японии. Все они предполагают общую передачу сигналов всех видов вещания и телекоммуникационных служб. В табл. 9.4 дано сопоставление этих систем, из которого, в частности, видно, что европейская система DVB наиболее полно стандартизована, и поэтому составляющие этой системы нашли применение во всем мире.

Таблица 9.4. Сравнение систем цифрового ТВ

Служба	ATSC	ISDB	DVB
Наземное ТВ	Есть	DVB-T	Есть
Спутниковое ТВ	Нет	DVB-DSNG	Есть
Кабельное ТВ	Есть	DVB-C	Есть
MMDS (< 10 ГГц)	Нет	Нет	Есть
MVDS (> 10 ГГц)	Нет	Нет	Есть
SMATV	Нет	Нет	Есть
Сервисная информация	Есть	DVB-SI	Есть
Интерактивное ТВ	Нет	Нет	Есть
Условный доступ	Есть	Нет	Есть
Профессиональный интерфейс	DVB-SSI	Нет	Есть

Можно предполагать, что за время естественного цикла обновления приемников потребители начнут отдавать предпочтение интегрированным цифровым приемникам, а это, в свою очередь, станет решающим фактором для внедрения цифрового вещания. Новые возможности и преимущества цифрового вещания обеспечивают:

- решение проблемы устранения помех многолучевости, в результате чего улучшается качество приема на стационарные и переносные приемники;
- снижение рабочих мощностей передатчиков по сравнению с аналоговым вещанием;
- возможность значительного увеличения числа транслируемых программ;
- гибкость планирования вещательных сетей и обеспечения необходимой зоны вещания;
- повышение эффективности использования радиочастотного ресурса за счет сжатия аудиовизуальной информации и передачи мультиплексированных цифровых потоков видео, аудио и дополнительных данных;
- возможность объединения сетей цифрового вещания с компьютерными сетями типа Интернет;
- возможность быстрого создания разветвленных сетей маломощных цифровых станций с большим процентом охвата населения;
- возможность организации одночастотных и многочастотных сетей;
- снижение стоимости услуг;
- возможность организации интерактивных видов обслуживания путем организации обратных каналов;
- возможность внедрения цифрового вещания путем использования существующей инфраструктуры аналоговых ТВ сетей и существующих антенных систем зрителей;
- предоставление пользователям в зоне охвата цифровой сети набора дополнительных возможностей, обусловленных потребностями рынка и информационными возможностями операторов.

Система цифрового вещания в целом всегда является комбинированной, так как включает компоненты, использующие разные среды для распределения вещательных программ. Европейская система DVB является универсальной, так как позволяет реализовать в единой среде ТВ, звуковое, мультимедийное и гипермедийное вещание. Из систем стандартов цифрового телевидения только система DVB разработана для разных сред распространения сигнала и состоит из отдельных стандартов на системы передачи цифрового потока в разных средах, а также на организацию передаваемой информации.

Техническим решениям, относящимся к различным средам, присущи следующие общие черты:

- системы определяются как контейнеры для переноса разных комбинаций цифровых потоков MPEG-2 видео, аудио и/или других данных;
- системы используют общий синтаксис мультиплексирования транспортных потоков MPEG-2;
- системы используют общую систему служебной информации, характеризующую передаваемые вещательные программы и другие компоненты транспортного потока;
- системы используют общую систему помехоустойчивого кодирования;
- системы используют общую систему скремблирования;
- системы модуляции и кодирования каналов и любые необходимые дополнительные средства защиты от ошибок выбирают, исходя из требований разных сред передачи.

Различные аспекты и подробности построения систем вещания освещаются в [1–9]. В табл. 9.5 приведены типичные параметры систем DVB для реальных приложений.

Таблица 9.5. Параметры систем DVB

Система	Модуляция	Диапазон частот, ГГц	Полоса частот сигнала, МГц	Скорость цифрового потока, Мбит/с
DVB-S	QPSK	11/12	26,0...54,0	18,7...68,0
DVB-SMATV	QAM-16	0,23...0,47 0,95...2,05	5,9...7,9	18,9...25,2
	QAM-32	0,23...0,47 0,95...2,05	4,7...8,0	18,9...31,9
	QAM-64	0,23...0,47 0,95...2,05	3,9...8,0	18,9...38,1
DVB-C	QAM-16	0,03...2,15	2,0...7,9	7,0...27,3
	QAM-32	0,03...2,15	2,0...8,0	8,7...34,6
	QAM-64	0,03...2,15	2,0...7,9	10,4...41,3
DVB-T	OFDM (QPSK)	0,3...3,0	7,6	5,0...10,6
	OFDM (QAM-16)	0,3...3,0	7,6	10,0...21,1
	OFDM (QAM-64)	0,3...3,0	7,6	14,4...31,7
DVB-MVDS	QPSK	40,5...42,5	26,0...54,0	18,7...68,0
DVB-MMDS	QAM-16	<10,0	2,0...7,9	7,0...27,3
	QAM-32	<10,0	2,0...8,0	8,7...34,6
	QAM-64	<10,0	2,0...7,9	10,4...41,3

9.3.2. Международная стандартизация систем вещания

Системы вещания строятся на основе мировых и европейских стандартов, разработкой и сопровождением которых занимаются: МСЭ, в его составе Сектор радиосвязи (МСЭ-Р, ITU-R) и Сектор электросвязи (МСЭ-Т, ITU-T); Международная организация по стандартизации (МОС, ISO); Международная электротехническая комиссия (МЭК, IEC); Европейский союз вещания (ЕСВ, EBU); Европейский комитет по стандартизации в электротехнике (CENELEC); Европейский институт стандартов связи (ETSI).

В МСЭ-Р стандартизацией в области вещания занимается ИК 6 «Службы вещания» (создана в 2000 г. в результате объединения ИК 10 «Служба звукового вещания» и ИК 11 «Служба телевидения»). ИК 6 выпускает рекомендации, имеющие статус мировых стандартов, в том числе четыре серии рекомендаций в области вещания: ВТ – вещательное телевидение, BS – звуковое вещание, ВО – спутниковое вещание, BR – запись вещательных программ.

В МСЭ-Т непосредственное отношение к вещанию имеет ИК 9 «Интегрированные широкополосные кабельные сети». Эта ИК выпускает международные рекомендации, имеющие статус мировых стандартов, серии J – передача программ телевизионного и звукового вещания и мультимедийных сигналов, серии N – поддержание сетей передачи программ звукового и телевизионного вещания, серии Р.900 – качество изображений и звука в мультимедийных и аудиовизуальных системах.

В МОС объектами стандартизации являются различные компоненты телекоммуникационных сетей и систем, имеющих широкое применение в различных областях.

В МЭК объектами стандартизации, в частности, являются технические средства вещания, в том числе передающие и приемные устройства, сети кабельного телевидения и др. Непосредственное отношение к вещанию имеют технические комитеты: ТК 100 «Аудио, видео и

мультимедийные системы и оборудование» и ТК 108 – комитет, занимающийся стандартизацией аспектов безопасности этих систем и оборудования.

Объединенный комитет МОС/МЭК JTC1 «Информационные технологии» занимается стандартизацией всех сторон информационных технологий применительно к аудио, видео, мультимедийным и гипермедийным системам.

В Европе стандартизацией систем вещания занимаются ECB, ETSI и CENELEC.

9.3.3. Наземные (эфирные) распределительные системы

Наземное вещание организуется на основе радиосетей распределения вещательной информации от передающей станции на приемники потребителей. В настоящее время наземное вещание в основном аналоговое. Частотный ресурс сети аналогового вещания ограничен. Увеличение числа доставляемых на радиопередающие станции программ высокого качества не решает проблемы их дальнейшего распределения по наземной аналоговой сети в силу ограниченной возможности увеличения числа частотных каналов, предназначенных для вещания, с учетом требований по электромагнитной совместимости. Вторичное распределение по обычной наземной сети диапазона ОВЧ/УВЧ осуществляется с ограниченным качеством доставляемых программ. В связи с этим весьма актуален переход на цифровые методы вещания, поскольку при этом в одном ТВ канале можно передавать несколько программ в цифровом формате при одновременном повышении качества вещания.

Общий обзор принципов построения сетей и систем, а также состояния развития вещания, в том числе, наземного, приведен в [1, 2]. Широкий спектр вопросов построения сетей аналогового вещания представлен в [7]. Принципы построения и работы системы DVB-T рассматриваются в [1, 2, 5, 6]. Частотные аспекты перехода от аналогового к цифровому наземному вещанию отражены в работе [10].

Для введения цифрового наземного вещания в Европе разработаны основополагающие международные документы, созданные под эгидой МСЭ, в том числе договоренности, согласованные в Стокгольме в 1961 г., Честерский договор 1997 г. и Висбаденский договор 1995 г., заключенные на организованных СЕРТ конференциях. В настоящее время МСЭ-Р создал новую Целевую группу 6/8, задача которой – разработать согласованные на международном уровне предложения по пересмотру Стокгольмского соглашения.

Висбаденским договором каждой стране выделен для звукового вещания (ЗВ) частотный ресурс в III диапазоне и/или на частотах 1464...1495 МГц. Также принято соглашение относительно использования диапазонов частот 47...68, 87,5...108, 174...230, 230...240 и 1452...1492 МГц для внедрения наземного цифрового ЗВ, которым предусматривается размещение каналов ЗВ в частотных диапазонах 47...68, 174...240 и 1452...1467 МГц. В настоящее время наземное цифровое ЗВ (система T-DAV) реализовано в диапазонах 220...240 МГц и 1,5 ГГц во многих странах мира. Приоритетными для развития цифрового ЗВ приняты полосы частот 216...240 и 1452...1492 МГц.

Соглашением Честер-97 для внедрения цифрового ТВ определены частотные диапазоны 174...230 МГц (диапазон III), 470...582 МГц (диапазон IV), 582...862 МГц (диапазон V). Частотный диапазон 216...230 МГц считается основным для цифрового ЗВ в диапазоне ОВЧ. Большинство стран используют для введения цифрового ТВ диапазоны IV/V. ТВ вещание в диапазоне I должно быть в будущем прекращено. Для начала внедрения наземного цифрового ТВ приоритетной определена полоса частот 790...862 МГц, практически не используемая в Европе для аналогового телевидения.

На переходный период от аналогового к цифровому телевидению для цифрового ТВ рекомендуется использовать частотный диапазон 470...862 МГц. По мере возможности аналого-

вые передатчики должны планомерно выводиться из эксплуатации в диапазонах 47...66, 77...100, 174...216 и 470...510 МГц. Ориентировочно до 2020 г. диапазон 174...216 МГц сохраняется для аналогового ТВ, диапазон 470...862 МГц остается телевизионным, но закрывается для новых аналоговых станций. Частотные диапазоны 47...66, 77...100, 174...216 и 470...510 МГц будут распределены другим службам.

Принципы построения, основные характеристики и параметры систем наземного вещания стандартизованы Рекомендациями МСЭ-Р: BS.412-9, BS.707-4, BS.774-2, BS.349 – в области ЗВ и звукового сопровождения ТВ вещания; BT.417, BT.655-6, BT.798-1, BT.1123, BT.1125, BT.1206, BT.1207-1, BT.1208-1, BT.1299, BT.1300-1, BT.1301, BT.1306-1 – в области ТВ вещания.

Система DVB-T цифрового наземного ТВ вещания, специфицированная в европейском стандарте EN 300 744 как основная для Европы, принята в 1997 г. На рис. 9.18 представлена ее базовая модель, основанная на использовании модуляции COFDM, построенной в виде комбинации OFDM с кодированной QPSK/QAM. Главное преимущество OFDM в возможности эффективной борьбы с многолучевостью, свойственной эфирному вещанию в городах с многоэтажной застройкой и в горных местностях. Система рассчитана на высокий уровень защиты от помех и высокую эффективность использования частотного ресурса.

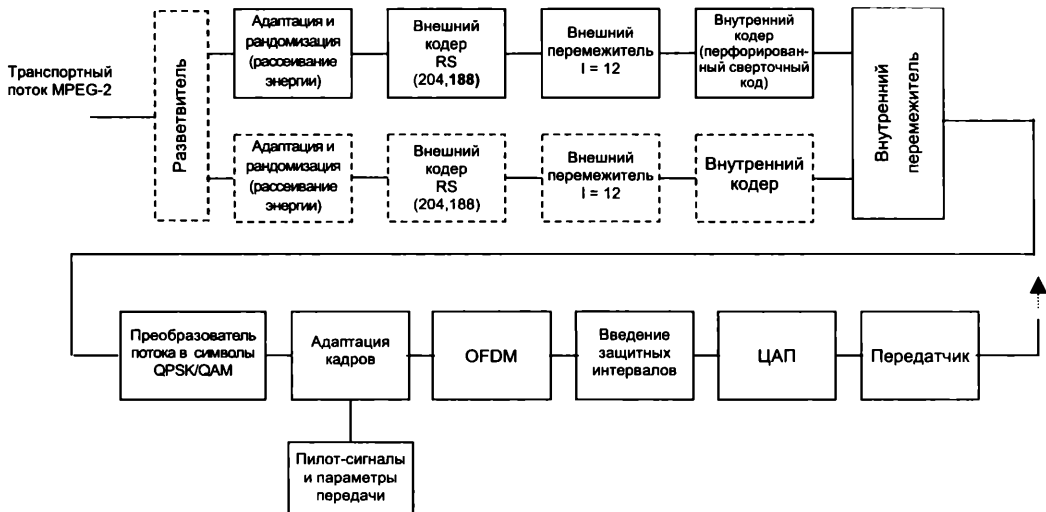


Рис. 9.18. Структурная схема системы передачи DVB-T

На вход системы передачи поступает транспортный поток системы MPEG-2. В случае использования иерархического кодирования поток расщепляется на два для обеспечения работы приемников двух уровней сложности. В этом случае подключаются блоки, изображенные пунктиром.

Последовательно выполняются рандомизация, двухкаскадное помехоустойчивое кодирование с перемежением, после чего поток преобразуется в поток символов QAM/QPSK, который реорганизуется в кадровую структуру с добавлением пилот-сигналов и параметров передачи для восстановления в приемнике. Далее осуществляется модуляция типа OFDM, вводятся защитные интервалы, коды синфазной и квадратурной составляющих преобразуются в сигналы синфазной и квадратурной составляющих, ими модулируют синусную и косинусную несущие, после сложения которых образуется радиосигнал цифрового вещания, поступающий в антенну.

Определены две модификации OFDM: $2k$ и $8k$. Первая может использоваться для работы одиночного передатчика и для малых синхронных сетей с ограниченными расстояниями между передатчиками. Модификация $8k$ может использоваться как для одиночного передатчика, так и для малых и больших синхронных сетей. В модификации $2k$ используются 1705, а в $8k$ – 6817 несущих. При этом мультиплексированный суммарный поток сигналов видео, аудио и данных делится на 1705 или 6817 параллельных потоков, в каждом из которых длительность символа увеличивается в 1705 либо в 6817 раз. Это позволяет часть длительности символа выделить на защитный интервал от эхо-сигналов. В обеих модификациях защитный интервал может составлять от 3 до 25% длительности рабочего интервала. Выбор длины защитного интервала определяется не только рельефом местности и характером застройки на обслуживаемой телецентром территории, но и удалением соседних передатчиков. Чем длиннее рабочий интервал, тем больше защитный интервал и система в целом эффективнее защищена от эхо-сигналов. Двум модификациям $8k$ и $2k$ соответствуют разные величины частотных разносов несущих в радиочастотном спектре COFDM. В полосе, отведенной для аналогового телевизионного радиоканала 8 МГц, защитный интервал по полосе частот между соседними каналами системы цифрового телевидения составляет 0,39 МГц.

Благодаря наличию защиты от многолучевости OFDM возможно функционирование территориально перекрывающихся сетей, работающих в общей полосе частот. В областях перекрытия более слабый из двух принятых сигналов действует как эхо-сигнал. Тем не менее, если два передатчика располагаются на большом расстоянии один от другого, временная задержка между двумя сигналами будет большой и система будет требовать большего защитного интервала.

Система допускает использование разного числа уровней модуляции QAM и разных скоростей внутреннего кода для регулирования скорости цифрового потока в зависимости от требуемой помехоустойчивости. Система также допускает двухуровневое иерархическое кодирование канала и модуляцию, тем самым обеспечивая совместную передачу потоков видеoinформации с одинаковой или различной разрешающей способностью. В табл. 9.6 приведены основные параметры системы с модуляцией COFDM [8].

Таблица 9.6. Основные параметры системы с модуляцией COFDM

Параметр	Модификация	
	$8k$	$2k$
Длительность рабочего интервала, мкс	896	224
Число несущих в спектре группового сигнала	6817	1705
Частотный разнос несущих, Гц	1116	4464
Ширина спектра группового сигнала, МГц	7,61	7,61
Относительная длительность защитного интервала	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Длительность защитного интервала, мкс	224, 112, 56, 28	56, 28, 14, 7
Длительность символа сообщения, мкс	1120, 1008, 952, 924	280, 252, 238, 231
Территориальный разнос между передатчиками в одночастотной сети, км	67; 34; 17; 8,4	17; 8,4; 4,2; 2

9.3.4. Спутниковые распределительные системы

Системы спутникового вещания являются по сути системами распределения информации на большие территории с использованием спутникового ретранслятора. Они обеспечи-

вают два основных варианта работы: первичное распределение программ на наземные станции, от которых программы распределяются по наземным и кабельным вторичным сетям, и непосредственного вещания на приемные установки пользователей. Поскольку эти системы всегда работают в условиях прямой видимости, при достаточной мощности спутникового ретранслятора они потенциально обеспечивают высококачественное вещание. Отличительной особенностью спутникового телевизионного вещания является возможность для зрителя принимать интересующую его программу с любого спутника, находящегося в зоне видимости и при достаточном уровне сигнала на входе его приемной установки.

Описание систем спутникового вещания содержится в [2, 6, 7]. Построение и технические параметры систем спутникового вещания стандартизованы МСЭ-Р в рекомендациях: в области ТВ и ЗВ – ВО.652-1, ВО.790, ВО.791, ВО.793, ВО.794, ВО.795, ВО.1212, ВО.1213, ВО.1295, ВО.1296, ВО.1297, ВО.1444, ВО.1445, ВО.1503, ВО.1504, ВО.1505, ВО.1506; в области ТВ, ЗВ и вещания данных – ВО.1211; в области ТВ – ВО.600-1, ВО.650-2, ВО.786, ВО.787, ВО.788-1, ВО.792; в области ЗВ – ВО.651, ВО.712-2, ВО.789-2, ВО.1383.

Потенциальный объем спутникового вещания ограничивается доступным частотно-орбитальным ресурсом, который документами МСЭ-Р поделен между странами и территориями, а внутри стран делится между национальными операторами. В соответствии с международными соглашениями для систем спутникового ТВ вещания на участке Космос-Земля выделены следующие диапазоны частот: 620...790, 2500...2690 МГц, 10,7...11,7 и 11,7...12,5 ГГц [8]. В диапазоне 10...11,7 ГГц могут работать системы фиксированной спутниковой службы любой страны мира. Диапазон 11,7...12,5 ГГц предоставлен вещательной службе государств Европы, Африки, СНГ, Турции и Монголии. Полоса частот 11,7...12,5 ГГц разбита на 40 частотных каналов с разносом несущих 19,18 МГц. Благодаря многократному использованию их по дуге геостационарной орбиты от 37° з.д. до 170° в.д. образовано 984 одновременно работающих канала. Для спутников стран СНГ выделено пять позиций на геостационарной орбите: 23, 44, 74, 110 и 140° в.д., а также 36 каналов в диапазоне 11,7...12,5 ГГц. Достаточно большой разнос между спутниками по долготе, наличие территориального разноса между зонами обслуживания, а также применение двух видов поляризации (горизонтальной и вертикальной) позволяют обеспечить в странах СНГ 70 одновременно передаваемых программ аналогового вещания.

В спутниковых каналах сигналы достаточно стабильны при спокойном состоянии тропосферы, однако при возмущениях в ней опасно применять сигналы со сложными видами модуляции, поэтому, как правило, используют хорошо зарекомендовавшую себя не только в спутниковых каналах четырехпозиционную фазовую манипуляцию (QPSK или ФМ-4). Поскольку в демодуляторе используется квазикогерентная обработка сигналов, для устранения неопределенности фазы опорного колебания на передающей и приемной стороне дополнительно применяется дифференциальное кодирование и декодирование.

Система DVB-S спутникового вещания специфицирована в европейском стандарте EN 300 421, определяющем модуляцию и систему кодирования канала для служб спутникового цифрового мультипрограммного телевидения и телевидения высокой четкости, используемых для первичного и вторичного распределения в полосах фиксированной спутниковой службы (Fixed Satellite Service, FSS) и вещательной спутниковой службы (Broadcast Satellite Service, BSS). Система DVB-S предназначена для обеспечения непосредственного спутникового приема с использованием бытового интегрального приемника-декодера, а также для систем коллективного приема (системы распределения программ спутникового телевидения – Satellite Master Antenna Television, SMATV) и головных станций кабельного телевидения. В ней используется метод модуляции QPSK и система защиты от ошибок, основанная на сверточном кодировании и укороченном коде Рида–Соломона (RS). Система применима к раз-

ным полосам пропускания спутникового ретранслятора. Обеспечивается совместимость с ТВ службами, основанными на стандарте MPEG-2 с синхронной структурой передачи и пакетным мультиплексированием. Использование гибкого мультиплекса позволяет обеспечить требуемую пропускную способность канала для разных комбинаций ТВ и других вещательных служб, включая службы звукового вещания и службы данных. Компоненты всех служб мультиплексируются в один цифровой канал с использованием временного разделения (Time Division Multiplex, TDM). Система определяется как функциональный блок оборудования, выполняющего адаптацию транспортного потока на выходе транспортного мультиплекса MPEG-2 к характеристикам спутникового канала.

Служба непосредственного спутникового вещания (DTH) наиболее подвержена энергетическим ограничениям, поэтому основной целью должна быть скорее устойчивость по отношению к шуму и помехам, чем спектральная эффективность. Для достижения очень высокой энергетической эффективности без ущерба для эффективности использования спектра, система должна использовать модуляцию ФМ-4 и сочетание сверточного кода и кода Рида-Соломона. Сверточный код является гибким и обеспечивает оптимизацию работы системы к заданной ширине полосы пропускания спутникового ретранслятора.

Для повышения помехоустойчивости приема сигналы с выхода мультиплекса поступают на модулятор не непосредственно, а дважды дополнительно кодируются избыточным кодом. Структурная схема передающей части системы представлена на рис. 9.19.

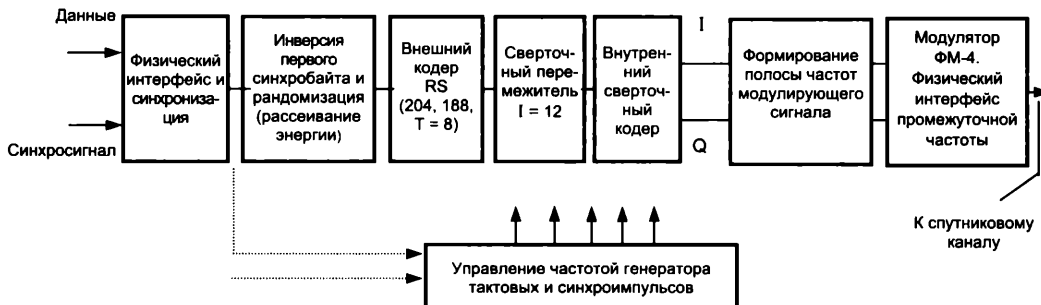


Рис. 9.19. Структурная схема передающей части системы спутникового телевидения

9.3.5. Кабельные распределительные системы

Кабельная распределительная система представляет собой систему сбора вещательных программ и их распределения с высоким качеством большому числу абонентов с использованием кабельных и волоконно-оптических линий с возможными радиорелейными вставками.

В современных кабельных распределительных сетях используются структуры трех видов: радиальные, древовидные и кольцевые. Принципы и подробности построения и развития этих сетей освещены в [2, 5, 8, 9, 11]. Их международную стандартизацию осуществляют МСЭ-Т, МЭК и ETSI.

В МСЭ-Т стандартизацией широкополосных кабельных систем занимается ИК 9. Системные аспекты кабельных систем стандартизованы в рекомендациях серии J. К кабельным распределительным сетям непосредственно относятся рекомендации J.82, J.83, J.84, J.87, J.90, J.93, J.94, J.97, J.110, J.111, J.112, J.118, J.140, J.141, J.142, J.143, J.144, J.145, J.151, J.160, J.161, J.162, J.163, J.164, J.165, J.166, J.167, J.180, J.181, J.182, J.183, J.184, J.185, J.186, J.190, J.191, J.200.

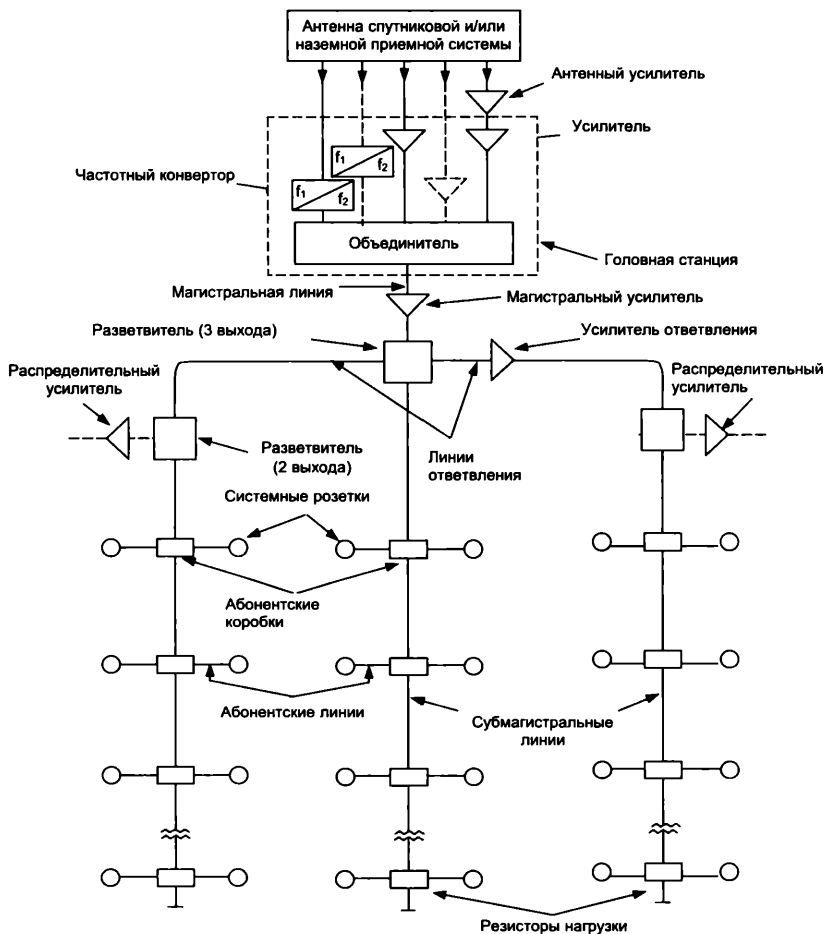


Рис. 9.20. Пример системы телевизионного приема на коллективную антенну наземного (MATV) и/или спутникового (SMATV) вещания

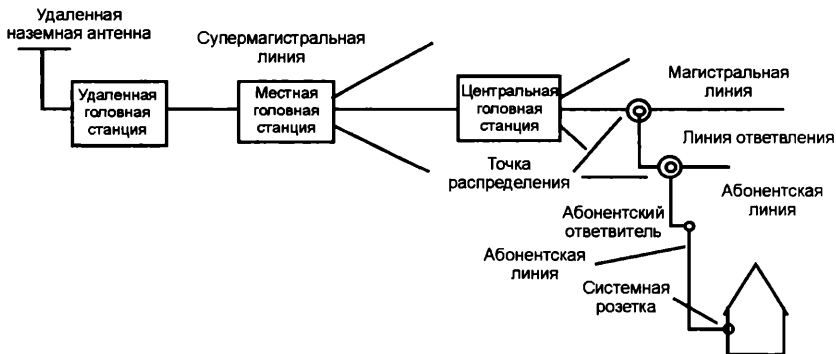


Рис. 9.21. Системная модель кабельной распределительной системы для телевизионных и звуковых сигналов

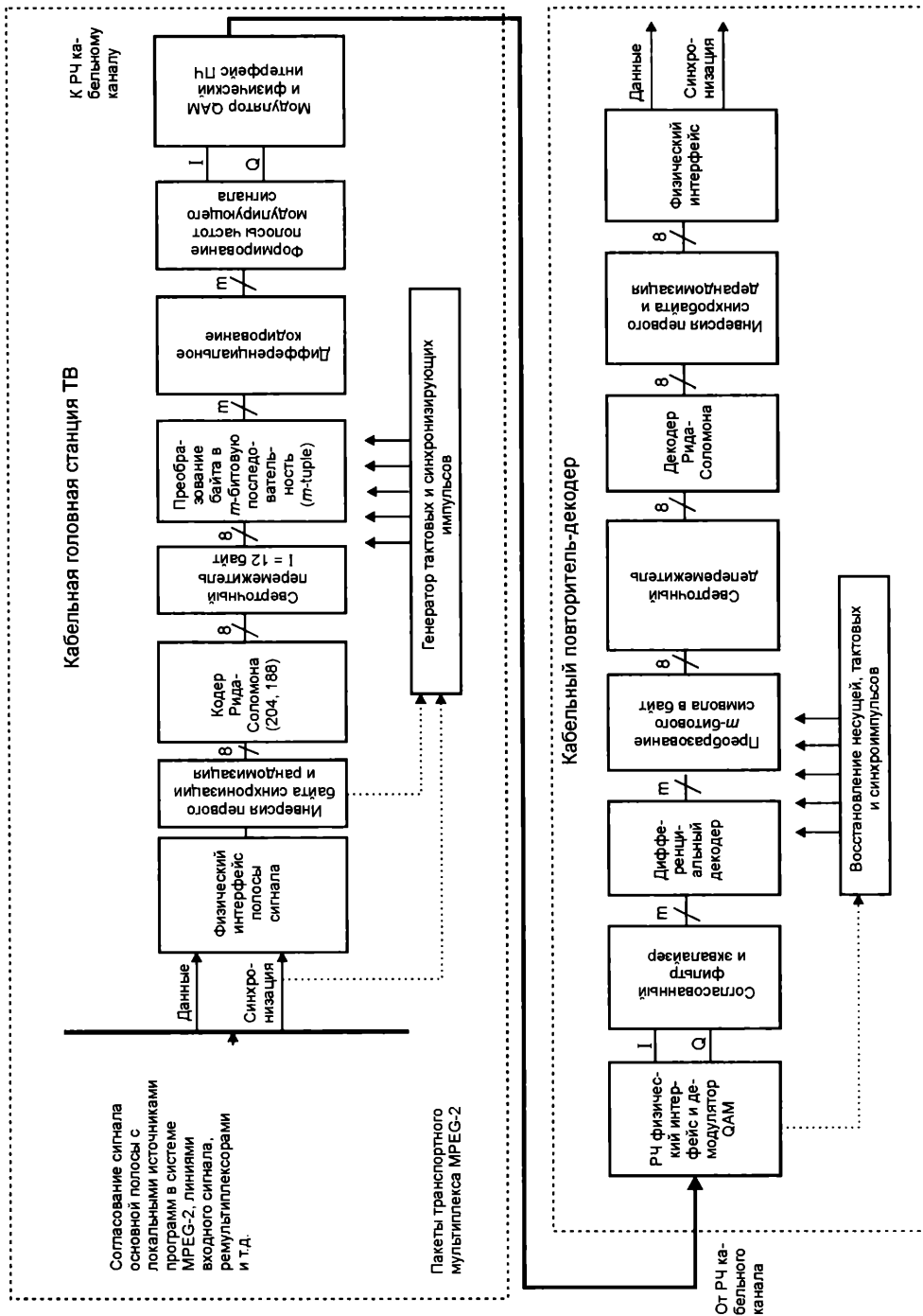


Рис. 9.23. Концептуальная структурная схема головной станции и приемной стороны

Требования к кабельным системам как средствам связи стандартизованы в стандартах МЭК серии IEC 60728 и европейских стандартах серии EN 50083.

К стандартам цифрового кабельного телевидения относятся также стандарты системы DVB: DVB-C (EN 300 429), DVB-SMATV (EN 300 473), DVB-CATV (EN 300 800 | ITU-T J.112, приложение А).

Концептуальные структурные схемы систем кабельного ТВ представлены в стандарте IEC 60728-1. Структурная схема построения системы телевизионного приема на коллективную антенну для наземного (MATV) и/или спутникового (SMATV) приема показана на рис. 9.20. Системная модель кабельной распределительной системы показана на рис. 9.21. Если передаваемые сигналы поступают с больших расстояний и количество пользователей (абонентов) очень велико, кабельная распределительная система, в которой используются линии коаксиального кабеля и/или волоконно-оптического кабеля, строится, как показано на рис. 9.22.

Структура кадра, система кодирования канала и методы модуляции в кабельных распределительных системах цифрового ТВ вещания специфицированы в стандарте EN 300 429. Концептуальная структурная система головной станции и приемной стороны представлена на рис. 9.23.

9.3.6. Многоточечные микроволновые распределительные системы

Многоточечные микроволновые распределительные системы (Multipoint Microwave Distribution Systems, MMDS) по международной классификации являются системами СВЧ диапазона, рассчитанными на работу в области частот ниже 10 ГГц. Для стран СНГ выделена полоса 2500...2700 МГц. Характеристика систем MMDS дана в [8].

К основным преимуществам систем MMDS по сравнению с системами диапазона ОВЧ/УВЧ относятся возможность многопрограммного вещания, т.е. передачи до 24 программ аналогового ТВ в каналах со стандартной полосой частот 8 МГц или в 4...6 раз больше программ цифрового ТВ, и то, что вещание ведется на уровне мощностей, во много раз меньших мощностей, типичных для диапазона ОВЧ/УВЧ.

В системах MMDS диапазона 2500...2700 МГц для передачи программ аналогового ТВ используется в основном АМ-ОБП, т.е. использование этих систем является расширением частотного ресурса, выделяемого для обычного вещания. Их основные недостатки – ограниченный частотный ресурс по сравнению с системами более высоких частотных диапазонов и ограниченная помехоустойчивость по сравнению с системами, использующими ЧМ. Антенна головной станции в зависимости от конфигурации зоны охвата создает облучение либо круговое равномерное, либо в заданном секторе. При необходимости увеличения зоны или преодоления препятствий устанавливаются ретрансляторы. В практике проектирования и монтажа систем MMDS используют два варианта структурных схем – одноканальный и многоканальный.

В одноканальном варианте для передачи n ТВ программ необходимы n передающих устройств, включающих модулятор и собственно передатчик, а суммирование мощностей разных передатчиков производится в антенне.

В многоканальном варианте передаваемые сигналы n ТВ программ сначала поступают на индивидуальные модуляторы, далее из них формируется групповой сигнал, который осуществляет широкополосную модуляцию передатчика, работающего на общую антенну.

Построение и характеристики цифровой системы DVB-MMDS специфицированы в Рек. ITU-T J.150, приложении А и в стандарте EN 300 749. Этими документами определены структура кадров, методы кодирования канала и методы модуляции в системах MMDS. Предусмотрены методы модуляции QAM-16, QAM-32, QAM-64.

9.3.7. Сотовые микроволновые распределительные системы LMDS и MVDS

Сотовые системы ТВ-вещания рассчитаны на использование частот не ниже 10 ГГц. В системах LMDS (Local Multipoint Distribution System) используется полоса частот 27,5...29,5 ГГц, в MVDS (Multipoint Video Distribution System) – 40,5...42,5 ГГц. Построение и характеристики этих систем специфицированы в Рек. J.150 и в стандарте EN 300 748. Предусматривается использование метода модуляции QPSK. По существу эти системы отличаются только используемым диапазоном и названием, а структурное построение их одинаково. Информация о них содержится в [8].

Сотовые системы распределения в полосе 27,5...29,5 ГГц применяются в локальных сетях США, в некоторых государствах Африки. Европейская конференция администраций почт и электросвязи (СЕПТ) рекомендовала использовать для них полосу 40,5...42,5 ГГц. В настоящее время наиболее широко системы MVDS применяются в Англии и Голландии. По-видимому, наибольшее распространение они получают в крупных городах, в том числе с разноэтажной застройкой. При этом повторное использование рабочих частот возможно при разнесении передатчиков на не менее 15 км.

Поскольку широкое внедрение цифровых систем DVB-T в наземных сетях стран СНГ из-за высокой стоимости абонентских телеприемников в ближайшие годы проблематично, то весьма перспективно внедрение систем MVDS для многопрограммного телевидения, особенно в местностях с высокой плотностью населения. Основными достоинствами сотовых систем являются: высокое качество сигналов и практическое отсутствие мертвых зон за счет выбора размеров соты (ячейки) в пределах от 1 до 6 км; большой выбор ТВ программ для пользователя при наличии в сети множества сот; экологически безопасные для населения уровни излучения передатчиков; высокая надежность сети при рассредоточенных ретрансляторах, особенно при стихийных бедствиях. По системам MVDS могут передаваться как аналоговые телевизионные сигналы с частотной модуляцией, так и цифровые с QPSK.

9.3.8. Микроволновая интегрированная телерадиоинформационная система распределения информации (МИТРИС)

В микроволновой распределительной системе МИТРИС [8, 12] выбран диапазон частот 11,7...13,5 ГГц, в котором размещено 24 ТВ канала, и используется частотная модуляция. Ширина полосы частот канала 22 МГц, шаг сетки 28 МГц. Многоканальный передатчик преобразует сигналы из полосы 0,95...2,05 ГГц в полосу 11,7...13,5 ГГц. Предусматривается возможность сопряжения входа передатчика с сигналами радиорелейной аппаратуры на промежуточной частоте 70 МГц. Суммирование сигналов разных программ в полосе 11,7...13,5 ГГц осуществляется в самой антенне. Передающая антенна с круговой диаграммой направленности, сформированной с помощью специальной трехзеркальной конструкции, имеет коэффициент усиления в полосе рабочих частот в горизонтальной плоскости более 16 дБ при ширине диаграммы направленности в вертикальной плоскости не более 4°. Прием сигналов ведется на параболические антенны диаметром 25, 60 и 90 см в зависимости от расстояния до передатчика и категории приемной установки (индивидуальная или коллективная).

Разработчики системы утверждают [12], что при мощности передатчика 50 мВт на один канал диаметр зоны обслуживания составляет до 40 км, а в ближней зоне (до 5 км) прием возможен непосредственно на облучатель конвертера. Уверенный прием на расстояния до

15 км может вестись на антенну диаметром 25 см, до 30 км – на антенну диаметром до 60 см и до 40 км – на антенну диаметром 90 см. Возможен прием сигналов через сухую кирпичную стену.

Система МИТРИС была представлена в МСЭ-Р [Док. МСЭ-Р 11А/78 r1, 11С/67 r1, 18.05.1999, 10-11/19, 17.05.1999]. По используемому диапазону частот она относится к системам MVDS. В отличие от стандартизованных систем MVDS, эта система является аналого-цифровой и предполагает совместную передачу большого числа программ аналогового и цифрового вещания в произвольной комбинации.

Глава 10

УПРАВЛЕНИЕ СЕТЬЮ, СИГНАЛИЗАЦИЯ, СИНХРОНИЗАЦИЯ

10.1. Система управления сетью. Основные положения концепции TMN

Система управления (СУ) представляет собой сложную систему, обеспечивающую возможность функционирования сети в целом. Управление сетью основывается на сборе статистики о прохождении сигналов и возникающих неординарных или аварийных ситуациях, тестировании (проверке) состояния элементов сети. Эти функции невозможно осуществить без сигнализации о состояниях систем (выходе из строя элементов систем передачи или систем коммутации). Для передачи служебных сигналов в системе управления используются специальные служебные каналы, соединяющие пункты управления сетью и элементы сети. Таким образом, система управления сетью относится к системам распределенного типа и имеет свою сетевую архитектуру. Концепция формирования такой архитектуры получила название **концепции TMN** (Telecommunication Management Network) – сети управления телекоммуникациями. В задачи TMN входит:

- обеспечение возможности использования различных стратегий управления и степеней распределения функций управления;
- реализация управления разнородными сетями, оборудованием и услугами в телекоммуникационной среде;
- обеспечение возможности функционирования структур изолированного типа, в которых функции управления могут осуществляться автономно;
- быстрая адаптация к технологическим и функциональным изменениям в телекоммуникациях;
- обеспечение безопасности информации при выполнении функций управления.

Концепция TMN, согласно Рек. М.3010 ITU-T, поддерживает следующие уровни управления:

- уровень административного управления (B-OSF);
- уровень управления обслуживанием (S-OSF);
- уровень управления сетью (N-OSF);
- уровень управления элементами (NE-OSF);
- уровень сетевых элементов (NEF).

При рассмотрении общей архитектуры TMN принято выделять *функциональную, информационную и физическую* архитектуры сети.

Функциональная архитектура TMN базируется на функциональных блоках (ФБ), обеспечивающих общие функции TMN и взаимодействующих между собой по сети ПД через опорные (интерфейсные) точки. Функциональные блоки TMN могут быть расположены как в пределах сети управления, так и вне ее. К ним, в частности, относятся функциональные блоки:

- операционной системы (Operations System, OS), обрабатывающей информацию управления телекоммуникациями для контроля, координации и управления функциями связи, включая и функции самой TMN. Эти ФБ формируют ядро TMN;
- элементов сети (Network Element, NE), связанных с TMN как объекты контроля и управления, но не являющихся частью TMN;
- рабочей станции (Work Station, WS), обеспечивающей средства для представления информации TMN. WS организует интерфейс между СУ и персоналом;
- промежуточного устройства сопряжения или медиатора (Mediation, MD), обрабатывающего информацию, проходящую между OS и NE;
- Q-адаптера (Q-Adapter, QA) для подсоединения внешних по отношению к TMN опорных точек с интерфейсами Q_x и Q_3 к опорным точкам TMN и осуществляющего взаимодействие с сетевыми элементами или операционными системами, имеющими непредусмотренные в TMN интерфейсы.

Определение функциональных блоков и опорных точек между ними требует спецификации интерфейсов, применяемых в TMN. Интерфейсы, рекомендованные для TMN, показаны на рис. 10.1.

Q_x -интерфейс существует между двумя блоками TMN, которые находятся в одном TMN-домене. Q_x переносит информацию, которой обмениваются MD и DCN.

F-интерфейс – это интерфейс между WS и OS и между WS и MD.

X-интерфейс – это интерфейс между двумя OS, находящимися в разделенных доменах TMN, или OS и другой OS, находящейся вне TMN.

Через Q_x -интерфейс взаимодействуют блоки NE и MD; QA и MD; MD и MD. Любой функциональный блок, который взаимодействует с OS, использует Q_3 интерфейс.

Интерфейсы TMN являются межоперационными, т.е. представляют собой формально определенный набор протоколов, процедур, форматов сообщений и семантики, используемых для передачи информации управления.

Для установления границ функциональных блоков вводится принцип *опорной точки*. Опорная точка определяет границы услуг между двумя функциональными блоками. На рис. 10.2 приведены опорные точки TMN.

Рекомендациями МСЭ определено три типа опорных точек [6, 7, 9]:

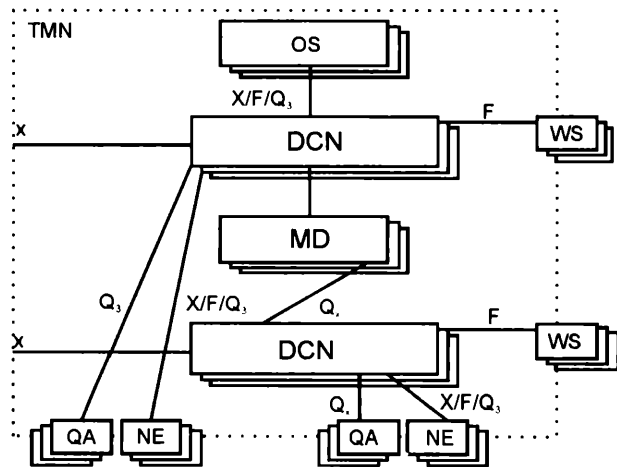


Рис. 10.1. Интерфейсы, применяемые в TMN

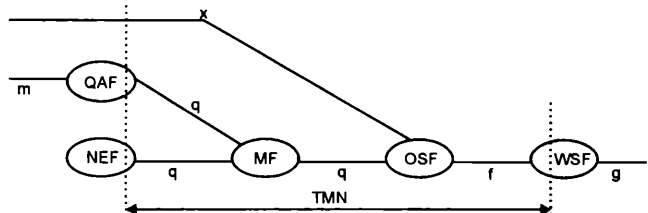


Рис. 10.2. Опорные точки TMN

- q** – между функциями операционной системы (OSF), функциями Q-адаптера (QAF), функциями медиатора (MF) и функциями сетевого элемента (NEF);
- f** – для присоединения функций рабочей станции (WSF);
- x** – между функциями OSF двух TMN или между функцией OSF одной TMN и эквивалентной функцией OSF другой сети.

Функциональная архитектура TMN и входящие в нее опорные точки определяют рамки задач при разработке требований для спецификации интерфейсов TMN.

Информационная архитектура TMN основывается на принципах управления, характерных для модели взаимодействия открытых систем и базирующихся на *объектно-ориентированном подходе*. Объектно-ориентированные принципы применяются лишь к интерфейсам, через которые взаимодействуют связанные системы управления, и не должны ограничивать внутреннюю реализацию этих систем. Информационный обмен описывается в терминах управляемых объектов, рассматриваемых как некоторые ресурсы, над которыми осуществляется управление. Таким образом управляемый объект является абстракцией ресурса, отображающей его свойства с точки зрения управления. Управляемый объект может представлять также комбинацию ресурсов (сеть). Могут существовать управляемые объекты, представляющие логические ресурсы TMN, а не ресурсы сети электросвязи.

Управление сетью связи – это *прикладной информационный процес*. Поскольку подлежащая управлению среда является распределенной, возникает необходимость организации обмена информацией между процедурами управления. Информационная модель управления определяет область, в которой обмен осуществляется стандартными способами на прикладном уровне, а также охватывает различные прикладные функции управления, такие как хранение, поиск и обработка информации. Функции, используемые на этом уровне, называются *блоками функций TMN*.

Для управления объектами предложена структура «администратор-агент». Администратор выдает указания по управлению и получает сообщения о их выполнении. Агент управляет взаимосвязанными с ним управляемыми объектами, представляет администратору вид этих объектов и выдает сообщения, отображающие их состояние. Один администратор может участвовать в обмене информацией со многими агентами, в этом случае может потребоваться синхронизация указаний. Один агент также может взаимодействовать с несколькими администраторами и получать несколько указаний одновременно. Весь обмен информацией между администратором и агентом реализуется путем использования услуг общей информации управления (CMIS) и протокола CMIP, определенных в Рек. X.170, X.711.

В TMN для сбора информации от агентов администратор использует метод упорядоченного опроса. Агенты хранят собранную статистическую информацию в своих базах данных (Management Information Base, MIB). Структуру MIB обычно представляют в виде иерархически организованного дерева (Management Information Tree, MIT). На верхних уровнях MIT расположены наиболее важные атрибуты, более детально характеризующиеся атрибутами нижних уровней MIT.

Организационные требования к управлению включают в себя разделение сферы управления на ряд функциональных областей, таких как безопасность информации, начисление оплаты, управление устранением повреждения в рамках каждой группы управляемых объектов. Области управления могут быть *раздельными, взаимодействующими, автономными и перекрывающимися* друг друга. Перекрывающиеся друг друга области управления существуют, если один или несколько объектов одновременно принадлежат к нескольким областям.

Упрощенная **физическая архитектура TMN** показана на рис 10.3. Она включает в себя компоненты, являющиеся физической реализацией функциональных блоков и сети передачи данных, а также интерфейсы, предназначенные для взаимодействия между ними.

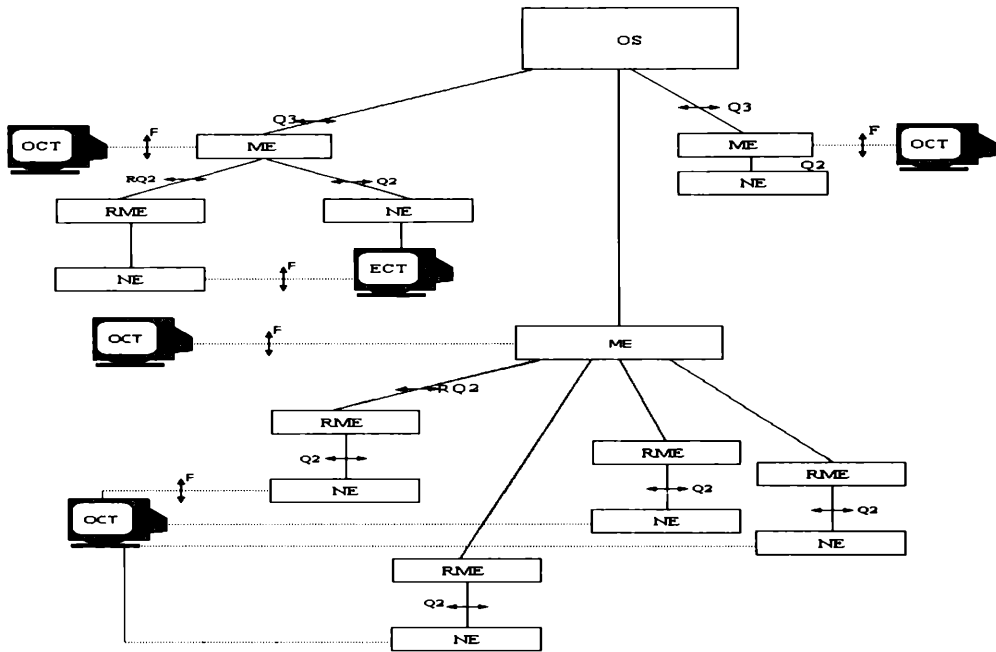


Рис. 10.3. Упрощенная физическая архитектура TMN

Медиаторы, служащие для промежуточной обработки, хранения данных и преобразования протоколов, не являются необходимыми компонентами, так как их функции могут выполняться непосредственно в сетевых элементах и Q-адаптерах. Каждая из опорных точек реализуется физически в виде соответствующего интерфейса.

Сеть передачи данных представляет собой телекоммуникационную сеть в рамках TMN, обеспечивающую функцию передачи данных (DCF). Эта функция используется функциональными блоками для обмена информацией и обеспечивает маршрутизацию, переприем и взаимодействие, а также средства для транспортировки информации, относящейся к управлению электросвязью, между блоками функций управления на 1–3 уровнях эталонной модели OSI/ISO. DCF может состоять из ряда сетевых сегментов разных типов (WAN, MAN, LAN, сети сигнализации ОКС7 или встроенных каналов связи синхронной цифровой иерархии). При соединении различных подсетей взаимодействие между ними осуществляется также с помощью DCF.

Доступ к TMN от внешних источников может требоваться при взаимодействии с другими сетями TMN или с пользователями сети. Необходимость взаимодействия с другими TMN возникает при обеспечении соединения из конца в конец при прохождении нескольких разнородных сегментов сети. Часто это связано с предоставлением информации для другой TMN и частично с управлением другой TMN. Доступ пользователя к TMN позволяет осуществить возможность управления и иметь обратную связь при использовании этой сети. При таком доступе предполагается, что услуги управления для пользователя обеспечиваются поставщиками услуг, а доступная информация относится исключительно к функциям управления TMN.

Между TMN и пользователем внешнего доступа может происходить обмен информацией управления двух видов: относящейся к специфическому интерфейсу или специфической

линии (например, шлейфу по запросу пользователя) или относящейся к событиям на разных линиях и услугах, доступных пользователю доступа. В последнем случае обмен информацией управления производится централизованно в точке x на соединении между двумя ТМН или ТМН и сетью пользователя. Для этого необходимо обеспечить пользователям общий доступ к операциям управления услугами связи включая безопасность доступа и преобразование протоколов.

10.2. Сигнализация в сетях связи

10.2.1. Сигнализация в телефонных сетях общего пользования

Сигнализация – это совокупность сигналов, нужных для установления, контроля и освобождения соединений, процедур и протоколов обмена этими сигналами.

На ТФОП стран СНГ до сих пор преобладает аналоговое оборудование, поэтому существует значительное разнообразие устаревших методов и систем сигнализации. На отдельных участках одного телефонного соединения часто используются разные системы сигнализации, что увеличивает длительность и уменьшает надежность установления соединений. Внедряемые ЦСК должны предусматривать достаточную номенклатуру кодов сигнализации для взаимодействия с аналоговым окружением, что соответственно увеличивает их стоимость. Таким образом, развитие ТФОП должно направляться и на постепенную ликвидацию устаревших методов сигнализации.

Виды и состав сигналов. На ТФОП применяют три группы сигналов: акустические (информационные), линейные и управляющие (регистровые).

Акустические сигналы предназначены для информирования абонентов о состоянии соединения. Это сигнал послышки вызова (25 ± 2 Гц, 85...95 В), разные тональные сигналы и записанные стандартные фразы автоинформатора¹. Полная номенклатура тональных сигналов возможна на программно управляемых станциях, но реализуется крайне редко. Большинство станций ТФОП предусматривают только обязательные сигналы: «готовность (ответ) станции», «занято» и «контроль послышки вызова».

К тональным сигналам относятся²:

- *готовность станции* – непрерывная посылка частоты 425 Гц;
- *контроль послышки вызова* – периодическая посылка частоты 425 Гц, посылка и пауза соответственно $1 \pm 0,1$ с и $4 \pm 0,4$ с для местной и $1,2 \pm 0,12$ с и $2 \pm 0,2$ с для междугородной связи;
- *занято* – периодическая посылка частоты 425 Гц, посылка и пауза по 0,3...0,4 с;
- *занято из-за перегрузки* – периодическая посылка 425 Гц, посылка и пауза 0,15...0,2 с;
- *тональный вызов* – периодическая посылка трех частот диапазона 400...700 Гц (последовательно первая, вторая и третья частоты в общем на протяжении $1 \pm 0,1$ с при паузе $4 \pm 0,4$ с);
- *указательный сигнал* – периодическая посылка одновременно частот 950, 1400 и 1800 Гц, посылка и пауза соответственно $0,33 \pm 0,07$ с и $1 \pm 0,25$ с (сигнал информирует абонента о

¹ «Номер набран неправильно», «номер не задействован», «номер изменен», «аппарат отключен абонентом», «ожидайте», «вызывайте телефонистку» и т.п.

² Уровень их передачи в стыках Z и C -10 ± 5 дБм, кроме сигналов «уведомление» и «предупреждение», для которых допускается соответственно -15 ± 5 дБм и -2 ± 2 дБм. Уровень передачи в стыках A, A₁: 0 ± 1 дБ. Коэффициент нелинейных искажений каждой частоты должен не превышать 5%, а нестабильность частоты $\pm 0,5$ %.

невозможности установления соединения по долговременной причине, например из-за отключения вызываемой АЛ);

- *ожидание* – сигнал информирует о необходимости ожидания при междугородной связи или в услуге установления вызова на ожидание и имеет параметры такие же, как указательный сигнал;
- *уведомление* – периодическая посылка 425 Гц (посылка $0,2 \pm 0,02$ с, пауза $5 \pm 0,05$ с) в услуге «установление вызова на ожидание» для информирования абонента о поступлении нового вызова;
- *неполный сбор* – разовая посылка частоты 425 Гц на протяжении $0,65 \pm 0,35$ с для соответствующего информирования участников конференц-связи;
- *отключение участника конференц-связи* – сигнал с такими же параметрами, что и предыдущий;
- *вмешательство* – периодическая посылка частоты 425 Гц (посылка и нечетная пауза $0,25 \pm 0,025$ с, четная пауза $1,25 \pm 0,3$ с) для информирования абонента о подключении к соединению телефонистки или привилегированного абонента;
- *окончание оплаченного периода* – сигнал передается в линию таксофона за 20 ± 2 с до конца указанного периода в виде двух или трех посылок 1400 Гц по $1 \pm 0,1$ с и с такой же паузой;
- *готовность к приему информации* – приглашение заказывать дополнительную услугу (сигнал 425 Гц, нечетные посылки и паузы $0,25 \pm 0,025$ с, четные $0,75 \pm 0,075$ с).

Линейные сигналы передаются по СЛ, заказно-соединительным линиям (ЗСЛ), соединительным линиям междугородным (СМЛ) и междугородным каналам и предназначены для фиксации и активации основных этапов соединения.

В прямом направлении передаются сигналы: *занятие, разъединение, отбой абонента А* (только по СЛ и ЗСЛ), *автоматический вызов* (только по СЛМ), *повторный вызов* (только по СЛМ и междугородным каналам).

Сигналы обратного направления таковы: *контроль исходного состояния* (по СЛ, ЗСЛ и СЛМ), *блокировка, освобождение, занято, абонент свободен* (только по СЛМ), *ответ абонента Б, отбой абонента Б, запрос АОН* (только по СЛ и ЗСЛ), *снятие запроса АОН* (только по СЛ и ЗСЛ).

Линейные сигналы передаются также по аналоговой абонентской линии (ААЛ) путем замыкания или размыкания шлейфа – от вызываемого абонента *занятие* и *отбой*, от вызванного – *ответ* и *отбой*.

Управляющие сигналы переносят адресную и сопутствующую информацию в процессе управления установлением соединения. Они передаются от абонентских терминалов в управляющие устройства станции и между управляющими устройствами разных станций. По АЛ передаются только набранные цифры номера абонента Б и при использовании двутонновой многочастотной сигнализации DTMF (Dual-Tone Multi-Frequency) дополнительные сигналы, соответствующие кнопкам #, *. Состав сигналов по СЛ, ЗСЛ, СЛМ и междугородным каналам зависит от способа сигнализации, в значительной степени определяемого типами оборудования взаимодействующих станций. В общем случае в прямом направлении передаются: номер абонента Б, данные АОН (по СЛ, ЗСЛ), подтверждение или перезапрос сигналов обратного направления, а по междугородным каналам еще и сигнал конца набора, категория приоритетности вызова и сигнал включения эхоподавителей. В обратном направлении передаются запросы и перезапросы адресной информации, подтверждение приема, сигнал занятости абонента Б, сигнал завершения установления соединения.

Способы и коды передачи сигналов. Почти все АЛ на ТФОП аналоговые с передачей линейных и управляющих сигналов шлейфными импульсами и медленным декадным кодом. Даже там, где есть возможности применения сигнализации DTMF, они часто не реализованы, а иногда предлагаются абонентам как дополнительная услуга. В отдельных случаях абоненты применяют телефоны с определителями АОН и несанкционированно запрашивают (линейным сигналом и посылкой частоты 500 Гц) и получают по АЛ данные АОН (код «два из шести», безинтервальный пакет).

Способы и коды передачи сигналов по СЛ, ЗСЛ, СЛМ и междугородным каналам весьма разнообразные и в основном устаревшие – медленные и не обеспечивающие функциональной полноты сигнализации. Еще до сих пор на ГТС значительна доля физических соединительных линий (ФСЛ). По ним линейные сигналы передаются гальваническим способом – батарейными или, иногда, шлейфными импульсами. Управляющие сигналы передаются многочастотным кодом «два из шести» (импульсный «челнок» и, для данных АОН, безинтервальный пакет) или декадным кодом при отсутствии средств многочастотной сигнализации хотя бы на одной из взаимодействующих станций. Крайне редко, но еще встречаются ФСЛ и на телефонных сетях сельских районов (ТССР) – по ним линейные сигналы передаются временным, а управляющие – декадным кодом, те и другие индуктивными импульсами.

Достаточно заметна доля направлений связи, оборудованных системой передачи с частотно-разнесенными каналами (СП ЧРК). По ним управляющие сигналы кода «два из шести» всегда передаются в разговорных каналах, а способ передачи линейных и декадных управляющих сигналов определяется типом СП:

- в СП без выделенного сигнального канала (ВСК) имеет место сигнализация в разговорной полосе (in-band signalling) на частоте 2600 Гц линейным кодом «Новый» (например, СП типа К-60) или с использованием двух частот, 1200 и 1600 Гц;
- для СП с одним ВСК применяется внеполосная сигнализация (out-of-band signalling) на частоте 3825 или 3850 Гц, в частности специфическим кодом «Норка» в СП типа «Кама», а на ТССР – временным кодом или по двум сигнальным каналам – ВСК и в разговорной полосе на частоте 2600 Гц.

Цифровизированные направления связи обычно предусматривают обмен управляющими сигналами кода «два из шести» или, иногда, сигналами сигнализации R2D в разговорных КИ, а в линейных и декадных КИ следующими управляющими сигналами:

- по двум ВСК в линейных трактах E1 (КИ 16), E2 (КИ 67...70) и, на ТССР, E $\frac{1}{2}$ (КИ 0);
- на ТССР в трактах E1 и E $\frac{1}{2}$ по одному ВСК временным кодом или по двум каналам – ВСК и в разговорном КИ на частоте 2600 Гц.

В отдельных направлениях связи между цифровыми станциями применяется ОКС № 7, но не все ЦСК, внедренные на ТФОП стран СНГ, имеют возможности общеканальной сигнализации, а в некоторых системах эти возможности ограничены – иногда функционально неполна подсистема ISUP пользователя ISDN и/или отсутствуют подсистемы управления сигнальными соединениями SCCP, транзакционных возможностей TCAP и технической эксплуатации OMAP, что не позволяет реализовывать услуги ISDN и интеллектуальной сети и создавать полноценную сеть ОКС.

Общеканальная система сигнализации № 7. Эта универсальная система сигнализации способна поддерживать взаимодействие ТФОП с цифровыми сетями подвижной связи, пакетными сетями и эволюцию ТФОП к широкополосной пакетной коммутации. Со временем она должна вытеснить устаревшие способы сигнального обмена путем установки новых цифровых станций только с оборудованием ОКС, постепенного обновления версий ПО блоков общеканальной сигнализации тех станций, где они функционально неполны, и

постепенного создания сети ОКС, работающей в несвязанном режиме и имеющей надлежащий центр управления.

Функциональная архитектура общеканальной сигнализации № 7 и ее соответствие семиуровневой модели OSI приведены на рис. 10.4. Эта архитектура включает:

- трехуровневую подсистему переноса сообщений (Message Transfer Part, MTP);
- подсистему управления сигнальными соединениями (Signalling Connection Control Part, SCCP);
- подсистему пользователя ISDN (ISDN User Part, ISUP);¹
- подсистему подвижного пользователя (сети стандарта NMT-450) (Mobile User Part, MUP);
- подсистему пользователя эстафетным переключением (для сети стандарта NMT-450 или NMT-900) (Handover User Part, HUP);
- прикладную подсистему транзакционных возможностей (Transaction Capabilities Application Part, TCAP);
- сервисные элементы прикладного уровня (Application Service Elements, ASE);
- прикладную подсистему интеллектуальной сети (Intelligent Network Application Part, INAP);
- прикладную подсистему подвижной связи (сети стандарта GSM) (Mobile Application Part, MAP);
- прикладную подсистему системы базовых станций (сети стандарта GSM) (Base Station System Application Part, BSSAP);
- прикладной сервисный элемент эксплуатации и технического обслуживания (Operation and Maintenance Application Service Element, OMASE);
- прикладную подсистему эксплуатации и технического обслуживания (Operation and Maintenance Application Part, OMAP).

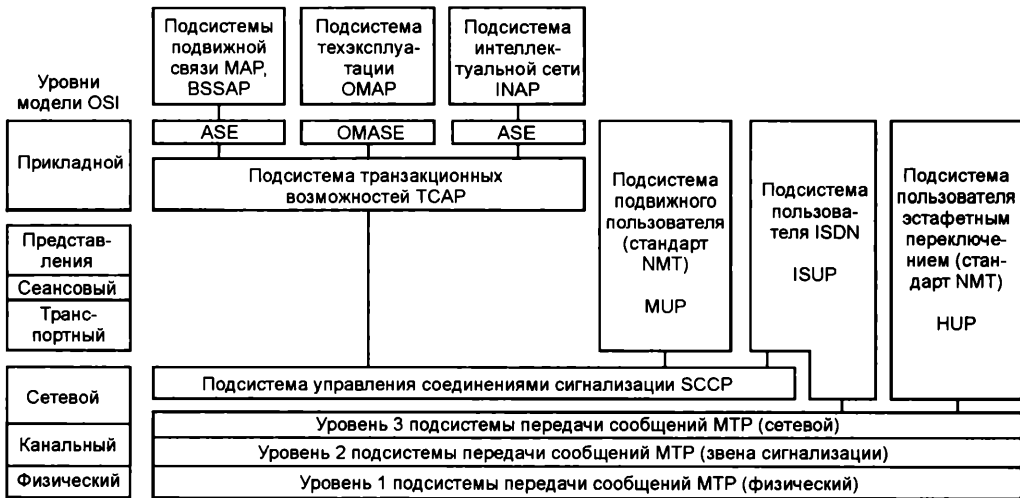


Рис. 10.4. Архитектура общеканальной сигнализации в сравнении с моделью OSI

¹ Существуют также подсистемы телефонного пользователя (Telephone UP, TUP) и пользователя услугами передачи данных (Data UP, DUP), но при наличии подсистемы ISUP они не нужны.

Подсистема МТР¹ разделена на физический уровень 1, уровень 2 звена сигнализации и сетевой уровень 3. Функции третьего сетевого уровня модели OSI поделены между подсистемами МТР-3 и SCCP с целью оптимизации МТР-3, поскольку не все подсистемы следующего уровня требуют передачи сообщений без установления соединений или расширенных возможностей адресации, обеспечиваемых SCCP.

Уровень МТР-1 обеспечивает физическую передачу битового потока и стык со стандартным цифровым каналом 64 кбит/с, который обычно полупостоянно скоммутирован в ЦКП станции.

Уровень звена сигнализации МТР-2 обеспечивает:

- формирование и расформирование сигнальных единиц (Signal Unit, SU), в том числе заполняющих (Fill-In SU, FISU), передаваемых при отсутствии значащих сигнальных единиц (Message SU, MSU), и разделение SU флагами (01111110);
- прозрачность канала (вставкой нуля после каждого пяти последовательных единиц на передаче и изъятием этого нуля на приеме);
- формирование двубайтовой проверочной последовательности при передаче и обнаружение ошибок на приеме;
- коррекция ошибок путем повторной передачи искаженных SU или превентивного циклического повторения SU в каналах со значительными (обычно более 15 мс) задержками распространения сигналов;
- вхождение в связь и фазирование SU;
- контроль частоты ошибок фазирования и ошибок в SU;
- управление состоянием звена сигнализации².

Сетевой уровень МТР-3 получает сообщения от подсистем высшего уровня и передает их на уровень МТР-2, сортирует полученные от МТР-2 сообщения по подсистемам пользователя и выполняет функции управления состоянием сети сигнализации – распределение нагрузки в пучке или между пучками звеньев сигнализации, переключение при необходимости на резервное звено сигнализации, тестирование звеньев, запрет и снятие запрета использования отдельных звеньев, восстановление начальной конфигурации, управление маршрутами и нагрузкой сигнализации при перегрузках сети ОКС и контроль ошибок в сообщениях управления сетью ОКС.

Подсистема SCCP³ управления соединениями сигнализации дополняет функции МТР-3 до соответствия сетевому уровню модели OSI, что позволяет сети ОКС работать в несвязанном режиме с маршрутами передачи сигнальных сообщений, независимыми от топологии соединений каналов полезной нагрузки. Эта подсистема обеспечивает виртуальные соединения для передачи блоков данных сигнализации,⁴ ориентированных на соединение или без соединений.⁵

¹ Соответствует Рек. Q.701...Q.704, Q.706, Q.707.

² Соответствующие индикации состояния передаются в специальных SU состояния звена сигнализации – (Link Status SU, LSSU). Это индикации: SIO (Status Indication «Out of alignment» – не фазировано), SIOS (Status Indication «Out of service» – не в работе), SIPO (Status Indication «Processor Outage» – отказ процессора), SIB (Status Indication «Busy» – занято), SIE (Status Indication «Emergency alignment» – аварийное фазирование), SIN (Status Indication «Normal» – обычная работа).

³ Соответствует Рек. Q.711...Q.714, Q.716.

⁴ Длинной до 256 байт, с сегментированием более длинных блоков для протоколов, ориентированных на соединения, в исходящем узле и их сбором в узле назначения.

⁵ Сообщения SCCP передаются в поле сигнальной информации (Signalling Information Field, SIF) MSU.

Подсистема ISUP¹ пользователя ISDN поддерживает основные и дополнительные услуги для телефонных абонентов, абонентов ISDN и для абонентов сетей передачи данных с коммутацией каналов. Она обеспечивает:

- установление и освобождение соединений для передачи речи или иной информации пользователя с пересылкой адресных данных в одном блоке,² или, при необходимости, «с перекрытием»,³ с возможностями автоматического повторения попытки соединения и включения, при необходимости, эхоподавления;
- дополнительные телефонные услуги и дополнительные услуги ISDN;
- блокирование и разблокирование отдельных информационных каналов или групп каналов;
- проверку, если надо, целостности установленного соединения;
- контроль правильности сигнальных сообщений ISUP.

Подсистема транзакционных возможностей TCAP⁴ совместно с подсистемами SCCP и MTP обеспечивает для пунктов сигнализации обмен сообщениями, для которых не требуется или невозможно соединение информационных каналов – для доступа станции к общей сетевой базе данных,⁵ инициирования станцией определенной услуги на другой станции,⁶ передачи данных техэксплуатации и т.п. Некоторые применения TCAP требуют обмена транзакциями в реальном времени (обращение к сетевой базе данных за маршрутной информацией и т.п.), а некоторые нет (например, передача больших массивов данных техэксплуатации от станций к ЦТЭ).

Протокол TCAP имеет два подуровня: нижний – транзакций (Transaction SubLayer, TSL) и высший – компонентов (Component SubLayer, CSL). Подуровень TSL устанавливает и разъединяет соединения и определяет тип каждого сообщения транзакции – ее начало, продолжение или окончание. Подуровень CSL управляет действиями на удаленном узле и возвращением результатов этих действий. Подуровни CSL этих узлов обмениваются «компонентами» – запросами выполнения операций, иницированными подсистемами пользователями транзакционных возможностей, и ответами на эти запросы.

Подсистема интеллектуальной сети INAP⁷ обеспечивает возможность предоставления услуг IN путем взаимодействия физически (территориально) и логически разделенных функций: коммутации в пункте коммутации услуг (Service Switching Point, SSP); управления в пункте управления услугами (Service Control Point, SCP); предоставления данных в пункте данных услуги (Service Data Point, SDP). Взаимодействие с каждой из этих функций путем сигнального обмена выполняет соответствующий прикладной сервисный элемент (ASE).

Подсистема подвижной связи MAP⁸ обеспечивает взаимодействие разных сотовых сетей стандарта GSM в процессе поддержки роуминга или эстафетного переключения абонентской

¹ Должна соответствовать Рек. Q.761...Q.764, Q.766, Q.767 (некоторые станции имеют устаревшую версию ISUP-92, не соответствующую Q.767).

² В начальном адресном сообщении (Initial Address Message, IAM).

³ С использованием последующих адресных сообщений (Subsequent Address Messages, SAM).

⁴ Транзакцией называют элемент диалогового взаимодействия без соединения. Подсистема TCAP определена в Рек. Q.771...Q.775.

⁵ Например, для доступа центров коммутации мобильной связи к регистру HLR.

⁶ Например, услуги автоматического обратного вызова – когда занятый абонент Б освобождается, его станция сообщением TCAP информирует станцию А и та автоматически устанавливает соединение абонентов А и Б.

⁷ Соответствует Рек. Q.1205, Q.1208, Q.1211, Q.1213...Q.1215, Q.1218, Q.1219, Q.1290.

⁸ Соответствует Рек. Q.1051 и стандарту ETSI GSM 09.02.

станции, а именно – обновление абонентских данных в опорных HLR и визитных VLR регистрах местонахождения, прямой обмен без установления соединения между центрами коммутации сотовой сети MSC, предоставление дополнительных услуг мобильным абонентам и обмен тарифными данными. Сигнальный обмен для каждой из этих функций выполняет соответствующий сервисный элемент ASE.

Подсистема BSSAP – это протокол взаимосвязи центров коммутации MSC с контроллерами базовых станций BSC.

Подсистема подвижного пользователя MUP необходима для взаимодействия разных сотовых сетей стандарта NMT-450 или NMT-900 в процессе поддержки роуминга. Она обеспечивает прямой обмен без соединения между узлами коммутации MTX сотовой сети для обновления данных местонахождения, маршрутизации, регистрации и отмены дополнительных услуг и т.п.

Подсистема HUP поддерживает процедуру эстафетного переключения абонентской станции путем обмена между коммутационными узлами MTX, непосредственно соединенными речевыми каналами.

Подсистема техэксплуатации OMAP¹ позволяет персоналу управлять сетью ОКС из ЦТЭ – добавлять, изменять или удалять данные маршрутизации отдельных пунктов сигнализации, тестировать их маршрутные таблицы на наличие слишком длинных или петлевых маршрутов, тестировать используемые сигнальные каналы, контролировать нагрузки сети, выполнять нужные измерения и т.п. Сигнальный обмен в этих процедурах поддерживает прикладной сервисный элемент эксплуатации и техобслуживания OMASE.

10.2.2. Сигнализация в сетях ISDN

Соединения N-ISDN предусматривают цифровую абонентскую сигнализацию (DSS), межстанционное взаимодействие с помощью ОКС №7 и передачу пакетизированной сигнальной информации пользователя по каналу D, а его данных – по каналам В основного доступа.

Сигнальные процедуры в канале D не зависят от вида связи (речь, видео, данные) и определяются *D-канальным протоколом*, основанным на уровнях 1–3 модели OSI. В этой модели доступ к обслуживанию низшим уровнем предусмотрен через *гипотетические точки доступа* (Service Access Point, SAP), имеющие *идентификаторы* (SAP Identifier, SAPI), фактически определяющие коды разных процедур (сигнализация, эксплуатационные задачи, пакетная передача данных пользователя). В соединении терминалов ISDN осуществляется логическое взаимодействие функций одинаковых уровней в этих терминалах и на станции, правила которой называют *протоколами соответствующих уровней*. Взаимодействующие уровни физически не связаны друг с другом, а их связь называется *логическим соединением (каналом)*. Процедура логической связи уровней 2 D-канального протокола называется *процедурой доступа звена данных к каналам D* (Link Access Procedure for D-channels, LAPD). Реальный обмен идет в физической среде и определяется физическим уровнем. Например, при установлении исходящего соединения нужен обмен между функциями сетевого уровня 3 терминала и станции. Тогда этот уровень в исходящем терминале обращается к уровню 2, тот к уровню 1 и в обратном порядке на станции. Таким образом, уровни непосредственно связаны только вертикально. Их связь реализуется *примитивами* (элементарными сообщениями): *запросами* (request) и *командами* (command) сверху вниз и *откликами* (response) и *индикациями* (indication) снизу вверх. Общие функции логических уровней следующие:

¹ Соответствует Рек. Q.750, Q.752...Q.755.

- уровень 3 формирует и анализирует сигнальную информацию и обеспечивает установление и освобождение соединений между терминалами и станцией и предоставление абонентам дополнительных услуг;
- уровень 2 оформляет эту информацию в пакеты (кадры – frame), обеспечивает защиту от ошибок, управляет пакетным обменом и синхронизацией;
- уровень 1 выполняет физическую передачу потоков бит по каналу D, адаптацию к конкретной среде передачи и поразрядное тактирование.

Вся информация передается по каналу D в пакетах, каждый из которых начинается и оканчивается *флагом* (01111110). При отсутствии информации передаются не пустые пакеты, а постоянная последовательность единиц, необходимая для организации бесконфликтного доступа к каналу D при многотерминальном подключении. Пакет не должен иметь комбинаций, совпадающих с флагом, поэтому уровень 2 анализирует содержимое пакета и добавляет нуль после каждых последовательных пяти единиц. Этим исключается возможность восприятия содержимого пакета как свободного состояния канала D (8 единиц подряд). На приеме вставленные нулевые биты удаляются. Сигнальное сообщение завершается проверочной последовательностью, сформированной уровнем 2 по заданным правилам из содержимого пакета. Приемник тоже образует эту последовательность и сопоставляет с принятой, чтобы обнаружить ошибки, допущенные при передаче. При необходимости пакет перезапрашивается. Формат сигнального сообщения канала D дан на рис. 10.5, где обозначено:

- TEI (Terminal Equipment Identifier) – *идентификатор терминала*. Он позволяет при наличии нескольких абонентских терминалов отнести передаваемую информацию к нужному терминалу, т.е. к *определенному логическому соединению уровня 2*. Для предоставления TEI есть специальная процедура, в которой значения 0–63 фиксированы для терминалов разных типов, значения 64–126 станция произвольно назначает терминалам, а TEI = 127 означает «любой терминал», т.е. обращение станции ко всем терминалам одновременно.
- PD (Protocol Discriminator) – *дискриминатор (указатель) протокола*, определяющий класс протокола и назначение сигнальной информации уровня 3 (для управления соединением с коммутацией каналов или пакетов или, возможно, для иных целей).
- CR (Call Reference) – *указатель логического соединения*, определяющий логическое соединение, к которому относится сигнальное сообщение уровня 3.

Из-за множественного подключения к шине S надо определять конкретный терминал, использующий канал D. Для этого каждый из них имеет свое логическое соединение уровня 2 со станцией, задаваемое адресом этого уровня в байтах 1 и 2 сигнального пакета (см. рис. 10.5). В команде станции всегда указывается адрес, по которому она передается, в отклике на команду терминал дает свой адрес. Байт 1 адресного поля содержит бит c/r (command/response), определяющий, является сообщение командой или откликом (c/r = 0 – команда терминала или отклик станции; c/r = 1 – наоборот), и идентификатор точки доступа к обслуживанию (SAPI), задающий процедуры: сигнализации по протоколу Рек. I.451 (SAPI = 0); пакетной передачи по каналу D данных пользователя соответственно Рек. X.25 (16); управления (63) (например, назначения TEI терминалу).¹ Байт 2 содержит TEI.

Поле управления (байт 3) определяет тип пакета и имеет соответствующий формат. Есть нумерованные квитуемые (типа I) и нумерованные неквитуемые (типа U) пакеты для переноса информации и нумерованные квитуемые пакеты типа S для функций управления

¹ Значения SAPI = 32...47 – резерв для национального использования.

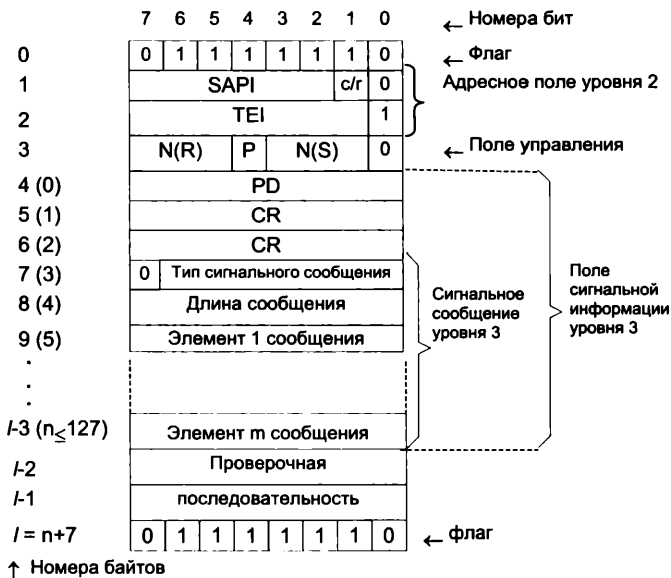


Рис. 10.5. Формат пакета типа I

и эксплуатации. Пакеты типа U нужны для установления логического соединения уровня 2 между терминалом и станцией, после чего возможен обмен данными в пакетах типа I или S.

Логическое соединение уровня 2 может находиться в одном из состояний:

Состояние 1. Идентификатор TEI не назначен, информационный обмен по каналу D невозможен. Для перехода в состояние 2 (с назначенным TEI) терминал при первом подключении к интерфейсу S запрашивает TEI с помощью пакета типа U, в адресном поле которого указывает SAPI = 63 (процедура управления) и TEI = 127 (любой терминал). Перед назначением TEI станция может

проверить, не дан ли этот TEI другому терминалу. Для этого она посылает сразу всем терминалам основного доступа пакет типа U с запрашиваемым TEI, с SAPI = 63 и TEI = 127 в адресном поле. При наличии терминала с этим TEI он откликается, а иначе станция считает значение TEI свободным и отдает его терминалу, заказавшему данную процедуру. Назначенный идентификатор сохраняется в памяти терминала до его отключения от шины S.

Состояние 2. TEI назначен, возможен обмен неквартируемой информацией по каналу D в пакетах типа U. Это состояние каждого пассивного терминала основного доступа. Оно позволяет устанавливать логическое соединение уровня 2 и переходить в состояние 3.

Состояние 3. Многопакетное взаимодействие. Передается квартируемая информация уровня 3 в пакетах типа I (или S). Каждый пакет в поле управления содержит свой последовательный циклический номер N (S), циклический номер последнего принятого пакета N (R) и бит P (Poll-bit) запроса повторения потерянного или искаженного пакета. Поле информации содержит сигнальную информацию уровня 3: указатель протокола PD; указатель логического соединения CR и собственно сигнальное сообщение переменной длины (до 128 байт) с заголовком, определяющим его тип (характер информации – адрес, команда и т.п.) и длину в байтах.

В каналах D_{64} доступа на первичной скорости отличие сигнализации только в том, что интерфейс постоянно активен и поэтому не нужны процедуры его активации/деактивации, а при отсутствии кадров уровня 2 непрерывно передаются флаги.

10.2.3. Сигнализация в сетях подвижной связи

Межстанционная сигнализация. Сотовые сети подвижной связи общего пользования в странах СНГ построены преимущественно по стандартам NMT и GSM. Взаимодействие между центрами коммутации MTX сетей стандарта NMT или между центрами MSC, контроллерами базовых станций BSC, опорными HLR и визитными VLR регистрами

местонахождения сетей стандарта GSM выполняется с помощью ОКС № 7 – его подсистем HUP и MUP в первом случае и MAP и BSSAP – во втором. На сетях NMT при отсутствии ОКС № 7 между определенными МТХ может также использоваться модифицированная система сигнализации R2D, в которую для отображения специфики подвижной связи дополнительно к группам управляющих сигналов I и II прямого и А и В обратного направлений введена группа сигналов R, общая для обоих направлений, и изменен смысл некоторых кодовых комбинаций в группах I, II, А, В [17]. Взаимодействие сетей подвижной и фиксированной связи обеспечивается, где возможно, с помощью ОКС № 7, а в остальных случаях используются соответствующие ситуации системы сигнализации ТфОП.

Абонентская сигнализация в сетях NMT. В каждой ячейке сети, кроме разговорных радиоканалов (traffic channels), есть канал вызова (calling channel), на который настроены все пассивные подвижные радиотелефоны, находящиеся в этой ячейке, и который используется для вызова абонентов и приема вызовов от них. Вся иная сигнальная информация к или от радиотелефона передается по разговорным каналам. Каждый сигнал образует отдельный кадр (frame), информационная часть которого обычно имеет 16 шестнадцатиричных цифр (64 бита). Кроме этого, кадр содержит 15 бит тактового и 11 кадрового синхросигнала и проверочные биты: задержанные информационные и по одному биту контроля четности на каждую из 16 цифр, поэтому в полном кадре 166 бит. Кадры передаются со скоростью 1200 Бод с помощью быстрой частотной манипуляции (Fast Frequency Shift Keying, FFSK). Логическим нулю и единице соответствуют частоты 1800 и 1200 Гц, а переход от нуля к единице происходит без смены фазы сигнала. Общий формат информационной части сигнального кадра показан на рис. 10.6. В каждом кадре указывается номер используемого или назначаемого радиоканала, код зоны (traffic area) сети этого стандарта (Y_1Y_2) и номер радиотелефона, которому или от которого передается кадр. Префикс Р определяет тип кадра, т.е. вид сигнала, и соответствующее содержание поля дополнительной информации (цифра набранного номера и т.п.). Неиспользуемые в некоторых ситуациях поля кадра заполняются нулями.



Рис. 10.6. Формат информационной части сигнального кадра

При установлении, поддержке и освобождении соединений обмен сигнальными кадрами происходит в основном между радиотелефоном и центром коммутации МТХ. От МТХ к базовой станции (БС) передаются только команды активизации или деактивизации приемопередатчика указанного радиоканала, включения процедуры измерения уровня радиосигнала, образования испытательного шлейфа; а от БС к МТХ – подтверждение принятых команд, данные измерений и аварийные сигналы. Сигнальный обмен между БС и радиотелефоном сводится к посылке от БС измерительной частоты 4000 Гц, используемой радиотелефоном для определения и индикации уровня сигнала на своем экране и возвращаемой им к БС, которая по ней тоже оценивает уровень сигнала и при его снижении до критического информирует МТХ соответствующим кадром.

Абонентская сигнализация в сетях GSM. Недостатки абонентской сигнализации стандарта NMT: использование тональных частот и разговорных каналов и относительно медленный сигнальный обмен. В цифровых сетях абонентская сигнализация использует отдельные радиоканалы. Как пример, рассмотрим стандарт GSM-900.

На каждой несущей есть восемь временных позиций (окон), в совокупности образующей TDMA-кадр (цикл передачи). Каждые 26 или 51 кадров объединяются в мультикадр (сверхцикл). Они, в свою очередь, группируются в суперкадр, содержащий 51 мультикадров из 26 кадров или 26 мультикадров из 51 кадра. Каждые 2048 суперкадров образуют гиперкадр¹. Определенный физический канал использует одноименное временное окно в последовательности кадров. Передаваемые цифровые сообщения и данные до формирования физических каналов группируются и объединяются в логические каналы таких типов: два канала нагрузки (Traffic Channel, TCH) для кодированной речи и данных и 9 каналов управления (Control Channel, CCH) для управления и абонентской сигнализации. В одном физическом канале может быть несколько логических – для передачи речи, сигналов управления, подстройки несущих частот, синхронизации и организации абонентского доступа. Предусмотрены пять вариантов формата окна, которые в мультикадре поочередно формируются на одной временной позиции. Основной формат – обычный пакет (Normal Burst, NB), используется для образования логических каналов нагрузки и большинства управляющих каналов. В мультикадре из 26 кадров этот пакет формируется во всех кадрах, кроме 12-го и 25-го.

Информационный блок (114 бит), содержащий, например, речевое сообщение, разделен на два блока по 57 бит, между которыми помещена «обучающая» последовательность (26 бит), нужная для установки корректора приемника в соответствии с текущими характеристиками радиоканала.

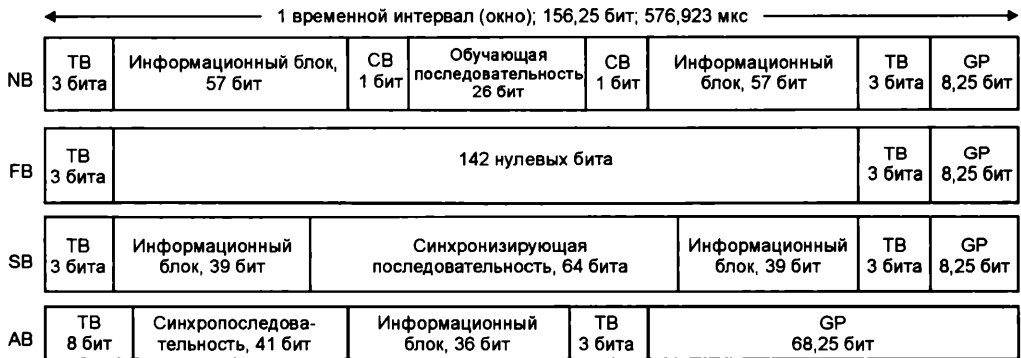
Кроме обычного пакета имеются (рис. 10.7):

- *пакет подстройки частоты* (Frequency correction Burst, FB) – периодически повторяемые окна этого формата образуют логический канал подстройки частоты (Frequency Correction Channel, FCCN), в котором передается немодулированная несущая с фиксированным сдвигом относительно номинальной частоты канала, что позволяет синхронизировать несущую терминала;
- *пакет синхронизации* (Synchronization Burst, SB) – соответствующие окна образуют логический канал кадровой синхронизации (Synchronization Channel, SCH), в котором передается 64-битовый синхросигнал с номером кадра и идентификационным кодом БС (этот пакет всегда сопровождает пакет FB);
- *установочный пакет* (Dummy Burst, DB) для установки и тестирования канала связи (его формат аналогичен NB, но не имеет проверочных битов);
- *пакет доступа* (Access Burst, AB), нужный для организации доступа подвижного терминала к новой БС в процедуре эстафетного переключения.

Кроме логических каналов нагрузки – полноскоростного TCH/F (Full rate) на 22,8 кбит/с и полускоростного TCH/H (Half rate) на 11,4 кбит/с, есть четыре группы управляющих и сигнальных логических каналов:

- 1) общие управляющие каналы (Common Control Channels, CCH) одностороннего действия:
 - *канал вызова* (Paging Channel, PCH) для вызова подвижных терминалов со стороны БС;
 - *канал общего доступа* (Random Access Channel, RACH) для запроса терминалами назначения им индивидуального управляющего канала группы 2;

¹ Длительность окна – 576,9 мкс; кадра – 4,615 мс; мультикадра из 26 кадров – 120 мс, из 51 кадра – 235,385 мс; суперкадра – 6,12 с; гиперкадра – 12533,76 с. Большая длина гиперкадра определяется системой криптографической защиты, в которой номер кадра является входным параметром.



ТВ (Tail Bits) - концевые биты; СВ (Checkl Bits) - проверочные биты; GP (Guard Period) - защитный период

Рис. 10.7. Форматы временного окна

- канал *разрешения доступа* (Access Grant CHannel, AGCH) для выдачи терминалу от БС номера назначенного индивидуального управляющего канала;
- 2) автономные выделенные управляющие каналы SDCCH (Stand-alone Dedicated Control CHannels) двустороннего действия для передачи от БС запроса нужной информации и номера назначенного канала нагрузки, а от терминала – адресной информации, данных о заказываемых услугах и т.п.:
 - выделенный управляющий канал с четырьмя подканалами SDCCH/4;
 - выделенный управляющий канал с восемью подканалами SDCCH/8;
 - 3) совмещенные управляющие каналы (Associated Control CHannels, ACCH) двустороннего действия:
 - *быстрый совмещенный управляющий канал* (Fast ACCH, FACCH) для взаимодействия БС и терминала в процедуре эстафетного переключения;
 - *медленный совмещенный управляющий канал* (Slow ACCH, SACCH) для передачи от БС к терминалу команд установки мощности передатчика, а в обратном направлении – данных о установленном уровне мощности, уровне и качестве принимаемых радиосигналов;
 - 4) каналы управления передачей (Broadcast Control CHannels, BCCH):
 - канал подстройки частоты FCCH;
 - канал синхронизации SCH;
 - канал управления передачей BCCH для назначения общих управляющих каналов, образования объединенных каналов и т.п. (в пакетах DB).

Совмещенные управляющие каналы всегда объединяются в мультикадре с каналами нагрузки и с автономными управляющими каналами.

Аббревиатура названия объединенного канала получает расширение /F, /H, /C4 или /C8 при совмещении с TCH/F, TCH/H, SDCCH/4 или SDCCH/8 соответственно, например, SACCH/H – медленный управляющий канал, совмещенный с полускоростным каналом нагрузки. В частности, при совмещении в 26-кадровом мультикадре по варианту SACCH/F кадры 0–11 и 13–24 используют для полноскоростного канала нагрузки TCH/F, кадр 12 – для канала SACCH и кадр 25 остается пустым. В варианте SACCH/H два полускоростных канала TCH/H чередуются в кадрах 0–11 и 13–24, причем для одного из них совмещенный управляющий канал будет в кадре 12, а для второго – в кадре 25.

10.2.4. Сигнализация в корпоративных сетях

Ведомственные сети предусматривают взаимодействие с сетями общего пользования и используют соответствующие системы и методы сигнализации. Дальнейшая реконструкция этих сетей на цифровом оборудовании коммутации и передачи может привести к их превращению в классические корпоративные сети. Типовая корпоративная сеть имеет разнотипные интегральные УАТС, взаимодействующие друг с другом непосредственно, через свои транзитные узлы и через сети общего пользования, и обеспечивает своим абонентам взаимную телефонную, факсимильную, компьютерную, подвижную и мультимедийную связь, специфические дополнительные услуги и доступ к сетям общего пользования. В рамках такой сети целесообразно использовать специально разработанный для нее протокол сигнализации QSIG.

Сигнализация QSIG на физическом уровне допускает оптические, медные цифровые или аналоговые двух- или четырехпроводные линии, спутниковые и радиолинии, а в остальных аспектах на физическом и канальном уровнях практически совпадает с DSS1. Отличия на сетевом уровне вызваны тем, что протокол QSIG предназначен не для абонентской сигнализации, а для организации межстанционной и транзитной связи в корпоративных сетях и для поддержки специфических услуг этих сетей.¹ Сетевой уровень QSIG имеет подуровни управления основным соединением QSIG-BC (Basic Call) и общий функциональный QSIG-GF (Generic Functional) для предоставления дополнительных услуг. Подуровень QSIG-GF поддерживает ориентированный на соединение или без соединения перенос данных для независимых от основного соединения дополнительных и сетевых услуг.

Протокол QSIG имеет уровень, соответствующий прикладному в модели OSI. Он обеспечивает управление дополнительными услугами, для чего использует координированные специальными функциями сервисные элементы удаленных операций (Remote Operation Service Elements, ROSE), ассоциированного управления (Associated Control Service Elements, ACSE) и диалога (Dialog Service Elements, DSE). Подробней протокол QSIG рассмотрен в [14].

10.2.5. Сигнализация в пакетных сетях

Специфика пакетных сетей заключается в том, что, как правило, нет нужды в отдельных каналах и системах сигнализации. Адресная, маршрутная и иная служебная информация передается в таких же пакетах и по тем же принципам, что и данные пользователей. Классический пример – сети протокола X.25, охватывающего три нижних уровня модели OSI. Каждый терминал данных (Data Terminal Equipment, DTE) при необходимости получает виртуальное соединение с использованием постоянно существующих логических каналов, которых ему может быть доступно максимум 15 групп по 255 каналов (реальное число определяется администрацией сети). Процедура создания соединения инициируется DTE, который по свободному логическому каналу с наибольшим номером посылает окончательному оборудованию двустороннего канала данных (Data Circuit Terminating Equipment, DCE) пакет запроса соединения с адресом вызываемого DTE. DCE пересылает этот пакет по сети X.25 к DCE, с которым связан вызываемый DTE, на входящей стороне выбирается логический канал с наименьшим номером, в обратном направлении передается пакет с подтверждением приема запроса, и начинается фаза переноса данных. Виртуальное соединение может освободить любой DTE посылкой пакета разъединения. Если DTE включен как терминал доступа

¹ Приоритеты, вмешательство в соединения, расширенные возможности запрета связи, идентификация имен, автоматическое распределение вызовов, подвижная связь, возможности создания нестандартных услуг и т.п.

2B+D к ISDN, то для соединения с DCE сети X.25 он (или его терминальный адаптер) должен использовать сигнализацию DSS1, а виртуальный канал с DCE устанавливает по полученному каналу В средствами уровня 3 протокола X.25.

Исключение из правила отсутствия каналов и систем сигнализации – пакетная сеть ATM. Она изначально разрабатывалась как универсальная транспортная система для любых видов информации и поэтому предусматривает виртуальные каналы сигнализации и метасигнализации в интерфейсах UNI и применения ОКС № 7 для установления виртуальных трактов и каналов на сетевом уровне.

10.2.6. Сеть общеканальной сигнализации

Сеть общеканальной сигнализации строится в соответствии с Рек. Q.705. Каждый объект сети связи, использующий ОКС № 7, является пунктом сигнализации (Signalling Point, SP) сети ОКС, которому назначается 14-битовый код (Signalling Point Code, SPC). По принадлежности SP делят на национальные (National SP, NSP), международные (International SP, ISP) и комбинированные¹, по функциям – на оконечные (Signalling End Point, SEP) и транзитные (Signalling Transfer Point, STP). Между смежными SP существует пучок звеньев сигнализации, содержащий по крайней мере одно звено (Signalling Link, SL), т.е. двусторонний сигнальный канал (как правило, 64 кбит/с). Для надежности звенья сигнализации резервируются по принципу $n + 1$ и работают в режиме распределения нагрузки².

Два SP имеют сигнальную взаимосвязь (signalling relation), если их подсистемы пользователей (ISUP и др., см. рис. 10.4) могут обмениваться сигнальными сообщениями. Сигнальная взаимосвязь реализуется в виде пучка маршрутов сигнализации (Signalling Route Set, SRS), содержащем хотя бы один маршрут. Сеть ОКС может функционировать в связанном (Associated Mode of Signalling, AMS), квазисвязанном (Quasi-Associated Mode of Signalling, QAMS) или несвязанном (Non-Associated Mode of Signalling, NAMS) режимах сигнализации.

В связанном режиме нет STP и для каждой сигнальной взаимосвязи есть только один маршрут, совпадающий с маршрутом передачи полезной нагрузки. В итоге топология сети ОКС такая же, как сети связи, но могут плохо использоваться отдельные звенья сигнализации, невозможно также перенаправление сигнального обмена при отказе маршрута сигнализации. Поэтому этот режим допустим только для начальных этапов создания сети ОКС.

В квазисвязанном режиме вводятся транзитные пункты STP, каждый из которых обслуживает ряд сигнальных взаимосвязей. Для конкретной взаимосвязи назначается только один маршрут, который может проходить через один или несколько STP³ и не совпадать с маршрутом полезной нагрузки. Это позволяет улучшить использование звеньев сигнализации и относительно оперативно перенаправлять сигнальный обмен при отказах или перегрузках отдельных маршрутов. Для централизованного контроля нагрузки, управления сигнальными потоками и решения административных задач необходим соответствующий центр управления. На сегодня сети ОКС № 7 стран СНГ можно ориентировать на этот режим.

В несвязанном режиме, перспективном для сети ОКС, каждая сигнальная взаимосвязь имеет пучок маршрутов, проходящий через разные STP, и выполняется динамическое

¹ Комбинированный пункт сигнализации может иметь разные коды в международной и национальной сетях.

² Разные звенья пучка должны организовываться в разных трактах или средах передачи.

³ Для минимизации задержек число STP в маршруте должно быть минимальным (один – два).

управление потоками сигнальных сообщений. Реализовать этот режим можно только на достаточно развитой сети ОКС с полноценными¹ системами сигнализации № 7 во всех SP.

10.3. Синхронизация сети

10.3.1. Общие положения

На цифровой сети надо обеспечить тактовую (поэлементную), цикловую и сверхцикловую синхронизацию. Тактовая синхронизация выполняется по частоте, чтоб достичь одинаковых тактовых частот всех трактов передачи, и по фазе, чтоб достичь одинаковых (или кратных длительности цикла передачи) задержек групповых сигналов во всех направлениях связи. На каждой станции сети тактовая частота в трактах передачи определяется ее тактовым генератором (ТГ), а в трактах приема – ТГ встречной станции. Если принимаемая тактовая частота превышает частоту ТГ станции, то информация во входные буферы записывается с большей скоростью, чем считывается, что иногда приводит к потере отдельных битов. Если соотношение частот обратное, то иногда повторно считываются отдельные биты и возникает искажение информации. Соответственно имеют место «проскальзывания» первого и второго типов. Нарушения цикловой синхронизации приводят к проскальзываниям циклов передачи (кадров), потерь границ ячеек АТМ и т.п.

Планирование системы синхронизации должно обеспечить допустимое число проскальзываний $N_{\text{доп}}$ за единицу времени. Значение $N_{\text{доп}}$ зависит от вида информации, например, для речевых сигналов 64 кбит/с допускается до 300 проскальзываний в час (что прослушивается, как один щелчок за пять минут), для факсимильной связи – около 100 и т.п. Учитывая эволюцию цифровых сетей в мультисервисные, следует планировать минимальное $N_{\text{доп}}$, соответствующее самой чувствительной к проскальзываниям услуге связи с учетом возможных будущих услуг. Величина $N_{\text{доп}}$ определяет требования к относительной стабильности δ тактовых генераторов.

Есть два основных режима синхронизации сети – асинхронный (плезиохронный) и синхронный. В асинхронном каждая станция имеет свой независимый ТГ, а относительное отклонение тактовых частот любых двух станций сети должно соответствовать условию $|f_m - f_n| / f_m \leq \delta$. В этом режиме отказ любого узла сети не влияет на синхронизацию других узлов, но невозможно исключить проскальзывания и поэтому предъявляются повышенные требования к стабильности всех ТГ без исключения, не позволяющие применять обычные дешевые кварцевые генераторы. В частности, Рек. G.811 требует для международных цифровых сетей в плезиохронном режиме $\delta \leq 10^{-11}$.

В синхронном режиме возможна принудительная или взаимная синхронизация тактовых генераторов. В первом случае главная станция синхронизирует подчиненные по принципу «ведущий – ведомый» (master – slave) – тогда тактовые частоты остаются одинаковыми, а разность фаз постоянной. Часто предусматривается иерархическая система синхронизации, когда главный ТГ первого уровня синхронизирует ведомые ТГ второго уровня, а те, в свою очередь, – ТГ третьего и т.д. (как правило, не больше шести уровней). При выходе из строя определенного генератора подчиненные ему ТГ переходят в плезиохронный режим работы и берут на себя синхронизацию ТГ низших уровней. Таким образом, при наличии только одного главного генератора требования к стабильности ТГ низших уровней остаются высокими. Возможна и «олигархическая» система синхронизации, когда несколько равноправных син-

¹ С обязательным наличием подсистем SCCP, TCAP, OMAP.

хронизированных ТГ первого уровня управляют работой ТГ второго уровня, при этом вероятность потери управляющего синхросигнала и, соответственно, требования к стабильности ТГ низших уровней существенно уменьшаются.

При взаимной синхронизации ТГ каждая станция синхронизируется по усредненной величине тактовых частот всех своих трактов приема («демократическая» синхронизация). Возможна и иерархическая система синхронизации, в которой более стабильные ТГ имеют большее влияние – тогда каждая станция синхронизируется по средневзвешенной частоте трактов приема.

10.3.2. Синхронизация цифровых сетей

Целесообразно создавать единую для цифровой транспортной сети и цифровых сетей доступа олигархическую систему принудительной синхронизации, предусматривающую уровни:

- 1 – первичных тактовых генераторов (Primary Reference Clock, PRC);
- 2 – ведомых автономных устройств синхронизации (Stand-Alone Synchronization Equipment, SASE);
- 3 – ведомых устройств синхронизации, встроенных в ЦСП, коммутаторы АТМ, опорное оборудование ЦСК и т.п.;
- 4–6 – ведомых внутренних ТГ разных уровней иерархии оборудования ЦСК (например, ВКМ – ВАМ – вынесенный концентратор), ЦСП и т.п.

Каналы синхронизации должны образовываться на основе информационных потоков цифровых трактов наилучшего качества в такой приоритетной последовательности:

- тракты STM-N оптических линий SDH (на любые расстояния);
- тракты E1 (2048 кбит/с) PDH (до 100 км);
- тракты E1 радиорелейных линий SDH (до нескольких сот километров).

В отдельных случаях допускается использование трактов E $\frac{1}{2}$, отдельных качественных оптических или коаксиальных линий ограниченной длины или составных трактов рискованного качества с вкраплением участков SDH.

Первичные высокостабильные PRC должны сверяться со всемирным координированным временем¹, соответствовать требованиям ETS 300 462-6 и быть способными обеспечить полноценную плезиохронную работу национальной сети на международных стыках. PRC и ведомые генераторы второго уровня должны быть оборудованы средствами дистанционного техобслуживания. Опорные генераторы третьего уровня (в ЦСК и ЦСП) должны соответствовать требованиям Рек. G.811, G.812, G.813.

Цифровые сети отдельных операторов могут иметь собственные PRC и SASE или получать соответствующие синхросигналы от общей сети синхронизации через тестированные стыки.

10.3.3. Основные требования к системам синхронизации ЦСК

Главный ТГ системы – генератор третьего уровня (ТГ3). Он должен иметь не менее двух входов синхронизации от высшего уровня иерархии (SASE или PRC). В отдельных случаях на первых этапах внедрения ЦСК допускается плезиохронный режим работы ТГ3. Оборудование ЦСК должно принудительно синхронизироваться от ТГ3. Выносные модули ЦСК имеют свои ТГ следующих уровней иерархии (ТГ4 для ВКМ, ТГ5 для ВАМ). Для синхронизации используются цифровые тракты, по которым осуществляется связь.

¹ Например, через спутниковую систему глобальной ориентации (Global Positioning System, GPS).

Каждый из генераторов ТГЗ–ТГ5 при повреждении тактовой синхронизации от основного сигнала должен, согласно с установленным приоритетом, автоматически переключаться на синхронизацию от резервного сигнала¹. Входы синхронизации должны переключаться в случае:

- пропадания или отключения синхросигнала;
- выхода частоты синхросигнала за полосу захвата системы фазовой автоподстройки частоты;
- скачка частоты синхросигнала свыше $1 \cdot 10^{-6}$.

Полоса захвата системы синхронизации в режиме вхождения в синхронизм должна быть не меньшей 100 Гц. При восстановлении синхронизации относительный скачок частоты не должен превышать $5 \cdot 10^{-7}$. Любые переключения в блоке тактовой синхронизации не должны вызывать скачок фазы свыше 61 нс. Допустимый относительный уход частоты ТГ из-за старения – до $1 \cdot 10^{-7}$ за год и из-за изменения температуры среды в рабочих условиях – до $3 \cdot 10^{-7}$.

Передачная характеристика системы синхронизации (отношение блужданий фазы на выходе системы синхронизации к блужданиям фазы в ИКМ сигналах на входе) должна иметь вид характеристики фильтра низких частот с коэффициентом передачи $K(f)$, дБ, и частотой среза $F_c = 0,1$ Гц. Наклон характеристики на частотах $F > F_c$ должен составлять 20 дБ/дек. Значения коэффициента передачи не должны превышать величин, приведенных в табл. 10.1.

Таблица 10.1. Передачная характеристика системы синхронизации

Частота блужданий на входе, Гц	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0
$K(f)$, не выше, дБ	0,2	0,2	0,2	0,2	-5,8	-13,8	-19,8	-25,8	-33,8	-39,8

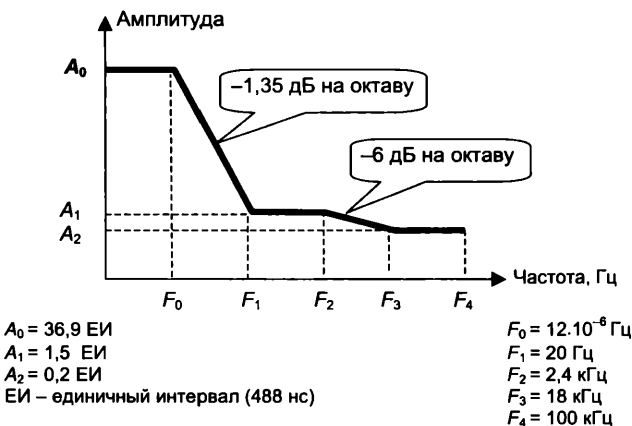


Рис. 10.8. Допустимые входные дрожания и блуждания фазы

состью не меньше $2 \cdot 10^{-9}$ и с точностью при выходе из режима запоминания не меньше $5 \cdot 10^{-7}$ в следующих аварийных состояниях соединительных линий ИКМ:

Система синхронизации должна входить в синхронизм и работать без проскальзываний при использовании сигналов синхронизации 2048 кГц, в которых имеются дрожания и блуждания фазы, соответствующие рис. 10.8. Собственный джиттер выходных тактовых сигналов блока синхронизации в ведомом режиме не должен превышать 0,05 единичного интервала (ЕИ). Тактовое оборудование ЦСК должно контролировать параметры сигналов синхронизации и переходить в плезиронный режим работы с запоминанием последнего значения частоты синхронизации (с точностью

¹ Только ТГ5 в ВАМ, соединенных с оборудованием ЦСК высшего ранга (ВКМ или ОпО) одним ИКМ трактом, могут не иметь резервного пути передачи сигналов синхронизации.

- отсутствие сигнала ИКМ;
- нарушение цикловой синхронизации длительностью более секунды;
- повышенный коэффициент ошибок (более $1 \cdot 10^{-3}$);
- дрожание и блуждание фазы, превышающие нормы рис. 7.8;
- недопустимое отклонение частоты принимаемого синхросигнала;
- обнаружение сигнала индикации аварии (AIS).

При выходе частоты синхронизации за границы полосы захвата системы синхронизации должно вырабатываться экстренное аварийное сообщение к ЦТЕ. В ведомом режиме блок синхронизации должен вырабатывать следующие аварийные и предупредительные сигналы:

- отказ тактового генератора;
- нарушение тактовой синхронизации;
- авария тракта синхронизации;
- состояние активности;
- отсутствие ТЭЗа системы синхронизации в кассете.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.

Цифровые методы передачи информации в телекоммуникационных системах

В современных телекоммуникационных системах повсеместно используются цифровые методы передачи информации. Интенсивное внедрение цифровых технологий обусловлено рядом их важных преимуществ по сравнению с аналоговыми. Цифровые системы передачи (ЦСП) имеют более высокую пропускную способность при условии применения эффективных методов модуляции, кодирования и реализации оптимальных методов приема. В ЦСП есть возможность более полного использования статистических характеристик передаваемых сообщений. Представление информации в универсальной цифровой форме обеспечивает большую гибкость реализации алгоритмов формирования, обработки и мультиплексирования сигналов, широкие возможности взаимодействия сетей разных типов. Достижения микроэлектроники и вычислительной техники допускают реализацию все более сложных цифровых алгоритмов.

Телекоммуникационная система – сложный комплекс, основной задачей которого является передача информации с заданными точностью и скоростью. Основные особенности процессов формирования и обработки сигналов, которые происходят в ЦСП, удобно рассмотреть на примере упрощенной структурной схемы, представленной на рис. П.1 [1].



Рис. П.1. Структурная схема ЦСП

Источник информации вырабатывает сообщения, подлежащие передаче по каналу связи. Это могут быть последовательности дискретных символов (данные, телеграфные сообщения) либо непрерывные сообщения (речь, телевидение, результаты телеизмерений и т.п.), превращенные в цифровую форму. Реальные сообщения содержат избыточность, и для их передачи в цифровом виде необходимо существенное увеличение пропускной способности канала. Для устранения значительной части избыточности и согласования источника информации с цифровой системой передачи используется *кодер источника*. При кодировании учитываются статистические свойства передаваемых сообщений, что позволяет существенно уменьшить необходимую скорость цифрового потока. Кодер вместе с декодером образуют *кодек источника*.

Непрерывный канал связи содержит в себе линию связи, передатчик и приемник сигнала. В зависимости от типа линии связи (волоконно-оптический кабель или кабель с медными жилами, пространство между передающей и приемной антеннами в радиосвязи и т. д.) структура прямо-передающих устройств изменяется. Отличие принятого сигнала от переданного обусловлено действием помех и искажений в канале связи. В модуляторе формируются сигналы-переносчики, формы которых должны удовлетворять требованиям к помехоустойчивости, полосе занимаемых частот, скорости передачи и стойкости к искажениям в линии связи. Источник и получатель сообщений оперируют, как правило, с двоичными символами, тогда как в каналах часто используют недвоичные (многопозиционные) ансамбли сигналов. В этом случае согласования алфавитов также является функцией модема, который включает как модулятор, так и демодулятор.

Помехоустойчивое кодирование является эффективным средством повышения правильности переданной информации. Это обусловило широкое использование кодов в цифровых телекоммуникационных системах. Возможность обнаруживать и исправлять ошибки в принятой информации возникает за счет введения избыточности при кодировании. В соответствии с теорией, возможно сколь угодно большое повышение правильности передачи информации, если скорость поступления информации от источника меньше пропускной способности канала. Достигается это применением довольно длинных корректирующих кодов. В реальных условиях длина кода ограничена допустимой сложностью устройств кодирования и прежде всего декодирования. Поэтому основная задача теории кодирования состоит в разработке таких помехоустойчивых кодов, чтобы они обеспечивали при конечной длине и допустимой избыточности кода необходимую правильность передачи.

Современные системы передачи информации, как правило, многоканальные и, кроме того, объединяются в телекоммуникационные сети. При этом возникают проблемы разделения сигналов отдельных каналов и множественного доступа разных пользователей к общим ресурсам сетей. Использование цифровых технологий позволяет эффективно решать и такие задачи.

Методы кодирования источника. В системах цифровой передачи сообщений методом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) характеристики кодирования-декодирования сигналов речи стандартизованы Рекомендациями Международного союза электросвязи (МСЭ) G.711 и G.712 (табл. П.1): частота дискретизации 8 кГц, квантование на 256 уровней, сжатие динамического диапазона по закону «А» и скорость цифрового потока на выходе кодера ИКМ 64 кбит/с. Сигналы звукового вещания высшего класса при кодировании методом ИКМ требуют скорости до 700 кбит/с на один монофонический канал.

Таблица П.1. Параметры методов кодирования источника

Алгоритм кодирования	Скорость, кбит/с	Отношение сигнал/шум, дБ	Задержка кодирования, мс	Рекомендация МСЭ
ИКМ	64	34...40	–	G.711
АДМ	32	24...29	–	G.722
АДИКМ	32	25	<5	G.726, G.727
LD-CELP	16	25	<2	G.728
MPLPC	12	20	40...60	–
VCELP	6,8	15	40...60	–

Если дискретизация сигнала речи выполняется с частотой Найквиста, имеет место большая корреляция между соседними отсчетами. Вследствие этого дисперсия разности соседних отсчетов меньше дисперсии самого сигнала. Это используется в дифференциальных методах кодирования. В случае дифференциальной ИКМ (ДИКМ) в канал передается цифровой поток, который отражает результаты квантования разности между входным сигналом и его копией, восстановленной по сигналу разности на передающей стороне. Аналогичная схема восстановления используется и в декодере ДИКМ для формирования оценки восстановленного сигнала.

Несмотря на сокращение избыточности, системы с ДИКМ на практике используются редко, поскольку они склонны к перегрузкам по крутизне. Чаще используются различные модификации алгоритма адаптивной дифференциальной ИКМ (АДИКМ), в которых осуществляются текущее оценивание уровня разности сигнала речи и соответствующая адаптация параметров квантования при передаче и восстановления сигнала при приеме. Известны также различные модификации дельта-модуляции, если в канал передается не величина разности, а только ее знак. При адаптивной дельта-модуляции (АДМ) изменяется величина прироста сигнала, который передается знаком.

Алгоритмы семейства CELP базируются на использовании устройства предсказания, возбуждаемого набором кодов. Кодеки CELP используются для превращения речевых сигналов в цифровую форму со скоростями 4–16 кбит/с. Использование достаточно сложных преобразований обуславливает заметную задержку сигнала, которая может достигать десятков миллисекунд. Обеспечивая хорошее качество и высокую разборчивость, такие кодеки находят применение в первую очередь в системах мобильной наземной и спутниковой связи. В частности, в системе GSM используется усовершенствованная модификация кодека LPC со скоростью цифрового потока 13 кбит/с и задержкой до 20 мс. Реализация эффективных алгоритмов преобразования осуществляется специализированными сигнальными процессорами.

Переход к цифровым методам обработки сигналов позволяет также широко применять статистическое кодирование при формировании сигналов цифрового телевизионного вещания (ЦТВ). Уменьшение избыточности в сигналах, передающих изображения, приводит к экономии полосы частот, которую занимает сигнал телевизионного вещания, и, соответственно, к увеличению количества одновременно передаваемых программ по тому же каналу связи. При этом становится возможным передавать программы звукового сопровождения, данные и сигналы интерактивного телевидения единым цифровым потоком. В системах ЦТВ кодирование сигналов изображения и звукового сопровождения осуществляется в соответствии с алгоритмом MPEG-2 [3].

В алгоритме кодирования MPEG-2 используется компенсация движения. Алгоритм выявляет движения в блочной структуре изображения и уменьшает избыточность путем предсказания кадра текущего изображения по предшествующему либо интерполяцией текущего изображения по предшествующему и следующему кадрам. Ошибка предсказания сжимается с помощью дискретного косинусного преобразования. Векторы движения объединяются с другой информацией и кодируются с использованием кодов переменной длины. В алгоритме MPEG-2 предусмотрено также статистическое кодирование звуковых сигналов с использованием широкого набора частот дискретизации (16–48 кГц) для организации многоканального (в том числе стерео) и многоязычного сопровождения. Более детально особенности процессов кодирования телевизионных изображений рассмотрены в п. 9.2.3.

Выбор параметров кодеров, реализующих алгоритм MPEG-2, связан с поиском компромисса между скоростью цифрового потока и качеством восстановленного изображения. Последнее, в свою очередь, зависит от визуальной сложности изображения, которое подлежит кодированию, наличия предварительной обработки сигнала перед кодированием, четкости

яркостного и цветового сигналов и их соотношения и т.п. Результирующая скорость цифрового потока определяется также и назначением системы передачи сигналов ЦТВ в общей структуре распределительной сети вещания. Например, в сети распределения программ ЦТВ по спутниковым каналам приняты следующие скорости [5]:

- для каналов подачи программ ЦТВ 25 Мбит/с;
- для каналов первичного распределения 25–10 Мбит/с;
- для каналов вторичного распределения 10–6 Мбит/с.

Эффективные методы модуляции в цифровых телекоммуникационных системах.

Помехоустойчивость передачи информации в каналах зависит как от характеристик передаваемых сигналов, так и от способа их приема. При оптимальном приеме реализуется наивысшая, *потенциальная помехоустойчивость*, и в современных модемах предусмотрено использование алгоритмов приема, близких к оптимальным. Поэтому дальнейшая оптимизация ЦСП осуществляется соответствующим выбором наилучших наборов (ансамблей) сигналов.

Наиболее распространенной количественной мерой случайных искажений информации в цифровых каналах является вероятность ошибки p в переданных двоичных символах (битах). Типичные значения вероятности ошибки в сообщениях, которые поступают получателю, изменяются от $p = 10^{-5} \dots 10^{-6}$ (передача цифровой телефонии) до $p = 10^{-10} \dots 10^{-11}$ (передача телевидения в цифровой форме).

Важной характеристикой ансамблей сигналов является удельная скорость $\gamma = R_k/F$, бит/(с·Гц), определяемая скоростью передачи информации R_k , приходящейся на единицу полосы частот F канала связи. Например, при двоичной передаче и наилучшем использовании полосы частот канала максимальная удельная скорость определяется пределом Найквиста $\gamma_{\max} = 2$ бит/(с·Гц).

Наряду с двоичными, в современных цифровых телекоммуникационных системах широко используются недвоичные (многопозиционные) ансамбли сигналов. Наибольшее распространение приобрели сигналы фазовой (ФМ), амплитудно-фазовой (АФМ) и квадратурной амплитудной модуляции (КАМ). Они могут быть наглядно представлены наборами точек (созвездиями) на плоскости (рис. П.2).

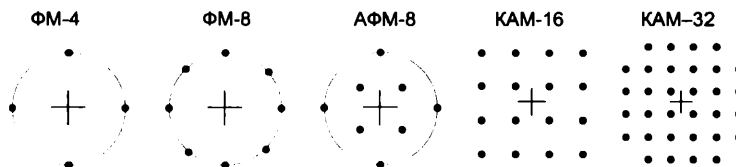


Рис. П.2. Многопозиционные ансамбли сигналов

Из теории известно, что помехоустойчивость приема сигналов зависит главным образом от обобщенного расстояния между ближайшими сигналами в созвездии. При таком наглядном представлении геометрическое расстояние на рисунке между сигнальными точками пропорционально обобщенному расстоянию, и по виду созвездия можно говорить о его помехоустойчивости и удельной скорости. Объем ансамблей сигналов изменяется в границах $M = 4–32$. При увеличении объема удельная скорость возрастает, поскольку каждый сигнал многопозиционного ансамбля переносит $\log_2 M$ бит.

Минимальное расстояние между соседними сигналами определяет отношение сигнал/шум E_b/N_0 , дБ, необходимое для приема сигналов с заданной вероятностью ошибки p (E_b – энергия сигнала на бит, N_0 – спектральная плотность мощности шума в канале). В цифровых системах, где не предъявляются высокие требования к эффективности использования

полосы частот, наиболее часто применяют сигналы фазовой модуляции ФМ-4, которым свойственно низкое необходимое отношение сигнал/шум в канале, но и малое значение удельной скорости. Это вытекает из данных, приведенных в табл. П.2. С увеличением объема ансамбля возрастает удельная скорость, но вместе с тем снижается помехоустойчивость (соответственно возрастает необходимое отношение сигнал/шум E_s/N_0). Если $M \geq 16$, ухудшение помехоустойчивости становится настолько большим, что использование многопозиционных ансамблей без соответствующего помехоустойчивого кодирования считается нецелесообразным.

Таблица П.2. Характеристики многопозиционных сигналов

Ансамбль	ФМ-4	ФМ-8	АФМ-8	КАМ-16	КАМ-32	КАМ-64	КАМ-128	КАМ-256
Удельная скорость γ , бит/(с·Гц)	2	3	3	4	5	6	7	8
Отношение сигнал/шум E_s/N_0 , дБ ($p = 10^{-5}$)	9,6	13,5	12,0	14,0	16,1	18,5	20,9	23,5

Методы помехоустойчивого кодирования. Одним из важных преимуществ цифровой связи по сравнению с аналоговой является не только возможность исправления случайных ошибок, возникающих в канале, но и реализация гибкого обмена между энергетическими и частотными показателями системы передачи. Существенного улучшения качества передачи можно достичь использованием эффективных методов помехоустойчивого кодирования. Поэтому такое кодирования предусмотрено в большинстве современных цифровых телекоммуникационных систем. При аналоговой передаче адекватные методы отсутствуют.

При выборе кода и алгоритма декодирования необходимо учитывать характеристики канала, формат и скорость передаваемой информации, задержку сигнала и возможность использования канала обратной связи, сложность и стоимость реализации кодека и другие факторы.

Известно много кодов, разных по структуре, принципам построения и способности к корректированию ошибок. В случае *блочных кодов* кодирование и декодирование происходят в границах кодовой комбинации (блока). Наибольшее распространение получили *сверточные коды*, в которых обработка идет непрерывно, без деления на блоки. Непрерывный характер сверточного кодирования во многих случаях адекватен непрерывному поступлению информации от реального источника информации. Важно, что потенциальные свойства относительно корректирования ошибок у сверточных кодов выше, чем у блочных кодов.

Основные характеристики сверточных кодов: скорость кода R и кодовое расстояние d_f . При подаче на вход кодера k информационных символов в канал передается n символов ($n > k$), при этом скорость кода составляет $R = k/n$ ($R < 1$). Таким образом при кодировании кодовым последовательностям придается избыточность, что и дает возможность обнаруживать и исправлять ошибки при декодировании. Величина расстояния d_f является мерой отличия ближайших кодовых последовательностей и определяет тем самым потенциальные возможности корректировать ошибки.

Эффективность сверточного кода существенно зависит от длины кодового ограничения v , определяемой длиной памяти регистра сверточного кодера. Поскольку сложность реализации алгоритмов декодирования пропорциональна величине 2^v , реально используются коды с небольшой длиной $v = 4-8$.

В табл. П.3 приведены сведения о кодовых многочленах типичных сверточных кодов [2]. Например, многочлены широко используемого кода со скоростью $R = 1/2$ в восьмеричном представлении имеют вид (133,171). В двоичном виде они представлены как (1011011,1111001) и определяют связи регистра кодера с его выходами.

Таблица П.3. Характеристики сверточных кодов

Скорость кода	Длина кодового ограничения $v = 4$		Длина кодового ограничения $v = 6$	
	Код	Θ , дБ	Код	Θ , дБ
1/3	25, 33, 37	6,02	133, 145, 175	6,99
1/2	31, 33	5,44	133, 171	6,99
2/3	31, 33, 31	5,23	133, 171, 133	6,02
3/4	25, 37, 37, 37	4,78	135, 163, 163, 163	6,73

Помехоустойчивое кодирование позволяет снизить требования к отношению сигнал/шум в канале E_b/N_0 и получить тем самым прямой энергетический выигрыш.

На рис. П.3 показаны зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум для разных методов модуляции и кодирования. Кривые для систем с кодированием при методе модуляции ФМ-4 приведены для различных скоростей кодирования. Обычно изменение необходимого отношения сигнал/шум вычисляют относительно зависимости для некодированной ФМ-4. За счет прямого исправления ошибок во время декодирования отношение сигнал/шум, необходимое для обеспечения заданного уровня вероятности ошибки после декодирования, уменьшается на величину выигрыша Θ , дБ, которая в зависимости от скорости кода изменяется в границах от 4 до 6 дБ.

Дальнейшее повышение энергетической эффективности возможно при использовании каскадных методов кодирования, которые предусматривают два этапа кодирования и, соответственно, декодирования. Дополнительно к сверточному кодированию с декодированием по алгоритму Витерби, играющего роль *внутреннего* кода, осуществляется также *внешнее* кодирование блочным недвоичным кодом Рида-Соломона. Внутренний код исправляет значительную часть ошибок канала, а доведение уровня ошибок до необходимого минимального значения осуществляется внешним декодером. Результирующая кривая декодирования показана на рис. П.3 (самая левая линия). Внешнее кодирование добавляет к выигрышу еще 1,5–2 дБ.

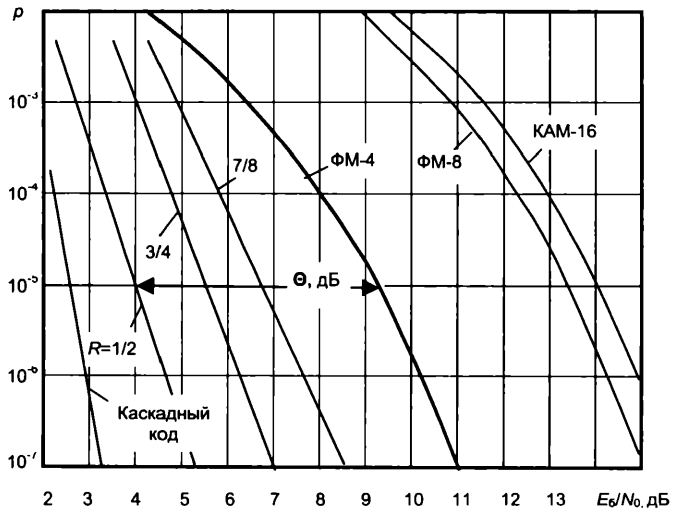


Рис. П.3. Помехоустойчивость сигналов и кодов

Несмотря на усложнение оборудования, каскадные методы помехоустойчивого кодирования все более широко используются в цифровых системах. Примером может служить система распределения программ ЦТВ в цифровом виде с использованием спутниковых ретрансляторов [4]. Структура передающей части системы показана на рис. П.4.



Рис. П.4. Передающая часть системы ЦТВ

В кодере и мультиплексоре происходит сжатие телевизионных и звуковых сигналов в соответствии с алгоритмом MPEG-2 и формирование единого цифрового потока. Реализация всех преобразований сигналов в цифровом виде дает возможность изменять параметры сигналов и кодов в широких пределах в зависимости от требований к качеству передаваемых программ вещания и условий передачи информационного сигнала спутниковым каналом. Внутренний код – сверточный ($R = 1/2-7/8$, $v = 6$), внешний код Рида–Соломона (204, 188). Для согласования кодов используется перемежитель, создающий условия для эффективного исправления пакетов ошибок внешним декодером. В зависимости от скорости цифрового потока и условий прохождения сигнала по спутниковому фрагменту распределительной сети параметры кодирования выбираются таким образом, чтобы обеспечить после декодирования вероятность ошибки $p = 2 \cdot 10^{-10} \dots 10^{-11}$.

Сверточное кодирование в сочетании с многопозиционными сигналами успешно используют для передачи цифровой информации в каналах с ограниченной полосой частот. Как следует из рис. П.2, при большом количестве сигналов в ансамбле расстояния между сигналами разные. Очевидно, что переходы под действием шума в области отдаленных сигнальных точек маловероятны и целесообразно защищать помехоустойчивым кодом только рядом расположенные сигналы. Теория таких сигнально-кодовых структур [1, 2] в данное время положена в основу построения модемов-кодеков для передачи цифровой информации в стандартных телефонных каналах.

Например, в соответствии с Рек. V.32 для передачи данных со скоростью до 9600 кбит/с используется ансамбль КАМ-32 [6]. Каждый сигнал такого ансамбля передает 5 двоичных символов. Соответственно рис. П.5 сверточное кодирование вводится таким образом, чтобы защитить лишь три младших символа, другие символы кодированию не подлежат. Соответственно Рекомендации V.34 скорость передачи коммутируемыми телефонными каналами доведена до 28,8 кбит/с также на основе применения сигнально-

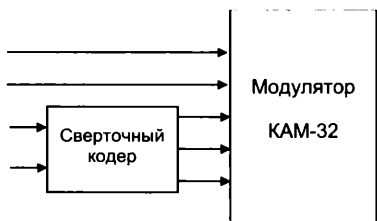


Рис. П.5. Структурная схема кодера-модулятора V.32

кодовых структур [7]. Цифровые реализации сигнально-кодовых структур широко используются в спутниковых и радиорелейных системах.

Приложение Б. Теория распределения информации

Б.1. Потоки вызовов и нагрузка

Вызовом называют требование обслуживания, а *потоком вызовов* – последовательность моментов их поступления. Если эта последовательность заранее известна (например, сеансы связи по расписанию), то поток является детерминированным, если случайна, – стохастическим, или случайным. Случайные потоки классифицируют в зависимости от свойств:

- *ординарности*, т.е. практической невозможности одновременного поступления двух или больше вызовов (соответственно потоки делят на ординарные и неординарные);
- *стационарности*, т.е. неизменности вероятностных характеристик потока во времени (различают стационарные и нестационарные потоки);
- *последствия*, т.е. зависимости вероятностных характеристик потока с определенного момента времени от количества моментов поступления и длительностей обслуживания предыдущих вызовов (есть потоки с последствием и без последствия).

Реальные потоки, как правило, ординарны или близки к ним. Неординарность случается разве что в почтовой связи, где, например, письма могут поступать на обработку пачками. Стационарность обычно бывает только приближительной и на протяжении относительно коротких промежутков времени – в период или час наибольшей нагрузки (ЧНН). Последствие характерно для малых групп источников вызовов (чем больше вызовов на обслуживании, тем меньше свободных источников и, соответственно, вероятность поступления новых вызовов). На практике последствие иногда учитывают при числе источников менее 100 (иногда менее 300).

Основные численные характеристики потока – *интенсивность* μ и *параметр потока* λ соответственно определяют математические ожидания числа вызовов и числа моментов поступления вызовов за единицу времени. Всегда $\mu \geq \lambda$, а их равенство означает ординарность потока (вызовы поступают по одному). Для стационарных потоков μ и λ не зависят от времени. Параметр потока задает вероятность поступления по крайней мере одного вызова за достаточно малый промежуток времени Δt : $P_{i \geq 1}(\Delta t) = \lambda \Delta t$.

Из множества классифицированных потоков основным является *простейший* – поток со свойствами ординарности, стационарности и без последствия. Его практическое значение следует из того, что сумма любых случайных потоков с интенсивностями одного порядка (например, от отдельных пользователей разных видов связи) при росте числа источников вызовов асимптотически приближается к простейшему. Вероятность поступления ровно i ($i = 0, 1, 2, \dots, \infty$) вызовов простейшего потока за единицу времени определяется формулой Пуассона

$$P_i = e^{-\lambda} \lambda^i / i!$$

Второй по важности *примитивный* поток – ординарный поток, параметр которого прямо пропорционален числу свободных источников вызовов. Этот поток имеет так называемое простое последствие (вероятность новых вызовов максимальна, когда все N источников свободны, и минимальна, когда число занятых источников максимально). Модель этого потока применяют при $N \leq 100$ (иногда 300). Вероятность поступления ровно i ($i = 0, 1, 2, \dots, N$) вызовов примитивного потока за единицу времени определяется формулой Бернулли

$$P_i = C_N^i \left[\alpha / (1 + \alpha) \right]^i \left[1 - \alpha / (1 + \alpha) \right]^{N-i},$$

где α – интенсивность одного источника в свободном состоянии; C_N^i – число сочетаний из N по i .

Каждый вызов обслуживается некоторое постоянное или, как правило, случайное время. В последнем случае чаще всего применяют показательный закон распределения длительности обслуживания, относительно хорошо аппроксимирующий реальные статистические данные и удобный математически вследствие так называемого «замечательного» свойства – закон распределения оставшейся части длительности обслуживания не зависит от части уже закончившейся и также является показательным с тем же средним значением:

$$P(\xi < t) = 1 - e^{-t/h},$$

где ξ – длительность обслуживания (случайная величина); h – средняя длительность обслуживания вызова (в теории распределения информации для упрощения формул обычно принимают h за условную единицу времени).

Моменты окончания обслуживания вызовов образуют *поток освобождений*. Если длительность обслуживания постоянна и потерь вызовов нет, то поток освобождений повторяет поток вызовов со сдвигом на длительность обслуживания. В случае показательного распределения вследствие его замечательного свойства момент окончания обслуживания не зависит от момента его начала – соответственно свойства потока освобождений не зависят от свойств потока вызовов и определяются только числом k вызовов, пребывающих на обслуживании, а поток освобождений является примитивным с параметром k/h . Вероятность того, что за промежутком времени t из k обслуживаемых вызовов освободятся i , определяется формулой Бернулли

$$P_i(k, t) = C_k^i e^{-(k-i)t/h} (1 - e^{-t/h})^i.$$

Обозначим через $i(t)$ число вызовов, пребывающих на обслуживании в момент t . Значение $i(t)$ определяет состояние системы обслуживания, т.е. число занятых обслуживающих устройств (каналов, комплектов и т.п.) и *нагрузку* системы в момент t . Математическое ожидание $Y(t)$ величины $i(t)$, т.е. среднее число одновременно занятых устройств, называют *интенсивностью обслуживаемой нагрузки* в момент t , а среднее значение $Y(t)$ в заданном промежутке времени (обычно в ЧНН) – *средней интенсивностью обслуженной нагрузки* Y . Отметим, что из-за большой длины последнего термина, его, как правило, сокращают до термина *обслуженная нагрузка*, или просто *нагрузка*. Там, где нет уточнений (в частности, и дальше в тексте), под нагрузкой следует понимать именно среднюю интенсивность обслуженной нагрузки Y . Она измеряется в эрлангах (Эрл). Один эрланг – это нагрузка, создаваемая одним занятым обслуживающим устройством. Нагрузка x Эрл группы из v устройств означает, что в рассматриваемом промежутке времени одновременно занято в среднем x устройств. Удельная нагрузка одного устройства не превышает 1 Эрл, в частности, для телефонной АЛ в ЧНН обычно составляет 0,05–0,2 Эрл, т.е. в ЧНН она в среднем используется такую же долю времени (соответственно от 3 до 12 минут).

Кроме реальной обслуженной нагрузки (carried traffic), различают формальные нагрузки:

- *потенциальная* A (potential traffic), которая была бы обслужена идеальной системой без потерь и задержек обслуживания вызовов;
- *потерянная* (lost traffic), определяемая разностью потенциальной и обслуженной;
- *поступающая* Λ (offered traffic), которая была бы, если бы каждый вызов, включая потерянные, обслуживался в среднем на протяжении h (поступающая нагрузка 1 Эрл означает, что за среднюю длительность обслуживания h в среднем поступает один вызов);
- *избыточная* (overflow traffic, exuberant traffic), равная разности поступающей и обслуженной (избыточная нагрузка 1 Эрл означает, что за h в среднем теряется один вызов).

В случае простейшего потока процесс поступления вызовов не зависит от состояния системы обслуживания, поэтому потенциальная и поступающая (соответственно потерянная и избыточная) нагрузка одинаковы. Для примитивного потока интенсивность поступления вызовов зависит от того, сколько их уже обслуживается, поэтому эти нагрузки отличаются.

Для современных мультимедийных сетей с широким диапазоном скоростей передачи (от сотен бит/с до сотен Мбит/с) и нестационарными потоками вызовов описание нагрузки требует дополнительных характеристик (кроме μ , λ , Y , h). Генерация информации источником в общем случае является стохастическим процессом с переменной битовой скоростью и длится на протяжении сеанса связи. Источник определенной службы характеризуется максимальной (пиковой) B_p и средней B_m скоростями передачи, их соотношением, т.е. коэффициентом пачкования (burstness) $k_b = B_p / B_m$ (в частности, пачкование для речевых служб возможно из-за пауз в разговоре) и средней длительностью пика нагрузки T_p . Различают службы с постоянной и переменной скоростью, последние делят на стартстопные и непрерывные. Скорость передачи в сеансе связи стартстопной службы (например, информационно-поисковая система) скачкообразно изменяется от нуля до B_p , для служб непрерывного типа меняется плавно (например, цифровая видеотелефонная связь со статистическим кодированием), для служб с постоянной скоростью она соответствует пиковой (например, телефонная связь).

Б.2. Характеристики качества обслуживания

Потоки вызовов всегда обслуживаются с некоторыми потерями или задержками. Различают следующие основные режимы (дисциплины) обслуживания вызовов:

- с *явными потерями*, когда вызов, получивший отказ, теряется и больше не поступает на обслуживание;
- с *ожиданием*, когда вызов, который не может обслуживаться в момент поступления, устанавливается в очередь и обслуживается после освобождения нужного устройства (канала и т.п.);
- с *повторением вызовов*, когда вызов, получивший отказ, повторяется, пока не будет обслужен.

Каждой дисциплине свойственен свой набор характеристик качества обслуживания. Общей для них характеристикой является только *пропускная способность*, определяемая как нагрузка, которая может быть обслужена при заданном (нормативном) качестве обслуживания (отметим, что в системах с пакетной коммутацией пропускной способностью называют максимально допустимую битовую скорость передачи; в каждой ситуации можно понять, что имеется в виду, по единицам измерения – эрланг или бит/с).

Математическая модель системы обслуживания с явными потерями наиболее проста и применяется, когда есть основания считать, что повторные вызовы или задержки относительно слабо влияют на качество обслуживания. В частности, она принята как основная для ТфОП, поскольку учитывать реальные повторные вызовы крайне сложно и нецелесообразно в нормативном диапазоне потерь, где их влияние малозаметно. Качество обслуживания вызовов в этой модели оценивается для ЧНН с помощью следующих характеристик:

- *потерями вызовов* P (call congestion ratio) – средней долей потерянных вызовов, соответствующей вероятности потери нового вызова и определяемой отношением интенсивностей избыточной и поступающей нагрузки или, на практике, отношением для ЧНН средних количеств потерянных и поступивших вызовов;
- *потерями по времени* P_t (time congestion ratio) – вероятностью одновременной занятости всех обслуживающих устройств, равной средней доли времени, когда все

они заняты; эти потери характеризуют потенциальную возможность отказа и поэтому $P_r \geq P$;

- *потерями нагрузки* P_n (traffic congestion ratio) – средней долей потерянной нагрузки, определяемой отношением интенсивностей потерянной и потенциальной нагрузки.

В случае простейшего потока все виды потерь численно равны. В любом случае основной и единственно нормируемой характеристикой являются потери вызовов, часто называемые просто потерями без уточнения вида.

Дисциплина обслуживания с ожиданием может предусматривать разную организацию очереди: упорядоченную FIFO (First-In – First-Out), реверсивную, или стековую FILO (First-In – Last-Out) либо случайную. Обычно длина очереди ограничена, и вызовы, поступающие при заполненной очереди, теряются или повторяются, т.е. реальная дисциплина обслуживания комбинированная: для части вызовов – с ожиданием, для части – с потерями или повторением. Качество обслуживания вызовов в общем случае оценивается следующими характеристиками:

- *вероятностью ожидания* $P(\gamma > 0)$ (γ – случайная длительность ожидания), т.е. средней долей задержанных вызовов;
- *вероятностью ожидания свыше допустимого времени* $P(\gamma > t)$, или средней долей вызовов, задержанных свыше нормативного или заданного времени; эту вероятность называют также условными потерями;
- *средней длительностью ожидания* для любого вызова;
- *средней длительностью ожидания* для задержанных вызовов;
- *средней длиной очереди*;
- *вероятностью превышения заданной длины очереди*.

Основной (нормируемой) характеристикой является $P(\gamma > t)$ или, иногда, $P(\gamma > 0)$.

Математическая модель системы обслуживания с повторением вызовов наиболее сложная, не имеет универсального решения и широкого применения. Учитывая, что повторные вызовы создают лишнюю и неоплачиваемую, как правило, нагрузку, их стремятся свести к минимуму за счет повышения пропускной способности систем коммутации и трактов передачи и внедрением дополнительных услуг, цель которых довести до обслуживания каждый вызов (переадресация, обратный вызов, автоответчики и т.п.). Поэтому перспектив развития данной модели сейчас нет. Ее характеристики качества обслуживания такие: вероятность потери первичного, вторичного и любого вызова, среднее число повторных попыток на одно успешное соединение или на один первичный вызов, средняя длительность ожидания обслуживания.

Рассмотренные дисциплины и характеристики качества обслуживания достаточны для сетей с коммутацией каналов, в том числе при передаче по ним пакетов. Сети с коммутацией пакетов имеют значительную специфику обслуживания, в частности, могут теряться и вызовы, и отдельные пакеты; пакеты одного сообщения (вызова) могут обслуживаться разными устройствами (передаваться разными путями), некоторые из них повторно; в очереди устанавливаются не вызовы, а пакеты и т.п. Поэтому нужны дополнительные характеристики качества обслуживания, определяющие семантическую и временную прозрачность сети.

Семантической прозрачностью называют способность сети доставлять информацию от источника к адресату с приемлемым для данной службы уровнем ошибок. Типы ошибок и их количество существенно зависят от свойственных реальным каналам искажений сигналов, наличия замираний, шумов, помех. Качество цифровых каналов характеризуют, главным образом, коэффициентом (интенсивностью) битовых ошибок BER – Bit Error Ratio (Rate), т.е. отношением числа ошибочно принятых битов к общему количеству переданных. Этот коэф-

коэффициент за достаточно большой (репрезентативный) отрезок времени практически совпадает с вероятностью ошибочного приема бита:

$$P_{\text{BER}} = \lim_{N_{\Sigma} \rightarrow \infty} N_{\text{BER}} / N_{\Sigma},$$

где N_{Σ} и N_{BER} – число переданных и ошибочно принятых битов.

Показателем качества передачи пакетов обычно является вероятность приема пакета с ошибками: или интенсивность поступления искаженных пакетов PER (Packet Error Rate):

$$P_{\text{PER}} = \lim_{N_{\Sigma \text{ПАК}} \rightarrow \infty} N_{\text{PER}} / N_{\Sigma \text{ПАК}},$$

где $N_{\Sigma \text{ПАК}}$ и N_{PER} – число переданных и ошибочно принятых пакетов.

Ошибки могут иметь разные последствия, в частности, иногда пакеты теряются из-за ошибок маршрутизации и перегрузок, а иногда поступают не по назначению (доставку не по адресу называют вставкой пакета). Интенсивность (вероятность) потерь пакетов PLR (Packet Loss Rate) – это отношение числа потерянных пакетов к общему количеству переданных за достаточно большой промежуток времени:

$$P_{\text{PLR}} = \lim_{N_{\Sigma \text{ПАК}} \rightarrow \infty} N_{\text{PLR}} / N_{\Sigma \text{ПАК}}.$$

Интенсивность (вероятность) доставки пакетов не по адресу PIR (Packet Insertion Rate) – это отношение числа таких пакетов к общему количеству принятых за достаточно большой промежуток времени:

$$P_{\text{PIR}} = \lim_{N_{\Sigma \text{ПАК}} \rightarrow \infty} N_{\text{PIR}} / N_{\Sigma \text{ПАК}}.$$

Временная прозрачность сети – это ее способность обеспечивать длительность задержки и колебания задержки, соответствующие нормативному качеству обслуживания. Задержка может быть разной для каждого очередного пакета, т.е. является случайной величиной, характеризуемой средним значением и дисперсией. Длительность задержки существенно влияет на качество работы служб реального времени (телефонная, видеотелефонная и т.п.). Временная прозрачность сети характеризуется средней длительностью задержки и колебанием (джиттером) задержки пакетов.

Б.3. Методы расчета пропускной способности

Системы с коммутацией каналов. Коммутационные поля современных ЦСК полностью доступны и не блокируемы или с пренебрежимо малой вероятностью внутренних блокировок. Поток вызовов обычно считается, по крайней мере приблизительно, простейшим, длительность обслуживания – случайной, а дисциплина обслуживания, если пренебречь незначительным влиянием повторных вызовов, – с явными потерями. В этих условиях справедлива первая формула Эрланга, устанавливающая зависимость $P = E_r(\Lambda)$ между потерями вызовов P , средней интенсивностью нагрузки Λ , поступающей на группу устройств (пучок каналов), и числом этих устройств v :

$$P = \frac{\Lambda^v}{v!} / \sum_{i=0}^v \frac{\Lambda^i}{i!}. \tag{П.1}$$

Аналитического решения формулы относительно v или Λ нет, поэтому обычно используют ее табулированную форму или соответствующие компьютерные программы (например, [10]). Часто в данную формулу вместо поступающей Λ подставляют обслуженную нагрузку Y ,

что в диапазоне малых потерь ($\leq 50\%$) практически не влияет на точность расчета потерь или емкости пучка.

Если поток вызовов примитивный, а остальные указанные выше условия (полнодоступное неболируемое включение, дисциплина с явными потерями) соблюдаются, то для расчета потерь, пропускной способности или емкости пучка применяют формулу Энгсета

$$P = C_{N-1}^v \alpha^v / \sum_{i=0}^v C_{N-1}^i \alpha^i. \quad (\text{П.2})$$

В этом случае пропускная способность определяется как $Y = \alpha N(1-P) / [1 + \alpha(1-P)]$. Формулы для расчета P и Y табулированы в [8].

Если в условиях применения формулы (П.1) имеет место дисциплина обслуживания с ожиданием, то справедлива вторая формула Эрланга (для удобства расчетов ее обычно выражают через табулированную первую формулу Эрланга)

$$P(\gamma > 0) = D_v(Y) = vE_v(Y) / [v - Y - YE_v(Y)]. \quad (\text{П.3})$$

Здесь $D_v(Y)$ – символическая запись второй формулы Эрланга. В случае упорядоченной очереди условные потери определяются как $P(\gamma > t) = D_v(Y) e^{-(v-Y)t}$, средняя длительность ожидания для задержанного и для любого вызова соответственно как $\gamma_d = 1 / (v - Y)$ и $\gamma_a = D_v(Y) / (v - Y)$, средняя длина очереди как $Q_{av} = Y\gamma_a$, вероятность очереди, превышающей заданную длину n , как $P(Q > n) = (Y/v)^{n+1} D_v(Y)$.

Число каналов, потери или пропускную способность направлений связи от электро-механических АТС определяют методами, учитывающими включение соединительных линий (каналов) в неполнодоступные и внутренне блокируемые коммутационные схемы. Для СЛ от декадно-шаговых АТС применяют главным образом формулу БПВ: $v = \alpha Y + \beta$, где коэффициенты α и β табулированы, например, в [8] в зависимости от потерь P и доступности D (в данном случае $D = 10$). Для СЛ от координатных АТС чаще всего используют простой метод эффективной доступности, суть которого в условной замене двухкаскадной коммутационной схемы с внутренними блокировками однокаскадной схемой, эквивалентной по пропускной способности. Доступность этой эквивалентной схемы называют эффективной и определяют по формуле $D_e = D_{\min} + \theta(D_{av} - D_{\min})$, где $D_{\min} = q(k_B + 1 - n_A)$ и $D_{av} = q(k_B - an_A)$ – соответственно минимальная и средняя доступность звеньевой схемы; q , k_B и n_A – ее параметры, соответственно число выходов данного направления в одном коммутаторе каскада В, число коммутаторов каскада В и число входов в один коммутатор каскада А; a – общая средняя нагрузка на один вход звеньевой схемы; θ – эмпирический коэффициент, принимаемый обычно в диапазоне 0,7...0,9. Далее по найденной D_e по формуле БПВ рассчитывают требуемое число СЛ.

В случае использования на сети обходных направлений связи для расчета числа каналов применяют один из вариантов метода эквивалентных замен, обычно классический метод Вилкинсона (например, [10]).

Системы с коммутацией пакетов. Методы расчета пропускной способности систем с пакетной коммутацией достаточно сложны для практического использования [9, 11] и не всегда достаточно обоснованы (например, [9]). В то же время можно допустить инженерные расчеты с использованием приведенных выше формул Эрланга, поскольку, как правило, пакетные коммутаторы имеют пренебрежимо малые вероятности внутренних блокировок и обслуживают мощные потоки вызовов, которые можно считать близкими к простейшему с не меньшими основаниями, чем чисто телефонные потоки.

Рассмотрим некоторые типовые ситуации. В общем случае есть n интерактивных источников пакетной нагрузки, i -й источник с исходящей и входящей битовой скоростью

соответственно $r_{out,i}(t)$ и $r_{in,i}(t)$ бит/с. Длина пакета l бит. В период наибольшей нагрузки i -й источник создает c_i вызовов; средний объем информации, передаваемой и принимаемой на протяжении сеанса связи соответственно $V_{out,i}$ и $V_{in,i}$ пакетов; пакетный коммутатор имеет n входных портов по числу источников нагрузки и N выходных портов двустороннего действия и симметричных относительно битовой скорости; пропускная способность входного порта $R_{in} \geq \max [r_{out,i}(t), r_{in,i}(t)]$, выходного – $R_{out,i} \geq R_{in,i}$ бит/с; емкость входных буферов B пакетов. Рассмотрим следующие варианты:

1. Все источники одинаковы, $r_{out}(t) = r_{in}(t) = \text{const} = r$, $V_{out} = V_{in} = V$, входных буферов нет, вызовы обслуживаются с явными потерями, допустимые потери P и коммутатор работает как концентратор, т.е. все N выходных портов относятся к одному направлению. Тогда средняя длительность сеанса связи (если не задана непосредственно) $t = VI/r$, удельная нагрузка источника $y = ct$, а суммарная нагрузка, которую должен обслужить коммутатор, $Y = nct$. В этих условиях справедлива первая формула Эрланга $P = E_x(Y)$, где x – число условных выходных портов, эквивалентных входному по пропускной способности. Если их пропускные способности разные, то число выходных портов $N = \lceil x r / R_{out} \rceil$, где обратные скобки означают округление к большему целому.

2. В тех же условиях, но при $V_{out} \neq V_{in}$; $r_{out}(t) = \text{const} = r_{out}$; $r_{in}(t) = \text{const} = r_{in}$; $r_{out} \neq r_{in}$ получим $t = \max [V_{out} l / r_{out}, V_{in} l / r_{in}]$; $N = \lceil x \max(r_{in}, r_{out}) / R_{out} \rceil$.

3. Пусть $r_{out}(t) \neq r_{in}(t) \neq \text{const}$, средняя битовая скорость $r_{m,in}$, $r_{m,out}$, есть входные буферы, вызовы обслуживаются с ожиданием, допустима вероятность ожидания D , а коммутатор работает как концентратор. Тогда средняя длительность сеанса связи $t = \max [V_{out} l / r_{m,out}, V_{in} l / r_{m,in}]$. В этих условиях справедлива вторая формула Эрланга $D = D_x(Y)$, где x , как и раньше, число условных выходных портов (аналогично определяется и N). Среднее число задержанных источников (пакеты которых находятся в буфере дольше одного цикла) $Q_{av} = Y D_x(Y) / (x - Y)$. Среднее заполнение входного буфера $F_{in} = D_x(Y) r_{m,out} / l$ для входных и $F_{out} = D_x(Y) n r_{m,in} / N l$ – для выходных портов. Очевидно, что объемы буферов должны быть больше, чем среднее заполнение. Тогда вероятность переполнения буфера для входных портов пренебрежимо мала, а для выходных портов $P(Q > B_{out}) = (Y/N)^{B_{out}+1} D_x(Y)$.

Если в условиях этих пунктов выходные порты относятся к разным направлениям связи, то расчеты выполняются отдельно для нагрузки каждого направления.

Приложение В. Синтез и оптимизация телекоммуникационных сетей

В.1. Общее понятие о задачах синтеза и анализа сетей связи

Все задачи, возникающие при построении и эксплуатации телекоммуникационных сетей, можно разделить на два класса: задачи синтеза и задачи анализа.

Задача синтеза сети возникает как при построении новой сети, так и при реконструкции и развитии существующих сетей. Эта задача носит технико-экономический характер, так как чаще всего отыскивается решение, оптимальное по ряду экономических показателей, например по минимуму капиталовложений.

При синтезе сети обычно считается заданным расположение пунктов сети. Конфигурация (топология) же линий связи может меняться при оптимизации экономических показателей. Это позволяет использовать затраты на линии связи в качестве целевого критерия оптимального

синтеза сети. На конфигурацию линий могут быть наложены ограничения в виде исключения отдельных географических трасс при организации связи между пунктами, например, если они пересекают водные или горные преграды.

К *частным задачам синтеза* можно отнести задачи выбора оптимальной топологии сети, выбор оптимального количества и мест расположения узлов коммутации и т. д.

Задачи анализа актуальны для существующей (синтезированной) сети. К ним относятся задачи нахождения оптимальных путей передачи информационных сообщений, определения совокупности путей с заданными параметрами, оценки пропускной способности сети, вероятности установления соединения между пунктами и т. д. В классе задач анализа рассматриваются также вопросы расчета характеристик и параметров как сети в целом, так и отдельных ее элементов. К таким характеристикам относят качество обслуживания в сети, параметры надежности и живучести.

Чтобы решить конкретную задачу синтеза или анализа телекоммуникационной сети, ее необходимо формализовать. Формализацию можно выполнить в словесной форме (вербальная модель) либо в виде математической модели, описывающей задачу в терминах той или иной математической теории (например, теории графов, теории оптимальных решений и т.п.).

Осуществление формализации требует не только понимания стоящей проблемы, но и выбора соответствующей модели самого объекта (сети связи). Модельное представление объекта синтеза или анализа позволяет выявить и отразить наиболее существенные, с точки зрения стоящей проблемы, элементы объекта и связи между ними, не отвлекаясь на детали.

Для модельного представления сетей связи наиболее часто используются *графовые модели*. На основе модели объекта и ее параметров (количества пунктов и линий сети, расстояний между пунктами, пропускной способности узлов и линий сети, стоимостных параметров и т. п.) можно построить математическую модель, отражающую зависимость между искомыми параметрами и независимыми переменными задачи в виде математических функций.

В задачах синтеза и анализа сетей связи чаще всего используются оптимизационные математические модели, где цель решения задачи записывается в виде так называемой **целевой функции**, для которой необходимо отыскать экстремум (минимум или максимум). На ее параметры могут накладываться ограничения, указывающие пределы изменения искомым параметров.

Задачи, в которых отыскивается экстремум некоторой целевой функции, отражающей критерий оптимальности решения, называются экстремальными.

Характерной особенностью экстремальных задач синтеза и анализа телекоммуникационных сетей является их большая размерность. Формулировка этих задач в терминах графовых и сетевых моделей позволила получить ряд эффективных с точки зрения преодоления вычислительной сложности методов и алгоритмов решения, ориентированных на применение ЭВМ. Ряд таких алгоритмов рассмотрен ниже.

Различают алгоритмы *точные* и *приближенные*, так называемые *эвристические*.

Точные алгоритмы всегда гарантируют нахождение оптимального решения (глобального оптимума целевой функции). Например, алгоритм полного перебора всех возможных решений с выбором наилучшего среди них является точным. Однако точные алгоритмы, как правило, довольно трудоемки с вычислительной точки зрения. Поэтому на практике часто используют более простые алгоритмы, обеспечивающие быстрое получение решения с приемлемой для практики точностью. Такие алгоритмы строятся с использованием рациональных с точки зрения логики правил выполнения вычислений. Эти правила называются **эвристиками** и, как показывает практика, позволяют получить решение, близкое к оптимальному. Эвристические алгоритмы используются также в тех случаях, когда построить точный алгоритм не удастся ввиду сложности математической модели задачи (ее нелинейности, дискретности и т.п.).

В.2. Модельное представление сети связи как объекта синтеза и анализа

Сеть связи (телекоммуникационная сеть) как объект синтеза и анализа представляет собой совокупность пунктов сети и соединяющих их линий. В качестве математической модели такого объекта используют граф.

Графом называется некоторая совокупность точек и связывающих их линий.

Точки графа называются *вершинами*, а линии – *дугами*. Граф математически обозначается как $G(N, V)$, где N – конечное множество вершин мощностью n , а V – конечное множество дуг мощностью m .

Вершины можно обозначить строчными буквами (i, j, k, l, s) либо цифрами (1, 2, 3, 4, 5) (рис. П.6), а дуги соответственно парами: $\{(i, j), (j, k), (k, l) \dots\}$ либо $\{(1,2), (2,3), (3,4), \dots\}$, где первый индекс определяет начало, а второй – конец дуги.

Граф, в котором задается направление дуг, называется *ориентированным*, в противном случае – *неориентированным*. Неориентированные дуги называются *ребрами*.

Между двумя вершинами, соединенными дугой (ребром), существует отношение *смежности* (для ориентированного графа вершины i и j смежны, если дуга начинается в i и направлена в j).

Между вершиной и соединенными с ней дугами (ребрами) существует отношение *инцидентности*.

Граф, каждой дуге (ребру) которого поставлены в соответствие некоторые числовые характеристики, называемые *весами*, представляет собой *взвешенный граф*. При необходимости веса могут быть приписаны также вершинам графа.

Взвешенный граф принято называть *сетью* (в данном случае имеется в виду сетевая модель, а не сама сеть). Весовыми характеристиками сети могут быть расстояния, пропускная способность, стоимость и т. д.

Помимо геометрического изображения в виде точек и линий, граф может быть представлен в дискретной форме. Именно эта форма используется при вводе графовой модели в ЭВМ.

Одним из наиболее распространенных дискретных представлений графа является *матрица смежностей*. Это матрица $A=[a_{ij}]$ размером $n \times n$ элементов, которые могут принимать значения:

$a_{ij} = 1$, если в графе G существует дуга (ребро) между вершинами i и j ;

$a_{ij} = 0$ в противном случае.

Матрица смежностей графа, приведенного на рис. П.6, имеет вид

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{vmatrix}$$

Для хранения матрицы смежности в памяти ЭВМ, как видим, необходимо n^2 ячеек. У неориентированного графа матрица смежности симметрична относительно главной диагонали, и, следовательно, в памяти может храниться лишь один из ее треугольников, что позволит экономить память, но усложняет ее обработку на ЭВМ.

Если перенумеровать в произвольном порядке дуги (ребра) графа G и поставить эти номера в соответствие номерам строк некоторой матрицы $B=[b_{ij}]$, а номера столбцов оставить

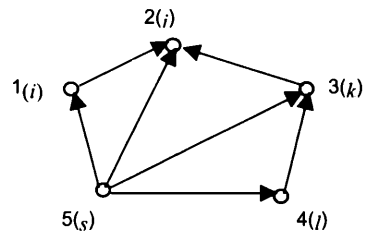


Рис. П.6. Ориентированный граф

по-прежнему соответствующими номерам вершин графа, то в такой матрице можно отобразить отношение инцидентности элементов графа G . Элементы матрицы B_{ij} могут принимать значения $\{0, 1\}$.

Перенумеруем дуги для рассматриваемого графа: $(i,j) - 1$; $(j,k) - 2$; $(k,l) - 3$; $(l,s) - 4$; $(s,i) - 5$; $(s,j) - 6$; $(s,k) - 7$. Тогда матрица инцидентности будет иметь вид:

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Взвешенный граф (сеть) может быть в дискретном виде представлен матрицей весов $\mathbf{W}=[w_{ij}]$, где w_{ij} – вес дуги (ребра), если она существует в графе G . Веса несуществующих дуг (ребер) полагают равными ∞ или 0 в зависимости от условий задачи.

Если граф является разреженным (имеет малое количество дуг (ребер)), то возможно более компактное представление графа G – списком дуг (ребер). Этот список может быть реализован двумя одномерными массивами размерностью m , в первом из которых записаны начальные вершины дуг (ребер), а во втором – конечные, либо двумерным массивом размерностью $(2, m)$. Например,

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_1 &= (1,3,4,5,5,2,5); \\ \mathbf{R}_2 &= (2,2,3,4,1,5,3); \end{aligned} \quad \mathbf{R} = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 & 5 & 2 & 5 \\ 2 & 2 & 3 & 4 & 1 & 5 & 3 \end{vmatrix}.$$

В.3. Элементы теории оптимизации на графах и сетях

Ситуация, в которой некоторое множество точек необходимо соединить так, чтобы каждая пара точек получилась связанной (непосредственно или через другие точки), а общая весовая характеристика связей оказалась минимальной, порождает задачу *синтеза сети минимальной стоимости*.

Например, имеется ряд точек, в которых могут быть расположены пункты телекоммуникационной сети. Известны расстояния между парами точек и стоимость организации одного километра линии связи. Необходимо определить совокупность линий связи, обеспечивающих связность всех пунктов сети и ее минимальную стоимость. Из теории графов и сетей известно, что решением поставленной задачи является сеть с топологией типа «дерево».

Связный граф (связывающая сеть) называется *деревом*, если в нем отсутствуют циклы.

Говорят, что граф содержит циклы, если в нем можно отыскать замкнутые контуры. Отсутствие циклов определяет особенность графа типа «дерево», которая состоит в том, что между любой парой его вершин существует лишь один единственный связывающий их путь, т.е. параметр связности $h = 1$. Количество ребер в дереве всегда на единицу меньше числа его вершин.

Дерево, в которое включены все вершины, называется *покрывающим*.

Математически задача синтеза сети минимальной стоимости формулируется следующим образом.

Пусть задан неориентированный граф $G(N, V)$, где множество вершин N соответствует множеству пунктов сети, общее число которых равно n , а множество ребер V – расстояниям $\{l_{ij}\}$ между парами пунктов. Известна стоимость C_{ij} организации 1 километра линии связи между пунктами i и j .

Необходимо найти некоторое покрывающее дерево $G'(N, V')$, для которого достигается минимум целевой функции

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} l_{ij} \rightarrow \min.$$

Для решения поставленной задачи существует ряд эффективных алгоритмов. Приведем один из них, который известен как алгоритм Прима по имени автора. Алгоритм реализуется путем присвоения меток вершинам, которые вводятся в искомый граф $G'(N, V')$, и последовательного введения в него наиболее коротких ребер, общее количество которых не должно превышать $(n-1)$ и обеспечивать связность между всеми n вершинами покрывающего дерева.

Пошаговая форма алгоритма имеет следующий вид:

Шаг 0. Искомая сеть $G'(N, V')$ в исходном состоянии содержит n вершин и не содержит ребер. Выбирается одна произвольная вершина i и помечается как «выбранная». Остальные $(n-1)$ вершин помечаются как «невыбранные».

Шаг 1. Отсыкивается ребро (i, j) , принадлежащее $G(N, V)$ с минимальным весом, у которого вершина i принадлежит подмножеству «выбранных» вершин, а вершина j к подмножеству «невыбранных» вершин.

Шаг 2. Ребро (i, j) включается в искомую сеть $G'(N, V')$, а вершина j исключается из подмножества «невыбранных» и включается в подмножество «выбранных» вершин. Если подмножество «невыбранных» вершин оказалось пустым – конец работы алгоритма. В противном случае – переход к шагу 1.

Рассмотрим следующую задачу. Пусть граф $G(N, V)$ представляет собой некоторую кабельную сеть, соединяющую n абонентских пунктов. Вес каждого ребра (i, j) , принадлежащего V , соответствует длине l_{ij} либо стоимости кабеля, соединяющего пункты i и j . Необходимо определить некоторую вершину m , принадлежащую N , в которой целесообразно разместить узел коммутации (например, районную АТС) с точки зрения минимизации общей длины кабеля, соединяющего абонентские пункты с узлом.

Решением поставленной задачи является определение медианы графа $G(N, V)$.

Вершина m , принадлежащая N , есть *медиана* графа $G(N, V)$, если она удовлетворяет условию

$$\sum_{j=1}^n l_{mj} \leq \sum l_{kj}, \quad k \neq m.$$

Величина $R_m = \sum_{j=1}^n l_{mj}$ называется *медианной длиной* графа G и представляет собой наименьшую суммарную длину ребер, соединяющих вершину m с остальными вершинами графа.

Алгоритм определения медианы графа G включает следующие шаги.

Шаг 1. В исходной матрице весов $L = [l_{ij}]$, соответствующей длинам ребер, найти сумму элементов для каждой строки:

$$R_i = \sum_{j=1}^n l_{ij}, \quad \forall i \in N.$$

Шаг 2. Среди множества значений $\{R_i\}$ отыскать минимальное R_m . Вершина m и есть медиана графа G .

Рассмотрим другую ситуацию. Предположим, что заданы местоположения пунктов абонентской сети, в которой реализуется стационарный радиодоступ к опорному узлу базовой сети. Необходимо среди пунктов абонентской сети определить местоположение базовой

станции (БС), которая по радиоканалам связывается с абонентскими пунктами (АП). Желательно, чтобы расстояние от БС до любого АП было минимальным, что обеспечит устойчивую радиосвязь при меньшей мощности передатчика БС. Ясно, что такому критерию удовлетворить невозможно, поэтому приходится минимизировать расстояние до самого отдаленного пункта. При этом целесообразно, чтобы БС по возможности заняла центральное положение по отношению ко всем ОП.

Задача нахождения такого пункта может быть сведена к задаче нахождения центра графа.

Пусть $G(N, V)$ есть граф, где N – множество вершин, а V – множество расстояний между всеми вершинами. Вершина s называется *центром* графа $G(N, V)$, если она удовлетворяет условию

$$\max l_{sj} \leq \max l_{ij} \text{ для любой } i; 1 \leq j \leq n.$$

Алгоритм нахождения центра графа (вершины s) следует из самого определения:

Шаг 1. В каждой строке исходной матрицы весов $L = [l_{ij}]$ отыскивается элемент с максимальным значением.

Шаг 2. Среди множества максимальных значений элементов строк находим наименьшее l_{sj} . Вершина s есть центр графа.

Таким образом, минимизировав расстояние от точки s до самой отдаленной вершины, мы обеспечили ко всем остальным вершинам гарантированно меньшее расстояние.

Задача определения цикла наименьшей длины известна как «Задача о коммивояжере». Пусть дан граф $G(N, V)$, вершины которого соответствуют городам в зоне обслуживания коммивояжера, а дуги отображают связи между парами городов. Маршрутом коммивояжера называется контур, включающий каждую вершину графа G .

Контур, включающий каждую вершину графа $G(N, V)$ ровно один раз, называется *гамильтоновым контуром* (или гамильтоновым циклом)¹.

Задачей коммивояжера называется задача поиска маршрута наименьшей длины. Оптимальным решением в этом случае является гамильтонов цикл наименьшей длины. Задача может быть решена следующим точным методом.

Перенумеруем n городов целыми числами от 1 до n . Базовому городу припишем номер n . Заметим, что тур коммивояжера однозначно соответствует перестановке целых чисел $1, 2, \dots, (n-1)$. Базовый город под номером n при этом постоянно занимает последнюю позицию и в процессах перестановки не участвует. Каждой перестановке можно поставить в соответствие некоторое число, определяющее длину маршрута коммивояжера как сумму длин ребер цикла, соединяющего все n вершин графа.

Образовав все перестановки из $(n-1)$ чисел и получив длины маршрутов, количество которых определяется как $(n-1)!$, нетрудно отыскать маршрут наименьшей длины.

Приближенный *эвристический* алгоритм может быть получен с использованием эвристик, например «на каждом шаге в цикл включается ближайший город».

Определение гамильтонового цикла наименьшей длины актуально при определении оптимальной кольцевой топологии сегментов телекоммуникационных сетей.

¹ Название «гамильтонов цикл» дано по имени ирландского математика Вильяма Гамильтона, который в 1859 г. впервые начал изучение этих задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие телекоммуникаций, которое наблюдалось в конце XX века, имеет тенденцию продолжаться и углубляться в будущем. Этот процесс приведет к следующим результатам:

1. Углубление конвергенции телекоммуникационных и информационных технологий, вычислительной и бытовой электронной техники, которое приведет к завершению формирования глобального информационного пространства.

2. Демонополизация рынка телекоммуникаций. На путь приватизации национальных операторов станет еще больше стран. При этом доля государства в акционерном капитале оператора будет уменьшаться, а роль институциональных и частных инвесторов будет возрастать.

3. Возрастание роли регулирующих органов на международном и национальных уровнях, которое будет обеспечивать справедливое взаимодействие операторов, взвешенную тарифную политику, защиту интересов потребителей и государства.

4. Усовершенствование маркетинговой политики операторов, действующих в конкурентных условиях, в отношении удовлетворения платежеспособного спроса, внедрения новых прибыльных услуг, увеличения доходов по перспективным направлениям своей деятельности. При этом доходность традиционных услуг будет уменьшаться. Станет правилом, что пользователь будет добиваться возможности самому формировать спектр услуг и процедуру обслуживания. Отдельной сферой телекоммуникационного бизнеса станет обеспечение спроса на телекоммуникационные услуги фирм, компаний, корпораций путем построения виртуальных сетей.

5. Создание международного телекоммуникационного рынка, который в значительной мере стимулируется необходимостью в телекоммуникационных услугах со стороны транснациональных корпораций. Операторы будут выходить за пределы своих стран, превращаясь на транснациональные корпорации с многоуровневой дивизиональной организационной структурой, способные приспосабливаться к любым изменениям на рынке и адекватно реагировать на них.

6. Глобализация телекоммуникационных услуг. Телекоммуникации будут играть все большую роль и в сферах предоставления услуг, которые еще недавно были мало с ними связаны. Это прежде всего банковские операции; электронная коммерция; заказ по телекоммуникационной сети услуг, товаров, развлечений; дистанционное обучение; телемедицина; психологическая разгрузка; консультации по любым аспектам жизнедеятельности; распределенные в пространстве рабочие места и др.

7. Развитие вещания (звукового, телевизионного, мультимедийного, данных) в направлении повышения качества, включая телевидение сверхвысокой четкости, стереоскопическое со звуковым окружением, а также интерактивное.

8. Создание системы функционирования сетей, гарантирующей жизнедеятельность мирового общества. Такая система может представлять собой комплекс правовых, организационных и технико-технологических мероприятий, обеспечивающих защиту информации и сетей, а также живучесть и самообновление сетей. Потребность в такой системе вызвана тем, что глобализация информационного пространства, кроме положительных тенденций, связанных с обеспечением прав человека на доступ к информации и уменьшением непроизводительных затрат времени, несет и угрозу серьезных потрясений при злонамеренном или случайном нарушении функционирования глобальной телекоммуникационной сети.

Технико-технологические аспекты развития телекоммуникационных сетей будут определяться тремя взаимодействующими направлениями:

1. Развитие *электроники*. Революционные успехи электроники, связанные с кремниевыми технологиями, вскоре позволят размещать на одном кристалле систему, эквивалентную по функциональным возможностям ныне действующим компьютерам или ядру коммутатора АТМ. Это означает, что могут появиться выполненные на одной микросхеме мобильные телефоны, модемы и т.п., что существенным образом повысит их возможности.

2. Развитие *фотоники*. Возможности этого направления связаны с расширением используемой в волокне полосы частот и повышением скорости передачи до 300 Тбит/с за счет устранения «водного загрязнения» волокна и использования технологии DWDM, а также с реализацией важнейших функций регенерации сигналов и коммутации цифровых потоков непосредственно в оптическом диапазоне без преобразования оптических сигналов в электрические.

3. Развитие *беспроводных систем связи*. Успехи этого направления связаны с возможностями существенного сжатия сообщений за счет эффективных методов кодирования; с новыми антенными технологиями, повышающими спектральную эффективность систем; с освоением спутниковых низко- и среднеорбитальных систем.

Сегодня доминируют три основные сети связи: телефонная общего пользования, мобильной связи и Интернет. Телефонная сеть постепенно преобразуется в цифровую мультисервисную сеть со все большим применением пакетной коммутации. Сети мобильной связи и Интернет поддерживаются новыми технологиями и огромным рыночным спросом, интенсивно развиваются и постепенно конвергируют с телефонной сетью. Основными тенденциями изменений являются:

- обособление современных услуг от функций коммутации и транспортирования, в результате чего они станут доступными всем пользователям, независимо от типа коммутационных станций и технологии доступа;
- формирование оптического ядра сети на основе технологий SDH, DWDM;
- усовершенствование технологии пакетной передачи и коммутации;
- внедрение разнообразных цифровых технологий абонентского доступа.

Особенно динамично и разнопланово будет развиваться сеть абонентского доступа за счет использования преимущественно технологий xDSL, радиодоступа, волоконно-оптических и гибридных сред передачи. Любая из этих технологий имеет свою нишу, но большие шансы на успех в ближайшем будущем у технологии xDSL.

Современные телекоммуникационные технологии, новые отношения в сфере телекоммуникаций, информатизация общества проникают во все страны мира. За последние 10 лет в России, Украине и других странах СНГ построена мощная транспортная сеть, входящая составной частью в мировую систему ВОЛС, цифровизована международная и междугородная связь, ведется цифровизация местной связи, внедряются передовые технологии АТМ, TCP/IP, xDSL, CDMA, WLL и другие, интенсивно развивается мобильная связь, строятся сети по технологии Интернет. Появились новые телефонные компании, активно работающие на рынке телекоммуникаций, создавая первый уровень конкуренции. Доминирующие и новые операторы энергично используют мировой опыт, накопленный в сфере телекоммуникаций. Использование и усовершенствование передовых технологий и развитие сферы телекоммуникаций как единого комплекса, объединяющего сети, технологии, экономику, право и управление, дадут возможность России, Украине и другим странам СНГ занять достойное место в мировом телекоммуникационном пространстве.

Глоссарий

- Абонент** – физическое или юридическое лицо, с которым заключен договор о предоставлении телефонных услуг и которому выделен телефонный номер.
- Абонентская линия** – линия связи, с помощью которой абонентский пункт присоединяется к опорному узлу.
- Абонентский пункт** – пункт, в котором устанавливается терминальная система пользователя.
- Базовое программное обеспечение** – программное обеспечение (ПО), предназначенное для предоставления объектами прикладного и промежуточного ПО возможности взаимодействия с другими объектами посредством среды, включающей коммуникационные функции и логические интерфейсы пользователей.
- Внебиржевой рынок** – рынок ценных бумаг, на котором торгуют всеми видами ценных бумаг, вызывающими интерес у инвесторов.
- Волоконно-оптическая система** – совокупность активных и пассивных устройств, предназначенных для передачи информации по оптическому волокну с помощью оптических волн (мод) и сигналов.
- Волоконно-оптическая система передачи (ВОСП)** – ЦСП для работы по волоконно-оптическому кабелю.
- Волокнный световод** – диэлектрическая структура, вдоль которой распространяются электромагнитные волны оптического диапазона.
- Вторичная цифровая система передачи (ВЦСП)** – ЦСП второй степени иерархии ЦСП-PDH. К таким ЦСП относятся ИКМ-120А, ИКМ-120У и т.п.
- Вторичный рынок** – рынок, осуществляющий перераспределение капитала путем непрерывного обращения ценных бумаг на бирже.
- Гаранты рынка ценных бумаг** – финансовые и нефинансовые организации, главная цель деятельности которых состоит в уменьшении риска и повышении экономической эффективности от деятельности своих клиентов на рынке ценных бумаг.
- Геостационарный спутник** – спутник, который остается неподвижным либо приблизительно неподвижным относительно наблюдателей, находящихся на поверхности Земли.
- Гипермедийное вещание** – мультимедийное вещание с иерархическим детализированием передаваемой информации с помощью гиперссылок.
- Глобальная информационная инфраструктура** – система, обеспечивающая пользователям в любом месте, в любое время, по приемлемой цене и с приемлемым качеством возможность получения набора инфокоммуникационных услуг, включающих открытое множество приложений и охватывающих все виды информации.
- Городская телефонная сеть (ГТС)** – местная телефонная сеть республиканских и областных центров, крупных городов (более 100 000 жителей), а также городов областного подчинения (не райцентров), имеющая несколько внутризональных индексов и предназначенная для обеспечения взаимных соединений абонентов города (с прилегающими населенными пунктами и, возможно, с прилегающим сельским районом) и предоставления им доступа к внутризональной и междугородной сетям.
- Демонопользация сферы телекоммуникаций** – преобразование монопольного рынка в конкурентный, т.е. приватизация национальных операторов и либерализация телекоммуникационного сектора страны путем законодательных, политических и экономических действий.
- Дискретная многочастотная модуляция (DMT)** – метод передачи двоичных сигналов, который объединяет многоуровневое блочное кодирование и квадратурную фазовую модуляцию для уменьшения линейной скорости передачи.
- Домен** – совокупность логических модулей, объединенных ролью принадлежности (например, домен пользователя, домен сетевого оператора).
- Древовидная топология** – сетевая топология, в которой между любыми двумя пунктами есть только один соединяющий их путь.

- Живучесть телекоммуникационной сети** – способность сети сохранять полную или частичную работоспособность при воздействиях, разрушающих или значительно повреждающих часть ее пунктов и линий.
- Звуковое вещание** – распространение среди пользователей звуковых программ или другой звуковой информации.
- Земная станция** – станция радиосвязи, расположенная на поверхности Земли и предназначенная для связи с одним либо несколькими спутниками связи или одной либо несколькими другими земными станциями с помощью спутников связи.
- Иерархия ЦСП** – разделение ЦСП по уровню группообразования (мультиплексирования) цифровых потоков.
- Инвестиционная политика** – комплекс мероприятий, которые обеспечивают выгодное вкладывание собственных, заимствованных и других средств с целью стабилизации финансовой стойкости работы предприятия в ближайшей и далекой перспективе.
- Инвестиционный банк** – фирма, помогающая инициировать эмиссию ценных бумаг на первичном рынке и осуществляющая консалтинговые услуги по их дальнейшему размещению.
- Институциональные инвесторы** – организации, деятельность которых направлена на предоставление гарантированной безопасности и прибыли по ценным бумагам лицам, которые формируют их фонды, т.е. своим клиентам.
- Интеллектуальная сеть** – сеть, в которой услуги предоставляются путем их компоновки из независимых от услуги и друг от друга функциональных блоков в соответствии с запросом пользователя, который определяет не только вид услуги, но и требуемые показатели ее качества.
- Интерфейс базовых программ** – логический интерфейс между объектами промежуточного и базового программного обеспечения.
- Интерфейс прикладных программ** – интерфейс между программными модулями, который не имеет физических компонентов.
- Интерфейс человек – компьютер** – интерфейс между пользователем и объектами базового программного обеспечения.
- Информационная сеть** – совокупность территориально рассредоточенных оконечных систем и объединяющей их телекоммуникационной сети, обеспечивающих доступ прикладных процессов любой из оконечных систем ко всем информационным ресурсам, ресурсам обработки и сохранения данных, коммутационным и программным ресурсам сети и их общее использование.
- Информационные ресурсы** – информация и знания, накопленные во всех сферах жизнедеятельности общества, а также продукция индустрии развлечений, предоставляемых с помощью сети.
- Канальный уровень** – второй уровень модели OSI, на котором обеспечивается запрос физического соединения с соседним транзитным пунктом в избранном на сетевом уровне маршруте и который организует необходимую последовательность передаваемых пакетов.
- Качество обслуживания вызовов** – результативность попыток установления соединений.
- Качество обслуживания потребителя** – степень удовлетворенности потребителя процедурой и последствиями обслуживания.
- Качество услуги связи** – степень соблюдения нормативов действующей системы показателей качества услуг, определяемая балльной оценкой степени удовлетворенности потребителя.
- Кодовая амплитудно-фазовая модуляция** – многоуровневое блочное кодирование, уменьшающее линейную скорость передачи.
- Коммуникативность** – мера количества связей (коммуникаций) системы – внешних со средой и внутренних с подсистемами и элементами.
- Коммуникационные ресурсы** – пропускные способности линий связи и коммутационные возможности узлов, которые принимают участие в транспортировании и распределении потоков информации, а также допустимые времена их занятия.
- Коммуникационные функции** – функции транспортирования, распределения потоков информации и управления ими.

- Коммутация** – процесс установления соединения между определенными входом и выходом системы, поддержки его на время передачи информации пользователя и последующего разъединения. Коммутация называется *цифровой*, если этот процесс осуществляется с помощью операций с цифровыми сигналами, переносящими информацию пользователя, без их преобразования в аналоговую форму. Различают два основных вида цифровой коммутации: *коммутацию каналов* и *коммутацию сообщений*. Если сообщения пользователя коммутируются сегментами одинаковой длины, то имеет место *коммутация пакетов*.
- Концентрация** – объединение нескольких входных информационных потоков с целью получения более мощного исходящего потока.
- Концепция TMN** – концепция формирования архитектуры сети TMN, включающая уровни управления услугами сети, сетью в целом и элементами сети.
- Корпорация** – акционерная компания (общество), в которой на основе централизации капиталов и сбережений наемных работников осуществляется коллективное присвоение результатов производственной деятельности в зависимости от стоимости объема полученных на внесенные средства акций.
- Линейно-кабельные сооружения** – кабельные линии, кабельная канализация, а также усилительные пункты, расположенные на трассе.
- Линии связи** – сооружения, включающие среду распространения сигналов и комплекс каналообразующего оборудования.
- Листинг** – внесение ценных бумаг в список ценных бумаг, которые котируются на фондовой бирже.
- Логическая топология** – конфигурация путей, по которым передаются потоки информации между пунктами сети.
- Логический интерфейс** – полная спецификация (полное описание) взаимодействия между отдельными функциями (объектами) и между логическими модулями.
- Логический модуль** – совокупность функций, предназначенных для выполнения определенной логической задачи, которая выделяется в отдельную функциональную подсистему.
- Локальная сеть (LAN)** – информационно-вычислительная (компьютерная) сеть, в которой основная часть нагрузки (потоков информации) замыкается внутри небольшой территории, учреждения.
- Локально ограниченное приложение** – приложение, которое устанавливается, вызывается, управляется и выполняется полностью в границах одной оконечной системы и не требует привлечения коммуникационных функций.
- Магистральные линии** – линии, соединяющие пункты магистральной сети.
- Маркетинг** – концепция управления, которая базируется на объединении рыночных и планомерных связей и отношений. Это совокупность социально-производственных отношений между операторами (предприятиями), потребителями и государством для максимального удовлетворения потребностей потребителей, увеличения прибыльности операторов, а также расширения спектра произведенных услуг (продукции, работ) и сферы деятельности операторов (предприятий).
- Межсетевой интерфейс** – спецификация взаимодействия между сегментами сети, которая содержит данные о физической среде передачи сигналов.
- Многопозиционный ансамбль сигналов** – совокупность сигналов, которая используется в цифровых системах передачи в первую очередь для повышения эффективности использования полосы частот.
- Мобильная спутниковая служба** – служба спутниковой радиосвязи, которая обеспечивает связь через спутники между мобильными земными станциями или между мобильными и фиксированными земными станциями.
- Модель** – отображение объекта, которое дает возможность исследовать его основные элементы, не отвлекаясь на несущественные, с точки зрения поставленной цели, детали.
- Модуль программного обеспечения** – относительно независимая часть программы, которая представляет собой реализацию одной или нескольких функций исключительно с помощью программного обеспечения.

Мультимедийное вещание – передача от одного источника многим пользователям, обработка и воспроизведение в удаленной мультимедийной среде аудиовизуальной информации (телевизионной, звуковой, графической, векторной, текстовой и т.п.) или любых других данных.

Мультиплексирование – объединение нескольких потоков информации в одной линии путем закрепления за каждым из них фиксированной части ресурса пропускной способности линии.

Мультисервисная платформа предоставления услуг – совокупность ресурсов мультисервисной сети.

Мультисервисная сеть – сеть, в которой реализованы различные виды и режимы телекоммуникационного обслуживания в объединении с технологией интеллектуальной сети.

Нагрузка – а) количество одновременно занятых линий, каналов, комплектов и т.п. (нагрузка 1 Эрл создается одной занятой линией); б) интенсивность потока сообщений (бит/с, пакетов/с и т.п.).

Примечания

1. Под «нагрузкой» (traffic) обычно имеют в виду «интенсивность нагрузки» (traffic intensity), т. е. среднюю нагрузку за промежутки времени (ЧНН). Если не определено иное, то имеется в виду «обслуженная нагрузка» (carried traffic), создаваемая реальными вызовами. Различают также потенциальную (potential traffic), поступающую (offered traffic), потерянную (lost traffic) и избыточную (overflow traffic) нагрузки. Потенциальная – это такая, которая создавалась бы в идеальной системе без потерь или задержек вызовов. Поступающая – это такая, которая создавалась бы, если бы каждый вызов, включая потерянные, занимал систему обслуживания на определенную среднюю длительность обслуживания вызова. Потерянная нагрузка является разностью потенциальной и обслуженной, избыточная – поступающей и обслуженной.

2. Не рекомендуется использовать англицизм «трафик» вместо термина «нагрузка».

Надежность телекоммуникационной сети – свойство сети обеспечивать связь, сохраняя во времени в заданных условиях эксплуатации значения установленных показателей качества.

Направляющая система – совокупность проводников и диэлектриков, которые служат для направленной передачи энергии электромагнитной волны.

Низкое качество услуг – качество услуг, ниже порогового уровня, соответствующего балльной оценке «удовлетворительно», установленной действующей системой показателей качества услуг.

Обслуживание вызовов – установление сетью соединений в соответствии с попытками установления соединений.

Обслуживание потребителя – оформление договоров с потребителем; прокладка проводки, монтаж оборудования и соответствующие ремонтные работы в помещениях потребителя; информирование потребителя о тарифах, номенклатуре услуг и правилах пользования ими; прием оплаты услуг; прием и реагирование на заявления, заявки, жалобы потребителя и т.п.¹

Объектный интерфейс – протокол взаимодействия между объектами определенного типа.

Объекты – функции, которые реализуются в виде программных продуктов.

Примечание: данное определение относится только к программным объектам и не включает понятия объектов проектирования, технической эксплуатации и др.

Оконечный пункт – пункт, в котором размещаются оконечные системы сети.

Оператор связи – юридическое лицо, обеспечивающее функционирование средств, сооружений и сетей связи с целью предоставления потребителям услуг связи нормативного качества для получения доходов от своей деятельности.

Опорная станция (ОПС) – станция, обеспечивающая только ввод и вывод абонентской нагрузки и не обеспечивающая установление транзитных соединений между станциями и узлами сети.

Опорно-транзитная станция (ОПТС) – станция, выполняющая функции опорной и транзитной станций.

Первичная цифровая система передачи (ПЦСП) – ЦСП первой степени иерархии ЦСП-PDH. К таким ЦСП относятся ИКМ-30, ИКМ-30С и т.п.

¹ Таким образом, «обслуживание потребителя» и «предоставление потребителю услуг связи» – разные понятия.

- Платформа предоставления услуг** – совокупность объединенных ресурсов сети, принимающих участие в производстве и предоставлении услуг
- Полносвязная топология** – сетевая топология, в которой любые два пункта непосредственно соединены линией.
- Пользователь услуги** – физическое или юридическое лицо, которому предоставляется определенная услуга связи.
- Помехоустойчивое кодирование** – преобразование информационных сообщений в канальные символы с введением избыточности, дающее возможность при приеме обнаружить и исправить ошибки в информационных символах.
- Поставщик услуг (провайдер)** – юридическое лицо, которое в соответствии с заключенным коммерческим соглашением предоставляет потребителю услуги связи и/или доступ к информационным ресурсам.
- Потребитель** – физическое или юридическое лицо, которому предоставляются услуги связи.
- Прикладное ПО** – ПО, которое реализует объекты приложений.
- Прикладной протокол** – логический интерфейс между прикладными объектами.
- Прикладной процесс** – процесс в оконечной системе сети, который выполняет обработку информации для конкретной услуги связи или приложения.
- Прикладной уровень** – седьмой уровень модели OSI, на котором осуществляется управление взаимодействием прикладных процессов, выполняемых в терминальных системах пользователей и оконечных системах сети, с которыми они взаимодействуют.
- Прикладные функции** – объекты приложений пользователей и администрации сети.
- Приложение** – услуга, предоставляемая пользователю в виде законченного продукта, которым он может многократно пользоваться.
- Программа накопления собственности сотрудниками (Employee Stock Ownership Plan, ESOP)** – механизм, который дает возможность коллективу получать кредит для выкупа акций и возвращать его из будущих доходов.
- Программная структура** – иерархия программного обеспечения.
- Программные ресурсы** – ПО, обеспечивающее предоставление услуг и приложений пользователям, управление сетью, а также выполнение сопутствующих функций.
- Промежуточное ПО** – ПО, которое реализует в сети функции управления услугами и функции административного управления сетью.
- Пропускная способность** – а) максимальная интенсивность нагрузки (Эрл), которая может быть обслужена при заданном качестве обслуживания вызовов; б) максимально допустимая скорость передачи информации (бит/с) при заданном качестве передачи.
- Протокол** – логический интерфейс между функциями (объектами) одного типа.
- Рабочая система** – система, предоставляющая сетевое обслуживание (управление доступом к файлам, программам и т.п.).
- Радиовещательная спутниковая служба** – служба спутниковой радиосвязи, обеспечивающая ретрансляцию через спутники вещательных сигналов, предназначенных для непосредственного индивидуального или коллективного приема населением телевизионных и звуковых программ.
- Район обслуживания** – территория, на которой сосредоточены абонентские пункты, включенные в ответствующий узел коммутации.
- Распределенное приложение** – приложение, состоящее из нескольких компонентов, которые могут выполняться в разных оконечных системах.
- Распределительный узел** – узел, в котором осуществляется долговременная коммутация (кроссовая).
- Регенератор ЦСП-SDH (SMR)** – упрощенная разновидность синхронного мультиплексора, выполняющего только регенерацию линейного сигнала ЦСП-SDH.
- Регулятор** – правительственное агентство, институт или официальный ответственный за регулирование всего или части сектора электросвязи страны.

- Ресурсы обработки и сохранения данных** – производительности процессоров сетевых компьютеров и объемы их запоминающих устройств, а также допустимое время их использования.
- Ретранслятор** (в спутниковой радиосвязи) – оборудование, которое составляет часть спутника связи и выполняет обработку и преобразование сигналов, принятых в одной полосе частот, в другую полосу и передает их после усиления в направлении земных станций или других спутников связи.
- Сверточное кодирование** – метод помехоустойчивого кодирования, при котором преобразование информационных символов в каналные происходит непрерывно без разделения последовательности на блоки.
- Сеансовый уровень** – пятый уровень модели OSI, предназначенный для открытия сеанса связи между отдаленными процессами пользователей.
- Сетевая операционная система** – унифицированный программный комплекс, обеспечивающий среду взаимодействия коммуникационных функций и логических интерфейсов пользователя.
- Сетевой уровень** – четвертый уровень модели OSI, на котором обеспечивается выбор маршрута передачи сообщений.
- Сеть абонентского доступа** – сеть, обеспечивающая подключение абонентских устройств к опорному узлу.
- Сеть мегаполиса (MAN)** – информационно-вычислительная (компьютерная) сеть, которая охватывает территорию города.
- Сеть управления телекоммуникациями (TMN)** – сеть специальных служебных каналов, объединяющих пункты управления сетью и элементы сети, предназначенная для передачи служебных сигналов в системе управления.
- Сигнализация** – совокупность сигналов для установления, контроля и освобождения соединений, а также процедур и протоколов обмена этими сигналами.
- Синхронный мультиплексор ввода / вывода (SMA)** – разновидность синхронного мультиплексора, который кроме объединения и разъединения трибутарных (входных) цифровых потоков осуществляет выделение и введение цифровых потоков.
- Система** – совокупность взаимодействующих элементов, составляющих целостное образование, которое имеет новые свойства, отсутствующие в ее элементах.
- Система передачи** – совокупность технических средств, обеспечивающих каналы связи для прохождения сигналов в линейном тракте передачи.
- Служба сети** – организационно-технический комплекс, обеспечивающий предоставление сетью услуг определенного вида. Различают телефонную, факсимильную службы, службу передачи данных и др.
- Соединительные линии** – линии (каналы) связи, соединяющие узлы и станции сети.
- Соединительный тракт передачи информации** – два и больше линейных трактов передачи информации, скоммутированных последовательно.
- Стратегическое планирование** – процесс формирования миссии и целей организации, выбора специфических стратегий для определения и получения необходимых ресурсов и их дальнейшего распределения с целью обеспечения эффективной работы организации в будущем.
- Телевидение (ТВ)** – передача, обработка и воспроизведение на расстоянии изображений подвижных или неподвижных объектов со звуковым сопровождением или без него.
- Телевидение высокой четкости (ТВВЧ)** – телевидение с приблизительно удвоенной четкостью по горизонтали и по вертикали по сравнению с четкостью, обеспечиваемой стандартом развертки 625 или 525 строк.
- Телевидение обычной четкости (ТВОЧ)** – телевидение с четкостью, соответствующей обеспечиваемой стандартными системами SECAM, PAL и NTSC с учетом присущих им ограничений.
- Телевидение ограниченной четкости (ТВОЧ)** – телевидение с четкостью по горизонтали и по вертикали, которая приблизительно вдвое ниже стандартной.
- Телевидение повышенной четкости (ТВПЧ)** – телевидение с четкостью, промежуточной между четкостью ТВОЧ и ТВВЧ.

- Телевидение сверхвысокой четкости (ТВСВЧ)** – телевидение с четкостью, которая выше высокой четкости.
- Телевидение стандартной четкости (ТВСЧ)** – телевидение с четкостью, соответствующей обеспечиваемой стандартом развертки 625 или 525 строк.
- Телекоммуникации** – средства, обеспечивающие возможность связи на значительных расстояниях.
- Телекоммуникационная сеть** – совокупность технических средств, обеспечивающих взаимодействие удаленных объектов.
- Телепорт** – земная станция, использующая несколько приемо-передающих антенн.
- Телефонная сеть сельского района (ТССР)** – местная сеть с собственным зонавым индексом, обеспечивающая предоставление телефонных услуг в границах всего района и имеющая единую систему тарификации для всех его населенных пунктов (включая райцентр и поселения городского типа).
- Терминальная система** – система, обеспечивающая доступ к информационной сети и ее ресурсам.
- Терминальный синхронный мультиплексор (SMT)** – разновидность синхронного мультиплексора, выполняющего в основном объединение и разъединение трибутарных (входных) цифровых потоков.
- Территориальная сеть (WAN)** – крупномасштабная сеть, предназначенная для объединения информационно-вычислительных (компьютерных) сетей типа LAN, MAN и других сегментов, расположенных на территории большого региона, государства, континента, а также на разных континентах.
- Топология «кольцо»** – сетевая топология, в которой к каждому пункту присоединены две и только две линии.
- Транзакция** – последовательность логически связанных действий, переводящих информационную систему из одного состояния в другое.
- Транзитная станция (ТС)** – коммутационный узел (станция), обеспечивающий только установление транзитных соединений между станциями и узлами сети и не обеспечивающий ввода и вывода абонентской нагрузки.
- Транкинговая система связи** – система технологической или корпоративной радиосвязи, соединяющая мобильных или фиксированных пользователей между собой непосредственно или с помощью базовых станций.
- Транспортная сеть** – телекоммуникационная сеть, обеспечивающая иерархию стандартизированных скоростей передачи информационных потоков и образованная совокупностью унифицированного оборудования широкополосных линий связи, распределительных узлов и узлов доступа к сети.
- Транспортный уровень** – четвертый уровень модели OSI, определяющий способ транспортирования сообщения сетью (например, путем деления сообщения на блоки, которым присваиваются заголовки, содержащие адресную и служебную информацию).
- Третичная цифровая система передачи (ТЦСП)** – ЦСП третьей степени иерархии ЦСП-PDN. К таким ЦСП относятся ИКМ-480 и т.п.
- Удельная нагрузка линии (использование линии)** – доля времени ее занятости, обычно на протяжении часа наибольшей нагрузки (ЧНН).
- Узел доступа** – пункт, в котором устанавливается оконечное оборудование сети.
- Узел коммутации** – узел, в котором выполняется коммутация и нет оконечного оборудования сети.
- Узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб (Narrowband ISDN, N-ISDN)** – цифровая телефонная сеть, части абонентов которой предоставляется возможность использования двух или 30 коммутируемых каналов типа В (64 кбит/с) для обмена разнообразной аудиовизуальной информацией и данными, соответствующими определенным службам сети.
- Узловой пункт (узел)** – пункт, в котором сходятся три и больше линии связи и который является промежуточным (транзитным) на пути прохождения потоков информации.
- Уровень представления** – шестой уровень модели OSI, на котором сообщения, поступившие от прикладного уровня, перекодируются в вид, приемлемый для передачи в данной сети.
- Услуга информационной сети** – все, что запрашивается пользователем от информационной сети, потребляется им и оплачивается. Услуга характеризуется одnorазовым потреблением.

- Услуга связи** – любое использование сети связи абонентом (потребителем услуг) для передачи или получения информации, а также предоставление ему сетью возможностей упрощения или интеллектуализации этого процесса.
- Физический уровень** – первый уровень модели OSI, отвечающий за организацию физической связи соседних объектов сети и побитовую передачу кадров.
- Фиксированная спутниковая служба** – служба спутниковой радиосвязи, обеспечивающая связь через спутники между земными станциями, которые находятся на фиксированных позициях.
- Функциональная модель сети** – абстрактное описание сети на логическом уровне, не зависящее от принципов ее физической реализации.
- Холдинг** – группа дочерних компаний, подчиненных материнской компании, которая владеет контрольным пакетом их акций.
- Ценные бумаги** – денежные документы, которые отображают имущественные права, могут самостоятельно оборачиваться на рынке и быть объектом купли-продажи, источником разового или регулярного дохода.
- Центр управления сетью** – пункт, в котором располагается система административного управления сетью.
- Цифровая система коммутации (ЦСК)** – единый территориально распределенный аппаратно-программный комплекс, состоящий из опорного оборудования (ОпО), выполняющего коммутацию и управление и централизуя функции технической эксплуатации и обслуживания системы, и из выносных коммутационных (ВКМ) и абонентских модулей (ВАМ), соединенных с ОпО и, возможно, друг с другом цифровыми внутрисистемными соединительными линиями (СЛ). Под ВКМ понимают автономную часть ЦСК, способную независимо функционировать в сети в качестве отдельной станции и только в процедурах технической эксплуатации управляемую от ОпО, а под ВАМ – вынесенную от ОпО или ВКМ часть системы, полностью управляемую от ОпО или ВКМ и обеспечивающую подключение абонентских линий¹. Внутрисистемные СЛ могут иметь специфические для ЦСК линейные стыки и протоколы сигнального обмена.
- Цифровые абонентские линии (xDSL)** – абонентские линии и аппаратура цифровой передачи модемного типа.
- ЦСП плезиохронной иерархии (PDH)** – ЦСП, в которой в процессе мультиплексирования осуществляется асинхронное объединение цифровых потоков.
- ЦСП синхронной иерархии (SDH)** – ЦСП, в которой в процессе мультиплексирования осуществляется синхронное объединение цифровых потоков и асинхронное введение потоков PDH.
- Шлюз** – узел, в котором устанавливается специальное оборудование, выполняющее функции межсетевое преобразователя при сопряжении сегментов, отличающихся технологическими признаками.
- Электрическая связь** – передача и/или прием сообщений любого вида по радио, проводным, оптическим или другим электромагнитным системам.
- Эталонная модель взаимодействия открытых систем (ВОС)** – семиуровневая модель, которая описывает общие принципы ВОС и используется как основа для разработки стандартов Международной организации стандартизации (ISO).
- Ячеистая топология** – сетевая топология, в которой каждый пункт имеет непосредственную связь с небольшим числом пунктов, ближайших по расстоянию.

¹ Разные типы ЦСК имеют собственные конкретные названия ОпО, ВКМ и ВАМ.

Список сокращений

ААЛ	аналоговая абонентская линия
АдЭК	адаптивный эхокомпенсатор
АЗУ	адресное запоминающее устройство
АК	абонентский комплект
АЛ	абонентская линия
АМНТС	автоматическая международная телефонная станция
АМТС	автоматическая междугородная телефонная станция
АОН	автоматическое определение номера
АС	а) абонентская станция; б) автоматизированная система
АСЛ	аналоговая соединительная линия
АСП	аналоговая система передачи
АТС	автоматическая телефонная станция
АФ	адресный фильтр
АФМ	амплитудно-фазовая модуляция
АЦСП	абонентская цифровая система передачи
БА	буфер адресов
БАЛ	блок абонентских линий
ББД	блок беспроводного доступа
БВК	блок временной коммутации
БД	блок доступа
БИКМ	блок стыка с линией ИКМ
БП	блок подключения
БП	буферная память
БПВК	блок пространственно-временной коммутации
БПК	блок пространственной коммутации
БПкК	блок пакетной коммутации
БПО	блок пакетной обработки
БР	буферный регистр
БС	базовая станция
БСГ	блок системного генератора
БУ	блок управления
БЧС	блок частотной сигнализации
В	время (обозначение каскада временной коммутации)
ВАМ	выносной абонентский модуль
ВАТС	ведомственная автоматическая телефонная станция
ВБД	выносной блок доступа
ВКМ	выносной коммутационный модуль
ВМ	высокоскоростной модем
ВОК	волоконно-оптический кабель
ВОЛС	волоконно-оптическая линия связи
ВОСП	волоконно-оптическая система передачи (ЦСП по ВОК)
Вп	время/пространство (обозначение каскада пространственно-временной коммутации)

ВРК	временное разделение каналов
ВСК	выделенный сигнальный канал
ВхЛ	входная линия
ВЦП	вторичный цифровой поток (ЦСП-PDH на 8,448 Мбит/с и т.п.)
ВЦСП	ЦСП вторичной иерархии
ГВС	генератор вызывных сигналов
ГТ	групповой тракт
ГТС	городская телефонная сеть
ГЦКП	главное цифровое коммутационное поле
ДВУ	дополнительные виды услуг
ДМ	демультимплексор
ДН	диаграмма направленности
ДШ	дешифратор
ЗСЛ	заказно-соединительная линия
ИЗУ	информационное запоминающее устройство
ИКМ	импульсно-кодовая модуляция
ИЛ	исходящая линия
КА	концентратор абонентский
КАМ	квадратурная амплитудная модуляция
КБ	коммутационный блок
КВ	канал вызова
КВВ	канал ввода-вывода
КИ	канальный интервал
КК	коммутатор каналов
КМ	коммутационный модуль
КСЛ	комплект соединительной линии
КТВ	кабельное телевидение
КЭ	коммутационный элемент
ЛВС	локальная вычислительная сеть
ЛТ	линейный тракт
М	мультиплексор
МИТРС	микроволновая интегрированная телерадиоинформационная система
МРС	микроволновая распределительная система
МСП	многоканальная система передачи
МСЭ	Международный союз электросвязи
МТО	модуль технического обслуживания
НС	направляющая система
ОВ	оптическое волокно
ОКС	общий канал сигнализации
ОЛТ	оборудование линейного тракта
ОпО	опорное оборудование
ОПС	опорная станция
ОПТС	опорно-транзитная станция
ОС	оконечная станция
ОЦК	основной цифровой канал (на скорость 64 кбит/с)

П	пространство (обозначение каскада пространственной коммутации)
ПЗаг	преобразователь заголовка
ПЛМ	программируемая логическая матрица
ПО	программное обеспечение
ППП	профиль показателя преломления
Пр/Пс	преобразователь параллельного кода в последовательный
Пс/Пр	преобразователь последовательного кода в параллельный
ПЦИ	плезиохронная цифровая иерархия
ПЦП	первичный цифровой поток (ЦСП-PDH на 2,048 Мбит/с)
ПЦСП	ЦСП первичной иерархии
РАЗ	регистр адресов записи
РАСч	регистр адресов считывания
РЗ	регистр записи
РС	рабочая станция
РСЛ	комплект реле соединительной линии
РСч	регистр считывания
РТ	распределитель трактов
СБИС	сверхбольшая интегральная схема
СЛ	соединительная линия
СЛМ	соединительная линия междугородная
СНП	сельский населенный пункт
СО	станционное окончание
СП	система передачи
СП ЧРК	система передачи с частотным разделением каналов
СПДКП	сеть передачи данных с коммутацией пакетов
СПр	сигнальный процессор
СУ	сдвигающее устройство
СЦИ	синхронная цифровая иерархия
ТГ	такты генератор
ТЗ	техническое задание
ТС	транзитная станция
ТСБ	типовой съемный блок
ТССР	телефонная сеть сельского района
ТфОП	телефонная сеть общего пользования
ТЦСП	ЦСП третичной иерархии
ТЭЗ	типовый элемент замены
УАК	узел автоматической коммутации
УАТС	учрежденческая автоматическая телефонная станция
УЗУ	управляющее запоминающее устройство
УИС	узел исходящих соединений
УПр	управляющий процессор
УР	узловой район
УС	узловая станция
ФМ	фазовая модуляция
ФО	функциональный объект

ФСЛ	физическая соединительная линия	
ЦАЛ	цифровая абонентская линия	
ЦК	цифровой коммутатор	
ЦКП	цифровое коммутационное поле	
ЦКЭ	цифровой коммутационный элемент	
ЦЛ	цифровая линия	
ЦМС	цифровая микроволновая сеть	
ЦП	цифровой поток	
ЦС	цикловая синхронизация; центральная станция; цифровая система	
ЦСИС	цифровая сеть с интеграцией служб	
ЦСК	цифровая система коммутации	
ЦСЛ	цифровая соединительная линия	
ЦСП	цифровая система передачи	
ЦТВ	цифровое телевизионное вещание	
ЦТГ	центральный тактовый генератор	
ЦТЭ	центр технической эксплуатации	
ША	шина адреса	
ШБД	широкополосный блок доступа	
ШД	шина данных	
ШУ	шина управления	
Яч	ячейка памяти	
AA	Administrative Authority	Полномочная администрация связи
AAL	ATM Adaptation Layer	Уровень адаптации ATM
AB	Access Burst	Пакет доступа
ABR	Available Bit Rate	Доступная битовая скорость
ACCH	Associated Control CHannels	Совмещенные управляющие каналы
ACSE	Associated Control Service Elements	Сервисные элементы ассоциированного управления
AEF	Additional Elementary Functions	Дополнительные элементарные функции
AF	Adaptation Function	Функция адаптации
AFI	Authority and Format Identifier	Идентификатор полномочий и формата
AGCH	Access Grant CHannel	Канал разрешения доступа
AGF	Additional Global Functions	Дополнительные глобальные функции
AH	Alignment Header	Заголовок выравнивания
AHLF	Additional High Layer Functions	Дополнительные функции высоких уровней
AIS	Alarm Indication Signal	Сигнал индикации аварии
AL	Alignment	Выравнивание
ALLF	Additional Low Layer Functions	Дополнительные функции низких уровней
AMS	Associated Mode of Signalling	Связанный режим сигнализации
ANSI	American National Standart Institute	Американский национальный институт стандартов
ARP	Address Resolution Protocol	Протокол различения адресов
ASE	Application Service Elements	Сервисные элементы прикладного уровня
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Асинхронный режим переноса (информации)
ATMM	ATM Management	Менеджмент ATM
AU	Administrative Unit	Административный блок

BASize	Buffer Allocation Size	Назначаемая емкость буфера
Bc	Comitted Burst Size	Гарантированный объем информации
BCCH	Broadcast Control CHannels	Каналы управления передачей
Be	Excess Burst Size	Дополнительный объем информации
BECN	Backward Explicit Congestion Nonification	Бит сообщения источника о перегрузке
BEF	Basic Elementary Functions	Основные элементарные функции
BER	Bit Error Ratio (Rate)	Коэффициент (интенсивность) битовых ошибок
B-ET	Broadband Exchange Termination	Широкополосное станционное окончание
BGF	Basic Global Functions	Основные глобальные функции
BGP	Border Getenay Protocol	Протокол внешней маршрутизации
BHLF	Basic High Layer Functions	Основные функции высоких уровней
BIP	Bit Interleaved Parity	С четностью чередующихся битов (проверочный код)
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network	Широкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
B-ISUP	Broadband Integrated Services User Part	Подсистема (ОКС 7) пользователя широкополосной цифровой сети с интеграцией служб
BLLF	Basic Low Layer Functions	Основные функции низких уровней
B-LT	Broadband Line Termination	Широкополосное линейное окончание
BOM	Beginning of Message	Начало сообщения
BRA	Basic Rate Access	Доступ (к N-ISDN) на основной скорости (2B+D)
BRI	Basic Rate Interface	Интерфейс доступа на основной скорости
BSC	Base Station Controller	Контроллер базовых станций
BSSAP	Base Station System Application Part	Прикладная подсистема системы базовых станций
B-TA	Broadband Terminal Adapter	Широкополосный терминальный адаптер
Btag	Beginning Tag	Метка начала
B-TE	Broadband Terminal Equipment	Широкополосное терминальное оборудование
B-NT	Broadband Network Termination	Широкополосное сетевое окончание
BUS	Broadcast and Unknown Server	Сервер распределительных и нераспознанных сообщений
CAC	Connection Admission Control	Управление признанием соединения
CAP	Carrierless Amplitude-Phase modulation	Амплитудно-фазовая модуляция без несущей
CBDS	Connectionless Broadband Data Service	Широкополосная служба обмена данными без соединений
CBR	Constant Bit Rate	Постоянная битовая скорость
CCCH	Common Control CHannels	Общие каналы управления
CCH	Control CHannel	Канал управления
CEQ	Customer Equipment	Абонентское оборудование
CC	a) Country Code б) Continuity Check	Код страны Проверка целостности соединения
CCS7	Common Channel Signalling 7	Общеканальная сигнализация № 7
CE	Connection Element	Соединительный элемент
CEI	Connection Element Identifier	Идентификатор соединительного элемента
CIR	Committed Information Rate	Гарантированная скорость передачи
CL	ConnectionLess	Без соединений
CLAI	ConnectionLess Access Interface	Интерфейс доступа без соединений

CLLM	Consolidated Linr Layek Management	Механизм скоординированного управления канала
CLNAP	ConnectionLess Network Access Protocol	Протокол доступа к сети без соединений
CLNI	ConnectionLess Network Interface	Интерфейс сети без соединений
CLNIP	ConnectionLess Network Interface Protocol	Протокол интерфейса сети без соединений
CLP	Cell Loss Priority	Приоритет потери ячейки
COM	Continuation of Message	Продолжение сообщения
CPCS	Common Part Convergence Sublayer	Общая часть подуровня конвергенции
CPI	Common Part Indicator	Индикатор общей части (подуровня конвергенции)
CR	call reference	Указатель логического соединения
CRC	Cyclic Redundancy Check	Проверка избыточным циклическим кодом
CRF	Connection Related Functions	Функции, связанные с соединением
CS	Convergence Sublayer	Подуровень конвергенции
CSC	Common Signalling Channel	Общий канал сигнализации
CSI	Convergence Sublayer Indication	Индикация подуровня конвергенции
CSL	Component SubLayer	Подуровень компонентов
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection	Групповой доступ с контролем несущей и выявлением коллизий
DB	Dummy Burst	Установочный пакет
DCC	Data Country Code	Код страны данных
DCE	Data Circuit Terminating Equipment	Оконечное оборудование канала данных
DE	Discard Eligibility	Целесообразность сброса
DFI	DSP Format Identifier	Идентификатор формата DSP (см. DSP)
DLCI	Data Link Connection Identifier	Идентификатор соединения звена данных
DMT	Discrete Multi-Tone	Дискретная модуляция с множеством несущих
DMX	DeMultipleXor	Демультимплексор
DNS	Domain Name Service	Доменная служба имен
DQDB	Distributed Queue Dual Bus	Двойная шина с распределенной очередью
DSE	Dialog Service Elements	Сервисные элементы диалога
DSL	Digital Subscriber Line	Цифровая абонентская линия
DSP	Domain Specific Part	Часть (адреса), специфическая для домена (маршрутизации)
DSS1(2)	Digital Subscriber Signalling 1(2)	Цифровая абонентская сигнализация № 1(2)
DTE	Data Terminal Equipment	Терминал данных
DTMF	Dual-Tone Multi-Frequency	Двухтоновая многочастотная (сигнализация)
DWDM	Dense Wave Division Multiplexing	Плотное спектральное уплотнение
EF	Elementary Functions	Элементарные функции
EFCI	Explicit Forward Congestion Indication	Явная прямая индикация перегрузки
EGP	Exterior Geteway Protocol	Протокол внешней маршрутизации
EOM	End of Message	Конец сообщения
EP	Executive Process	Исполнительный процесс
ESI	End System Identifier	Идентификатор оконечной системы
ET	Exchange Termination	Станционное окончание
Etag	End Tag	Метка конца
FACCH	Fast Associated Control CHannel	Быстрый совмещенный управляющий канал

FB	Frequency correction Burst	Пакет подстройки частоты
FCCH	Frequency Correction CHannel	Канал подстройки частоты
FCS	Frame Check Sequence	Проверочная последовательность кадра
FDDI	Fiber Distributed Data Interface	Оптоволоконный распределенный интерфейс данных
FEA	Functional Entity Actions	Действия функционального объекта
FECN	Fornard Explicit Congestion Notification	Бит сообщения приемника о перегрузке
FERF	Far End Reporting Failure	Уведомление об отказе на дальнем конце
FFSK	Fast Frequency Shift Keying	Быстрая частотная манипуляция
FIFO	First-In – First-Out	Упорядоченная очередь
FISU	Fill-In Signal Unit	Заполняющая сигнальная единица
FPS	Fast Packet Switching	Быстрая коммутация пакетов
FR	Frame Relay	Трансляция кадров
FR-BAI	Frame Relay B-ISDN Access Interface	Интерфейс доступа службы Frame Relay к B-ISDN
FR-BNNI	Frame Relay B-ISDN Network-to-Network Interface	Межсетевой интерфейс Frame Relay – B-ISDN
FRF	Frame Relay Forum	Форум Frame Relay
FRM	Fast Resource Management	Быстрое управление ресурсами
FTP	File Transfer Protocol	Протокол пересылки файлов
FTTB/C	Fibre To The Building / Curb	Волокно к зданию или распределительной коробке
FTTCab	Fibre To The Cabinet	Волокно к распределительному шкафу
FTTH	Fibre To The Home	Волокно к помещению
GF	Global Functions	Глобальные функции
GFC	Generic Flow Control	Общее управление потоком
GPS	Global Positioning System	Система глобальной ориентации
GSM	Global System for Mobile Communication	Глобальная система подвижной связи (название стандарта)
HDLC	High level Data Link Control	Управление звеном данных высокого уровня
HDSL	High-bit-rate Digital Subscriber Line	Скоростная цифровая абонентская линия
HEC	Header Error Control	Коррекция ошибок заголовка
HEL	Header Extension Length	Длина расширения заголовка
HLPI	Higher Layer Protocol Identifier	Идентификатор протокола высшего уровня
HLR	Home Location Register	Опорный регистр местонахождения
HO-DSP	Higher Order Domain Specific Part	Часть (адреса) высшего порядка, специфичная для домена (маршрутизации)
HSTR	High Speed Token Ring	Высокоскоростная сеть Token Ring
HUP	Handover User Part	Подсистема пользователя эстафетным переключением
IAB	Internet Archifectere Board	Совет по вопросам архитектуры Интернета
ICMP	Internet Control Message Protocol	Протокол управляющих сообщений Интернет
IDI	Initial Domain Identifier	Идентификатор исходного домена
IDP	Initial Domain Part	Часть для исходного домена
IDU	Interface Data Unit	Интерфейсный блок данных
IEEE	Institute of Electricul and Electrome- chanical Engineers	Институт инженеров электроники и электротехники
IGMP	Internet Group Management Protocol	Протокол управления группами Интернета

IGRP	Interior Gateway Routing Protocol	Протокол внутренней маршрутизации (фирмы Cisco Systems)
IN	Intelligent network	Интеллектуальная сеть
INAP	Intelligent Network Application Part	Прикладная подсистема интеллектуальной сети
IP	Internet Protocol	Протокол Интернета
IPOP	Internet Point Of Presence	Пункт присутствия Интернета
ISDN	Integrated Services Digital Network	Цифровая сеть с интеграцией служб
ISO	International Organization for Standartization	Международная организация по стандартизации
ISP	International Signalling Point	Международный пункт сигнализации
ISUP	ISDN User Part	Подсистема пользователя ISDN
IT	Information Type	Тип информации
LAN	Local Area Network	Локальная компьютерная (информационно-вычислительная) сеть
LANE	LAN Emulation	Эмуляция LAN
LAPD	Link Access Procedure for D-channels	Процедура доступа звена данных к каналам D
LAPF	Link Access Protocol Frame	Протокол доступа к каналу сети Frame Relay
LEC	LAN Emulation Client	Клиент эмуляции LAN
LES	LAN Emulation Server	Сервер эмуляции LAN
LECS	LAN Emulation Configuration Server	Сервер конфигурации эмуляции LAN
LI	Length Indicator	Индикатор длины
LLC	Logical Link Control	Управление логическим каналом
LMI	Local Management Interface	Интерфейс локального управления
LSSU	Link Status Signal Unit	Сигнальная единица состояния звена сигнализации
LT	Line Termination	Линейное окончание
LUNI	LAN Emulation User-to-Network Interface	Интерфейс сеть – пользователь эмуляции LAN
MAC	Media Access Control	Управление доступом к среде
MAN	Metropolitan Area Network	Городская компьютерная (информационно-вычислительная) сеть
MAP	Mobile Application Part	Прикладная подсистема подвижной связи
MAU	Multistation Access Unit	Устройство многостанционного доступа
MBS	Maximum Burst Size	Максимальный объем пачки (ячеек)
MDF	Main Distribution Frame	Главный щит переключений (кросс)
MID	Multiplexing Identifier	Идентификатор мультиплексирования
MIR	Maximum Information Rate	Максимальная информационная скорость
MPOA	MultiProtocol Over ATM	Многопротокольная передача через ATM
MSB	Most Significant Bit	Самый старший бит
MSC	Mobile Switching Center	Центр коммутации сотовой сети (стандарта GSM)
MSN	Monitoring Sequence Number	Порядковый номер (ячейки) контроля
MSOH	Multiplex Section OverHead	Заголовок мультиплексной секции
MSU	Message Signal Unit	Значащая сигнальная единица
MT	Message Type	Тип сообщения
MTP	Message Transfer Part	Подсистема передачи сообщений
MTX	Mobile Telephone eXchange	Центр коммутации сотовой сети (стандарта NMT)
MUP	Mobile User Part	Подсистема подвижного пользователя

MX	MultipleXor	Мультиплексор
NAMS	Non-Associated Mode of Signalling	Несвязанный режим сигнализации
NB	Normal Burst	Обычный пакет
NDC	National Destination Code	Национальный код назначения
NHRP	Next Hop Resolution Protocol	Протокол разрешения очередного прыжка
N-ISDN	Narrowband Integrated Services Digital Network	Узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
NMC	Network Management Center	Центр управления сетью
NMT	Nordic Mobile Telephone	Скандинавская подвижная телефонная связь (название стандарта)
NNI	a) Network-Network Interface б) Network Node Interface	Межсетевой интерфейс; Интерфейс сетевого узла
NPC	Network Parameter Control	Регулирование параметров сети
NSAP	Network Service Access Point	Пункт доступа к сетевым услугам
NSN	Nationally Significant Number	Национально значимый номер
NSP	National Signalling Point	Национальный пункт сигнализации
NT	Network Termination	Сетевое окончание
OAM	Operation, Administration and Maintenance	Техническая эксплуатация, техническое обслуживание и административное управление
OAN	Optical Access Network	Оптическая сеть доступа
ODN	Optical Distribution Network	Оптическая распределительная сеть
BOH	OverHead	Заголовок
OLT	Optical Line Termination	Оптическое линейное окончание
OMAP	Operation and Maintenance Application Part	Прикладная подсистема эксплуатации и технического обслуживания
OMASE	Operation and Maintenance Application Service Element	Применяемый сервисный элемент эксплуатации и технического обслуживания
ONT	Optical Network Termination	Оптическое сетевое окончание
ONU	Optical Network Unit	Блок оптической сети
OSI	Open System Interconnection basic reference model	Базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем
PAD	a) Packet Assembler/Disassembler б) PADDing	Сборщик/разборщик пакетов; Заполнение
PADLE	PADDing LEngth	Длина заполнения
PCH	Paging Channel	Канал вызова
PCI	Protocol Control Information	Управляющие данные протокола
PCR	Peak Cell Rate	Пиковая скорость ячеек
PCS	Physical Coding Sublayer	Подуровень физических сигналов
PD	Protocol Discriminator	Дискриминатор (указатель) протокола
PDU	Protocol Data Unit	Протокольный блок данных
PER	Packet Error Rate	Вероятность приема пакета с ошибками (интенсивность искажения пакетов)
PHY	PHYSical layer	Физический уровень
PIR	Packet Insertion Rate	Интенсивность (вероятность) вставки пакетов (доставки не по адресу)
PL	Physical Layer	Физический уровень

PLCP	Physical Layer Convergence Protocol	Протокол конвергенции физического уровня (с системами передачи PDH)
PLR	Packet Loss Rate	Интенсивность (вероятность) потерь пакетов
PM	Performance Measurement	Измерение эксплуатационных характеристик
PMA	Physical Media Attachment	Подуровень физического присоединения
PMD	Physical Medium Dependent	Зависимый от физической среды
POH	Path OverHead	Заголовок тракта
PON	Passive Optical Network	Пассивная оптическая сеть
PPTU	PDU's Per Time Unit	Средняя скорость передачи протокольных блоков
PRA	Primary Rate Access	Доступ (к N-ISDN) на первичной скорости (30B+D)
PRC	Primary Reference Clock	Первичный тактовый генератор
PRI	Primary Rate Interface	Интерфейс доступа на первичной скорости
PT	a) Path Termination б) Payload Typ	Окончание тракта; Тип полезной погрузки
PV	Protocol Version	Версия протокола
PVC	Permanent Virtual Channel	Постоянный виртуальный канал
QAMS	Quasi-Associated Mode of Signalling	Квазисвязанный режим сигнализации
QoS	Quality of Service	Качество обслуживания
RACH	Random Access CHannel	Канал общего доступа
RD	Routing Domain	Домен маршрутизации
RDI	Remote Defect Indication	Индикация удаленной неисправности
RET	Remote Entry Terminal	Выносной терминал ввода
RIP	Routing Invernet Protokol	Протокол внутренней маршрутизации
RM	Resource Management	Управление ресурсами
ROSE	Remote Operation Service Elements	Сервисные элементы удаленных операций
RSOH	Regeneration Section OverHead	Заголовок регенераторной секции
S-AAL	Signalling ATM Adaptation Layer	Уровень адаптации ATM для сигнализации
SACCH	Slow Associated Control CHannel	Медленный совмещенный управляющий канал
SAP	Service Access Point	Точка доступа к обслуживанию
SAPI	Service Access Point Identifier	Идентификатор точки доступа к обслуживанию
SAR	Segmentation and Reassembly sublayer	Подуровень сегментации и сбора
SASE	Stand-Alone Synchronization Equipment	Автономное устройство синхронизации
SB	Synchronization Burst	Пакет синхронизации
SCCP	Signalling Connection Control Part	Подсистема управления сигнальными соединениями
SCH	Synchronization CHannel	Канал кадровой синхронизации
SCP	Service Control Point	Пункт управления услугами
SCR	Sustainable Cel Rate	Поддерживаемая скорость ячеек
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channels	Автономные выделенные управляющие каналы
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Синхронная цифровая иерархия
SDP	Service Data Point	Пункт данных услуги
SDSL	Symmetric Digital Subscriber Line	Симметричная цифровая абонентская линия
SDU	Service Data Unit	Служебный блок данных
SECB	Severely Errored Cell Block	Блок ячеек с серьезными ошибками
SEL	Selector	Селектор

SEP	Signalling End Point	Оконечный пункт сигнализации
SIR	Sustained Information Rate	Поддерживаемая информационная скорость
SL	Signalling Link	Звено сигнализации
SM		Синхронный мультиплексор
SMA		Синхронный мультиплексор ввода/вывода
SMDS	Switched Multimegabit Data Service	Служба коммутируемой мультимегабитовой передачи данных
SMR		Регенератор ЦСП-SDH
SMT		Синхронный мультиплексор терминальный (оконечный)
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol	Простой протокол пересылки почты
SN	a) Sequence Number б) Subscriber Number	Последовательный номер; Абонентский номер
SNI	Service Node Interface	Интерфейс узла услуг
SNMP	Simple Network Management Protocol	Простой протокол управления сетью
SNP	Sequence Number Protection	Защита последовательного номера
SONET	Synchronous Optical NETwork	Синхронная оптическая сеть
SP	Signalling Point	Пункт сигнализации
SPC	Signalling Point Code	Код пункта сигнализации
SPID	Service Profile Identifier	Идентификатор профиля услуг
SRS	Signalling Route Set	Пучок маршрутов сигнализации
SSCFs	Service Specific Coordination Functions	Функции координации, специфичные для службы
SSCOP	Service-Specific Connection-Oriented Protocol	Специфичный для службы протокол, ориентированный на соединение
SSCS	Service Specific Convergence Sublayer	Подуровень конвергенции, специфичный для службы
SSP	Service Switching Point	Пункт коммутации услуг
ST	a) Section Termination б) Segment Type	Окончание секции Тип сегмента
STB	Set Top Box	Телевизионная приставка
STM	Synchronous Transport Module	Синхронный транспортный модуль
STP	Signalling Transfer Point	Транзитный пункт сигнализации
STR	Shielded Twisted Pair	Экранированная скрученная пара
SU	Signal Unit	Сигнальная единица
SVC	Signalling Virtual Channel	Виртуальный канал сигнализации
TC	Transmission Convergence sublayer	Подуровень конвергенции передачи
TCAP	Transaction Capabilities Application Part	Прикладная подсистема транзакционных возможностей
TCH	Traffic CHannel	Канал нагрузки
TCP	Transmission Control Protocol	Протокол управления передачей
TDM	Time-Division Multiplexing	Временное разделение каналов
TDMA	Time-Division Multiple Access	Множественный доступ с временным разделением
TO	Terminal Equipment	Терминальное оборудование
TEI	Terminal Equipment Identifier	Идентификатор терминала

TMN	Telecommunication Management Network	Сеть управления электросвязью
TSL	Transaction SubLayer	Подуровень транзакций
TUC	Total User Cell	Общее число ячеек пользователей
UBR	Unspecified Bit Rate	Неопределенная битовая скорость
UDP	User Datagram Protocol	Датаграммный протокол пользователя
UNI	User-Network Interface	Интерфейс пользователь-сеть
UPC	Usage Parameter Control	Регулирование параметров использования
UTP	Unshielded Twisted Pair	Неэкранированная скрученная пара
UU	User to User Indication	Индикация пользователь-пользователю
VBR	Variable Bit Rate	Переменная битовая скорость
VC	a) Virtual Channel б) Virtual Container	Виртуальный канал Виртуальный контейнер
VCC	Virtual Channel Connection	Соединение виртуального канала
VCI	Virtual Channel Identifier	Идентификатор виртуального канала
VLR	Visitor Location Register	Визитный регистр местонахождения
VP	Virtual Path	Виртуальный тракт
VPC	Virtual Path Connection	Соединение виртуального тракта
VPI	Virtual Path Identifier	Идентификатор виртуального тракта
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Мультиплексирование с уплотнением по длинам волн
WLL	Wireless Local Loop	Беспроводный местный шлейф
xDSL		Цифровая абонентская линия

Литература

Литература к Главе 1

1. Кох Р., Яновский Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М.: Радио и связь, 2001.
2. Захаров Г.П., Симонов М.В., Яновский Т.Т. Службы и архитектура широкополосных цифровых сетей интегрального обслуживания // Электронные знания, ТЭК. Т. 42. – М.: Эко-Трендз, 1993.
3. Лазарев В.Г. Интеллектуальные цифровые сети: Справочник. – М.: Финансы и статистика, 1996.
4. Вебер В., Лазарев В.Г. Многосервисная сеть ЦСИО как стандарт Европейской сети // В сб.: Процессы, технологии, системы коммутации и сети: Тр. V Междунар. конгресса. – М.: МАИ, 1995.
5. Варакин Л.Е. Интеллектуальная сеть как основа интеграции сетей электросвязи // В кн.: 100 лет радио. – М.: Радио и связь, 1995.
6. Gaugler G., Matzner Ch. Telecommunication for the 21th Century // Telecom Report International. 1995. V.18, № 3.
7. Fleder Ch. Voice Communication in Corporate Networks // Telecom Report International. 1995. V.18, № 2.

Литература к Главе 2

1. Макаренко Е.А. Европейская информационная политика: Монография. – Киев: Наша культура и наука, 2000. – 368 с.
2. Обзор мирового рынка телекоммуникаций // Миллениум Файненшл Сервисиз. – Сентябрь, 2001.
3. <http://www.totaltelecom.com>.
4. Западная Европа обгоняет США // Сетевой журнал. 2002. № 2.
5. Поталов В. Т. Состояние и перспективы рынка волоконно-оптического кабеля и оборудования // Фотон-экспресс. 2002. № 24.
6. Петровский Ю. А., Павлов В.И. Спутниковый сегмент отечественной телерадиосети будет обновлен // Техника кино и телевидения. 2002. № 2.
7. Дорохов Р. Дружба дружбой, а спутники врозь // Известия, № 52 от 27.03.2002.
8. ЕС отвергает критику США по поводу развертывания спутниковой системы Galileo. – Сообщение информационного агентства «РосБизнесКонсалтинг» от 12.03.2002.
9. Европа все-таки будет создавать систему спутниковой навигации, альтернативную GPS. – Страница web-сайта «Компьюлента» от 18.03.2002.
10. Есть миллиард абонентов мобильной связи! – Страница web-сайта «Российский телекоммуникационный портал» от 27.03.2002.
11. ЕМС насчитало во всем мире почти миллиард абонентов – число станет круглым уже в апреле. – Страница web-сайта «Сотовик» от 19.03.2002.
12. Петров К. Отрасль мобильных услуг. Кто станет лидером? // Мир Интернет. 2002. № 3.
13. Объем продаж мобильных телефонов в мире в 2001 году упал впервые за всю историю существования этого рынка. – Страница web-сайта «Российский телекоммуникационный портал» от 13.03.2002.
14. Борейко А. Первая в Европе сеть 3G заработает в сентябре // Ведомости, № 49 от 25.03.2002.
15. Financial Times. China Unicom. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT34YRV W7QC>.
16. Financial Times. World Com Group.
17. <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT3O3UDX FIC>.
18. Financial Times. British Telecom. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT3LYHTC. 0MC>.
19. Financial Times. Cable and Wireless. – <http://globalarchive.ft.com/globalarchive/articles.html?id=010314001112>.
20. Financial Times. NTL. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT3QF46EMPC>.
21. Financial Times. Qwest. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT3MXQ7.GGRC>.
22. Financial Times. France Telecom. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT3Y9M77 QQC>.

23. Financial Times. Global Crossing. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT3P4Q3R> VPC.
24. Financial Times. Winstar. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT3TKBOJ> 6LC.
25. Financial Times. Level 3 Communications. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT3AMIUB> 40C.
26. Financial Times. Covad Communications. – <http://globalarchive.ft.com/globalarchive/articles.html?id=010625009291>.
27. Financial Times. Siemens. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT3CFQJV> WPC.
28. Financial Times. Nokia. – <http://news.ft.com/ft/gx.cgi/ftc?pagename=View&c=Article&cid=FT37JC86IOC>.
29. Media centre. Corporate information. BT's structure. – <http://www.britishtelecom.com>.

Литература к Главе 3

1. Faulkner J. Strategic Plans: made to be broker // *Management Review*. 1979. № 4.
2. Зубарев И.В., Ключников И.К. Механизм экономического роста транснациональных компаний. – М.: Высшая школа, 1990.
3. Международная финансовая корпорация. Управление акционерными обществами. – М., 1999.
4. Приватизация, инвестиции и фондовый рынок: правовые основы и практика. В 4-х т. / Под общ. ред. С.О. Довгого, В.М. Литвина. – Киев: Укртелеком, 2001.
5. Media centre. Corporate information. BT's structure. – <http://www.britishtelecom.com>.
6. The company. Board of management. – <http://www.telekom.de>.
7. World of MATAV. MATAV's Board of Directors and Supervisory Board. – <http://www.matav.hu>.
8. Алехин Б.И. Рынок ценных бумаг: введение в фондовые операции. – М.: Финансы и статистика, 1991.
9. Р. Брейли, С. Майерс. Принципы корпоративных финансов: Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 1997.

Литература к Главе 4

1. <http://www.infodev.org/projects/314regulationhandbook>.
2. http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/pdf/2000/en_500PC0393.pdf – Proposal for a Directive of the European parliament and Council on a common regulatory framework for electronic communications networks and services. – COM – 2000. – 393 final 2000/0184 – COD. – 12.7.2000.
3. <http://www.oecd.org/dsti/sti/it/cm/prod/com-out99.htm> – OECD – Organization for Economic Cooperation and Development. – 1991. The Diffusion of Advanced Telecommunications in Developing Countries. Paris, 1997. Regulatory Reform in Telecommunications Services. Paris, 1999. Communications Outlook 1999. – March, Paris.
4. http://www.wto.org/english/tratop_e/servte_e/4prot-e.htm – WTO – World Trade Organization, 1997a. – Fourth Protocol to the General Agreement on Trade in Services. Agreement on Basic Telecommunications Services. – Geneva.
5. <http://www.eto.dk/oss.htm> – ETO – European Telecommunications Office, 2000. ETO One-Stop-Shopping procedure for European Telecommunications Services – Licensing Procedure. Copenhagen.
6. <http://www.ispo.cec.be/infosoc/telecompolicy/en/licences.htm> – CEC – Commission of the European Communities, 1996. Full Competition Directive of 28 February amending Commission Directive 90/388/EEC regarding the implementation of full competition in telecommunications markets. 96/19/EC, OJ L 74/13, 22.3.96. – 1997. Directive 97/13/EC of the European Parliament and of the Council of 10 April 1997 on a common framework for general authorizations and individual licences in the field of telecommunications services, 97/13/EC OJ L117, 7.5.1997.
7. http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/pdf/2000/en_500PC0386.pdf – Proposal for a Directive of the European parliament and Council on the authorisation of electronic communications networks and services. – COM – 2000. 386 final 2000/0188 – COD. – 12.7.2000.
8. <http://www.ispo.cec.be/infosoc/telecompolicy/en/intconen.doc> – Interconnection Recommendation of 8 January 1998 on Interconnection in a liberalised telecommunications market. Part 1 – Interconnection Pricing. 98/195/EC; OJ L73/41, 12.03.98.

9. <http://www.ispo.cec.be/infosoc/telecompolicy/en/c98160en.doc-1998c>. Interconnection Recommendation of 8 April on interconnection in a liberalised telecommunication market, Part 2 – Accounting separation and cost accounting. 98/322/EC, OJ L 141/41, 13.05.98.
10. <http://www.oecd.org/dsti/sti/it/cm/news/INTRCNXN.HTM> – OECD – Organization of Economic Cooperation and Development. 1997. Policy approaches in the area of interconnection between telecommunication networks of OECD member Countries. – September. Paris.
11. Einhorn M. A., editor. Price Caps and Incentive Regulation in Telecommunications, Topics in Regulatory Economics and Policy Series. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1991.
12. Grupe H.J.C. Regulacion economica y teoria del monopolio natural [Economic Regulation and Theory of Natural Monopoly]. With English Summary // *Economica*. 1990. P. 71–96.
13. Liston-Heyes C. Price-Cap Versus Rate-of-Return Regulation. *Journal of Regulatory Economics* // The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1993. Vol. 5. P. 25–48.
14. Mitchell B. M. and Vogelsang I. Telecommunications Pricing: Theory and Practice. – Cambridge: Cambridge University Press, 1991.

Литература к Главе 5

1. Архитектура, протоколы и тестирование открытых информационных сетей: Толковый словарь // Под ред. Э.А. Якубайтиса. – М.: Финансы и статистика, 1990.
2. Блэк Ю. Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы. – М.: Мир, 1990.
3. Якубайтис Э.А. Информационно-вычислительные сети. – М.: Финансы и статистика, 1984.
4. Якубайтис Э.А. Архитектура вычислительных сетей. – М.: Статистика, 1980.
5. Садовский В.Н. Основания общей теории систем. – М.: Наука, 1974.
6. Сипсер Р. Архитектура связи в распределенных системах. Книги 1, 2. – М.: Мир, 1981.
7. Furjanic I. Platform for Future Communication // *Telcom Report International*. 1994. V. 17, № 1.
8. Eberhagen S., Fanger B., Wahl Sr. Marketing Strategy Optimizes Introduction of Services // *Telcom Report International*. 1995. V. 18, № 1.
9. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 1998.
10. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко-Трендз, 1999.
11. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. – М.: Эко-Трендз, 1998.
12. Семенов Н.Н., Шмалько А.В. Терминология сетей синхронной цифровой иерархии // *Сети и системы*. 1996. № 8. С. 58–63.
13. Никитюк Л.А. Архитектура информационных сетей. – Одесса: УГАС, 2000.
14. ITU-T Recommendation Y.105.
15. ITU-T Recommendation Y.110.
16. ITU-T Recommendation X.200.

Литература к Главе 6

1. Баркун М.А., Ходасевич О.Р. Цифровые системы синхронной коммутации. – М.: Эко-Трендз, 2001.
2. Гольдштейн А.Б. Устройства управления мультисервисными сетями: Softswitch // *Вестник связи*. 2002. № 4, С. 105–112.
3. Чумак М.О. Цифрова система комутації 5ESS. – Одеса: УДАЗ, 1998.
4. Чумак М.О. Цифрова система комутації SI2000. – Одеса: УДАЗ, 1999.
5. Degan J.J., Luderer G.W.R., Vaidya A.K. Fast packet technology for future switches // *AT&T Tech. Journal*. V. 68, № 2. P. 36–50.
6. Корнеев Ю.В., Чумак М.О. Основи цифрової комутації. Цифрові комутаційні поля. – Одеса: УДАЗ, 1999.
7. *Telecommunication Regulation Handbook*. – Toronto: McCarthy Tétrault, 2000.
8. Боккер П. ISDN. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы. – М.: Радио и связь, 1991.
9. *Handbook on «New Development in Rural Telecommunication»* – Geneva: ITU, 1998.
10. Рекомендации серии E (E.130, E.164).
11. Рекомендации серии I (I.113, I.130, I.150, I.210, I.211, I.231, I.233, I.311, I.320, I.321, I.324, I.326, I.327, I.361, I.362, I.363, I.365.1, I.371, I.374, I.411, I.413, I.414, I.430, I.431, I.432, I.555, I.603, I.604, I.610, I.732).

12. Рекомендации серии G (G.164, G.165, G702, G.708, G.711, G.722, G.804, G.958, G.960, G.961, G.962, G.963, G.982, G.983.1).
13. Рекомендации серии M (M.20, M.36).
14. Рекомендации серии Q (Q.512, Q.922, Q.932, Q.2100, Q.2110, Q.2120, Q.2130, Q.2140, Q.2931).
15. Рекомендации серии T (T.6, T.60, T.61, T.70, серия T.400, серия T.500).
16. Рекомендации серии X (X.224, X.225).
17. The ATM Forum Glossary. – The ATM Forum, Brussels, 1997.
18. ATM in Europe. The user's handbook. – The ATM Forum, Brussels, 1997.
19. Назаров А.Н., Симонов М.В. ATM: технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко-Трендз, 1998.
20. Акселл И., Хельстранд Ф. Управление трафиком и оптимизация ресурсов в сети ATM // Вестник связи. 1999. № 8. С. 20–26.
21. Лисенко Н.М., Чумак М.О. Мережа В-ISDN на технології ATM. – Одеса: ОНАЗ, 2001.
22. Флинт Д. Локальные сети ЭВМ: архитектура, принципы построения, реализация: Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1986.
23. Максименков А.В., Селезнев М.Л. Основы проектирования информационно-вычислительных систем и сетей ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1991.
24. Дженнинг Ф. Практическая передача данных: модемы, сети и протоколы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989.
25. Мизин И.А., Богатырев В.А., Кузнецов А.П. Сети коммутации пакетов. – М.: Радио и связь, 1986.
26. Мартин Дж. Вычислительные сети и распределенная обработка данных: программное обеспечение, методы и архитектура: Пер. с англ. – Вып. 1. – М.: Финансы и статистика, 1985.
27. Мартин Дж. Вычислительные сети и распределенная обработка данных: программное обеспечение, методы и архитектура: Пер. с англ. – Вып. 2. – М.: Финансы и статистика, 1986.
28. Спортак М. и др. Высокопроизводительные сети. Энциклопедия пользователя: Пер. с англ. – Киев: Диа-Софт, 1998.
29. Джон Д. Рули и др. Сети Windows NT 4.0: Пер. с англ. – Киев: Издательская группа BHV, 1997.
30. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей: Энциклопедия. – СПб.: Питер, 1999.
31. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принцип технологии, протокол. – СПб.: Питер, 2000.
32. Толковый словарь по вычислительным системам: Пер. с англ. / Под ред. В. Иллингурга и др. – М.: Машиностроение, 1990.
33. Кульгин М.В. Коммутация и маршрутизация IP/IPX-трафика. – М.: КомпьютерПресс, 1998.
34. Хендерсон Л., Дженкинс Т. Frame Relay. Межсетевое взаимодействие: Пер. с англ. – Киев: Век+, М.: Горячая линия – Телеком, ЭНТРОП, 2000.
35. Лэммл Т. и др. CCNA: Cisco Certified Network Associate. Учебное пособие. Пер. с англ. – М.: Лори, 2000.
36. Лэммл Т. и др. Учебное руководство для специалистов MCSE: TCP/IP: Пер. с англ. – М.: Лори, 1997.
37. Буров С. Комп'ютерні мережі. Львів: БаК, 1999.
38. Довгий С.А., Копейка О.В., Поленок С.П., Стрижак А.Е. Новые технологии в телекоммуникациях: Выбор технологической архитектуры. Современные тенденции развития. – Киев: Укртелеком, 2001.
39. Максимов В.В. Цифровая электронная коммутационная система EWSD. – Киев: КІЗ, 1998.
40. Корнышев Ю.Н., Дузь В.И., Стовбун Г.В. Цифровая система коммутации С-32. Часть 1. – Одеса: УДАЗ, 1998.
41. Корнышев Ю.Н., Дузь В.И., Маркович А.Я. Цифровая система коммутации С-32. Часть 2. – Одеса: УДАЗ, 2000.
42. Барсков А.Г. Softswitch – мягкая посадка в сети нового поколения // Сети и системы связи. 2001. № 9. С. 100–105.

Литература к Главе 7

1. Проспект фирмы Lucent Technologies, 1999.
2. Рекламный проспект фирмы Coming, 2000.
3. Рекламный проспект фирмы Fujikura, 1998.
4. Ларин Ю.Т., Рязанов И.Б. Расчет параметров оптических кабелей. – М.: МЭИ, 1992.
5. Гауэр Дж. Оптические системы связи: Перевод с англ. – М.: Радио и связь, 1989.
6. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В., Дашенко А.Ф., Уссов А.В. Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, конструирование и расчет, технология производства и эксплуатация: Монография. – Одеса: Астропринт, 2000.

7. Многоканальная электросвязь и РРЛ / Н.Н. Баева, И.К. Бобровская, В.А. Брескин, Е.Л. Федорова: Учеб. для вузов связи. – М.: Радио и связь, 1984.
8. Шмалько А.В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения. – М.: Эко-Трендз, 2001.
9. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000.
10. Убайдулаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 1998.
11. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. «Последняя миля» на медных кабелях. – М.: Эко-Трендз, 2001.
12. Брескин В.А., Бирюков Н.Л., Павличенко Ю.А. Цифровизация аналоговых систем передачи первичной сети // Тр. IV Международной научно-технической конференции по телекоммуникациям. НТК-Телеком-99. – Одесса, 1999.
13. Брескин В.О., Бирюков М. Л., Павличенко Ю. А. Як прискорити модернізацію первинної мережі // ДК Зв'язок. 2000. № 20 (154).
14. Многофункциональная платформа WATSON от компании Schmid Telecom. WWW.Schmid-telecom.ru.
15. Хмелев К. Основное оборудование SDH: состав и возможности // Сети и телекоммуникации. 2002. № 3 (22).
16. Денисьева О.М., Мирошников Д.Г. Средства связи для «последней мили». – М.: Эко-Трендз, 1998.
17. Зеленев А.С. Повысить IQ старой меди // Вестник связи. 2002. № 6. С. 57–60.
18. Бондарь И.Н. Интеграция потоков данных и голоса в абонентских сетях ТФОП // Вестник связи. 2002. № 6. С. 60–64.
19. Мирошников Д.Г. G.shdsl – новый всемирный стандарт на симметричные DSL // Вестник связи. 2001. № 1. С. 70–75.
20. Мирошников Д.Г. Современные решения беспроводного доступа // Электросвязь. 1998. № 4. С. 40–42.
21. Ледовский К.В., Клибанова Н.В. Система абонентского доступа URMET // Мобильные системы. 2000. № 9. С. 28–31.

Литература к Главе 8

1. Банкет В.Л. Спутниковые системы связи и вещания на пороге третьего тысячелетия // Известия вузов. Радиоэлектроника. 1999. Т. 42. № 11. С. 23–32.
2. Банкет В.Л., Топорков Ф.В. Проекты низкоорбитальных телекоммуникационных систем второго поколения // ИнформКурьер-Связь. 1998. № 3. С. 17–25.
3. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения. – М.: Связь и бизнес, 2000.
4. The Official ETSI Deliverables Catalogue, 4th Quarter 2002.
5. <http://www.etsi.org/eds/>.
6. EN 301 113 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 1 (GSM 02.60 version 6.3.1 Release 1997), 2000-11.
7. EN 301 344 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 2 (GSM 03.60 version 7.4.1 Release 1998), 2000-09.
8. <http://www.3gnews.ru/>.
9. Мухин А.М., Чайников Л.С. Энциклопедия мобильной связи в 2-х томах. Том 1. Системы связи подвижной службы общего пользования – СПб: Наука и техника, 2001.
10. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи. – М.: Эко-Трендз, 2000.

Литература к Главе 9

1. Reimers U. Digitale fernzechnik, Datencompression und Übertragung für DVB. – Springer, April, 1995.
2. Ronald de Bruin, Jan Smits. Digital Video Broadcasting. Technology, Standards, and Regulations. – Artech House, 1998.
3. Stanley N Baron, Mark I. Krivocheev. Image and Audio Communications. Toward a Global Information Infrastructure. – Van Nostrand Reinhold, 1996.
4. A broadcasting Guide to MPEG. The MPEG Technology in perspective. – Edition 1.1, September 1996. – RE Technology AS.
5. Networking in Broadcasting. A look into network technologies; the players and the implications for the broadcast industry. 1st edition, June 1995. – RE HOLDING AS.
6. Локшин Б.А. Цифровое вещание: От студии к телезрителю / Под ред. Л.С. Виленчика. – М: Компания САЙРУС СИСТЕМЗ, 2001.

7. Сети телевизионного и ОВЧ ЧМ вещания: Справочник / М.Г. Локшин, А.А. Шур, А.В. Кокорев, Р.А. Краснощеков. – М.: Радио и связь, 1988.
8. Мамаев Н.С., Мамаев Ю.Н., Теряев Б.Г. Цифровое телевидение / Под ред. Н.С. Мамаева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001.
9. Мультисервисные сети кабельного телевидения / П.А. Барабаш, С.П. Воробьев, О.В. Махровский, В.С. Шибанов. – СПб.: Наука, 2000.
10. Анализ тенденцій переходу від аналогового до цифрового мовлення / О.О. Бондаренко, С.П. Глотов, О.В. Гофайзен и др. // Праці УНДІРТ. № 3. 2002.
11. Салабай А.В. Проектирование систем кабельного телевидения. Учебное пособие. Одесса: УГАС им. А.С. Попова, 2000.
12. Нарытник Т., Галич В. Многоканальная микроволновая система распределения информации // Теле-Спутник. 1997. № 3. С. 66–67.

Литература к Главе 10

1. ITU-T Recommendation M.3010. Principles for a Telecommunications Management Network.
2. ITU-T Recommendation M.3180. Catalogue of TMN Management Information.
3. ITU-T Recommendation M.3400. TMN Management Functions.
4. ITU-T Recommendation M.3020. TMN Interface Specification Methodology.
5. ITU-T Recommendation M.3200. TMN Management Services: Overview.
6. ITU-T Recommendation M.3300. TMN Management Facilities Presented at the F Interface.
7. ITU-T Recommendation M.3100. Generic Network Information Model.
8. ITU-T Recommendation X.701. System Management Overview.
9. ITU-T Recommendation X.711. Common Management Information Protocol Specification.
10. ITU-T Recommendation X.711. Common Management Information Services Definitions.
11. ITU-T Recommendation Q.811. Low Layer Protocol Profiles for the Q₃ Interface.
12. ITU-T Recommendation Q.812. Upper Layer Protocol Profiles for the Q₃ Interface.
13. Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи. – М.: Радио и связь, 1998.
14. Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа. – М.: Радио и связь, 1999.
15. Росляков В.А. Общеканальная система сигнализации № 7. – М.: Эко-Трендз, 1999.
16. Рекомендации МСЭ серии Q (Q.400–Q.499, Q.700–Q.716, Q.721–Q.766, Q.771–Q.795, Q.850–Q.999, Q.2610, Q.2650, Q.2931–Q.2933, Q.2951, Q.2957, Q.2959, Q.2961–Q.2964, Q.2971).
17. Корнеев Ю.В., Сукачов Е.О., Чумак М.О. Принципи побудови систем і мереж рухомого зв'язку. – Одеса: УДАЗ, 1997.
18. Безир Х., Хойер П., Кеттлер Г. Цифровая коммутация. – М.: Радио и связь, 1984.
19. ITU-T Recommendation G.810 (08/86). Definitions and terminology for synchronization networks.
20. ITU-T Recommendation G.811 (09/97). Timing requirements at the outputs of primary reference clocks suitable for pliesochronous operation of international digital links.
21. ITU-T Recommendation G.812 (06/98). Timing requirements at the outputs of slave clocks suitable for pliesochronous operation of international digital links.
22. ITU-T Recommendation G.813 (08/96). Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC).

Литература к приложениям

1. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А.Г. Зюко, А.И. Фалько, И.П. Панфилов, В.Л. Банкет, П.В. Иващенко. Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985.
2. Банкет В. Л., Дорофеев В. М. Цифровые методы в спутниковой связи. – М.: Радио и связь, 1988.
3. Recommendation H.222.0. Information Technology – Generic Coding Of Moving Pictures And Associated Audio Information: System (ISO/IEC 13818-1).
4. ETS 300 421. Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services, 1997.
5. Регламент системы «Интерспутник» РСИ-406. Передача телевизионных сигналов в цифровой форме, 2000.
6. Recommendation V.32. A family of 2-wire, duplex modems operating at data signaling rates of up to 9600 bit/s for use on the general switched telephone network and on leased telephone-type circuits.

7. Recommendation V.34. A modem operating at data signaling rates of up to 28800 bit/s for use on the general switched telephone network and on leased point-to-point 2-wire telephone-type circuits.
8. Корнышев Ю.Н., Фань Г.Л. Теория распределения информации. – М.: Радио и Связь, 1985.
9. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ: технология высокоскоростных сетей. – М.: Эко-Трендз, 1998.
10. Шнепс М.А. Системы распределения информации. Методы расчета. – М.: Связь, 1979.
11. Ершов В.А., Ершова Э.Б., Ковалев В.В. Метод расчета пропускной способности звена Ш-ЦСИС с технологией АТМ при мультисервисном обслуживании. // Электросвязь. 2000. №3. С. 20–23
12. Фрэнк Г., Фриш И. Сети, связь, потоки. – М.: Связь, 1978.
13. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. – М.: Мир, 1981.

Издание для специалистов

В.Л. Банкет, О.В. Бондаренко, П.П. Воробиевко, О.В. Гайдук, Н.В. Гончар,
О.В. Гофайзен, С.А. Довгий, О.В. Копейка, О.Л. Нечипорук, Л.А. Никитюк,
А.Я. Савченко, М.И. Струкало, Е.А. Танащук, Н.А. Чумак.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОНОМИКА

Под общей редакцией С.А. Довгого

ЛР № 065232 от 20.06.97

Подписано в печать с оригинал-макета 20.06.2003.

Формат 70×100/16. Тираж 3500

Бумага офсетная № 1. Гарнитура таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 25,8. Зак. № 8363

Информационно-технический центр «Эко-Трендз»

Отпечатано в ППП «Типография «Наука»,

121099, Москва, Шубинский пер., 6